

Науковий журнал

1.2010

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Хмельницький 2010

ВІСНИК

Хмельницького національного університету

Затверджений як фахове видання
Постановою президії ВАК України від 19.01.2006 № 2-05/1
(бюлетень ВАК України № 2 від 2006 р.)

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2010, № 1 (144)

Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)

Головний редактор	Скиба М. Є. , заслужений працівник народної освіти України, д. т. н., професор, академік МАІ, академік УТА, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Параска Г. Б. , д. т. н., професор, проректор Хмельницького національного університету
Голова редакційної колегії	Шинкарук О. М. , д. т. н., професор, завідувач кафедри радіотехніки та зв'язку Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Гуляєва В. О. , завідувач відділом інтелектуальної власності Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

к.т.н. Баннова І.М., д.т.н. Гладкий Я.М., к.т.н. Домбровський А.Б., к.т.н. Драпак Г.М., д.т.н. Диха О.В., д.т.н. Калда Г.С., д.ф.-м.н. Качурик І.І., д.т.н. Кіницький Я.Т., д.т.н. Ковтун В.В., д.т.н. Костогриз С.Г., д.т.н. Кострицький В.В., д.т.н. Кузьменко А.Г., д.т.н. Локазюк В.М., д.т.н. Либа В.П., д.т.н. Мазур М.П., к.т.н. Мандзюк І.А., д.т.н. Мясичев О.А., д.т.н. Олександренко В.П., д.т.н. Пастух І.М., д.т.н. Поморова О.В., д.т.н. Ройзман В.П., д.т.н. Рудницький В.Б., д.т.н. Сарібеков Г.С., д.т.н. Сілін Р.І., д.т.н. Семенюк М.Ф., д.т.н. Славинська А.Л., д.т.н. Стечишин М.С., к.т.н. Троцишин І.В., д.т.н. Шалапко Ю.І., д.т.н. Шевеля В.В.

Технічний редактор Горященко К. Л., к. т. н.

Редактор-коректор Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 5 від 27.01.2010 р.**

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11,
м. Хмельницький
Україна, 29016

((038-22) 2-51-08
e-mail: vagvestnik@rambler.ru
patent_1@beta.tup.km.ua

web: <http://visniktup.narod.ru>
<http://vestnik.ho.com.ua>
http://library.tup.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року (перереєстровано)
Бюлетень ВАК №2, 2006

© Хмельницький національний університет, 2010
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2010

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

В.В. КОВТУН НАПРУЖЕННЯ ПО ПОТЕНЦІАЛЬНИХ ПЛОЩИНКАХ КОВЗАННЯ У СИПКОМУ СЕРЕДОВИЩІ	7
А.І. ГОРДСЄВ РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ПРОЕКТУВАННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ ТА ЇЇ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ	12
В.Н. КОРЕНЬКОВ, В.А. ПАСЕЧНИК, А.А. СУБИН АВТОМАТИЗОВАНИЙ СИНТЕЗ МНОЖЕСТВА ТЕХНОЛОГІЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ	20
В.С. ПАВЛОВ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ КРИТЕРІЮ НАЙБІЛЬШОГО ДОТИЧНОГО НАПРУЖЕННЯ	25
П.Г. КАПУСТЕНСЬКИЙ, Е.А. МАНЗЮК РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ТА СТАТИЧНИХ НАТЯГІВ НИТКИ	31
Л.В. ПРИСЯЖНИЙ, О.Д. КАЗМІРЧУК, К.В. ЛІСТВИН СУЧАСНИЙ СТАН ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ФОРМУВАННЯ СЛІДУ ВЗУТТЯ	35
Д.М. БАРАНОВСЬКИЙ МАТЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕРМІНІВ ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТІВ ДИЗЕЛІВ	40
О.О. ОВЧИННИКОВ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЧЕПЛЕННЯ ЗУБЦІВ ПАСА І ШКІВА НАПІВКОЛОВОГО ПРОФІЛЮ	44
В.С. КУРСКОЙ, І.М. ПАСТУХ МЕТОДИКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ ФРЕТИНГ-КОНТАКТУ	47
А.М. ДАВИДОВ, М.В. ЛУК'ЯНЮК, І.М. ПАСТУХ АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЖИМУ АЗОТУВАННЯ В ЦИКЛІЧНО КОМУТОВАНОМУ ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ ..	50

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

О.В. ПОМОРОВА, Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, С.Я. ТАРАСЕК АНАЛІЗ ТА ОПРАЦЮВАННЯ МЕТРИК ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ	54
В.М. ЛОКАЗЮК, Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, С.А. СОЛУК МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ПРОЦЕСУ ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	63
В.Т. КОНДРАТОВ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ФУНДАМЕНТАЛЬНОСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	71
І.В. ДРАЧ, І.О. ФУРСЄВ ДИСКРЕТНА ДИНАМІЧНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ МІЖСОБИСТІСНИХ ВЗАЄМИН ВІДНОСНО УСТАНОВКИ ТЕМПЕРАМЕНТУ	85
О.Б. ОЗАДОВСЬКИЙ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПРИБЮЮ ПРИ ФОРМУВАННІ БАГАТОШАРОВИХ ТЕХНІЧНИХ ТКАНИН	90
Т.В. ГУМЕНЮК, В.Б. КРОПИВНИЦЬКА, Д.О. ТКАЧІВСЬКИЙ МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНІВ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ	94

С.М. ЛИСЕНКО, А.П. ГОНТАР, А.С. ШЕВЦОВ РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МЕТОДУ ПОШУКУ ТРОЯНСЬКИХ ПРОГРАМ В ПЕРСОНАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРАХ	98
О.А. ПАСТУХ ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ГРАФІВ З НЕЧІТКИМИ МІТКАМИ В КВАНТОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	105
Н.Г ШИРМОВСЬКА, Н.Б.ГОЛЕМБІЙОВСЬКА, Г.Я ШИРМОВСЬКИЙ, В.В.ЖУРАКІВСЬКИЙ РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ВИЯВЛЕННЯ І ВИПРАВЛЕННЯ ПОМИЛОК ПРИ КОДУВАННІ-ДЕКОДУВАННІ ПОВІДОМЛЕНЬ НА ПІДПРИЄМСТВАХ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ	109
Н.Г ШИРМОВСЬКА, К.Г ШИРМОВСЬКА ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ВІБРАЦІЇ	114
А.О. МЕЛЬНИК, І.Д. ЯКОВЛЄВА ПОБУДОВА СТРУКТУРНОЇ МАТРИЦІ ПОТОКОВОГО ГРАФА АЛГОРИТМУ З ЙОГО ОПИСУ НА РІВНІ ТРИАД	118
С.В. МОСТОВИЙ, О.Л. КОВТУН, І.В. ПРОКОПИШЕН МЕТОД ТА ЗАСОБИ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ВЗАСМОВЛОКУВАННЯ ПРОЦЕСІВ В ПЕРСОНАЛЬНОМУ КОМП'ЮТЕРІ	123
В.В. СЛАВІН АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТУРБОКОМПРЕСОРИВ	128
О.В. ГУТАК МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЇ МЕТИ ДЛЯ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН ДОЛОТАМИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ	133
В.Т. КОНДРАТОВ ТЕОРИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ: ОСНОВНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ	140
Р.П. ГРАФОВ, Р.О. ЛАДУНЕЦ, С.О. ШЕПАРСКИЙ РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА И ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТА	156
Р.П. ГРАФОВ, Д.М. ПИЛЯВЕЦ ПРИНЯТИЕ ГРУППОВОГО РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ МЕРЫ СОГЛАСИЯ ЭКСПЕРТОВ	162
В.В. РОМАНЮК ПРОГРАМНА МАТЛАВ-ФУНКЦІЯ НА ОСНОВІ ТРЬОХ ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ АДАПТАЦІЇ ДИСКРЕТНОЇ БЕЗШУМНОЇ ДУЕЛІ З КОСОСИМЕТРИЧНИМ ЯДРОМ НА ПРАВИЛЬНІЙ РЕШІТЦІ ОДИНИЧНОГО КВАДРАТА З НЕЛІНІЙНИМИ ФУНКЦІЯМИ ВЛУЧНОСТІ	167
В.М. ЛОКАЗЮК, В.Ю. ТІТОВА, Д.А. АНДРІЄВСЬКИЙ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ РОЗПІЗНАВАННЯ СИТУАЦІЙ ВЕЛИКИХ РОЗМІРНОСТЕЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНО-ЧЕРГОВИХ СЛУЖБ ОРГАНІВ ВНУТРІШНІХ СПРАВ	175
В.М. ЛОКАЗЮК, В.Ю. ТІТОВА, О.А. КОЗЛЮК НЕЙРОМЕРЕЖНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОПЕРАТИВНО-ЧЕРГОВИХ СЛУЖБ	179
Я.В. ЛИТВИНЕНКО, С.А. ЛУПЕНКО, А.С. СВЕРСТЮК ДІАГНОСТИЧНІ ОЗНАКИ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ДІАГНОСТИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ	182
О.М. БЕРЕЗЬКИЙ, Г.М. МЕЛЬНИК, Ю.М. БАТЬКО МЕТОДИ СЕГМЕНТАЦІЇ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ	188
Я.І. ЗАЯЧУК КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ВІДЦЕНТРОВИХ НАГНІТАЧІВ ПРИРОДНОГО ГАЗУ	196

Д.Д. ПЕЛЕСКО, Н.О. КУСТРА, З.Я. ШПАК МАЙЖЕ ФАКТОРИЗАЦІЯ ГЛІБЕРТОВОГО ПРОСТОРУ НА ОСНОВІ МЕТРИКИ ФРОБЕНІУСА ДЛЯ ВИРШЕННЯ ДЕЯКИХ ЗАДАЧ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ	201
В.Р. ЛЮБЧИК, М.В. МИКОЛЮК ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОХОДЖЕННЯ ГАРМОНІЙНИХ СИГНАЛІВ В ДОВГІЙ ЛІНІЇ ЗА НАЯВНОСТІ АКТИВНОГО І РЕАКТИВНОГО НАВАНТАЖЕНЬ В РІЗНИХ ТОЧКАХ ЛІНІЇ	208
В.М. КИЧАК, С.О. ЯНОВИЦЬКИЙ АНАЛІЗ МЕТОДИЧНОЇ ПОХИБКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВОГО КРИТЕРІЮ НЕБЕЗПЕКИ В БОРТОВИХ СИСТЕМАХ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ ЛІТАКІВ У ПОВІТРІ	212
А.А. ШИЯН, Ю.А. ШУЛЛЄ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК І ВИСОКОАМПЛІТУДНИХ ВІДХИЛЕНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ	215
Р.М. ДІДКОВСЬКИЙ, С.С. ГУЗНІН ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ХАОТИЧНОЇ МОДУЛЯЦІЇ З ДОДАВАННЯМ ОРТОГОНАЛІЗОВАНОЇ ЗАТРИМАНОЇ КОМПОНЕНТИ	217
ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
Г.С. ЛОБАНОВА, В.П. ЛИБА ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА УДОСКОНАЛЕНОЇ ТА ДІУЧОЇ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ВЗУТТЯ	225
А.Г. ДАНИЛКОВИЧ, А.С. БРАЇЛКО, Н.В. ОМЕЛЬЧЕНКО ВЛАСТИВОСТІ НІТРОЦЕЛЮЛОЗНИХ ПЛІВОК МОДИФІКОВАНИХ АЛКІЛКАРБОКСИЕТАНОЛАМІНОМ	231
Л.В. БУХАНЦОВА, А.А. МИЧКО АНТРОПОМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ ГОЛОВИ	234
О.І. МЕДВЕДЄВ, Р.В. РОСУЛ, В.П. ЛИБА РОБОТА ГНУЧКОГО СИЛОВОГО ЕЛЕМЕНТУ ПРИ ФОРМУВАННІ ВЕРХУ ВЗУТТЯ МЕТОДОМ ШНУРОВОЇ ЗАТЯЖКИ	238
Л.В. НАЗАРЧУК АНАЛІЗ ВІКОВОЇ ДИНАМІКИ МІНЛИВОСТІ РОЗМІРНИХ ОЗНАК, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ВЕЛИЧИНУ ТРАНСФОРМУЮЧИХ ДЕТАЛЕЙ ОДЯГУ ДЛЯ ДІТЕЙ МОЛОДШОГО ШКІЛЬНОГО ВІКУ	241
Т.Г. ШАРАН, Н.В. ПРОШИНА, В.Й. РОКИЦЬКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ НА ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ	244
О.І. ПЕРЕДРІЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРО- І ВОГНЕСТІЙКИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НАПОВНЕНИХ СИЛІЦІЕЛЕМЕНТООРГАНІЧНИХ СПОЛУК	248
В.П. КОНОВАЛ, Н.М. ОМЕЛЬЧЕНКО, В.П. КЕРНЕСИ АНТРОПОМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТОП ДІТЕЙ 15-16 РОКІВ ПІВНІЧНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ	251
І.Г. БРЮХОВА, Л.І. ТЕБЛЯШКІНА, І.О. ТКАЧЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ ЗАБРУДНЕНЬ З ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ (ПОВІДОМЛЕННЯ 1)	255
В.В. ГЕРАСИМОВ, Л.В. ЛЕГЕНЬКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВІЙСЬКОВОГО КАМУФЛЯЖУ З ВРАХУВАННЯМ ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТИВ	259
В.А. ЕВДОКИМОВА, М.Л. КУЛИГИН РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГІЇ БЕССИЛІКАТНОГО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕРОКСИДНОГО БЕЛЕННЯ ЦЕЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	263
А.Я. ГАНЗЮК, Ю.О. ЯСИНОВИЧ ДОСЛІДЖЕННЯ АДСОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ САПОНІТУ, МОДИФІКОВАНОГО КАТІОНАМИ БАГАТОВАЛЕНТНИХ МЕТАЛІВ	266

О.В. МІЩЕНКО, А.Л. СЛАВІНСЬКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІННОСТІ ПАРАМЕТРІВ ОСНОВ КОНСТРУКЦІЙ ЖІНОЧОГО ПЛЕЧОВОГО ОДЯГУ ПРИ СИЛУЕТНІЙ ТРАНСФОРМАЦІЇ	271
О.В. ПАХОЛЮК, С.В. ЯГЕЛЮК ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ФАРБУВАННЯ ЛЬОНОВІСНИХ ПЛАТТЯНО-СОРОЧКОВИХ ТКАНИН НА ЇХ СВІТЛОСТІЙКІСТЬ	275
Т.А. НАДОПТА АНАТОМО-МОРФО-ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРХУ ВЗУТТЯ З НИЗЬКИМ КАБЛУКОМ	283
Н.Г. КОЛЯДЕНКО, С.М. ЛОЗІНСЬКА РОЗРОБКА МЕТОДИКИ І УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ КРІОЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАКЕТІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ОДЯГУ	287
В.І. КОНДРАТЮК АНАЛІЗ ЕНЕРГОЄМКОСТІ ДОБУТКУ БЛОКІВ ПРИРОДНОГО КАМІННЯ	290

УДК 539.3:624.131

В.В. КОВТУН

Хмельницький національний університет

НАПРУЖЕННЯ ПО ПОТЕНЦІАЛЬНИХ ПЛОЩИНКАХ КОВЗАННЯ У СИПКОМУ СЕРЕДОВИЩІ

В статті на розвиток теорії напруженого стану розглядається розширення її положень на клас специфічних спряжених площинок, по яких є сталими відношення дотичних напружень до нормальних, тобто по них повне напруження відхиляється від нормалі на однаковий кут. Такі площинки є важливими для механіки сипких середовищ, оскільки можуть розглядатись як потенціальні площинки ковзання у сипкому середовищі.

The article deals with the theory of stress state and its influence on the class of specific conjugate planes. The ratio of tangential stress to normal one is such planes is constant, that is total stress deviates from the perpendicular at an equal angle. Such conjugate planes are important for the Mechanics of Cohesionless Medium because they may be considered to be potential shear planes in cohesionless medium.

Ключові слова: напруження, сипке середовище.

Вступ

В теорії пластичності широко використовується поняття площинок ковзання. Це площинки, по яких в момент переходу середовища у пластичний стан, в явній формі виконується умова пластичності. Для металів перехід в пластичну стадію їх деформування описується умовами пластичності Губера-Мізеса або Треска-Сен-Венана [1]. Обидві умови пов'язують перехід матеріалів у пластичний стан з компонентами девіатора напружень (з дотичними напруженнями). Нормальні ж напруження (компоненти кульового тензора) в ці умови не входять. Для плоскої задачі обидві умови переходу матеріалу у пластичний стан можна трактувати як досягнення величини максимального дотичного напруження границі текучості. Максимальне дотичне напруження виникає по площинках, нахилених до головних під кутом $p/4$. Тому саме ці ортогональні напрями асоціюються з лініями ковзання.

Умови переходу в граничний стан великої групи матеріалів, таких як гірські породи, природні ґрунти, зернисті, гранульовані, сипкі та інші структурно неоднорідні або фізично дискретні матеріали, включають в себе як компоненти девіатора, так і компоненти кульового тензора напружень.

Найбільш відомим представником цього класу є сипке середовище, напружений стан якого і є предметом описаних в статті досліджень.

Перехід сипкого середовища у граничний стан в загальному випадку описується умовою Боткіна-Шлейхера [2]

$$\frac{t_0}{s_0} = \operatorname{tg} \gamma, \quad (1)$$

де t_0, s_0 – дотичне та нормальне напруження по октаедричній площинці;

γ – граничний кут відхилення октаедричного напруження від нормалі.

Для плоскої деформації більш чітко виконується умова Мора-Кулона [3]

$$\frac{t_M}{s_M} = \operatorname{tg} j, \quad (2)$$

де t_M, s_M – дотичне та нормальне напруження, що діють по неортогональних площинках найбільшого відхилення від нормалі повного напруження P_M ;

j – кут внутрішнього тертя, максимальний кут відхилення P_M у граничній стадії.

За умовою (2) площинки ковзання у сипкому середовищі асоціюються з неортогональними площинками, по яких максимальним є відношення дотичного і нормального напружень, а не з ортогональними площинками, де виникають найбільші напруження.

Співвідношення між напруженнями по площинках ковзання для умов граничної рівноваги (статики сипкого середовища) достатньо повно досліджені В.В.Соколовським [4]. Пізніше в своїй фундаментальній монографії [5] В.В.Соколовський висловив думку про можливість побудови деформаційної теорії сипкого середовища. Для цього необхідно одержати співвідношення між напруженнями по неортогональних площинках, які в граничній стадії деформування можуть стати площинками ковзання. Частково ця ідея реалізована в докторській дисертації Ф.М.Шихієва [6]. Проте, дослідження Шихієва Ф.М. обмежились тільки площинками найбільшого відхилення.

В розвиток вказаних досліджень розглянемо важливі для побудови деформаційної моделі сипкого середовища, але недостатньо вивчені в теорії напруженого стану співвідношення між напруженнями для специфічних, спряжених площинок, до яких відносяться і площинки найбільшого відхилення.

Вихідні положення, припущення, гіпотези

1. Розглядається плоска задача сипкого середовища, яке при моделюванні напруженого стану вважається квазісуцільним.

2. Враховуючи те, що сипке середовище не сприймає розтягуючих напружень, будемо вважати додатними стискуючі напруження.

3. Для оцінки напруженого стану сипкого середовища в умовах плоскої задачі введемо два інваріанти, які включають тільки напруження в площині деформування x, y .

Перший інваріант

$$S = \frac{1}{2}(s_1 + s_2) = \frac{1}{2}(s_x + s_y), \tag{3}$$

де s_1, s_2 - головні напруження ($s_1 > s_2$);

s_x, s_y - нормальні напруження по ортогональних площинках з нормальми x і y .

Другий інваріант

$$x = \frac{s_1}{s_2}. \tag{4}$$

Легко впевнитись, що введені вирази (3), (4) є інваріантними відносно вибору системи координат і однозначно описують плоский напружений стан. Для цього достатньо визначити через них фундаментальні лінійний і квадратичний інваріанти, які для випадку плоскої задачі набувають вигляду

$$I_1 = s_x + s_y = s_1 + s_2; \tag{5}$$

$$I_2 = s_x s_y - t_{xy}^2 = s_1 s_2. \tag{6}$$

Співставивши ці вирази з (1) і (2), одержимо

$$I_1 = 2S; \tag{7}$$

$$I_2 = S^2 \frac{4x}{(1+x)^2}. \tag{8}$$

4. Введемо поняття *спряжених площинок*. Це площинки, по яких однакова величина відношення напружень, $-t/S = tg h$, або по яких повне напруження P відхиляється від нормалі на однаковий кут h .

Як легко впевнитись, наприклад, з круга Мора, який буде використовуватись і в подальших викладках, через кожну точку середовища, що знаходиться в умовах плоскої деформації, можна провести чотири (дві пари) спряжених площинок. На крузі Мора (рис. 1) їм відповідають чотири точки A, B, B', A' , відношення координат яких $t/S = tg h$ є однаковим. Точки M і M' відповідають площинкам з найбільшим відхиленням повного напруження P_m від нормалі ($h_{max} = r$), а точки a і b - головним площинкам ($h = 0$).

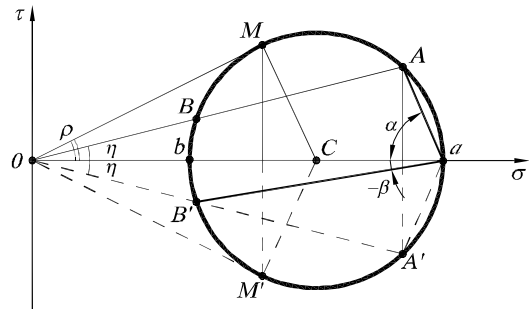


Рис. 1. Графічне представлення спряжених площинок в площині напружень

Отже широкий клас спряжених площинок включає в себе пару головних площинок ($h = 0$), а також пару важливих для механіки сипких середовищ неортогональних площинок найбільшого відхилення, для яких ($h = h_{max} = r$).

Співвідношення між напруженнями по спряжених площинках

Пара спряжених площинок aA і aB' утворюють з головною віссю s_1 кути a і $-b$ (рис. 1). Для одержання співвідношень між напруженнями по спряжених площинках розглянемо половину круга Мора з додатними координатами (рис. 2). На рис. 2 позначені дотичні t_A, t_B , нормальні s_A, s_B та повні P_A, P_B напруження по двох площинках з відхиленням повних напружень P_A, P_B на кут h .

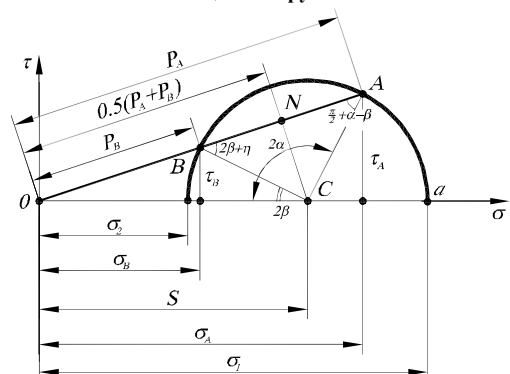


Рис. 2. До виводу співвідношень між напруженнями для спряжених площинок

Знайдемо співвідношення між цими напруженнями.

Для подальших виводів доведемо теорему.

Теорема 1. Добуток повних напружень для пари спряжених площинок є сталою величиною, що дорівнює другому інваріанту I_2 тензора напружень.

Для доведення теореми опустимо перпендикуляр CN на промінь OA (рис. 2) та запишемо очевидні співвідношення

$$P_A = \frac{P_A + P_B}{2} + \frac{P_A - P_B}{2}; \quad P_B = \frac{P_A + P_B}{2} - \frac{P_A - P_B}{2}.$$

Добуток напружень

$$P_A P_B = \left(\frac{P_A + P_B}{2} \right)^2 - \left(\frac{P_A - P_B}{2} \right)^2 = ON^2 - BN^2 = \\ = (OC^2 - CN^2) - (CB^2 - CN^2) = OC^2 - CB^2.$$

Враховуючи, що $OC = \frac{1}{2}(s_1 + s_2) = S$, а $CB = R = \frac{1}{2}(s_1 - s_2)$,

$$P_A P_B = S^2 - R^2 = s_1 \cdot s_2 = I_2 = const. \quad (9)$$

Теорема доведена.

Природньо, що одержаний для усього класу спряжених площинок вираз (9) є справедливим і для площинок з максимальним відхиленням повного напруження P_M . При $P_A = P_B = P_M$,

$$P_M^2 = S^2 - R^2 = I_2.$$

Останнє співвідношення є очевидним з рис. 1.

Наведемо необхідні для аналізу співвідношення між напруженнями по спряжених площинках, які легко одержуються з рис. 2.

$$P_A + P_B = I_1 \cos h = 2S \cos h; \quad (10)$$

$$s_A \cdot s_B = P_A \cdot P_B \cos^2 h = I_2 \cos^2 h = 2S \cos^2 h; \quad (11)$$

$$t_A \cdot t_B = P_A \cdot P_B \sin^2 h = I_2 \sin^2 h = 2S \sin^2 h; \quad (12)$$

$$s_A + s_B = I_1 \cos^2 h = 2S \cos^2 h; \quad (13)$$

$$t_A + t_B = \frac{1}{2} I_1 \sin 2h = S \sin 2h; \quad (14)$$

$$t_A \cdot s_B = t_B s_A = \frac{1}{2} I_2 \sin 2h = S \sin 2h; \quad (15)$$

$$t_A \cdot t_B + s_A \cdot s_B = I_2. \quad (16)$$

Для використання цих оригінальних виразів в інженерних розрахунках необхідно зв'язати кут h відхилення повного напруження з кутами нахилу спряжених площинок до головних.

З геометричних міркувань легко визначити вказані на рис. 2 кути.

$$\angle CBA = \angle CAB = 2b + h = \frac{1}{2}(p - (2a - 2b)).$$

Звідки випливає цікава залежність

$$a + b = \frac{p}{2} - h. \quad (17)$$

Одержана залежність дозволяє сформулювати **принцип спряженості** для загального класу спряжених площинок.

Доведемо теорему.

Теорема 2. *Повне напруження, що діє по будь-якій площинці, паралельне парній спряженій з нею площинці.*

Для доведення теореми розглянемо показану на рис. 3 пару спряжених площинок aA і aB , нахилених до головних під кутами a і b .

Площинка A складає з парною спряженою до неї площинкою B кут $a + b$. Повне напруження P_A нахилене до площинки A під кутом $\frac{p}{2} - h$. Згідно з співвідношенням (17)

$$a + b = \frac{p}{2} - h.$$

Отже, напруження P_A є паралельним площинці B . Аналогічно, напруження P_B паралельне площинці A . Доказане твердження, природньо, виконується для головних площинок і для

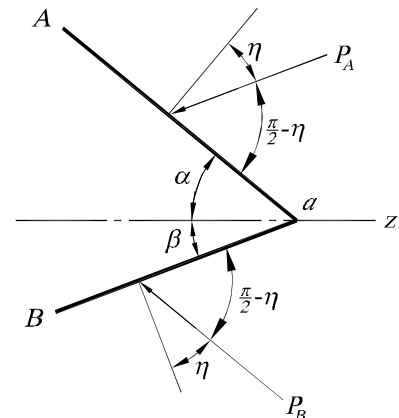


Рис. 3. Ілюстрація узагальненого принципу спряженості

симетричних неортогональних площинок максимального відхилення, які в граничному стані при $h_{\max} = j$ (рис. 4) розглядаються як площинки ковзання у сипкому середовищі. Саме для площинок ковзання С.С.Голушкевич [7] сформулював відомий принцип спряженості статки сипкого середовища. Тому одержані результати можна трактувати як розповсюдження принципу С.С.Голушкевича на більш широкий клас спряжених площинок, для яких площинки максимального відхилення є тільки частковим випадком. Співвідношення (7)...(16) між напруженнями по спряжених площинках легко зв'язати з орієнтацією цих площинок по відношенню до головних. Для цього зручно використати залежність (17) і векторні вирази $t = P \sin h$, $s = P \cos h$.

Одержані співвідношення між напруженнями по спряжених площинках, кутами їх нахилу до головних площинок і інваріантами тензора напружень наведені в таблиці 1. Паралельно в таблиці записані впливаючі з них, взагалі кажучи, відомі вирази для ортогональних головних площинок і симетричних неортогональних площинок найбільшого відхилення, які входять у сім'ю спряжених площинок.

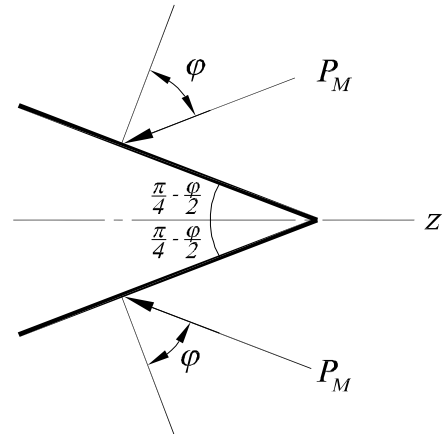


Рис. 4. Напруження по площинках максимального відхилення

Таблиця 1

Співвідношення між напруженнями та інваріантами напруженого стану

Спряжені площинки (загальний випадок)	Площинки максимального відхилення $h_{\max} = r$	Головні площинки $h = 0$
$P_A \cdot P_B = I_2$;	$P_M^2 = I_2$	$s_1 \cdot s_2 = I_2$
$P_A + P_B = I_1 \cosh = I_1 \sin(a + b)$; (18)	$P_M = \frac{1}{2} I_1 \cos r$	$s_1 + s_2 = I_2$
$s_A \cdot s_B = I_2 \cos^2 h = I_2 \sin^2(a + b)$; (19)	$s_M^2 = I_2 \cos^2 r$	$s_1 \cdot s_2 = I_2$
$t_A \cdot t_B = I_2 \sin^2 h = I_2 \cos^2(a + b)$; (20)	$t_M^2 = I_2 \sin^2 r$	-
$s_A + s_B = I_1 \cos^2 h = I_1 \sin^2(a + b)$; (21)	$s_M = \frac{1}{2} I_1 \cos^2 r$	$s_1 + s_2 = I_1$
$t_A + t_B = \frac{1}{2} I_1 \sin 2h = \frac{1}{2} I_1 \sin 2(a + b)$; (22)	$t_M = I_1 \sin 2r$	-
$t_A \cdot s_B + t_B \cdot s_A = I_2 \sin 2h = I_2 \sin 2(a + b)$; (23)	$t_M s_M = \frac{1}{2} I_2 \sin 2r$	-
$t_A \cdot t_B + s_A \cdot s_B = I_2$. (24)	$t_M^2 + s_M^2 = P_M^2 = I_2$	$s_1 \cdot s_2 = I_2$

Цікаво простежити за трансформацією спряжених площинок при зміні кута відхилення h . В загальному випадку довільному куту h відповідають дві пари спряжених площинок (рис. 5). Першу пару утворюють площинки A і B , що нахилені до головного напрямку I під кутами a і $-b$, другу – площинки A' , B' з кутами нахилу b , $-a$. При зменшенні кута h до нуля, $h \rightarrow 0$, $a \rightarrow p/2$, $b \rightarrow 0$, чотири спряжені площинки зливаються з двома головними.

При зростанні h до $h_{\max} = r$, вони переходять у дві неортогональні симетричні площинки M, M' з максимальним відхиленням повного напруження P_M на кут $h_{\max} = r$. Ці площинки нахилені до головних під кутами $p/4 \pm r/2$.

Одержані співвідношення для напружень по спряжених площинках дозволяють розв'язати пряму та обернену задачі теорії напруженого стану.

Пряма задача. Відомі головні напруження s_1, s_2 . Знайти напруження по спряжених

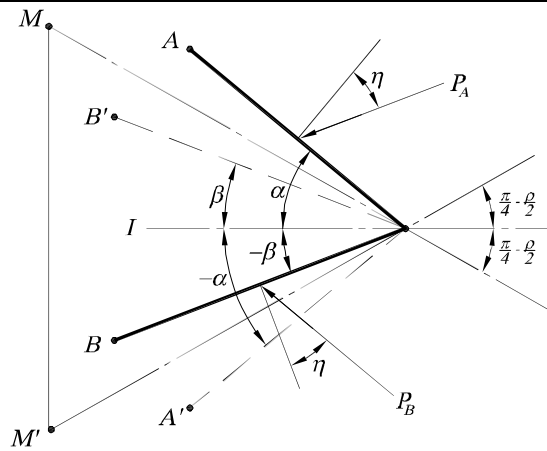


Рис. 5. Трансформація спряжених площинок

площинках з кутом відхилення h .

Графічний розв'язок легко одержати з круга Мора (див. рис. 1).

За відомими напруженнями s_1, s_2 будують круг Мора. З початку координат проводять два променя OA і OA_1 під кутом h . Координати точок A, A', B, B' у вибраному масштабі рівні нормальним і дотичним напруженням, а відрізки OA і OB – повним напруженням по спряжених площинках. Для визначення орієнтації площинок відносно головних проводять січні aA, aB через полюс a круга Мора. Спряжені площинки паралельні цим січним.

Аналітичний розв'язок.

Для знаходження повних напружень P_A і P_B використовують одержані раніше вирази (8), (10)

$$P_A P_B = I_2 = s_1 s_2;$$

$$P_A + P_B = I_1 \cos h = 2S \cosh.$$

Звідки

$$P_A = S \cosh + \sqrt{S^2 \cos^2 h - I_2}; \quad (25)$$

$$P_B = S \cosh - \sqrt{S^2 \cos^2 h - I_2}. \quad (26)$$

В явній формі повні напруження можуть бути записані через головні

$$P_A = \frac{s_1 + s_2}{2} \cosh + \frac{1}{2} \sqrt{(s_1 + s_2)^2 \cos^2 h - 4s_1 s_2}; \quad (27)$$

$$P_B = \frac{s_1 + s_2}{2} \cosh - \frac{1}{2} \sqrt{(s_1 + s_2)^2 \cos^2 h - 4s_1 s_2}, \quad (28)$$

або через напруження s_x, s_y, t_{xy} по довільних ортогональних площинках

$$P_A = \frac{s_x + s_y}{2} \cosh + \frac{1}{2} \sqrt{(s_x + s_y)^2 \cos^2 h - 4(s_x s_y - t_{xy}^2)}; \quad (29)$$

$$P_B = \frac{s_x + s_y}{2} \cosh - \frac{1}{2} \sqrt{(s_x + s_y)^2 \cos^2 h - 4(s_x s_y - t_{xy}^2)}. \quad (30)$$

Дотичні та нормальні напруження по спряжених площинках знаходять з елементарних співвідношень

$$t_A = P_A \sinh; \quad s_A = P_A \cosh;$$

$$t_B = P_B \sinh; \quad s_B = P_B \cosh.$$

Кути, що утворюють спряжені площинки з головними визначають з відомих формул теорії напруженого стану

$$\operatorname{tga} = \frac{t_A}{s_1 - s_A} = \frac{\operatorname{tgh}}{\frac{s_1 - 1}{s_A}}; \quad (31)$$

$$\operatorname{tgb} = \frac{t_A}{s_1 - s_B} = \frac{\operatorname{tgh}}{\frac{s_1 - 1}{s_B}}. \quad (32)$$

Обернена задача. Відомі напруження, що діють по площинках з кутом відхилення h . Знайти головні напруження.

Графічний розв'язок задачі є очевидним з рис. 2.

В площині напружень s, t з початку координат O проводять промінь під кутом h до осі s . Відкладаючи на ньому відрізки, рівні повним напруженням P_A і P_B , одержують точки A і B , що лежать на крузі Мора. Проводять перпендикуляр через середину відрізка AB і на перетині його з віссю s одержують точку C – центр круга. Окреслюють круг радіусом CA чи CB , абсиси точок a і b дорівнюють головним напруженням s_1, s_2 .

Аналітичний розв'язок.

Головні напруження знаходяться через параметри круга Мора з виразу

$$s_{1,2} = S \pm R, \quad (33)$$

де $S = \frac{P_1 + P_2}{2 \cosh}$, $R = \sqrt{S^2 - P_1 P_2}$.

Отже,

$$S_{1,2} = \frac{P_1 + P_2}{2 \cosh h} \pm \sqrt{\left(\frac{P_1 + P_2}{2 \cosh h}\right)^2 - P_1 P_2} . \quad (34)$$

Якщо за вихідні прийняти напруження P_M по площинках максимального відхилення, $S = \frac{P_M}{\cos r}$,

$$R = P_M \cdot \operatorname{tg} \eta$$

$$S_{1,2} = \frac{P_M}{\cos r} \pm P_M \cdot \operatorname{tg} \rho = S(1 \pm \sin r) . \quad (35)$$

Висновки

Наведені у статті результати досліджень розширюють положення теорії напруженого стану, сформульовані переважно для ортогональних напрямів, на більш загальний клас неортогональних спряжених площинок, які представляють особливий інтерес для механіки ґрунтів і сипких середовищ, оскільки можуть бути використані для формулювання деформаційної моделі сипкого середовища. Достовірність результатів обумовлюється використанням добре апробованого математичного апарату теорії напруженого стану та співпадінням результатів, одержаних для загального випадку спряжених площинок з відомими співвідношеннями для головних площинок і площинок граничної рівноваги сипкого середовища.

Література

1. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Малинин Н. Н. – М. : Машиностроение, 1975. – 400 с.
2. Боткин А. И. О прочности сыпких и хрупких материалов / А. И. Боткин // Известия научно-исследовательского института гидротехники. – 1940. – Т. 26. – С. 205–236.
3. Ковтун В. В. Экспериментальное исследование прочности песков в условиях плоской деформации / В. В. Ковтун // Труды Союзморниипроекта. Вып. 17. – М. : Транспорт, 1967. – С. 95–98.
4. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды / Соколовский В. В. – М. : Наука, 1960. – 243 с.
5. Соколовский В. В. Теория пластичности / Соколовский В. В. – М. : Высшая школа, 1969. – 608 с.
6. Шихиев Ф. М. Кинематическая теория давления ґрунтов на причальные сооружения и другие типы жестких и гибких ограждений: дис. ... доктора техн. наук : 05.22.18 / Фуад Мувсумович Шихиев. – Одесса : ОИИМФ, 1964. – 471 с.
7. Голушкевич С. С. Статика предельных состояний ґрунтовых масс / Голушкевич С. С. – М. : Гос. изд. теор. лит., 1957. – 288 с.

Надійшла 2.12.2009 р.

УДК 620. 193. 16

А.І. ГОРДЕЄВ

Хмельницький національний університет

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ПРОЕКТУВАННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІНИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ ТА ЇЇ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ

Наведено аналіз використання вібраційних коливань та кавітації у рідині. Запропоновано технологію та вібраційне обладнання для зміни властивостей води та її знезаражування. Запропоновано наукові основи загальної методики проектування вібраційного обладнання на основі гідропульсатора.

The analysis of use of vibrating fluctuations and catching in a liquid is given. It is offered technology and vibrating equipment for change of properties of water and anthemion. It is offered scientific bases of a general technique of designing of the vibrating equipment on a basis vibrating.

Ключові слова: коливання рідини, кавітація, проектування вібраційних машин.

Використання вібраційних коливань у технологіях обумовлюється потребами підвищення інтенсивності, поліпшення якісних показників, а в деяких випадках і можливістю реалізації технологічних процесів. Унікальні можливості вібраційного поля дозволяють успішно здійснювати не тільки оздоблювальну – зачисну та зміцнювальну операції, але і такі операції, як сепарація, перемішування, вібротранспортування за важких експлуатаційних умов, гомогенізація, фільтрування, сушіння, насичення середовища певними речовинами, руйнування поверхонь та ряд інших процесів. Це обумовлює ефективність застосування вібраційних технологічних машин в багатьох галузях промислового виробництва.

Розвиток вібраційних конвеєрних машин веде початок із хвильових та вібраційних конвеєрів, які виконують суто транспортні функції. Фундаментальні роботи І.І. Блехмана, І.Ф. Гончаревича, Г.Ю.

Джанелідзе, В.О. Повідайла, В.М. Потураєва, Р.І. Сіліна, А.О. Співаковського, В.Н. Франчука, К.В. Фролова, А.Г. Червоненко та інших вчених обґрунтовують теоретичні основи процесу вібраційного переміщення та конструктивні схеми вібраційних транспортних машин. Разом із переміщенням супутня обробка продукції вже здійснюється у вібраційних транспортно-технологічних машинах.

У багатьох галузях промисловості усе більш широке застосування знаходять вібраційні технологічні процеси, розроблені під керівництвом Р.Ф. Ганієва, Н.І.Кобаско, у яких використовуються багатофазні рідинні середовища. Це можуть бути розплави металів, скла і полімерів, суспензії твердих часток і газових пухирців у рідині, мілко дисперсні суспензії крапель у газоподібному чи рідкому середовищі і т.п. При здійсненні процесів, пов'язаних з необхідністю рівномірного розподілу різних фаз у рідкій основі (одержання композитів і піноматеріалів) або їхньої сепарації з рідини (дегазація і флотаційне збагачення), істотного значення набуває можливість прогнозування реакції таких систем на різного роду зовнішні періодичні впливи. Як показали раніше виконані дослідження динамічних явищ у багатофазних рідинних середовищах, що піддані керованим вібраційним впливам [1, 2], багато з них можуть бути успішно використані як для інтенсифікації зазначених процесів, так і при розробці і реалізації принципово нових технологічних прийомів, а саме зміни властивостей та знезаражування водних потоків [3-11].

Відомі наукові роботи, в яких розглядаються наведені вище технологічні машини стосуються, здебільшого, вузькоспеціалізованого різновиду обладнання. На даний час є фундаментальні праці, які присвячені теоретичним основам вібраційного руху сипкого або рідинного середовища, розрахунку вібраційних приводів, але відсутні основи проектування та практичного розрахунку вібраційних технологічних машин, де рідина є об'єктом обробки.

Дана наукова робота містить розвиток наукових основ та дослідження тенденцій розвитку конструкцій технологічного вібраційного обладнання як спеціалізованого, так і прохідного типу, в якому рідина виступає у ролі середовища-об'єкта, який піддається керованим вібраційним впливам.

На даний час накопичено чисельний експериментальний матеріал про фізико-хімічні властивості чистої води та водних систем, надійно встановлені деякі деталі будови та властивостей води, однак багато питань поки що залишається без відповіді. Власне структура та властивості чистої води визначають комплекс специфічних її властивостей як розчинника і цим відрізняють від неводних розчинників.

Відомо, що структуру звичайної води як фізичного тіла утворюють в основному не окремі її молекули, але асоціації молекул (мікрокластери), тобто багатоядерні комплексні сполучення, основу молекулярної структури яких становить об'ємний каркас-комірка з атомів безпосередньо зв'язаних між собою.

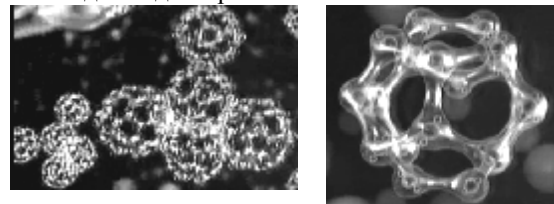


Рис. 1. Моделі кластерних структур води

Цими атомами найчастіше є перехідні метали, потім неперехідні, а також такі неметали як вуглець, бор, кремній, сірка, азот, фосфор. Деякі з цих елементів присутні у воді найчастіше у формі хімічних сполук. Саме ці атоми й виконують функцію центрів утворення вказаних комірок і, крім того, їх сполуки є шкідливими для живого організму. Молекули води та деякі інші складові її частинки мають по два електричних різнойменних рівнів за величиною точкових заряди, які знаходяться на деякій відстані один від одного, тобто вони є диполями води. Вищевказані атоми та диполі є основною причиною утворення мікрокластерної структури води. Молекули питної води зазнають в організмі структурно-орієнтаційну впорядкованість, тобто перетворення її в так звану живу воду, на що витрачається близько 70 % енергії її засвоєння організмом. Близькою до живої води за структурою є тала вода.

Відомий спосіб одержання питної води, близької за структурою до талої, який включає кип'ятіння води протягом 1-2 хвилин, різке охолодження до температури 20-30°C, заморожування, нагрівання до танення та утворення бурульки, яка містить майже всі домішки та яку видаляють з води. Цей спосіб дозволяє очистити воду від шкідливих та отруйних речовин, стерти записані в пам'ять води патологічні фактори екзогенного походження, на 3-7 % знизити вміст дейтерію та утворити структуру води, близьку до живої. Проте спосіб є малопродуктивним.

Значно продуктивнішим є відомий спосіб одержання очищеної біологічно активної питної води шляхом впливу на потік води магнітним полем, силові лінії якого перетинають потік, з наступною фільтрацією та розширенням потоку при співвідношенні основи поздовжнього перерізу, що розширений до його довжини 1,618 [12]. Магнітне поле викликає поворот диполів, які у звичайній воді розташовані хаотично, відповідно до магнітних силових ліній, тобто переорієнтовує диполі. Це призводить до зміцнення зв'язків між молекулами та часткового їх розриву, часткового стирання з пам'яті води патологічних факторів, утворення деякої структурно-орієнтаційної впорядкованості. В результаті чого змінюється структура води, іншими словами, відбувається її реструктуризація. І чим сильніше магнітне поле, тим більшу реструктуризацію воно викликає. Розширення потоку та, як наслідок, його гальмування і турбулізація спричиняють подальшу реструктуризацію води, яка тим ефективніша, чим більша довжина цього розширення. Співвідношення основи поздовжнього перерізу розширення до його довжини 1,618 сприяє формуванню впорядкованої мікроструктури води та заряджає її позитивною енергетикою.

Оброблена таким чином вода значно легше піддається впливу цілеспрямованої реструктуризації, наприклад, шляхом її пропускання через шар мінералів з льодоподібною молекулярною структурою, що

наближує структуру питної води до структури талої.

Однак в описаному способі здійснюється одноразовий вплив на воду магнітним полем та одноразовий вплив розширення потоку, що обумовлює переорієнтацію диполів в одному напрямку, тобто без їх розхитування. Наслідком цього є недостатній ступінь розриву та послаблення зв'язків між молекулами. Ангармонізм коливальних рівнів викликає фото-дисоціацію молекул води на радикали OH і H з виділенням коливальної енергії. Крім цього, різко збільшується швидкість реакції коливально збуджених молекул води з радикалами H з виділенням складових – OH , H_2 і коливальної енергії. Ці процеси насичують рідину елементами OH , O^- , O^+ , O_2 , H_2 і коливальною енергією. З іншого боку зростають електричні нестационарні сили взаємодії між сусідніми диполями, які посилюють їх коливання як цілісного об'єкту і збільшують вірогідність руйнування рідкокристалічної структури рідини.

Для підвищення ефективності цих впливів необхідно збільшити напруженість магнітного поля або довжину розширення. Проте це збільшення має обмеження, оскільки пов'язане з технічним ускладненням, а також непередбачуваністю результату його впливу на воду. Крім того, одноразовість вказаних впливів обумовлює високий ступінь зворотності реструктуризації, що, у свою чергу, призводить до часткового повернення води до попередньої структури, та як наслідок, до низького ступеня її кінцевої реструктуризації.

На даний час для знезаражування стоків використовується рідкий хлор, озон й ультрафіолет. Як правило, для цього необхідні проміжні контактні резервуари великої місткості, щоб забезпечити тривалість контакту не менше ніж 0,5 години.

Знезаражуюча дія кавітації заснована на ефектах, які виникають у турбулентних потоках рідини. Так при гідродинамічних коливаннях рідини виникають і зникають кавітаційні пухирці, при цьому стимулюються фазові переходи, підвищуються локальні температури й тиск. Крім того, у моменти утворення й зникнення кавітаційних пухирців у газонаповненій порожнині створюються умови для появи електричних зарядів, електричних і магнітних полів. У такий спосіб рідина, оброблювана кавітацією, піддається термобаричній й електромагнітній дії.

Особливість кавітаційного методу полягає в тому, що високий ступінь знезаражування води від яєць і личинок паразитів досягається за рахунок їхнього механічного розриву ударними хвилями. Для руйнування бактерій і вірусів термобаричний вплив посилюється локальною електромагнітною дією, коли наведені електричні потенціали пробивають їхні мембрани й оболонки.

Багато методів очищення, насамперед пов'язані з хімічними та біологічними методами очистки. Хімічні методи використовують хлорування в якості фундаментальної реакції. Хлорування забезпечує обеззаражування. Але хлориди, розкладаючись в воді, створюють хімічні радикали, які впливають на здоров'я людини.

Механічні та фізичні способи очистки води вільні від цих недоліків, тому механічні способи очистки води є дуже перспективними. На даний час розроблено ряд нових вібраційних машин та обладнання на основі гідропульсатора (ГП). В них вода піддається багаторазовому зворотно-поступальному проходженню (циклічній гідрокавітації) через кавітаційний пристрій (гідропульсатор) [13-16].

Встановлено аналітично умови виникнення гідрокавітації в циліндричному насадку [11] та умови зриву кільцевої порожнини у насадку: $P_2 \leq 0,38P_1$, де P_1 і P_2 – початковий і кінцевий тиски, під яким знаходиться рідина у насадку. Розроблено методологію загального синтезу вібраційного обладнання, яка показана на рис. 2.

Визначивши продуктивність обладнання та розміри гідропульсатора, частоту коливань та амплітуду коливань приводу, бажано аналітично обґрунтувати розміри робочої ємкості з точки зору створення в неї також резонансних коливань стовпа рідини, що призводить до зменшення енерговитрат.

Задача руху рідини в ємкості, яка коливається у вертикальному напрямку, призводить, як правило, до рівнянь типу:

$$\frac{d^2 q_k}{dt^2} + w_k^2 \Phi(t) q_k = 0, \quad (1)$$

де $\Phi(t)$ – функція, яка характеризує рух ємкості.

$q_k(t)$ – коефіцієнти розкладення вільної поверхні $Z(x, y, t)$ у ряд по фундаментальних функціях рівняння:

$$y(x, y) - I \iint_{S_0} H(x, y, 0, z, h, 0) y(z, h) dy dh = 0,$$

де H – функція Гріна задачі Неймана для області зайнятою рідиною; S_0 – площа вільної незбуреної поверхні; W_k – частоти власних коливань рідини, пов'язані з фундаментальними числами рівняння (1) залежністю:

$$I_k = \frac{W_k^2}{g},$$

де g – прискорення сили тяжіння.

У випадку гармонічного руху рідини у ємкості функція $\Phi(t)$ приймає вигляд $\Phi(t) = 1 - 2m \cos q t$

і рівняння (1) приймає вигляд рівняння Мат'є:

$$\frac{d^2 q_k}{dt^2} + w_k^2 (1 - 2m \cos q) q_k = 0, \quad (k = 1, 2, \dots) \quad (2)$$

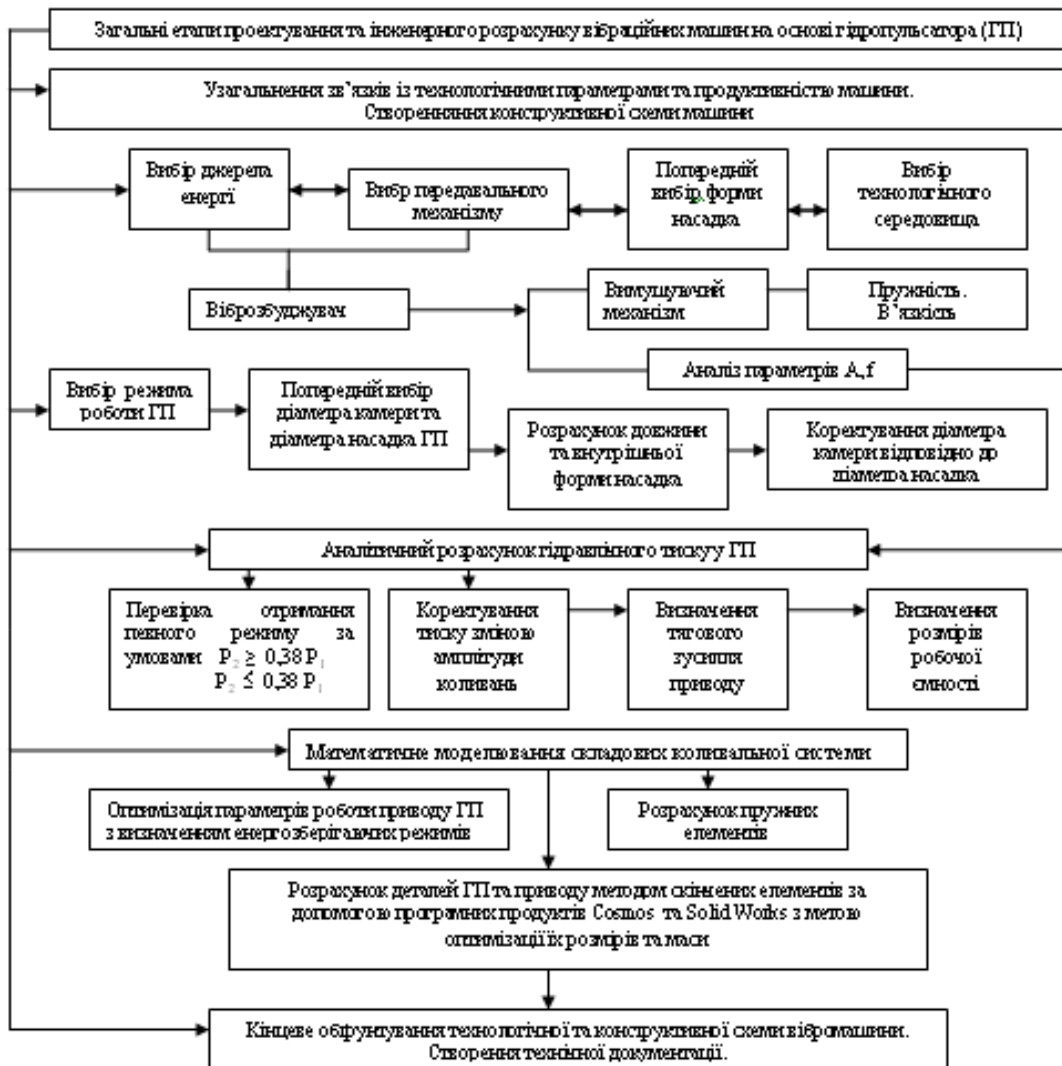


Рис. 2. Етапи проектування та інженерного розрахунку вібруючих машин на основі ГП

Згідно з рівнянням (2) в межах областей нестійкості коливання рідини зростають за експоненціальним законом. Між тим досвід показує встановлені коливання кінцевої амплітуди.

Розглянемо задачу з урахуванням в'язкості. Лінійні рівняння в'язкої рідини будуть давати асимптотичні затухаючі рішення усюди, за виключенням областей нестійкості. Але точне рішення отримати дуже складно. Рух рідини в цьому випадку не є потенційним і відповідно методи теорії малих амплітуд не можливо застосовувати.

Якісну сторону явища можливо встановити, якщо враховувати в'язкість опосередкованим шляхом. Для цього достатньо додати в рівняння (2) складові типу:

$$2e \frac{dq}{dt},$$

де e – коефіцієнт затухання, який різний для різних форм коливань.

Приблизно оцінити порядок коефіцієнта затухання можна за формулою для випадку хвиль у глибокій воді:

$$e = \frac{8p^2 n}{l^2}, \quad (3)$$

де n – коефіцієнт кінематичної в'язкості; l – довжина хвилі.

Відповідно $e \approx \frac{n}{l^2}$, де l – один з характеристичних розмірів ємності.

З урахуванням коефіцієнта затухання рівняння (2) отримує вигляд:

$$\frac{d^2 q_k}{dt^2} + 2e_k \frac{dq_k}{dt} + w_k^2 (1 - 2m \cos q t) q_k = 0. \quad (4)$$

Властивості рівняння (4) добре вивчені. Области нестійкості з урахуванням згасання декількох звужуються, а при малих m збурення коливань зовсім стає неможливим. Для області, яка лежить в межах $q = 2w$, мінімальне значення m_{\min} , при якому ще можливе збурення коливань, визначається величиною порядку e/w .

$$m_{\min} \approx \sqrt{\frac{e}{w}}. \quad (5)$$

Враховуючи, що $w \cdot l \approx V$ – характеристична швидкість, отримаємо

$$m_{\min} \approx N_{\text{Re}}^{\frac{1}{k}},$$

де $N_{\text{Re}} = \frac{V \cdot l}{\nu}$ – число Рейнольдса; $k = 1, 2, \dots$

Для прикладу розглянемо коливання прямокутної ємкості розмірами $a = b = h = 1$ м заповненою водою. Для такої ємкості маємо:

$$k = p \sqrt{\frac{p^2}{a^2} + \frac{q^2}{b^2}}, \quad (p, q = 1, 2, \dots). \quad (6)$$

При $p = q = 1$ для води при $\nu = 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ маємо $k = 0,00044 \text{ м}^{-1}$, $w = 6,6 \text{ с}^{-1}$. Коефіцієнт згасання $e \approx 1,97 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Для збудження головного резонансу ($q = 2w$) достатньо щоб $m \geq 0,596 \cdot 10^{-4}$. В перерахунку на амплітуди коливань ємкості це дає $A \geq 0,0067 \cdot 10^{-3} \text{ м}$. Для другого резонансу ($q = w$) необхідно $m \geq 0,772 \cdot 10^{-2}$, що дає амплітуду коливань $A \geq 0,0035 \text{ м}$.

Оскільки для ємкості кінцевих розмірів спектр власних частот має границі знизу, а коефіцієнт згасання згідно з (3) зростає із зменшенням довжини хвилі, слідче передбачати, що при завданих m неможливе збурення хвиль, довжина яких менше деякого значення. Дано оцінку цієї довжини, враховуючи, що $w^2 \approx \frac{p \cdot g}{l}$, використавши (3) та (5) знайдемо:

$$m_{\min} \approx \sqrt[k]{\frac{8 \cdot p^{\frac{3}{2}} \cdot \nu}{l^{\frac{3}{2}} \cdot g^{\frac{1}{2}}}}, \quad (k = 3, 2, \dots). \quad (7)$$

Звідси граничне значення хвилі

$$l_{\min} \approx 4p \cdot \sqrt[3]{\frac{\nu^2}{g \cdot m^{2k}}}, \quad (k = 1, 2, \dots). \quad (8)$$

Якщо, наприклад, $m = 0,01$ то динамічне прискорення складає $0,05g$. Тоді для води $l_{\min} \approx 0,0126 \text{ м}$. Тобто хвилі меншої довжини збурити неможливо.

Виходячи з умови рівності об'ємів рідини, яка перегікає крізь насадок з гідропульсатора до ємкості, можна записати рівняння з якого отримаємо амплітуду коливань рідини у ємкості.

$$\frac{p \cdot d^2}{4} 2A_e = \frac{p \cdot D^2}{4} 2A_z, \quad \text{звідки маємо } A_e = A_z \frac{D^2}{d^2}. \quad \text{При діаметрі камери гідропульсатора } 0,12$$

м, та амплітуді коливань $= 0,003 \text{ м}$, прийнявши мінімальну амплітуду коливань рідини у ємкості $0,0126 \text{ м}$, отримаємо максимальний діаметр ємкості:

$$d_{\max} = \sqrt{\frac{A_z \cdot D^2}{A_e}} = \sqrt{\frac{0,003 \cdot 0,12^2}{0,0126}} = 0,0585 \text{ м}. \quad (8)$$

При таких співвідношеннях параметрів (A_z, A_e, D), резонансні хвилі в стовпі, який коливається, можливо збуджувати при розмірах ємкості які менші за d_{\max} . На рис. 4 показана фотографія стовпа рідини, який коливається в робочій ємкості діаметром $0,055 \text{ м}$. Стоячі хвилі дають можливість в резонансних точках коливатися невеликим пухирцям повітря, що також додатково впливає на зміну властивостей води.

Досліди по зміні властивостей та знезаражуванню, проведені на експериментальній установці, показали збільшення рН від 6,4 (для контрольної води) до рН 6,9 (обробленою кавітаційним способом) та до рН 7,2 (при одночасному впливі кавітації та магнітного поля). Дослідження зміни складу та властивостей

води показали зниження вмісту кальцію та магнію на 22%, підвищення окислювальної здатності води на 70%, зменшення у 2,2 рази біологічної потреби кисню, а знезаражування води показало на зразках зниження кількості колоній від 63 шт. до 3 шт [3].

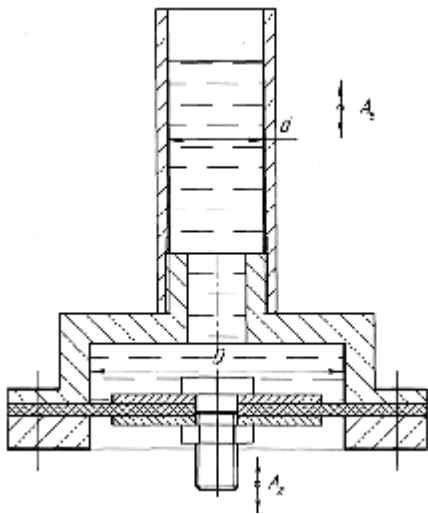


Рис. 3. Схема гідропульсатора з робочою ємкістю: d – діаметр ємкості; D – діаметр камери гідропульсатора; A_e – амплітуда коливань мембрани гідропульсатора; A_z – амплітуда коливань рідини у ємкості

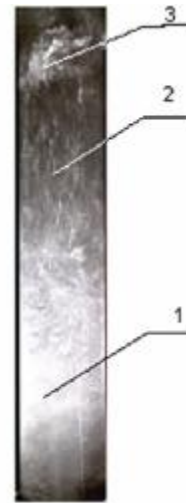


Рис. 4. Фотографія стовпа рідини, який коливається в робочій ємкості: 1 – рідина на виході з насаддя; 2 – пухирці повітря, які коливаються з рідиною; 3 – збурена поверхня рідини ($A_z = 3$ мм, $A_e = 13$ мм; $D = 120$ мм; $d = 55$ мм)

Подальшим етапом даної роботи було встановлення основних взаємозв'язків між конструктивними характеристиками та параметрами режимів роботи приводу обладнання та розробку вібраційного обладнання прохідного типу (рис. 5, рис. 6) для здійснення технології кавітаційної обробки значних по об'ємах водних потоків з метою зміни їх властивостей та знезаражування.

Вібраційне обладнання для очищення й знезаражування стічних вод працює в такий спосіб: у прийомну ємкість 1 заливають рідину, в якій можуть перебувати включення твердих фракцій відходів тваринницького виробництва, яка, проходячи через ґратчастий фільтр, звільняється від каменів і деревних включень, стікає в першу робочу ємкість 3 для обробки. При заповненні першої робочої ємкості 3 через отвори 13 в трубах рідина попадає в нижню частину труби через отвори 12 і заповнює її до певного рівня, після чого включається перший вібраційний струминний гідрокавітатор 6, відбувається перший ступінь очищення й знезаражування. Оброблена рідина відстоюється й перекачується насосом 8 у другу ємкість 3, а мулові осади відкачуються насосом 9 на просушку. Далі відбувається заповнення першої робочої ємкості 3 рідиною і її обробкою. При заповненні другої ємкості 3 включається другий вібраційний струминний гідрокавітатор 6. Після включення вібраційного приводу 16 й обертання ексцентричного вала 15, при ході поршня 11 униз, рідина виштовхується через отвори 12 нагору у вигляді затоплених струменів, при ході поршня 11 нагору створюється розрядження, і напрямком струменя рідини міняється вниз, одночасно через дросель 17 і трубку 18 втягується порція повітря, регульована дроселем 17, що дробиться на дрібні пухирці. При певних співвідношеннях розмірів поршня 11 й отворів 12, а також режимів коливального процесу виникає гідрокавітація. При коливаннях поршня 11, оброблена рідина перемішується струменями з неопрацьованою рідиною, що надходить через отвори в трубі 12. Після відстоювання оброблена рідина відкачується із другої ємкості 3 за допомогою насоса 8, а мулові осади відкачуються насосом 9 на просушку.

Біогаз, що накопичується під кришками 4, надходить по системі збору газу 5 у казан 7 і служить для розігріву оброблюваної рідини (узимку) або відбирається для інших цілей наприклад, для розігріву кормових сумішей (улітку).

Наведемо методику проектування основних розмірів елементів гідрокавітатора та параметрів роботи ексцентрикового вібраційного приводу кавітаційної установки для обробки води (рис. 8). Задамо годинний об'єм обробки води – V_2 м³/год.

Вибираємо конструкцію насаддя з гострими крайками на вході та на виході.

Розрахуємо орієнтовний внутрішній діаметр поршня гідрокавітатора, задавшись кутовою швидкістю $\omega = 90$ с⁻¹, при $A = 2$ мм та $y = 0,033$.

$$D = \sqrt[3]{\frac{V_2}{450 \cdot y \cdot \omega}} = \sqrt[3]{\frac{2,6}{450 \cdot 0,033 \cdot 80}} = 0,13 \text{ м.}$$

Знайдемо діаметр насаддя $d_n = \frac{D}{12} = \frac{0,13}{12} = 0,0108 \text{ м.}$

Тоді довжина насаддя $L_n = 5 \cdot 0,0108 = 0,054 \text{ м.}$

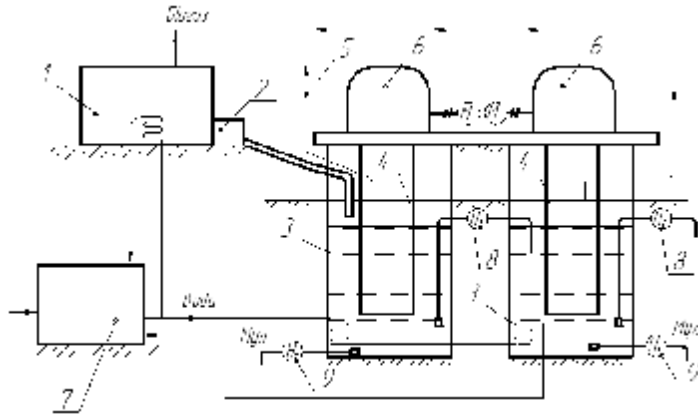


Рис. 7. Конструктивна схема вібраційного пристрою для очищення й незаражування стічних вод: 1 – ємкість для збору рідкої й твердої фракції відходів тваринницького виробництва; 2 – фільтр; 3 – ємкість; 4 – кришки; 5 – система для збору біогазу; 6 – вібраційні струминні гідрокавітатори; 7 – водяний казан і система обігріву; 8 – насос; 9 – насос для відкачки мулу

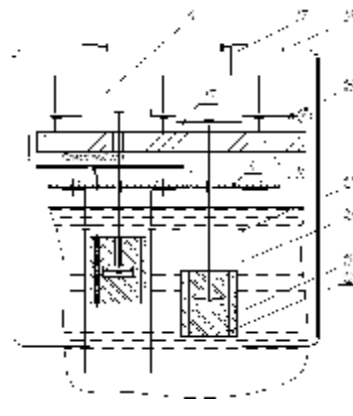


Рис. 8. Конструктивна схема вібраційного струминного гідрокавітатора: 10 – труба; 11 – поршень; 12 – отвір; 13 – отвір; 4 – кришка; 14 – плита; 15 – ексцентриковий вібраційний привід; 16 – електродвигун; 17 – повітряні дроселі; 18 – трубка

Для визначення максимального значення тиску у гідрокавітаторі підбираємо декілька значень розмірів діаметра поршня гідрокавітатора, близьких до розрахункового, та вводимо їх значення в оригінальну програму розрахунку на ЕОМ, при певних амплітудах (від 1 мм до 3 мм) із зміною частоти коливання від 8 Гц до 25 Гц.

У результаті розрахунку отримуємо залежності тиску від частоти при різних амплітудах. Задавшись амплітудою 2 мм, з розрахунків приймаємо $P_{max} = 0,18$ МПа при частоті $f = 16$ Гц, або при кутовій частоті $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 16 = 100,5$ с⁻¹.

Перерахуємо розміри поршня гідрокавітатора при отриманих значеннях.

$$D = \sqrt[3]{\frac{2,6}{450 \cdot 0,033 \cdot 100,5}} = 0,12 \text{ м.}$$

Уточнимо діаметр насадка та його довжину

$$d_n = \frac{D}{12} = \frac{0,12}{12} = 0,01 \text{ м.}, L_n = 5 \cdot 0,01 = 0,05 \text{ м.}$$

Визначимо розміри ємкості $d_{max} = \sqrt{\frac{A_e \cdot D^2}{A_e}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 120^2}{12,6}} = 48$ мм, де $A_e = I_{min} = 12,6$ мм.

Висота ємкості $H = d_{max} (8 - 12) = 384 - 576$ мм. Приймаємо 600 мм.

Визначимо зусилля на штокові $F_{дин} = \frac{p \cdot D^2}{4} P_{max} = \frac{3,14 \cdot 0,12^2}{4} 0,18 \cdot 10^6 = 2034$ Н.

Приймаємо масу рухомих частин $m = 4$ кг, тоді: $F_{ин} = m \cdot A \cdot f^2 = 4 \cdot 0,002 \cdot 16^2 = 20,1$ Н.

Тоді сумарна сила, що діє на ексцентрик, дорівнює: $F_{max} = 2034 + 20,1 = 2054,1$ Н.

Розрахуємо мінімальні розміри кінця валу під ексцентриком за формулою:

$$M_{заг} = F_{max} \cdot l,$$

де l – величина ексцентриситету, приймаємо $l = A = 0,002$ м. $M_{заг} = 2054,1 \cdot 0,002 = 4,1$ Н · м.

Тоді діаметр валу під ексцентриком: $d = \sqrt[3]{\frac{M_{заг}}{0,1 \cdot [S_{32}]}} = \sqrt[3]{\frac{4,1}{0,1 \cdot 45 \cdot 10^6}} = 0,02$ м, де $[S_{32}] = 45$ МПа.

Приймаємо діаметр валу $d = 0,025$ м.

З урахуванням мінімальної товщини стінки кулачка та ексцентриситету 2 мм приймаємо зовнішній діаметр кулачка 35 мм.

Визначаємо конструктивно довжину втулки повзуна $l = 0,04$ м, діаметр повзуна $d = 0,02$ м, приймаємо кут прикладення сили, яка зсовує $I = 10^0$. Перевіряємо умови заклинювання повзуна

$$tg I \geq \frac{1}{m(1 + \frac{2x - m \cdot d}{l})} = \frac{1}{0,16(1 + \frac{2 \cdot 0,02 - 0,16 \cdot 0,02}{0,04})} = 3,2 \cdot \quad tg I = 0,182.$$

$tg I = 0,182 < 3,2$ – заклинювання не відбудеться. Перевіримо пару втулка – повзун на стійкість проти зношування:

$$P = \frac{P_{max}}{d \cdot l} = \frac{1,8 \cdot 10^{-6}}{0,02 \cdot 0,02} = 0,0045 < [P] = 1 \text{ МПа.}$$

Розраховуємо потужність електродвигуна за формулою:

$$N = \frac{M_{заг} \cdot n}{9750} = \frac{4,1 \cdot 960}{9750} = 0,4 \text{ кВт.}$$

Вибираємо електродвигун, з урахуванням витрат на тертя у шатуні та підшипниках, А02– 12– 6, потужністю $N = 0,6$ кВт, ККД = 0,7.

Розраховуємо ефективну потужність

$$N_{ef} = 0,6 \cdot 0,7 = 0,42 \text{ кВт.}$$

Розрахунок потужності електродвигуна показав, що необхідна ефективна потужність достатня для здійснення коливань приводу.

Кавітаційний вплив на рідке середовище, за рахунок вище вказаних ефектів, дозволяє досягнути суттєвої інтенсифікації хімічних перетворень у водних потоках. Таким чином, експериментальні дослідження показали доцільність використання гідродинамічної кавітації у вібраційному обладнанні [3, 6, 10, 11].

Показана можливість інтенсифікації очистки стоячих вод у невеликих водоймах без хімічних сполук та прискорення процесів окислення та бродіння та обґрунтовано конструктивну схему вібраційного обладнання.

Запропоновані наукові підходи дозволили створити узагальнену методологію для розрахунку раціональних конструктивних і технологічних параметрів вібраційних машин для впливу на властивості води та її знезаражування.

Отримані результати можуть бути враховані при розробці технологій та конструкцій обладнання очистки стічних вод промислових, комунальних підприємств, тваринницьких комплексів та гальванотехніки.

Література

1. Ганиев Р.Ф. Исследование движения мелкодисперсных включений в колеблющемся сосуде с жидкостью, содержащей сжимаемую сферу / Р.Ф. Ганиев, В.В. Кулик, П.А. Малышев, А.С // Прикл. мех. – – 1979. – № 7. – С. 112-116.
2. Ганиев Р. Ф. Про явища локалізації і поступального переміщення газових пухирців у коливальній рідині / Р.Ф. Ганиев, Г.Н. Пучка // ДАН УССР. – 1978. – № 6. – С. 509-511.
3. Сілін Р.І. Кавітаційна обробка та її вплив на склад води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.В. Третько, І.І. Сорока // Вісник ТУП. – 2002. – № 3. – С. 253-257.
4. Сілін Р.І. Вібраційне обладнання для зміни властивостей води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // Тези доп. 7-го міжнар. симп. укр. інж. – мех. у Львові. – Львів: КІНПАТРИ ЛДТ, 2005. – С. 92.
5. Гордєєв А.І. Пристрій для кавітаційно-магнітної обробки води / А.І. Гордєєв, Б.А. Баран, А.К. Бережнюк, І.І. Сорока // Materiali III miedzynarodowej naucowi-practicznej konferencji «WIADOMOSCI NAUKOWEJ MYSLI – 2007» 01-15 listoda 2007 roku. Tym 12 Techniczne nauki. – Przemysl: Nauka I studia. – 2007. – С. 26-28.
6. Сілін Р.І. Вібраційне обладнання для гідрокавітаційного впливу на склад та властивості води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // 36. пр. I міжн. н-т. конференції «Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов» Хургада (Єгипет). – Хмельницький: ХНУ. 2007. – С. 33-35.
7. Дослідження кавітаційно-магнітного впливу на структуру води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, Б.А. Баран, Є.А. Урбанюк // Materialy IV mezinarodni vedecko – prakticka konference «Tfektivni nastroje modernich– 2008». Dil 17: Technicke vedy. – Praha: Publishing House «Education and Science». – 2008. – С. 28– 32.
8. Сілін Р.І. Кавітаційно-магнітна обробка води та вібраційне обладнання на основі гідропульсатора / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // 36. пр. II міжн. н-т. конференції «Современные достижения в науке и образовании». Нетания (Израиль). – Хмельницький: ХНУ. – 2008. – С. 46– 49.
9. Сілін Р.І. Пристрій для кавітаційно-магнітної обробки води з електромагнітним приводом / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, Є.А. Урбанюк // Materialy IV mezinarodni vedecko – prakticka konference «Nastoleni moderni vedy – 2008». Dil 9: Technicke vedy. – Praha: Publishing House «Education and Science». – 2008. – С. 12-15.
10. Сілін Р.І. Технологія та вібраційне обладнання для біологічної активації води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // 36. пр. III міжн. н-т. конференції «Современные достижения в науке и образовании». Тель-Авив (Израиль). – Хмельницький: ХНУ. – 2009. – С. 114-117.
11. Сілін Р.І. Науково-технічні основи розроблення вібромашин для впливу на властивості води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 4 (56). – С. 141 – 148.
12. Патент Росии № 2014287, МПК⁶ C02F 1/48. Оборудование и способ магнитной обработки воды / Стронкин С.П., Петров А.Я. (Россия). – Заяв. 29.04.92; опубл. 19.05.94, Бюл. № 8. – 3 с.
13. Пат. на винахід 48400 України, МПК C02F1/46. Пристрій для очистки стічної води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.О. Павлик (Україна); Технологічний ун-т Поділля. – u2001064234; заяв. 19.06.2001; опубл. 15.08.2002, Бюл. № 8. – 3 с.

14. Пат. на корисну модель 10347 України, МПК В01F5/00. Устаткування для обробки води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.В. Третько, І.І. Сорока (Україна); Хмельницький нац. ун-т. – u 200503620; заяв. 18.04.2005; опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11. – 3 с.

15. Пат. на корисну модель 25775 України, МПК В01F 5/00. Квітаційний пристрій для обробки води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв, В.В. Третько, Є.А. Урбанюк (Україна); Хмельницький нац. ун-т. – u200702555; заяв. 12.03.2006; опубл. 27.08.2007, Бюл. № 13. – 3 с.

16. Пат. на корисну модель 25811 України, МПК В01F 5/00. Вібраційний квітатор для зміни властивостей води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв, В.В. Третько, Є.А. Урбанюк (Україна); Хмельницький нац. ун-т. – u200703370; заяв. 28.03.2007; опубл. 27.08.2007, Бюл. № 13. – 3 с.

Надійшла 7.12.2009 р.

УДК 621.757; 681.52

В.Н. КОРЕНЬКОВ, В.А. ПАСЕЧНИК, А.А. СУБИН

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ МНОЖЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ ЦЕЛЕСООБРАЗНЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СБОРКИ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Рассматриваются задачи определения структуры изделия (состава и количества сборочных единиц), формирования множества технически реализуемых и технологически обоснованных последовательностей общей и узловой сборки, а также определения направлений монтажа деталей и отдельных частей изделия.

Tasks of determination of structure of products (composition and quantity of assembly units), forming of multitude of the technically realized and technologically grounded assembly sequences, and determinations of directions of editing of parts and assembly units are considered.

Ключевые слова: изделия машиностроения.

В современных условиях спрос на рынке товаров быстро изменяется, что в свою очередь, вынуждает производителя быстро переналаживать производство на выпуск новой высококачественной продукции. При таких обстоятельствах традиционные методы проектирования технологических процессов сборки (ТПС), которым свойственны сильно выраженные эвристичность и частный характер, становятся непригодными. Необходимость оперирования разнообразной по форме нечисловой информацией декларативного, нормативного и эмпирического происхождения, а также многовариантность и широкий диапазон возможных решений не дают возможности анализа полного множества альтернатив. В такой ситуации при проектировании нет гарантии, что полученный результат лучше или, по крайней мере, не хуже другого возможного результата. Как следствие – неоправданные затраты времени и материальных средств при технологической подготовке производства. Выходом из сложившегося положения является автоматизированное решение ряда технологических задач, не требующих от человека творческого подхода. При проектировании ТПС к таким задачам следует отнести, в первую очередь, синтез и анализ последовательностей сборки (ПС) изделий.

Основные положения. Автоматизация проектирования ТПС предполагает наличие соответствующих математических моделей, разработка которых требует определения свойств конструкций изделий, влияющих на последовательность их сборки. Так как ПС является последовательностью образования соединений, то в качестве основных свойств, присущих любой конструкции, возможно принять наличие физического контакта и кинематическую замкнутость групп элементов.

Любое сборочное изделие (СИ) является множеством соединенных между собой деталей. Поскольку минимальное количество элементов такого множества равно двум, то исходя из упомянутых выше свойств, допустимо существование только двух типов соединений (рис. 1).

Элементарное соединение образуют две детали, между которыми существует физический контакт (свойство С) и, по крайней мере, одна траектория взаимных перемещений $t \in T_{ij}$. А соединение обеспечивающее нераспадаемость (СОН) – две детали, кинематическая замкнутость которых обеспечивается лишь за счет сил трения (резьбовые, прессы, пластические или упругих деформаций (защелочные, шпильковые, соединения посредством стопорных колец...), сил межатомных связей (сварные) и др.

Сочетаясь в различных комбинациях, минимальные структурные единицы изделия образуют более сложные структурные элементы. Исходя из свойства кинематической замкнутости, такого рода элементы также возможно разделить только на две группы – кинематически незамкнутые (комплекты) и кинематически замкнутые – элементарные сборочные единицы (СЕ). Под элементарной СЕ понимается группа не менее трех деталей, содержащая только одно СОН, целостность которой не нарушается во время манипулирования либо выполнения технологических операций.

Исходной информацией для формализованного выявления структурных элементов, а также синтеза последовательностей их сборки является характеристика относительного расположения деталей в СИ, в

качестве которой могут выступать бинарные отношения ограничений подвижности [1]. Данная информация представляется в виде графов или матриц, отображающих возможность относительного перемещения деталей в отдельных наперед заданных направлениях. Однако в общем случае множество таких направлений является бесконечным, поэтому возникает необходимость в определении понятия *пространства перемещений* – 3D объекта, содержащего координаты всех траекторий движения одной детали относительно другой. Математически, данного рода информация может быть представлена в виде векторов (рис. 2), являющихся образующими телесного угла (в случае анализа только прямолинейных поступательных перемещений).

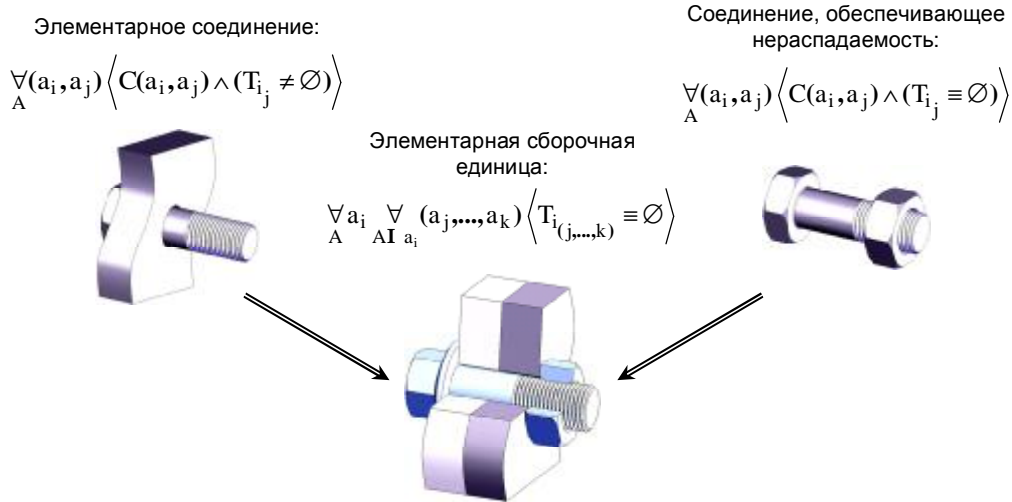


Рис. 1. Примеры элементарных структурных единиц СИ

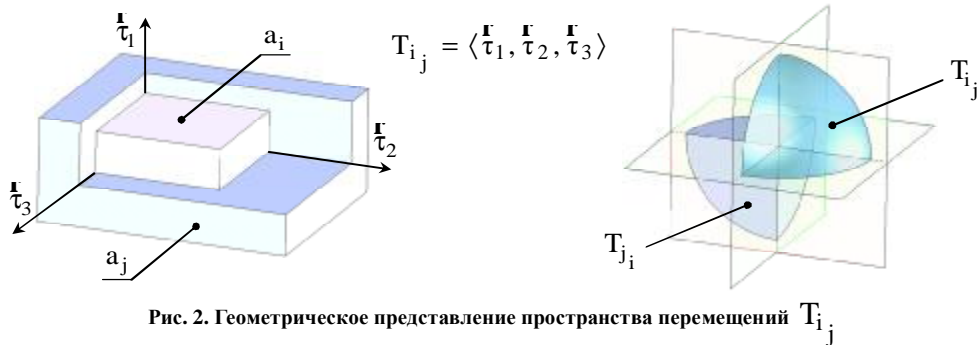


Рис. 2. Геометрическое представление пространства перемещений T_{ij}

Процедура определения пространства перемещений выполняется на основе анализа поверхностей контакта 3D моделей сборочного чертежа с последующей проверкой наличия *удаленных ограничений подвижности* (имеют место при отсутствии физического контакта между деталями [2]).

Структурный анализ изделия. Синтез последовательности сборки требует четко определенной *технологической структуры СИ* – множества иерархически подчиненных СЕ, удовлетворяющих определенному уровню дифференциации технологических операций. Основная идея при определении данного множества заключается в следующем. Так как любые СИ составляют элементарные СЕ, то исходя из определения, их кинематическое замыкание возможно только при образовании СОН на последней операции сборки. Следовательно, СОН изделия и их сочетания определяют *количество*, а множество деталей, установка которых предшествует образованию соответствующих СОН (по условию доступа), определяют *состав* всех возможных структурных единиц изделия. В качестве примера практического применения данного подхода рассмотрим синтез последовательности сборки СИ „Насос с перемещающимся камнем” (рис. 3,а).

На рис. 3,б приведена исходная матрица пространства перемещений, в которой с целью упрощения изложения дальнейшего материала предварительно занесены удаленные ограничения подвижности деталей СИ (обозначены темным цветом). Данная матрица является аналогом представления условий базирования и доступа, а каждая её непустая клетка содержит информацию о множестве направлений перемещения *i*-го элемента СИ относительно *j*-го.

Первым шагом при формировании технологической структуры изделия является определение множества сочетаний СОН. Данная задача является комбинаторной, однако ее размерность возможно существенно понизить, если учесть то, что объединение элементарных СЕ в более сложные выполняется двумя путями:

- последовательным вхождением (CE_i ограничивает перемещение по любому направлению как минимум одной детали CE_j);
- параллельным присоединением (только СОН элементарных CE_i и CE_j имеют общие детали).

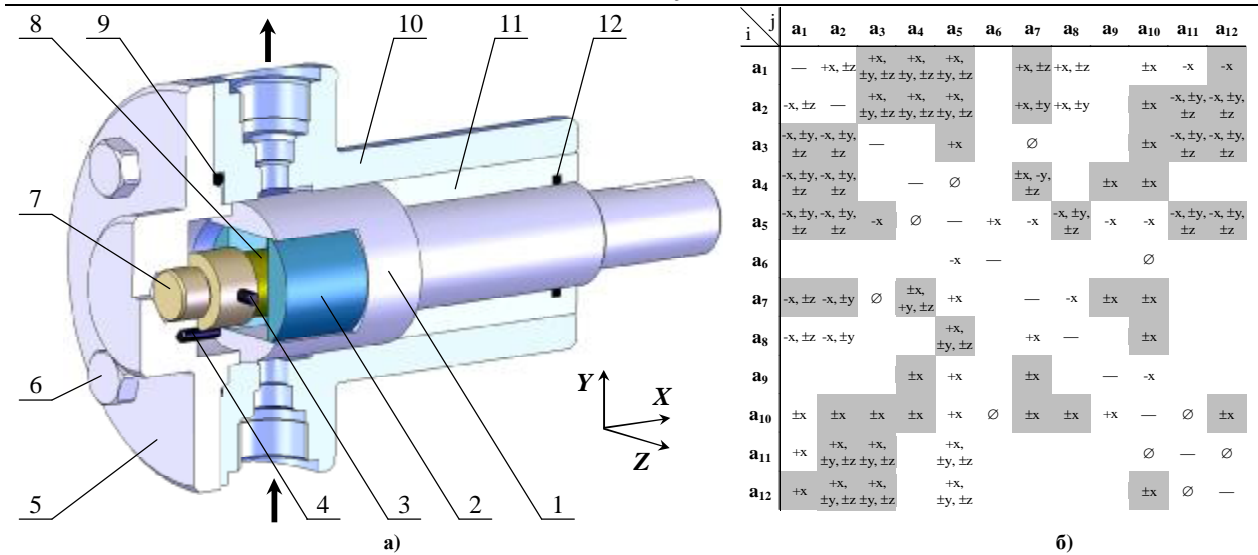


Рис. 3. Насос с перемещающимся камнем (а); исходная матрица пространства перемещений деталей СИ (б)

Поскольку в первом случае имеет место ограничение по доступу, то сборка СИ возможна лишь последовательно. Во втором случае множества деталей, установка которых предшествует образованию соответствующих СОН, не пересекаются, а, следовательно, CE_i и CE_j могут образовываться независимо (параллельно).

Именно параллельное соединение элементарных СЕ влияет на многовариантность структурных решений. Существенной его особенностью является наличие свободных для доступа поверхностей деталей СОН (т.к. эти детали устанавливаются в СИ последними). На основании данного свойства можно сделать вывод, что цепочки СОН, ко всем деталям которых нет доступа, определяют СЕ, сборка которых обязательна и должна выполняться, по крайней мере, на следующем уровне декомпозиции СИ. А СОН или их сочетания, к поверхностям деталей которых есть доступ, определяют СЕ, необходимость образования которых обуславливается заданным уровнем дифференциации операций.

В данном случае CE_0 первого уровня декомпозиции (СИ в целом) содержит СОН: $\langle a_6 - a_{10} \rangle$ – резьбовое, $\langle a_3 - a_7 \rangle$, $\langle a_4 - a_5 \rangle$, $\langle a_{10} - a_{11} \rangle$ – прессовое и $\langle a_{11} - a_{12} \rangle$ – упруго-деформируемое. Некоторые из этих соединений имеют общие детали, поэтому графически их возможно представить в виде цепочек (рис. 4,а). Среди пяти СОН имеется только одно $\langle a_6 - a_{10} \rangle$, к поверхностям деталей которого есть доступ, все же остальные СОН или цепочки будут определять совокупность СЕ второго уровня декомпозиции СИ.



Рис. 4. Цепочки СОН СИ (а); пример формирования множества возможных СЕ первого уровня декомпозиции СИ (б)

Вторым шагом структурного анализа СИ является проверка условия доступа. Деталь a_f входит в состав $CE_m = A_q^i \cup B_q^i$, если она ограничена в перемещении (поступательном) по всем направлениям множеством уже определенных элементов $(a_j, \dots, a_k) \in (A_q^i \cup B_q^i)$:

$$\forall a_f \notin (A_q^i \cup B_q^i) \quad \forall_{A_q^i \cup B_q^i} (a_j, \dots, a_k) \left(\langle T_{f(j, \dots, k)} \rangle \equiv \emptyset \rightarrow a_f \in (A_q^i \cup B_q^i) \right),$$

где B_q^i – множество деталей, установка которых предшествует образованию СОН A_q^i .

В результате выполнения данной процедуры будет получено 4 варианта СЕ (рис. 4,б) из которых возможно собрать изделие на первом уровне декомпозиции (общая сборка) и которые необходимо в дальнейшем оценить.

Особенностью любой СЕ является то, что она должна собираться отдельно – вне изделия. Следовательно, предварительно необходимо выбрать объект, относительно которого будет определяться возможность такой сборки. Подобным объектом, как правило, выступает базовый элемент – деталь или СЕ, с

установки которого начинается процесс сборки. Однако теоретически, сборку изделия возможно начинать с любой детали, поэтому базовый элемент, в соответствии со своим конструктивным или технологическим назначением, должен иметь некоторую характерную особенность.

В данной работе в качестве базового принимается элемент, обеспечивающий на всех операциях сборки СЕ неизменность схемы базирования (постоянство поверхностей, по которым происходит его установка в приспособлении). Для достижения этой цели базовый элемент должен иметь:

- внешние поверхности, которые не принимают участия в монтажных движениях других элементов;
- возможность установки по прямолинейной траектории;
- значительно большие массово-инерционные характеристики, чем любая другая присоединяемая деталь или СЕ.

Исходя из возможности автоматического ввода исходной информации, в качестве основных факторов выбора базового элемента рекомендуется принять максимальные массовую характеристику m_i и площадь f_i свободных для доступа участков поверхностей. Путем сравнения данных характеристик деталей $a_1...a_{12}$ и $CE_1...CE_4$ по показателю $z = (m_i \cdot f_i) / (m_j \cdot f_j)$, в качестве базовой для CE_0 была принята

$$CE_4 = \langle a_{10}, a_{11}, a_{12} \rangle.$$

Таким образом, определение структуры первого уровня декомпозиции СИ свелось к нахождению СЕ, не содержащих детали a_{10}, a_{11}, a_{12} базового элемента. Из приведенного на рис. 4,б множества, только CE_1 и CE_2 могут быть собраны вне изделия, а CE_3 исключается из дальнейшего анализа еще и потому, что по составу тождественна CE_0 (нарушается принцип иерархичности).

Процесс определения технологической структуры СИ является итерационным. Приведенные выше процедуры повторяются на каждом уровне декомпозиции для всех СЕ, выявленных в ходе анализа, а результат их выполнения представлен на рис. 5,а.

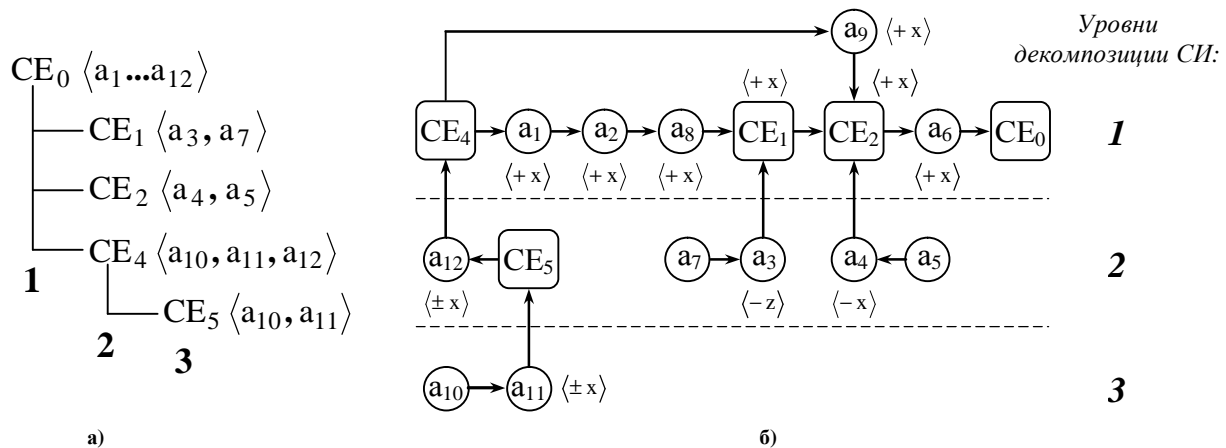


Рис. 5. Структура СИ (а); граф ПС (б)

Синтез ПС. Процедура формирования ПС выполняется в соответствии с основными положениями методики «обратного» синтеза [3, 4]. Данная методика предусматривает изначально моделирование процесса разборки изделия, чем автоматически обеспечивается выполнение условий доступа и базирования, а ПС получаются путем инвертирования последовательностей разборки.

Анализ матрицы пространства перемещений выполняется по строкам, поэтому определение множества последовательностей разборки начинается с разрушения СОН (рис. 6,а) и далее сводится к поиску элементов, имеющих общие направления удаления (рис. 6,б). Итерационный процесс поиска такого рода элементов, фиксации последовательности их удаления и поэтапного сужения матриц, соответствует процессу последовательно-параллельной разборки, который выполняется для всех СЕ, а также изделия в целом.

Результат выполнения процедуры синтеза достаточно удобно представить в виде графа (рис. 5,б) – аналога схемы сборки. Каждая дуга данного графа отображает возможность только последовательной установки элементов (деталей или СЕ), а направление стрелки указывает на номер элемента, который последним в схеме доступа замыкает пространство перемещений предшествующего элемента. В случае параллельной сборки рассматриваются одновременно несколько ветвей графа, при соблюдении условий доступа в пределах каждой из них.

С точки зрения конструктивных особенностей изделия, все приведенные на рис. 5,б ПС технически осуществимы и абсолютно равноценны. Следовательно, возникает необходимость в выборе только тех последовательностей, которые наиболее полно отвечают условиям конкретного производства, т.е. являются технологически целесообразными. Иначе говоря, дальнейшая оценка ПС возможна лишь на основе разработанного маршрутного ТПС.

Как известно, маршрутный ТПС изначально представлен упорядоченным множеством переходов:

$ТПС_k = \langle p_1, p_2, \dots, p_m \rangle$. В дальнейшем, переходы объединяются по ряду признаков, в результате чего формируется последовательность операций, которая является наилучшей, для каждого конкретного случая: $ТПС_k = \langle Q_1(p_1..p_3), Q_2(p_4), \dots, Q_n(p_j..p_m) \rangle$. Если учесть то, что технологический переход p_i – это процесс установки одного элемента, то для автоматизированного формирования маршрутного ТПС достаточно лишь дополнить граф ПС информацией о времени и необходимых для выполнения работ ресурсах. Результатом такого информационного наполнения будет сетевой график выполнения технологических переходов, методы анализа которого достаточно широко известны. На основании исходных данных возможен также не только анализ сетевого графика, но и улучшение базового варианта ТПС путем перегруппирования схемы сборки [5].

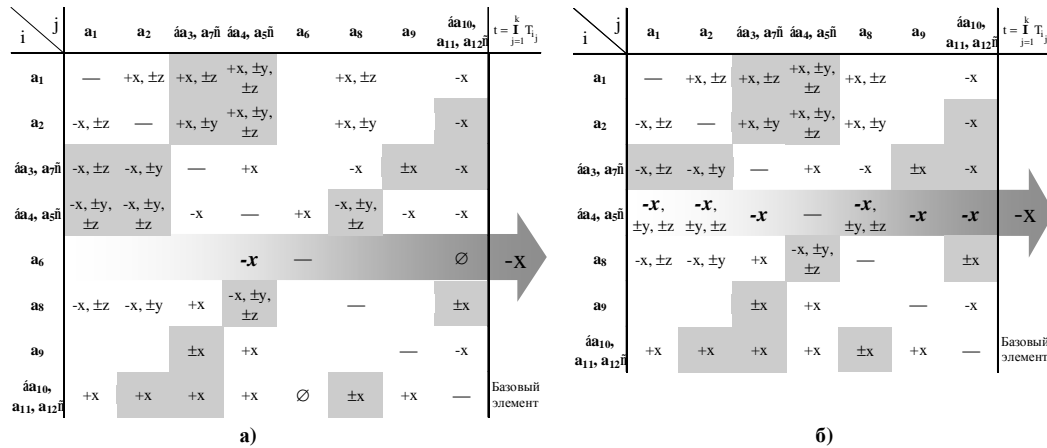


Рис. 6. Первый шаг разборки CE_0 – разрушение СОН (а); матрица пространства перемещений элементов CE_0 , суженная после удаления детали a_6 (б)

Выводы. Приведены основные положения методики автоматизированного синтеза порядков последовательно-параллельной сборки изделий. В основу методики положен принцип «обратного» проектирования, при котором синтезу ПС предшествует формирование допустимых конструкцией СИ последовательностей разборки. Процесс синтеза представлен двумя подпроцессами:

- 1) определения иерархической структуры изделий, количество и состав СЕ которых соответствует заранее заданному уровню дифференциации технологических операций;
- 2) формирования для каждой СЕ технически реализуемых ПС, с учетом направлений монтажа сборочных элементов.

К характерным особенностям методики относятся:

- возможность определения ПС изделий с произвольным количеством деталей, что обусловлено полиномиальной зависимостью процесса формирования и анализа матриц пространства перемещений от числа деталей;
- анализ всех допустимых конструкцией СИ вариантов ПС, удовлетворяющих заранее заданным ограничениям, путем исключения заведомо нецелесообразных вариантов на начальных этапах синтеза;
- полная автоматизация ввода характеристик пространственного положения деталей, при условии выполнения конструкторской документации в одной из современных 3D CAD систем;
- представление результата выполнения процедур синтеза в виде сетевых графиков, содержащих исходную информацию для дальнейшего проектирования ТПС.

Литература

1. Давыгора В.Н. Теория формализованного синтеза исходного множества альтернатив доминирующих порядков последовательно-параллельной сборки / В.Н. Давыгора, В.А. Пасечник // Вестник НТУУ «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – 2000. – № 39. – С. 55– 77.
2. Сімута Р.Р. Забезпечення якості і прискорення технологічної підготовки механоскладального виробництва: Дис: .. канд. техн. наук: 05.02.08. – К., 2003. – 174 с.
3. Давыгора В.М. Методика автоматизованого синтезу раціональних порядків складання / В.М. Давыгора // Technologia i automatyzacja montazu. – Warszawa: OBR ТЕКОМА. – 2001. – № 2. – С. 3– 10.
4. Давыгора В.М. Формалізація процесу проектування послідовності складання виробів / В.М. Давыгора, В.М. Кореньков // Вісник ЖІТІ – 2002. Спеціальний випуск. ІКТ. – 2002. – С. 132– 138
5. Кореньков В.М. Модель автоматизованого синтезу маршрутного технологічного процесу складання виробів / В.М. Кореньков // Вісник технологічного університету Поділля. Технічні науки. – 2003. – № 4. Ч.2. – С. 228– 235.

Надійшла 4.12.2009 р.

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ КРИТЕРІЮ НАЙБІЛЬШОГО ДОТИЧНОГО НАПРУЖЕННЯ

Виведено формули граничного значення критерію найбільшого дотичного напруження і коефіцієнта запасу при використанні цього критерію за спрощеного плоского напруженого стану. Формули справедливі для матеріалу в пластичному стані незалежно від характеру навантаження за простих опорів, що є компонентами складного опору.

The formulas of maximum value of criterion of most tangent tension and coefficient of supply were shown out at using of this criterion for the simplified flat tense state. Formulas are just for material in the plastic state regardless of character of loading at simple resistances which are the components of difficult resistance.

Ключові слова: коефіцієнт запасу, напруження.

Вступ

При розрахунку деталей з матеріалу в пластичному стані (надалі "з пластичного матеріалу") за складного опору, що спричиняє складний напружений стан, використовують гіпотезу найбільшого дотичного напруження [1, с.175].

Формулювання гіпотези: *руйнування пластичного матеріалу за складного опору, що спричиняє складний напружений стан (плоский чи об'ємний), настає при досягненні найбільшим дотичним напруженням граничного значення.*

Складний опір може бути статичним, циклічним або змішаним.

Статичний: всі компоненти – прості статичні опори.

Циклічний: всі компоненти – прості циклічні опори.

Змішаний: компонентами – як статичні, так і циклічні прості опори.

Мета роботи – виведення формул для визначення граничного значення критерію найбільшого дотичного напруження і коефіцієнта запасу при використанні цього критерію за складного опору, що обумовлює спрощений плоский напружений стан.

1. Виведення формул

Коефіцієнт запасу визначають за формулою:

$$n = K_L / K, \quad (1)$$

де K_L, K – максимальні значення критерію за *подібних* граничного і робочого (даного) напружених станів у небезпечній точці деталі відповідно.

Як зазначено в [1, с.173], за складного опору напружені стани подібні, якщо:

- 1) прості опори, що є компонентами складного опору, одного і того ж виду;
- 2) однакові співвідношення між максимальними напруженнями, що відповідають кожному з простих опорів, цикли напружень подібні (у разі наявності простих циклічних опорів).

Формула (1) згідно з гіпотезою найбільшого дотичного напруження набуває вигляду:

$$n = t_L / t_{\max}, \quad (2)$$

де t_L і t_{\max} – максимальні дотичні напруження за подібних граничного і робочого напружених станів в небезпечній точці деталі відповідно.

При виведенні формул використано принцип незалежності дії сил: дотичні напруження, спричинені простими деформаціями, не впливають одні на одних.

1.1. Побудова діаграми граничних дотичних напружень

Найчастіше складний напружений стан реалізується за сумісних згину і кручення. При цьому в небезпечній точці деталі (зразка) виникає спрощений плоский напружений стан (рис. 1).

Максимальне дотичне напруження в цьому разі обчислюється за формулою:

$$t_{\max} = \sqrt{(s/2)^2 + t^2}. \quad (3)$$

Із (3) видно, що t_{\max} є геометричною сумою дотичних напружень $s/2$ і t в небезпечній точці, спричинених згинальним M і крутним M_k моментами відповідно.

Максимальне t_{\max} дотичне напруження набуває граничного значення t_L при досягненні граничних значень його складниками:

$$t_L = \sqrt{(s_{\text{гп}}/2)^2 + t_{\text{гп}}^2}. \quad (4)$$

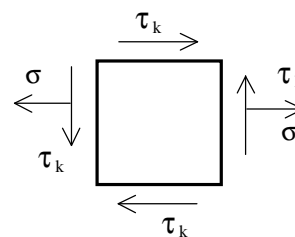


Рис. 1. Спрощений плоский напружений стан

Згідно з (2)... (4) отримаємо:

$$n = \frac{\sqrt{(s_{gp}/2)^2 + t_{gp}^2}}{\sqrt{(s/2)^2 + t^2}} \quad (5)$$

Для визначення t_L побудуємо діаграму граничних дотичних напружень (рис. 2).

Використаємо ортогональну систему координат xOy . По осі абсцис будемо відкладати дотичні напруження, спричинені крученням, по осі ординат – згином.

Введемо позначення:

$$a = t'_L = t_{LK}, \quad b = t''_L = s_L/2 \quad (6)$$

– граничні дотичні напруження за простих статичних опорів крученню і згину відповідно;

$$x = t' = t, \quad y = t'' = s/2; \quad (7)$$

$$x_{zp} = t'_{zp} = t_{zp}, \quad y_{zp} = t''_{zp} = s_{zp}/2 \quad (8)$$

– складові максимального дотичного напруження в небезпечній точці за подібних робочого (7) і граничного (8) напружених станів, спричинені простими опорами;

$$t''/t' = t''_{zp}/t'_{zp} = tga = k \quad (9)$$

– кутовий коефіцієнт прямої OM .

Відкладемо на координатних осях відрізки a і b ($a > b$), довжини яких пропорційні граничним напруженням t'_L і t''_L .

Побудуємо робочу точку M (t' ; t'').

Точка N , що зображає граничний напружений стан, подібний до робочого (т. M), є точкою перетину променя OM і граничної лінії AB діаграми.

Як видно з рис. 2, t'_{zp} і t''_{zp} – координати т. N , а граничне напруження t_L , в масштабі, – відрізок ON .

Позначимо: $t_L = ON = l$.

$b < l < a$, оскільки середньозважене значення двох і більше величин є проміжним між значеннями найменшої і найбільшої з них.

Крива $x^2 + y^2 = l^2$ другого порядку, що відсікає на координатних осях відрізки a і b , в даному разі є дугою еліпса з півосями a і b та центром O в початку координат.

Такий висновок можна зробити на підставі результатів дослідження циклічної міцності конструкційних матеріалів в умовах складного опору у вигляді згину з крученням.

Граничні амплітудні напруження s_{azp} і t_{azp} визначали за різних комбінацій змінних s_a і t_a при синфазних і синхронних симетричних циклах напружень.

Типова діаграма, побудована в координатах відносних величин s_a/s_{-1} і t_a/t_{-1} за результатами випробувань конструкційних сталей, які є пластичним матеріалом, показана на рис. 3 (крива 1). Вона відповідає дузі кола [2, с. 573].

Точки діаграми для високоміцних сталей і чавунів (крива 2), які є крихким матеріалом, знаходяться дещо ближче до початку координат.

Оскільки еліпс, побудований у відносних координатах x/a і y/b , є колом (в чому можна легко переконатись), то можна стверджувати, що:

1) рівняння граничної лінії AB (рис. 2) є рівнянням еліпса, яке в канонічній формі має вигляд:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1, \quad (10)$$

де $a = t'_L = t_{LK}$, $b = t''_L = s_L/2$ – граничні максимальні дотичні напруження при крученні і згині

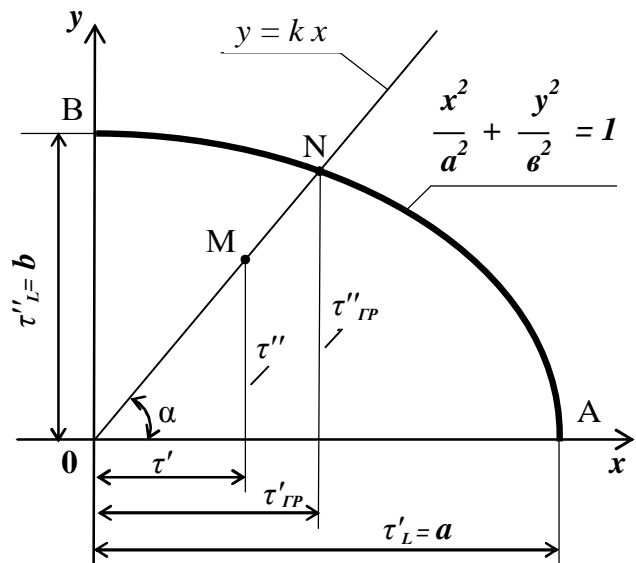


Рис. 2. Діаграма граничних дотичних напружень: точки А і В зображують граничні напружені стани за простих опорів крученню і згину відповідно; точки М і N зображують подібні робочий і граничний напружені стани відповідно;
 $tga = t''/t' = k$

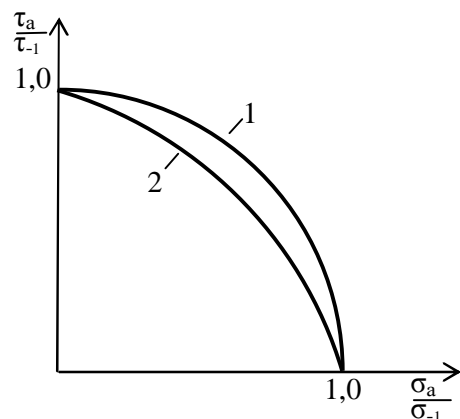


Рис. 3. Діаграми граничних напружень для: конструкційних сталей (1), високоміцних сталей і чавунів (2)

відповідно;

$$x = t'_{zp} = t_{zp}, \quad y = t''_{zp} = s_{zp} / 2 - \text{компоненти граничного дотичного напруження};$$

2) максимальне t_{\max} дотичне напруження є фактором, який має переважний вплив на міцність пластичного матеріалу. Тому t_{\max} може бути його ефективним критерієм міцності.

1.2. Визначення граничного дотичного напруження

Компоненти t'_{zp} і t''_{zp} граничного t_L дотичного напруження визначимо, розв'язавши сумісно рівняння ліній $OM(y = kx)$ і $AB(x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1)$:

$$x^2 = (t'_{zp})^2 = a^2 b^2 / (b^2 + k^2 a^2); \quad y^2 = (t''_{zp})^2 = k^2 a^2 b^2 / (b^2 + k^2 a^2). \quad (11)$$

Із (4), (7)... (11) отримаємо:

$$\begin{aligned} t_L &= \sqrt{(s_{zp}/2)^2 + t_{zp}^2} = \sqrt{(t''_{zp})^2 + (t'_{zp})^2} = ab\sqrt{1+k^2} / \sqrt{b^2+k^2a^2} = \\ &= t_{LK}(s_L/2)\sqrt{1+(t''/t')^2} / \sqrt{(s_L/2)^2 + (t''/t')^2 t_{LK}^2} \Rightarrow \\ &\Rightarrow t_L = t_{LK}(s_L/2)\sqrt{1+(s/2t)^2} / \sqrt{(s_L/2)^2 + (s/2t)^2 t_{LK}^2} \Rightarrow \\ &\Rightarrow t_L = \frac{s_L t_{LK} \sqrt{1+(s/2t)^2}}{\sqrt{s_L^2 + (s/t)^2 t_{LK}^2}}, \end{aligned} \quad (12)$$

де s_L, t_{LK} – граничні нормальне і дотичне напруження за простих деформацій згину і кручення відповідно;

s, t – нормальне і дотичне напруження в небезпечній точці, обумовлені згином і крученням відповідно.

1.3. Визначення коефіцієнта запасу

Із (2), (3), (12) отримаємо:

$$\begin{aligned} n &= \frac{t_L}{t_{\max}} = \frac{s_L t_{LK} \sqrt{1+(s/2t)^2}}{\sqrt{s_L^2 + (s/t)^2 t_{LK}^2}} \cdot \frac{1}{t \sqrt{1+(s/2t)^2}} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{t}{t_{LK}}\right)^2 + \left(\frac{s}{s_L}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_t}\right)^2 + \left(\frac{1}{n_s}\right)^2}} \Rightarrow \\ &n = \frac{n_s n_t}{\sqrt{n_s^2 + n_t^2}}, \end{aligned} \quad (13)$$

де n_s і n_t – частинні коефіцієнти запасу по нормальному і дотичному напруженням відповідно.

n_s і n_t визначають, використовуючи принцип незалежності дії сил. Тобто при обчисленні n_s не враховують дотичні напруження, а при обчисленні n_t – нормальні.

Примітки.

1) Формулу (13) використовують при статичному, циклічному і змішаному складних опорах, які обумовлюють в небезпечній точці деталі з пластичного матеріалу плоский напружений стан.

2) При обчисленні n_s і n_t потрібно пам'ятати, що граничне напруження при: а) статичному простому опорі – межа текучості s_{mp} за розтягу (s_{mc} за стиску) або $s_{mз}$ при згині і t_m при крученні; б) циклічному простому опорі – межа витривалості s_R при згині та розтязі-стиску і t_R при крученні (R – коефіцієнт несиметрії циклу напружень).

3) За наявності двох і більше простих опорів, що спричиняють лінійний напружений стан, частинний коефіцієнт запасу n_s по нормальному напруженню визначають як коефіцієнт запасу при складному опорі за формулами, наведеними в [3, с. 28].

Приклад. В поперечному перерізі стержня діаметром 20 мм діють згинальний момент $M = 60$ Нм і крутний момент $M_k = 80$ Нм.

Визначити коефіцієнт запасу n стержня.

Матеріал сталь 45: $s_{tp} = 360$ МПа; $t_t = 220$ МПа.

Розв'язання. За наявності згинального і крутного моментів в небезпечній точці перерізу круглого

стержня виникає спрощений плоский напружений стан. Сталь 45 – пластичний матеріал, тому для визначення коефіцієнта запасу використаємо критерій найбільшого дотичного напруження. Згідно з (13)

$$n = \frac{n_s n_t}{\sqrt{n_s^2 + n_t^2}}.$$

Частинні коефіцієнти $n_s = s_{T3} / s_{\max}$, $n_t = t_t / t_{\max}$.

$$s_{\max} = M / W; W = pd^3 / 32 \Rightarrow s_{\max} = 32M / pd^3 = 32 \cdot 80 \cdot 10^3 / p \cdot 20^3 = 76,4 \text{ Н/мм}^2 = 76,4 \text{ МПа}.$$

$$t_{\max} = M_k / W_p; W_p = pd^3 / 16 \Rightarrow t_{\max} = 16M_k / pd^3 = 16 \cdot 80 \cdot 10^3 / p \cdot 20^3 = 50,9 \text{ Н/мм}^2 = 50,9 \text{ МПа}.$$

Оскільки довідкових даних про межу текучості s_{T3} при згині немає, використовуємо співвідношення $s_{T3} = 1,35s_{Tp}$ [3, с. 29].

$$n_s = 1,35s_{Tp} / s_{\max} = 1,35 \cdot 360 / 76,4 = 6,36.$$

$$n_t = t_t / t_{\max} = 220 / 50,9 = 4,32.$$

$$n = 6,36 \cdot 4,32 / \sqrt{6,36^2 + 4,32^2} \Rightarrow n = 3,57.$$

Відповідь: $n = 3,57$.

Обчислюємо коефіцієнт запасу за існуючою методикою

Використаємо критерій найбільшого дотичного напруження (III-ю гіпотезу міцності).

$$n' = s_L / s_{екв}^{III}. s_L = s_{Tp}; s_{екв}^{III} = \sqrt{s^2 + 4t^2} = \sqrt{76,4^2 + 4 \cdot 50,9^2} = 123,7 \text{ МПа}.$$

$$n' = 360 / 123,7 \Rightarrow n' = 2,91.$$

Відповідь: $n' = 2,91$.

2. Обговорення результатів

Формули (12) і (13) дозволяють визначити граничне значення критерію найбільшого дотичного напруження і коефіцієнт запасу деталі з пластичного матеріалу за довільного статичного, циклічного і змішаного навантажень, що спричиняють в небезпечній точці спрощений плоский напружений стан.

Раніше формула (13) була отримана емпіричним шляхом з метою визначення коефіцієнта запасу за сумісних циклічних симетричних згину (або розтягу-стиску) і кручення.

Вихідним було положення, що за такого навантаження "із поправкою на співвідношення границь витривалості умова міцності виражається так" [2, с. 573]:

$$\sqrt{s_{a zp}^2 + \left(\frac{s_{-1}}{t_{-1}}\right)^2 t_{a zp}^2} = s_{-1}, \quad (14)$$

де $s_{a zp}$, $t_{a zp}$ – граничні значення нормального і дотичного напружень відповідно.

Після того, як вище було доведено (з використанням результатів експерименту), що гранична лінія діаграми граничних дотичних напружень має форму еліпса, можна аналітичним шляхом показати достовірність формули (14).

Доведення.

1) Побудуємо діаграму граничних дотичних напружень за сумісних циклічних симетричних згину і кручення згідно з введеними (6)... (8) позначеннями (дуга 1 еліпса на рис. 4).

Вигляд діаграми 1 і її характерні точки ідентичні діаграмі, показаній на рис. 2.

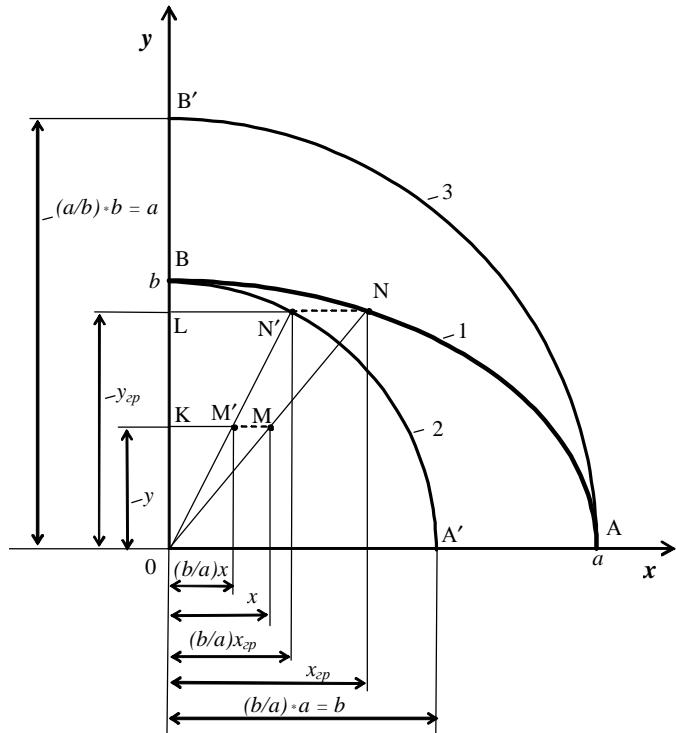


Рис. 4. Види діаграм – граничних дотичних напружень у разі пластичного матеріалу: 1 – дійсних напружень (еліпс); 2, 3 – колові діаграми еквівалентних напружень за умови рівномірного стиску еліпса 1 відносно осі у (2) і за умови його рівномірного розтягу відносно осі x (3). Позначення напружень згідно з (6)-(8)

На осі абсцис відкладено дотичні напруження, спричинені симетричним крученням, на осі ординат – симетричним згином.

Точки А і В зображають граничні дотичні напруження при симетричних крученні і згині відповідно. Координати точок: т. $A(t_{-1}; 0)$, т. $B(0; s_{-1}/2)$. $a > b$.

Точки $M(t_a = x; s_a/2 = y)$ і $N(t_{a\text{ ep}} = x_{\text{ep}}; s_{a\text{ ep}}/2 = y_{\text{ep}})$ зображають подібні робочий і граничний напружені стани відповідно.

2) Побудуємо кругову діаграму еквівалентних граничних дотичних напружень (дуга 2 кола на рис. 4).

Для цього використаємо визначення еліпса як кола, рівномірно стиснутого відносно його діаметра з коефіцієнтом стиску $g = b/a$, де $b > a$ – півосі еліпса [4, с. 56]. Більша піввісь еліпса дорівнює радіусу стиснутого кола, $a = R$.

Помноживши рівняння (10) еліпса $(x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1)$ на величину b^2 , отримаємо:

$$\left(\frac{b}{a}x\right)^2 + y^2 = b^2. \quad (15)$$

Формула (15) є рівнянням кола, отриманого рівномірним стисненням еліпса з коефіцієнтом стиску $g = b/a$ відносно його осі $2b$. Радіус кола $R' = b$.

Зауважимо, що коло радіуса $R' = b$ можна отримати шляхом рівномірного стиску кола радіуса $R = a$ відносно його двох взаємно перпендикулярних діаметрів, що збігаються з осями координат, з коефіцієнтом стиску $g = b/a$.

3) Покажемо, що діаграма 1 і кругова діаграма 2 еквівалентні в тому сенсі, що співвідношення між напруженнями в одній і тій же точці деталі за різних напружених станів, визначені з використанням цих діаграм, рівні. Отже коефіцієнт запасу, визначений за допомогою еквівалентних діаграм, однаковий.

Характеристика кругової діаграми 2.

а) Згідно з формулою (15) гранична лінія діаграми – дуга $A'B$ кола (рис. 4) радіуса $R' = b = s_{-1}/2$.

б) Точкам А і N, що зображають граничні напружені стани в діаграмі 1, в круговій діаграмі відповідають точки А' і N'.

в) Оскільки стиск діаграми 1 відносно осі ординат рівномірний, то абсциса довільної точки її площі вкорочується однаковою мірою, пропорційно коефіцієнту стиску $g = b/a$. Тобто переміщення довільної точки прямо пропорційне її абсцисі.

Тому можна записати (див. рис. 4):

$$\frac{NN'}{LN} = \frac{MM'}{KM} \Rightarrow \frac{NN'}{MM'} = \frac{LN'}{KM'}.$$

Отже точки M' і N' лежать на одному і тому ж промені, проведеному з початку координат, а трикутники ONN' і OMM' подібні. Коефіцієнт запасу можна визначити як відношення відповідних сторін цих трикутників:

$$n = \frac{ON}{OM} = \frac{ON'}{OM'}. \quad (16)$$

Дійсне значення граничного напруження, що зображає відрізок ON в діаграмі 1, обчислюється за формулою (12). А коефіцієнт запасу $n = ON/OM$ – за формулою (13).

Еквівалентне граничне напруження в круговій діаграмі 2 зображає відрізок ON' .

$$ON' = b = s_{-1}/2.$$

Виразимо граничне напруження, зображене відрізком ON' , через його складники. Згідно з рис. 4

$$ON' = \sqrt{y_{\text{ep}}^2 + (b/a)x_{\text{ep}}^2} \Rightarrow \frac{s_{-1}}{2} = \sqrt{\left(\frac{s_{a\text{ ep}}}{2}\right)^2 + \left(\frac{s_{-1}/2}{t_{-1}}\right)^2 t_{a\text{ ep}}^2}. \quad (a)$$

Із (a) отримаємо формулу (14):

$$\sqrt{s_{a\text{ ep}}^2 + \left(\frac{s_{-1}}{t_{-1}}\right)^2 t_{a\text{ ep}}^2} = s_{-1}.$$

Виведення формули (13) коефіцієнта запасу з використанням кругової діаграми 2. Згідно з (16) і рис. 4

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{ON'}{OM'} = \frac{s_{-1}/2}{\sqrt{\left(\frac{s_a}{2}\right)^2 + \left(\frac{s_{-1}/2}{t_{-1}}\right)^2} t_a^2} = \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{s_a}{s_{-1}}\right)^2 + \left(\frac{t_a}{t_{-1}}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{n_s}\right)^2 + \left(\frac{1}{n_t}\right)^2}} \Rightarrow \\
 n &= \frac{n_s n_t}{\sqrt{n_s^2 + n_t^2}}.
 \end{aligned}$$

Що й треба було довести.

Слід зауважити, що формулу (13) можна вивести також з використанням кругової діаграми, отриманої шляхом рівномірного розтягу еліпса відносно його більшої осі $2a$ при коефіцієнті розтягу $b = a/b$ (діаграма 3 на рис. 4).

Рівняння граничного кола діаграми 3 отримаємо, помноживши рівняння (10) на величину a^2 :

$$x^2 + \left(\frac{a}{b}y\right)^2 = a^2. \quad (17)$$

Його радіус дорівнює більшій півосі еліпса:

$$R = a.$$

Примітка. Рівномірний розтяг еліпса відносно його більшої осі з коефіцієнтом розтягу $b = a/b$ є операцією, оберненою відносно операції утворення еліпса шляхом рівномірного стиснення кола з коефіцієнтом стиску $g = b/a$.

Запишемо, аналогічно з формулою (14), умову настання граничного стану у вигляді:

$$n \sqrt{\left(\frac{t_{-1}}{s_{-1}}\right)^2 s_a^2 + t_a^2} = t_{-1}, \quad (18)$$

де s_a, t_a – відповідно робочі амплітудні нормальне і дотичне напруження в небезпечній точці деталі при циклічному симетричному навантаженні;

n – коефіцієнт запасу.

Із (18) отримаємо:

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{t_{-1}}{\sqrt{\left(\frac{t_{-1}}{s_{-1}}\right)^2 s_a^2 + t_a^2}} = \frac{t_{-1}}{\sqrt{\left(\frac{s_a}{s_{-1}}\right)^2 + \left(\frac{t_a}{t_{-1}}\right)^2}} \Rightarrow \\
 n &= \frac{n_s n_t}{\sqrt{n_s^2 + n_t^2}}.
 \end{aligned}$$

Варто зауважити, що вигляд формули (13), її фізична суть і виведення не залежать від характеру навантаження за простих опорів, що є компонентами складного опору. Статичні навантаження, циклічні (симетричні або несиметричні) чи змішані. Оскільки частинний коефіцієнт запасу визначають за кожного простого опору незалежно від інших простих опорів. Основною є вимога подібності граничного і робочого напружених станів за складного опору.

Тому ефективно використання формули (13) в інженерній практиці при несиметричних циклах напружень [5] є закономірним. Можна додати: як і при статичних чи змішаних складних опорах.

Разом з тим, саме циклічний характер навантаження дає можливість експериментально встановити форму діаграми граничних дотичних напружень. Оскільки при такому навантаженні перевищення граничного напруження (межі витривалості) супроводжується руйнуванням зразка у вигляді його поділу на дві частини внаслідок росту тріщини втомі.

У разі пластичного матеріалу діаграма має форму еліпса. У відносних координатах s_a/s_{-1} і t_a/t_{-1} це дуга кола (крива 1 на рис. 3).

Встановлення цього факту дає можливість аналітично вивести формулу коефіцієнта запасу деталі з пластичного матеріалу.

В разі крихкого матеріалу діаграма відрізняється від еліпса: у відносних координатах вона не збігається з дугою кола (крива 2 на рис. 3).

Тому використання формули (13) для визначення коефіцієнта запасу деталі з крихкого матеріалу

неминуче призведе до похибки.

Як буде показано в окремій роботі, ця похибка (в сторону завищення дійсного коефіцієнта запасу) може бути суттєвою.

Висновки

1. Гранична лінія діаграми граничних дотичних напружень у разі пластичного матеріалу є еліпс.
2. Виведено формули граничного значення критерію найбільшого дотичного напруження і коефіцієнта запасу при використанні цього критерію за спрощеного плоского напруженого стану.
3. Виведені формули справедливі для матеріалу в пластичному стані незалежно від характеру навантаження за простих опорів, що є компонентами складного опору.
4. Виведена формула коефіцієнта запасу збігається з формулою, побудованою емпіричним шляхом для визначення коефіцієнта запасу при симетричному циклічному навантаженні.

Література

1. Павлов В.С. Вибір критерію міцності в машинобудуванні // Вісник Хмельницького національного університету. – технічні науки. – 2006. – № 6. – С. 172-176.
2. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів, підручник / За ред. Г.С.Писаренка. – К.: Вища школа, 1993. – 655 с.
3. Павлов В.С. Визначення коефіцієнта запасу міцності при циклічному і змішаному складних опорах, що спричиняють лінійний напружений стан. Статичні компоненти складного опору – опори додатним лінійним деформаціям // Вісник Хмельницького національного університету. – технічні науки. – 2008. – № 6. – С.28-35.
4. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1993. – 872 с.
5. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.

Надійшла 23.12.2009 р.

УДК 687.053

П.Г. КАПУСТЕНСЬКИЙ, Е.А. МАНЗЮК
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ТА СТАТИЧНИХ НАТЯГІВ НИТКИ

Запропоновано технічне рішення визначення натягів нитки в статичних та динамічних режимах. Розроблена конструкція системи вимірювання, яка дозволяє розширити експлуатаційні можливості існуючих вимірювальних пристроїв не вносячи суттєвих змін у конструкцію існуючих пристроїв. Встановлено основні залежності та співвідношення для розрахунку і проектування запропонованого рішення та визначення динамічного натягу нитки. Математично обґрунтовано проектування передаючих елементів системи вимірювання, що дозволили в значній мірі підвищити точність вимірювальної системи.

Technical solution definition of thread tension in static and dynamic modes. The developed measurement system design that enables greater operational capabilities of existing measuring devices are not making significant changes in the structure of existing devices. The basic relationship of dependency and to calculate and design the proposed solution and determine the dynamic tension of the thread. Mathematically grounded design elements of the transmission measurement, which allowed greatly improve the accuracy of the measuring system.

Ключові слова: вимірювання натягу нитки, тестер натягу, система контролю натягу.

Постановка проблеми.

Експлуатація, ремонт та налагоджування роботи швейного, трикотажного та текстильного обладнання супроводжуються обов'язковою операцією регулювання натягу голкової, човникової нитки чи нитки петельника, що дозволяє забезпечити правильне переплетення ниток. Якість строчки в значній мірі залежить не тільки від натягу нитки але і від стабільності цієї величини, на яку впливає не тільки якість самої нитки, але і експлуатаційна надійність систем натягування та її переміщення. Так, в переважній більшості швейних машин, натяг голкової нитки здійснюється за допомогою тарільчатого регулятора, а натяг човникової нитки – за допомогою регулювання пластинчастої пружини шпульного ковпачка. Методика регулювання натягу цих ниток базується на досвіді та кваліфікації робітника, і здійснюється на декількох тестових сточуваннях клаптиків матеріалів, які в подальшому і будуть зшиватися. Кінцеве значення натягу ниток залишається невідомим, оскільки кількісна оцінка відсутня. Таку методику можна вважати дієвою та можливою тільки для застосування у випадку індивідуальної експлуатації швейної машини, однак, неефективною для промислового застосування та, особливо, для встановлення натягу ниток у багатоголкових машинах, де необхідно встановити однаковий натяг для усіх ниток. Існують залежності між натягами голкової та човникової ниток. Зміна експлуатаційних параметрів роботи одного з механізмів

натягу призводить до порушення технології зшивання, вихід з якого знаходять шляхом переналаштування сумісного механізму натягування, при невстановленні самої поломки та її причини, що може призвести до виходу з ладу цих систем та роботи машини в цілому. В той же час, кількісна зміна натягу нитки в процесі експлуатації може бути одним з критеріїв визначення експлуатаційної надійності систем натягу та переміщення нитки. Це дозволить провести стандартизацію систем натягів нитки та систем їх тестування і визначення критеріїв виходу з ладу та зниження експлуатаційних характеристик. Тому, розробка та проектування систем динамічного та статичного визначення натягу нитки є необхідного та нагальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Найбільш простими пристроями для вимірювання з невеликою точністю є пружні динамометри та набір важків. Цей спосіб використовують в лабораторних умовах в зв'язку із складністю здійснення вимірювань [1]. Подальшим розвитком систем вимірювання, в основі яких лежить динамометр, є прилади МТ-320 та DX2-20K-L. DX2-20K-L має стрілочний динамометр, механізм вимірювання складається з системи роликів. Значну розповсюдженість знайшли пристрої, в конструкції яких використовуються тензодатчики. Прикладом таких технічних рішень є пристрій для вимірювання натягу ІН-642, тестер натягу експресивного типу МТ 310, система контролю натягу СКН, тестер натягу МТ 512. Різноманіття пристроїв вимірювання натягів обумовлене сферою та способом використання пристрою, величиною натягів, які необхідно вимірювати, міцністю нитки та іншими факторами. Існує ряд пристроїв для вимірювання натягу статичної нитки та нитки в протяжці, наприклад НН-1 [1-4]. Принцип роботи базується на практичному застосуванні теорії загальмованого двигуна та полягає у вимірюванні складової струму якоря мікроелектродвигуна, який виникає при навантаженні його натягнутою ниткою, або ниткою, яка намотується на котушку вимірювального пристрою. Таким чином, існує ряд технічних пристроїв для вимірювання натягу нитки в певних режимах.

На нашу думку можна виділити три характерних режими вимірювання натягу нитки. Перший з них полягає в тому, що натяг нитки вимірюється в статиці, визначається величина зусилля при якому нитка приводиться в рух. Інший, коли натяг нитки вимірюється в протяжці, натяг нитки вимірюється під час її протягування через систему нитководів, тобто під час руху нитки. В цих методах вимірювання натягу здійснюється з прикріпленням вільного кінця нитки до вимірювального пристрою. Третій режим вимірювань – при експлуатації машини в робочому режимі. Таким чином в третьому режимі визначається робоче навантаження нитки та його зміна під час роботи машини. Базуючись на існуванні таких режимів вимірювання натягу нитки, є доцільним та необхідним розроблення вимірювального пристрою, який би дозволяв здійснювати вимірювання натягу нитки у цих режимах, працював надійно та з належною точністю як при статичних, так і при динамічних режимах роботи нитки. На нашу думку існує принципова можливість розробки конструкцій універсального вимірювального пристрою з належною експлуатаційною надійністю, простотою експлуатації та точністю вимірювань.

Формулювання цілі статті.

Розробка технічних рішень, які б дозволили визначити натяг нитки у кількісній оцінці. Конструкція пристрою повинна характеризуватись простотою експлуатації та надійністю і точністю вимірювань як статичних, так і динамічних навантажень, охоплювати весь спектр необхідних вимірювань натягів нитки при налаштуванні швейних, текстильних та трикотажних машин. Також проведення теоретичних досліджень в напрямку розробки математичних розрахунків та обґрунтувань вибраних конструкційних рішень.

Виклад основного матеріалу.

Розглянемо конструкцію пристрою для вимірювання натягу нитки НН-1 з метою розширення його функціональності. Прилад застосовується для визначення натягу рухомої нитки в протяжці, а також нитки, яка знаходиться в стані спокою. В основу дії покладено вимірювання зміни складової струму якоря мікроелектродвигуна, яка виникає при навантаженні його натягнутою ниткою.

Прилад спроектований в єдиному корпусі. Як вузол вимірювального пристрою використовується одноступеневий черв'ячний редуктор. Цей редуктор 3 через еластичну муфту 2 приєднується до електродвигуна 1 (рис. 1). На вихідному валу редуктора розташований приймальний шків 4. Для визначення натягу необхідно на кінці нитки зав'язати петельку та одягнути на приймальну котушку.

Таку конструкцію пристрою можна вдосконалити з метою його використання для вимірювання динамічних навантажень нитки. Це дозволить розширити функціональні можливості пристрою та вдосконалити в напрямку універсальності використання. На рис. 2 подано кінематичну схему вимірювального пристрою з системою для вимірювання динамічного натягу нитки. Конструкція існуючого пристрою не змінена. Вона доповнена елементами конструкційного рішення для забезпечення вимірювань динамічних навантажень нитки.

Шків 4 контактує з гальмівними колодками 5 (див. рис. 2), відсутність контакту зі шківом у вільному стані яких забезпечується за допомогою пружини 6. Приведення в робоче положення колодок здійснюється за допомогою зубчатого колеса 7, який містить паз спеціальної форми, куди входить штифт. Форма паза забезпечує радіальне переміщення штифту при обертанні зубчатого колеса. Штифт та зубчате колесо з'єднані з гальмівними колодками, тому радіальне переміщення штифту спричинює переміщення колодок та їхній контакт із шківом. Зубчате колесо 7 з'єднане із зубчатою рейкою 8, до якої приєднаний

ролик 9. Вимірювальний пристрій працює таким чином: ролик 9 своєю робочою частиною контактує з ниткою. Під час роботи швейної машини нитка піддається динамічному натягу, що спричиняє переміщення ролика 9 разом із зубчатою рейкою 8. Рейка переміщуючись обертає зубчате колесо 7, в паз якого входить штифт, радіальне переміщення якого зумовлює контактування гальмівних колодок 5 із шківом 4, гальмуючи при цьому його обертання. Таким чином, доповнення конструкції вимірювального пристрою дозволяє забезпечити вимірювання динамічних навантажень. Таке технічне рішення не змінює конструкції існуючого пристрою та розширює його функціональність. Практичне втілення запропонованого рішення може бути реалізовано як пристрій-приставка до існуючої вимірювальної системи.

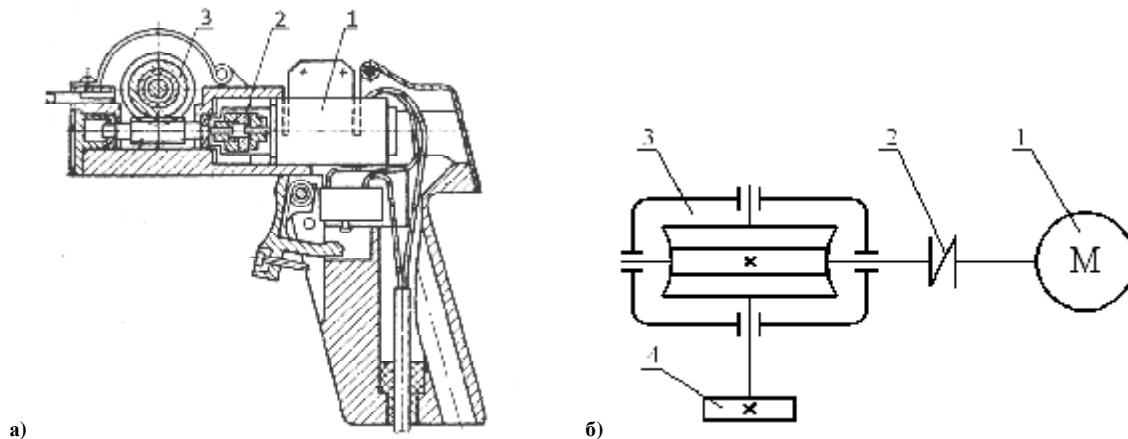


Рис. 1. Прилад для вимірювання натягу нитки НН-1:
 1 – електродвигун; 2 – муфта; 3 – одноступеневий черв'ячний редуктор; 4 – шків;
 а) конструкція вимірювального пристрою; б) кінематична схема вимірювального пристрою

Для забезпечення необхідної точності вимірювань необхідно мінімізувати вплив сили стиснутої пружини на кількісну величину вимірюваного динамічного навантаження. Найбільш раціонально це можна реалізувати забезпечивши константну величину дії сили холостого налаштування роботи пристрою. Зі сторони вимірювального пристрою на нитку буде діяти константна сила $F_k = const$ незалежно від величини переміщення зубчатої рейки упродовж вибирання зазору між гальмівними колодками та шківом. Це дозволить врахувати кількісну величину константної сили при вимірюванні динамічного натягу. Для забезпечення константності сили незалежно від величини стиснення пружини необхідно спроектувати форму поверхні пазу зубчатого колеса по якій переміщується штифт таким чином, щоб конструкція системи передачі зусилля натягу нитки дозволяла компенсувати збільшення дії на вимірювальну систему сили, яка виникає при стисненні пружини.

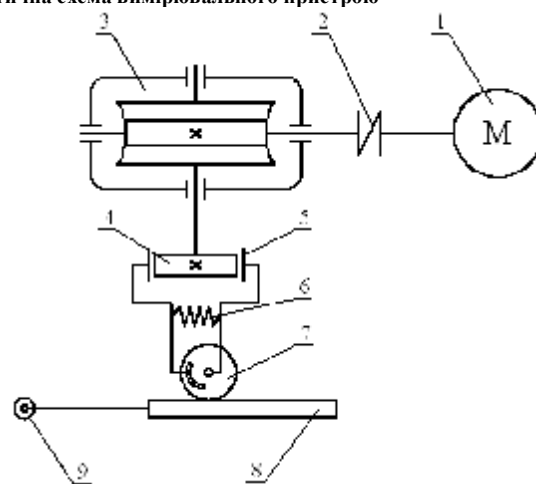


Рис. 2. Кінематична схема вимірювального пристрою з системою для вимірювання динамічного натягу нитки:
 1 – електродвигун; 2 – муфта; 3 – одноступеневий черв'ячний редуктор; 4 – шків; 5 – гальмівні колодки; 6 – пружина; 7 – зубчате колесо; 8 – зубчата рейка; 9 – ролик

Розглянемо сили, які діють при переміщенні штифта 2 у пазу 3 зубчатого колеса 1 (рис. 3), та спроектуємо їх на вісь Ox .

$$\sum F_x = F_{TP} \cos a + F_r \sin a - F = 0, \quad (1)$$

де F_{TP} – сила тертя між поверхнею штифта та поверхнею пазу зубчатого колеса;

F_r – сила реакції поверхні пазу;

F – сила з якою штифт діє на поверхню пазу;

a – кут між дотичною до поверхні пазу, яка проходить через точку контакту пазу та штифта, та віссю Ox .

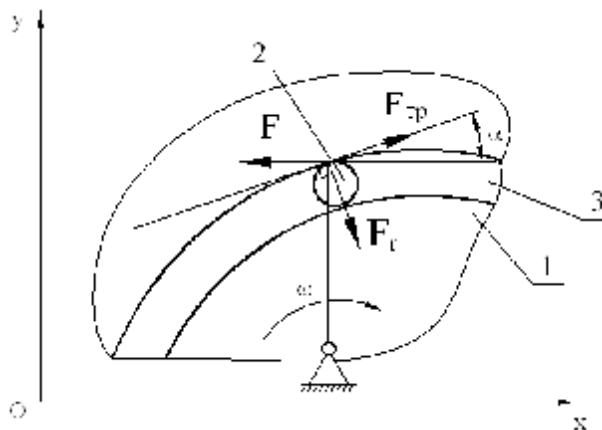


Рис. 3. Розрахункова схема системи передачі вимірювального приладу: 1 – зубчате колесо; 2 – штифт; 3 – паз зубчатого колеса

Виконавши необхідні перетворення та підстановки $F_{TP} = fF_r$, одержимо залежність для визначення сили реакції поверхні пазу колеса.

$$F_r = \frac{F}{f \cos a + \sin a}, \quad (2)$$

де f – коефіцієнт тертя між поверхнею пазу та поверхнею штифта.

Визначимо вплив сили стиснутої пружини на силу F_r .

$$F_r = \frac{F_{np}}{\cos a} = \frac{k\Delta l}{\cos a}, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт жорсткості пружини;

$\Delta l = l_0 - l$, l_0 – довжина пружини в недеформованому стані; l – довжина пружини в деформованому стані.

Взявши за основу константне значення діючих моментів при обертанні зубчатого колеса $F_{3P}R = Fr = const$ та нормувавши величину сили зі сторони зубчатої рейки $F_{3P} = 1$, одержимо залежність для визначення величини радіусу поверхні пазу колеса.

$$r = \frac{R}{k\Delta l(f + \operatorname{tg} a)}, \quad (4)$$

де R – радіус діляльного кола зубчатого колеса.

Висновки

Розроблено технічне рішення пристрою для вимірювання динамічного натягу нитки, яке дозволяє розширити функціональність приладу. Система вимірювання не вносить суттєвих змін в конструкцію існуючого прибору та характеризується простотою експлуатації, належною оперативністю та точністю вимірювань. Запропоновані основні залежності та співвідношення, які використовуються для проектування системи вимірювань, дозволяють забезпечити проектування та конструювання системи передачі приладу з константною величиною зусилля попереднього налаштування.

Таким чином, розширення функціональності існуючого приладу, шляхом вдосконалення його конструкції, дозволяє проводити вимірювання динамічних та статичних натягів нитки в різноманітних ланцюгах нитководів швейних, текстильних та трикотажних машин.

Перспективи подальших розвідок.

Подальший розвиток проектування технічних систем вимірювання статистичних та динамічних навантажень полягає у розробці слідкуючих систем та систем оперативного, автоматизованого та своєчасного регулювання натягів ниток, які є складовою частиною машин і базуються на відомих та запропонованих рішеннях. Це дозволить обладнати необхідні машини такими системами та, в кінцевому результаті, поліпшити технологію виготовлення та якість продукції.

Література

1. Поливанов С. Ю., Прытков В. Г., Сиротников Э. А. Эксплуатационные испытания швейных машин: Справ. пособие. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 136 с.
2. Савостицкий А. В., Меликов Е. Х. Технология швейных изделий. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 440 с.
3. Горбарук В. П. Расчёт и конструирование челночных швейных машин. – Л.: Машиностроение, 1977. – 230 с.
4. Комисаров А. И., Жуков В. В., Никифоров В. М. Проектирование и расчёт машин обувных и швейных производств. – М.: Машиностроение, 1978. – 431 с.

Надійшла 9.12.2009 р.

СУЧАСНИЙ СТАН ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ФОРМУВАННЯ СЛІДУ ВЗУТТЯ

Розглянуто зміни, які відбулися в технології формування сліду взуття в останні десятиліття. Проаналізовано актуальність завдань, які можуть ставитись перед операцією гарячого формування сліду взуття (ГФСВ). Обґрунтовано доцільність та механізми реалізації операції гарячого формування лише сліду взуття. Проведено огляд машин для ГФСВ фірм Тайваню та Китаю.

Changes which took a place in technology of forming of track of shoe in the last decades are considered. Actuality of tasks which can belong before the operation of thermosetting of track of shoe is analysed (GFSV). Grounded expedience and mechanisms of realization of operation of thermosetting only of track of shoe. The review of machines is conducted for GFSV of firms of Taiwan and China.

Ключові слова: гаряче формування сліду взуття, преси для гарячого формування сліду взуття, прес-форми для гарячого формування сліду взуття.

Постановка проблеми. Інтенсивний розвиток світового взуттєвого машинобудування, який спостерігається в останні десятиріччя, та певні тенденції, що намітились у виробництві взуття на вітчизняних фабриках (зокрема поступове нарощення обсягів виробництва взуття після тривалого спаду, підвищення попиту на якісне і відносно дешеве взуття), потребують переосмислення перспектив розвитку та застосування окремих видів оснащення та технологій у взуттєвому виробництві України. Зокрема, це відноситься і до технології та оснащення для гарячого формування сліду взуття (ГФСВ).

Як відомо, для забезпечення товарного вигляду та міцності приклеювання підшви поверхню сліду (затяжної кромки) заготовки взуття перед її куйовдженням та приклеюванням піддають вирівнюванню пластинами обтяжно-затяжних машин або гарячому формуванню в прес-формах взуттєвих пресів та машин.

Аналіз останніх досліджень та виділення невирішених частин проблеми. Обладнанню та технології формування сліду взуття присвячена значна кількість робіт, зокрема [1 – 8], які була виконані вітчизняними та зарубіжними науковцями в 60 – 90-х роках минулого століття.

В даних роботах описується обладнання та технологія тих часів, які на сьогодні потребують певного переосмислення та уточнення.

Тому важливо окреслити нові умови, в яких проходять виробничі процеси виготовлення взуття та, зокрема, такі, в яких операція ГФСВ може бути доцільною та ефективною.

Разом з тим, враховуючи складність та об'ємність всього взуттєвого виробництва, автори не ставили перед собою за мету внесення змін в існуючу типову технологію, внесення конкретних рекомендацій по впровадженню операції ГФСВ для конкретного виду взуття та рекомендацій по режимах формування для конкретних матеріалів та заготовок, які вже відомі або потребують спеціального дослідження чи вивчення.

Формулювання цілей статті. Метою даного аналітичного огляду є наступні завдання:

а) зробити огляд суттєвих змін, які відбулись за останні десятиліття в питанні формування сліду взуття, в історичному аспекті, та встановити, наскільки завдання, які ставились перед операцією ГФСВ є сьогодні актуальними;

б) провести аналіз та виділити чіткі і актуальні завдання, які можуть бути поставлені перед операцією ГФСВ та встановити зв'язки цих завдань з кінцевими параметрами технологічного процесу виготовлення взуття;

в) виділити способи (механізми) вирішення цих актуалізованих завдань, що стоять перед операцією ГФСВ, відомими засобами з вітчизняної практики та засобами, розробленими авторами;

г) провести огляд обладнання для ГФСВ зарубіжних фірм та встановити доцільність (особливості) застосування його в технологічних процесах виготовлення взуття на вітчизняних фабриках.

Основна частина.

Зміни, які відбулись за останні десятиліття в питанні формування сліду взуття.

Задача формування сліду взуття клейових методів кріплення на більшості взуттєвих фабрик Європи, США, Росії та України з 60– 70 років минулого століття вирішувалась із застосуванням обтяжно-затяжних машин, конструкції яких постійно вдосконалювались [1, 2]. Ускладнення конструкцій цих машин, яке при цьому спостерігалось та підвищення точності переміщення їх робочих органів, як правило, призводило до їх подорожчання. При цьому надійність і стабільність виконуваних процесів не завжди була задовільною, що призводило до збільшення вартості продукції. Очевидно розв'язання задачі якісного формування сліду взуття слід шукати у використанні простих і відносно дешевих операцій ГФСВ.

Операція ГФСВ тривалий час використовувалась на взуттєвих фабриках світу (на підприємствах бувшого СРСР включно до 90-х років, на фабриках Європи та США до 70-х років). Виключення її з операцій технологічного процесу виготовлення взуття клейових методів кріплення було викликано багатьма причинами, серед яких основними є не тільки поява більш досконалих обтяжно-затяжних машин з пластинчастою затяжкою та формованих задників, але, в першу чергу, відсутність дешевої технології

виготовлення прес-форм для ГФСВ, що спричиняло високу вартість виконання цих операцій. Відмова від виконання цих операцій на українських взуттєвих фабриках в 90-х роках була додатково спричинена різким спадом серійності випуску, через що виробництво прес-форм стало економічно недоцільним.

Однак на сьогодні загальна ситуація корінним чином змінилась на користь якомога ширшого застосування операції гарячого формування сліду взуття у загальній технології виготовлення взуття і, в першу чергу, взуття клейових методів кріплення.

Аналіз та актуальність завдань, які можуть бути поставлені перед операцією ГФСВ.

Аналізуючи розвиток технології ГФСВ, зокрема по роботах [3– 6], можна відмітити, що вона використовувалась у вітчизняному виробництві (в першу чергу для взуття клейових методів кріплення) для розв'язання технологічних задач, які ставились по мірі їх складності в наступному порядку та з певною метою:

- розгладжування нерівностей і складок поверхні сліду затяжної кромки – для отримання гладкої поверхні і забезпечення якісного її шершавлення перед приклеюванням підошви (в кінцевому результаті гладка і відшершавлена поверхня сліду заготовки підвищує якість приклеювання підошви та герметичність сліду);
- формування перехідної (бокової) поверхні заготовки – для отримання чіткої грані та товарного вигляду взуття;
- стабілізація розмірів сліду затягнутої на колодку заготовки – для автоматизації складання взуття [6].

Задача стабілізації розмірів сліду затягнутої на колодку заготовки була поставлена і практично майже вирішена для умов масового виробництва взуття на взуттєвому об'єднанні «Скороход» шляхом розробки і застосування на взуттєвих пресах спеціальних прес-форм [7]. Прес-форми для стабілізації сліду заготовок чоловічого та жіночого взуття клейових методів кріплення, які були виготовлені методом гальванопластики, виявились дорогавартісними. Виконувати таку операцію в умовах навіть незначного спаду виробництва, що спостерігався на початку 90-х років, було організаційно та економічно не виправдані, тому на об'єднанні «Скороход» така операція виконувалась не довго.

Задача формування перехідної бокової поверхні заготовки вирішувалась одночасним формуванням сліду та бокової поверхні в прес-формах для кількох типорозмірів взуття (рис. 1,б) та з використанням спеціальних пресів для ГФСВ [1-2].

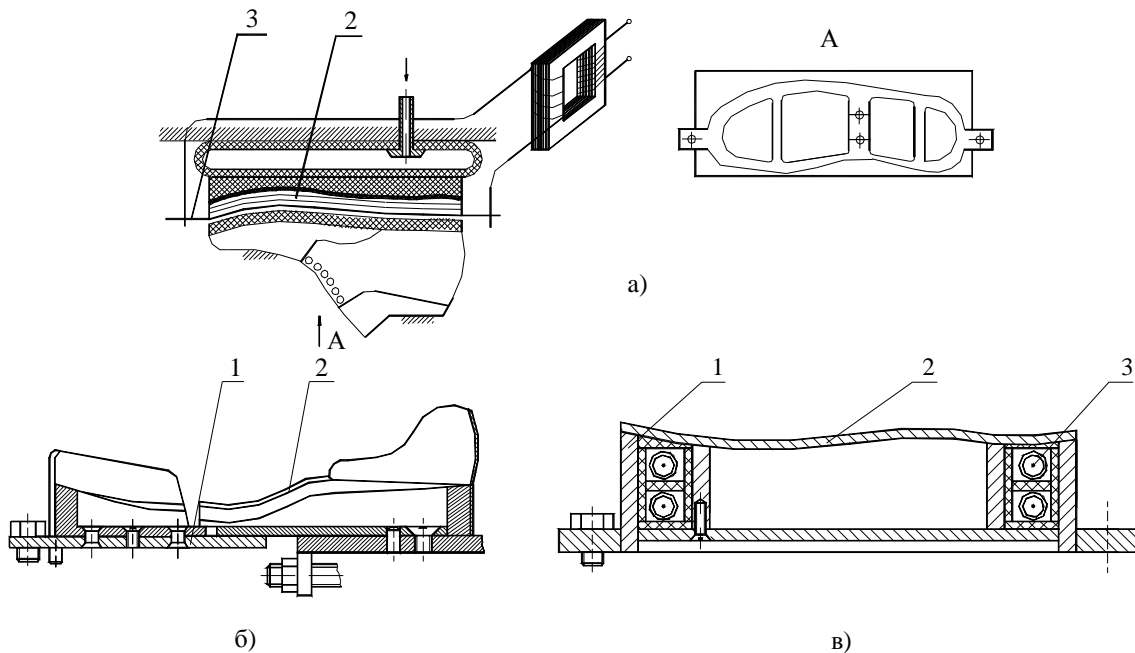


Рис. 1. Основні типи прес-форм: для гарячого формування лише сліду взуття (а, в); для гарячого формування сліду взуття та грані (б): 1-корпус; 2-формуючий елемент; 3- нагрівний елемент

Значний спад виробництва взуття в 90-х роках призвів також до того, що і ця операція стала економічно не виправданою (в першу чергу, через прості обладнання, значну вартість прес-форм та додаткових витрат часу на їх переналагодження) і перестала виконуватися. Цей час (середина 90-х років) характерний припиненням випуску спеціальних пресів для гарячого формування сліду взуття типу ПФПН-1-0, ПФПН-2-0, ФПН-0 (завод Легмаш, м.Одеса, Україна), ГФС-0 (Київський дослідний машинобудівний завод) [7] та машини для ГФСВ 04286/P22 [8] фірми «Світ» (Чехія).

Більш тривалий час (майже до кінця 90-х років) виконувалась операція формування лише сліду взуття для розгладжування нерівностей і складок поверхні сліду затяжної кромки. Для легкого взуття з текстильних матеріалів верху така операція виконувалась в еластичних прес-формах [5] (рис. 1, а), а для переважної більшості взуття клейових методів кріплення – в жорстких прес-формах (рис. 1, в), які

встановлювались на модернізованих взуттєвих пресах, зокрема на пресах ППГ-4-0. В більшості випадків операція ГФСВ виконувалась у випадках, передбачених типовою технологією для взуття клейового [9] та цвяхового [10] методів кріплення.

Обґрунтування доцільності та механізмів реалізації операції гарячого формування лише сліду взуття.

На сьогоднішній день задача і операція формування лише сліду взуття знову може стати економічно оправданою і актуалізованою з наступних причин:

I. У вітчизняному машинобудуванні уже створені умови для суттєвого зниження вартості проектування та виготовлення прес-форм для ГФСВ.

Серед конструкцій зниженої вартості нижче (рис. 2, а) представлена конструкція прес-форми для ГФСВ зі змінним монолітним пуансоном 1 (рис. 2, б), яка була розроблена авторами [11]. Монолітний пуансон 1 легко встановлюється в корпус 2 з нагрівними елементами, має достатню висоту, а тому може використовуватися в якості заготовки для виготовлення наступної прес-форми (під новий фасон взуття) багатократно (3-5 раз).

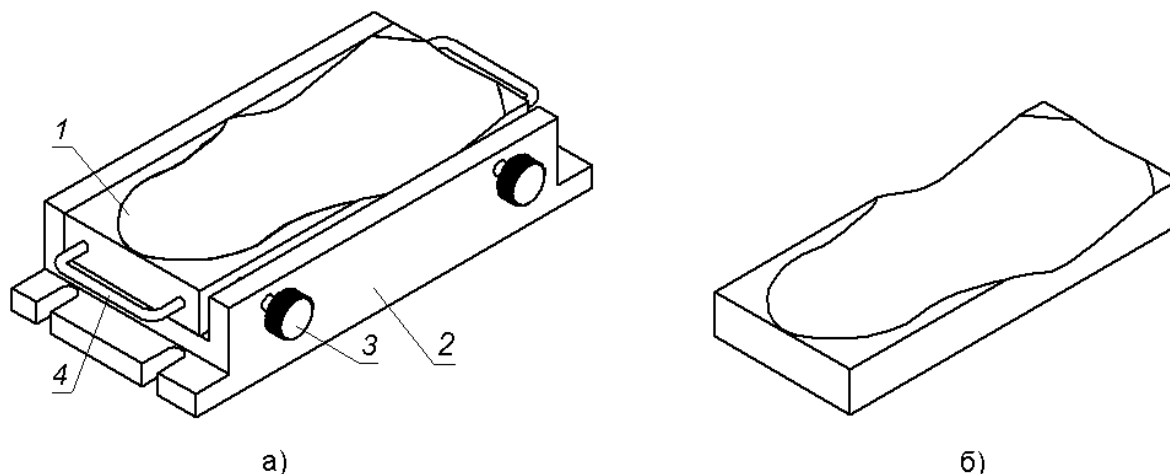


Рис. 2. Прес-форма для гарячого формування сліду взуття зі змінним монолітним пуансоном: а) прес-форма: 1 – пуансон; 2 – корпус; 3 – фіксатори; 4 – ручки; б) пуансон

Використання сучасних CAD/CAM-пакетів для комп'ютерного 3D-моделювання конструкцій прес-форм та автоматизованої розробки керуючих програм для обробки відповідальних деталей (наприклад, пуансонів прес-форм) на верстатах з програмним керуванням зменшує витрати часу підготовки виробництва та загальні витрати на проектні роботи.

Крім цього за останні п'ять – десять років відбулось значне оновлення парку металорізальних верстатів з ЧПК – в першу чергу відбулось оновлення три- та п'яти-координатними верстатами з комп'ютерним програмним керуванням, вартість яких в 2-3 рази менша вартості аналогічних верстатів 80-х років.

Результати досліджень [11] показали, що вартість виготовлення найбільш складної деталі ПФ – пуансона (рис. 2, б) орієнтовно може скласти біля 120...300 грн, що при значних обсягах виробництва взуття несуттєво позначиться на його ціні.

II. На багатьох взуттєвих фабриках мають місце виробничі умови, в яких ГФСВ просто необхідне. До них варто віднести перш за все ті, які окреслені в роботі [12].

Операція ГФСВ є необхідною, якщо з'єднані деталі верху і низу недостатньо вирівняні по товщині, тобто якщо однойменні деталі в парі і в партії взуття мають неоднакову товщину (коливання більше $\pm 0,1$ мм). Формування сліду потрібне, якщо матеріал верху має товщину більше 1,2 мм, або є недостатньо м'яким та пластичним. Значення мають також коливання в розмірах колодок (більше $\pm 0,2$ мм по ширині і $\pm 0,3$ мм по довжині) та побудова конструкції верху. Наприклад, дещо велика затяжна кромка тягне за собою утворення складок і, як наслідок, необхідність формування сліду взуття. Є й інші підстави для виконання операції (в першу чергу, вимоги до герметичності кріплення верху взуття до підшви, на яких ми зупинимось нижче).

III. Введення операції ГФСВ в існуючу технологію також спонукає з одного боку – суттєве підвищення серійності виробництва взуття на вітчизняних фабриках, а з другого – зниження купівельної спроможності населення, що вимагає від виробників використання в технологічних процесах відносно дешевого обладнання для формування сліду взуття.

В якості обладнання для ГФСВ можуть також використовуватися звичайні преси для клейового кріплення низу взуття зі спеціальною прес-секцією, що обігривається. Однак може бути застосоване імпортне спеціалізоване обладнання, зокрема, яке випускається фірмами Тайваню та Китаю.

Огляд обладнання для ГФСВ зарубіжних фірм та можливість застосування його в технологічних процесах виготовлення взуття на вітчизняних фабриках.

За нашими даними виробництвом машин для ГФСВ на сьогодні займаються лише фірми Тайваню та Китаю. Нижче наведені дані по цих машинах, взяті з Інтернет-сторінок відповідних фірм (переклад сторінок здійснено з врахуванням термінології, що використовувалась фірмою-виробником машин).

1) Машина для формування взуття YF-7032 фірми "In Ye Machinery Co.", Ltd (Тайвань).

Автоматизована пневматична машина для гарячого пресування зтягнутого низу взуття (рис. 3,а).

Машина застосовується для термічного розгладжування зтягнутого низу взуття на колодці. Дає добрий ефект для зтягнутого низу взуття, головним чином за рахунок того, що згорнені складки (рис. 3,б) можуть скоротити час на їх наступне шліфування (зачистку); машина адаптована під гідравлічний принцип роботи і керування, проста в експлуатації та безпечна.

Фірма "In Ye Machinery Co.", Ltd. заснована в 1971 р. і розташовується в м. Тайчинг. Має 30-и річний досвід у розробці та випуску взуттєвих машин.

2) Машина для вирівнювання низу взуття YZ-903 фірми "Yong Zheng shoe-making Machinery Factory" (Китай).

Вона (рис. 3, в) підходить для розгладжування (вирівнювання) низу чоловічого та жіночого взуття з високим та низьким каблукком.

Застосовуючи автоматичні гідравлічні врівноважені притискні штанги і алюмінієві прес-форми, виготовлені відповідно до колодки, вона здатна досягнути кращого вирівнювання (розгладжування), навіть якщо змінена форма п'яtkової частини і носка або який-небудь розмір нижньої частини взуття.

Маючи пристрій для контролю тиску, вона дозволяє обирати правильним інший тиск, що прикладається для покращення якості вирівнювання всіх видів взуття.

Фірма "Yong Zheng shoe-making Machinery" заснована в лютому 1991 р. З 1997 р. прийняли виготовлення оснастки і освоєних італійських взуттєвих машин, як власний технічний стандарт. Освоєний стандарт якості ISO 9000. Обладнання випускається під брендом «Yiteli».

3) Гідравлічна машина для гарячого пресування низу взуття TS-HC-759A фірми "Taiwan Elitech Global Corp." Тайванської асоціації взуттєвих машин (Taiwan Shoe Machinery Union) (Тайвань).

Машина для розгладжування установа на колодку і зтягнутого верху взуття гарячим пресуванням (рис. 3, г).

Цю машину рекомендують особливо використовувати у випадку нарощеного зтягнутого низу взуття і складок затяжної кромки, що дасть можливість ущільнити (герметизувати) склеювання верху з підшовою після пресування та нагріву.

Після того як складки в носковій та п'яtkовій частині після затяжки будуть значно зменшені, правильний ефект приклеювання може бути досягнутим.

Взуттєва прес-форма нагрівається від електричного нагрівача, що є швидким та зручним для зміни режимів формування взуття. Взуттєва прес-форма може бути відрегульована в поздовжньому та в поперечному напрямках.

Машина має гідравлічний привід. Роботою в парі з електронною системою керування досягається автоматизація технологічного процесу. Зручна в експлуатації, безпечна і високоефективна.

Технічна характеристика: модель двигуна – 2HP; потужність електричного нагрівача – 1,6 кВт; маса – 480 кг; габарити – 800x630x1860 мм.

Фірма заснована в 1984 р., працює за ISO-9002. Основні поставки: Китай, Азія, Японія та США. Кількість працюючих – 20 чол.

4) Гідравлічна машина для гарячого пресування низу взуття YG-936 фірми "Ying Hui Machine Co.", Ltd (Тайвань).

Ця машина (рис. 4, а) має сучасну гідравлічну систему, що дозволяє прикладати до сліду заготовки високий тиск і забезпечувати добрий ефект формування.

На машині можуть встановлюватися два види прес-форм: цільні установочні прес-форми і установочні прес-форми для передньої і задньої частин. Нагрітий і розм'якшений матеріал затяжної кромки формується (ущільнюється). Це сприяє зменшенню податливості (нежорсткості та зазорів) низу взуття.

Пристрій приєднання прес-форм має функції автоматичного регулювання кута (автоматичного кутового налагодження). Це може бути автоматичне регулювання під час приведення у відповідність останнього і низу взуття з прикладеним зусиллям.

Фірма заснована в 1982 р. Продукція сертифікована за стандартом ISO-9001, захищена патентами.

5) Гідравлічна машина для гарячого пресування низу взуття TS-901L фірми Tung Sheng Company Limited (Тайвань).

Ця машина (рис. 4, б) є копією попередньої, має влаштовану гідравлічну систему, яка створює сильне і рівномірне пресування.

В ній передбачені одноелементні та двоелементні конструкції взуттєвої форми. У відповідності до вимог якості сліду взуття, нагрівання призначається для зменшення складок сліду взуття.

Згідно з формою взуттєвої колодки, нижні прес-форми і верхній приєднувальний пристрій мають функцію авторегулювання кута для узгодженого положення взуттєвої колодки і покращення прикладення зусилля.

Технічна характеристика: модель двигуна – 2НРх4Р; маса – 730 кг; габарити – 710х660х1880 мм; продуктивність – 2000 пар/зміну (1 зміна = 8 год.); робочий тиск повітря (в пневмогідроакумуляторі) – 3-3,5 МПа.

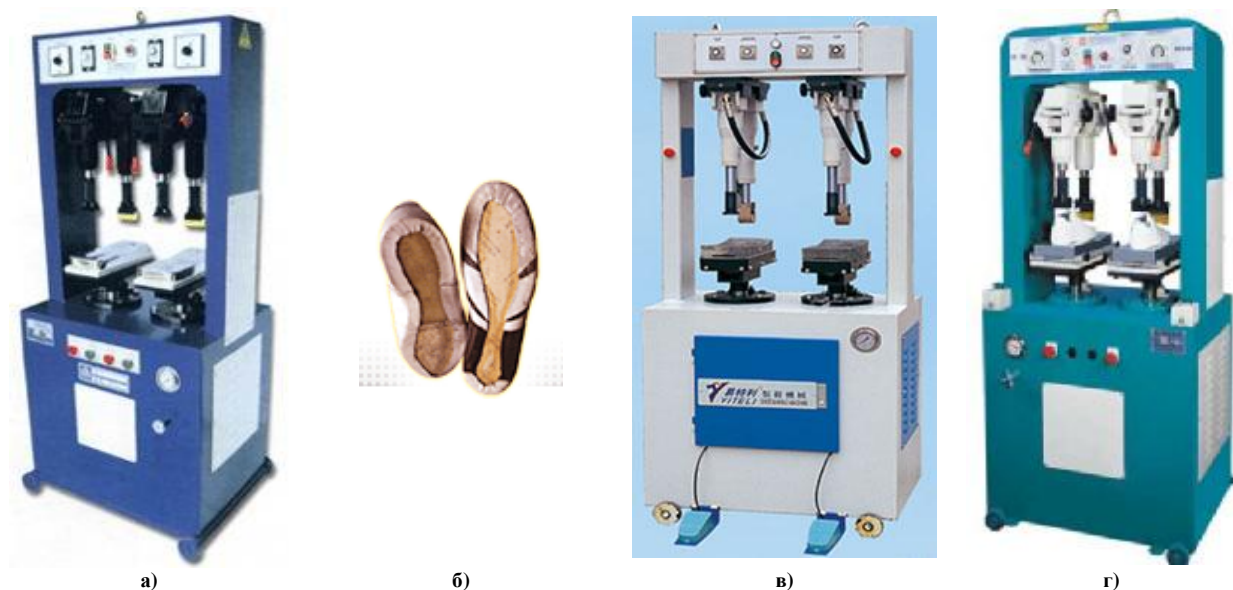


Рис. 3. Машини для гарячого формування сліду взуття:
а – YF-7032 (б – зразки відформованого верху взуття); в – YZ-903; г – TS-NC-759A

б) Гідравлічна машина для гарячого пресування низу взуття TC-327 фірми "Innovation Machinery Co.", Ltd (Тайвань).

Машина (рис. 4, в) спеціально застосовується для розгладжування сліду верху взуття, зв'язаного з колодкою, так що в кінцевому результаті на місця з'єднання верху заготовки може бути більш якісно (акуратно і рівномірно) нанесено клей. Зменшується рівень прошліфовування (шершування) зтяжної кромки, що також дозволить краще нанести клей та забезпечити якісне приклеювання підошви.

Відмічається, що суцільне по сліду гідравлічне пресування дає кращий ефект приклеювання.

Система для суцільного гідравлічного пресування використовується для досягнення безпеки операції і високої її ефективності.

Фірма заснована в 1988 р. Кількість службовців – більше 50.



Рис. 4. Машини для гарячого формування сліду взуття (продовження): а – YG-936; б – TS-901L; в – TC-327

З вищенаведеного опису машин можна побачити, що застосування операції ГФСВ в умовах високої серійності випуску взуття та при великій продуктивності виконання операції (до 2000 пар/зміну) створює передумови для суттєвого здешевлення цієї операції та ефективного впровадження її в існуючу технологію.

Висновки

1) Розглянувши зміни, які відбулися в технології формування сліду взуття в останні десятиліття можна відмітити, що ГФСВ знову може стати ефективною операцією, що покращує якість приклеювання

підшви та інші показники взуття.

2) Окреслені умови, в яких операцію ГФСВ доцільно застосовувати; дані рекомендації з вибору обладнання та прес-форм для виконання операції.

3) Наведений опис машин для ГФСВ фірм Тайваню та Китаю дозволяє краще зрозуміти цільове призначення цієї операції у формування якості готового взуття клейових методів кріплення, створює передумови для розробки конструкцій власних взуттєвих машин для ГФСВ.

Література

1. Набалов Т.А. Оборудование обувного производства. Учебник для средних специальных заведений. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 464 с.
2. Карагезян Ю.А., Разумовская Б.В., Григорьев Б.П. Новое отечественное оборудование обувного производства. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 168 с.
3. Современные способы и оборудование для формования верха обуви. Обувная промышленность. Обзор. информация / Сост. И.В. Вайнруб. – Вып.3. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1990. – 58 с.
4. Стронгин Б.М., Зуев В.Т. Оснастка обувного производства. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 148 с.
5. Тонковид Л.А. Автоматизация сборочных процессов в обувном производстве. – К.: Тэхника, 1984. – 247 с.
6. Замарашкин Н.В. Стабилизация следа затынутой обуви формованием. – М.: Легкая индустрия, 1973. – 143 с.
7. Технологическое оборудование для легкой промышленности, агропромышленного комплекса, торговли и общественного питания. Ч.1. НИИТ. – 1991. – С. 59-60.
8. Каспар З., Александров А.Г. Обувное машиностроение Чехословакии // КОП, 1992. – № 10. – С. 31-34.
9. Технология производства обуви. Часть IV. Сборка и отделка обуви. Раздел 1. Клеевые методы крепления (типовая технология). – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1978. – 79 с.
10. Технология производства обуви. Часть VI. Сборка и отделка обуви. Раздел 4. Гвоздевой метод крепления (типовая технология). – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1987. – 49 с.
11. Присяжний Л.В., Кузьма Л.М. Моделирование чистовой обработки рабочего профиля пуансона для горячего формования следа взуття // Зб. наукових праць ФПМКТ. – Хмельницький: ХНУ, 2008. – № 1. – С. 42-48.
12. Раяцкас В.Л., Нестеров В.П. Технология изделий из кожи. В 2 ч. Ч.2 – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 320 с.

Надійшла 17.12.2009 р.

УДК 621.332.3

Д.М. БАРАНОВСЬКИЙ

Кременчуцький державний університет імені Михайла Остроградського

МАТЕМАТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕРМІНІВ ПРОВЕДЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТІВ ДИЗЕЛІВ

На основі регенеруючих, марківських та напівмарківських процесів виведено залежності ймовірності безвідмовної роботи, коефіцієнту готовності та ймовірності виконання задач для вибору стратегії проведення технічного обслуговування та ремонту дизелів.

On the basis of regenerating, marcov's and polomarcov's processes it is shown out to dependence of probability of faultless work, coefficient of readiness and probability of implementation of tasks for the choice of strategy of servicing and repair of diesels.

Ключові слова: технічне обслуговування та ремонт, ймовірність безвідмовної роботи, процеси.

Вступ. При вирішенні проблеми підвищення довговічності і ефективності функціонування дизелів самохідного рухомого складу залізничного, сільськогосподарського та автомобільного господарства потрібно розробити оптимальні стратегії проведення технічного обслуговування та ремонту (ТОР) у процесі їх експлуатації.

Стратегія проведення ТОР дизелів у процесі їх експлуатації повинна будуватися на наступних принципах інформації [1]:

- наявність об'єктивних даних про системи дизелів у цілому та їх складових вирішальних трибосистем (ТС) окремо. Така інформація може подаватися у вигляді характеристик безвідмовності та ремонтпридатності;
- наявність специфічних особливостей систем дизелів, а саме інформація про їх структуру, характеристику індикації відмов, наявність вбудованого контролю працездатності;
- наявність даних про умови експлуатації техніки відповідного господарства.

Стратегія проведення ТОР дизелів повинна володіти оптимальними показниками, що характеризують якість функціонування і експлуатації систем у цілому та вирішальних ТС окремо.

Вибір оптимальної стратегії ТОР дизелів самохідного рухомого складу залізничного, сільськогосподарського та автомобільного господарства дозволить досягнути високої економічної ефективності за рахунок реорганізації структури системи ТОР та правил експлуатації без залучення додаткових сил і засобів.

Мета роботи. Обґрунтування оптимальних термінів проведення технічного обслуговування та ремонтів дизелів при наявності або відсутності інформації про їх технічний стан.

Результати досліджень. У роботах [2-4], показано, що основними вирішальними ТС дизелів самохідного рухомого складу залізничного, сільськогосподарського та автомобільного господарства, за якими потрібно визначати довговічність дизелів є циліндро-поршнева група та кривошипно-шатунний механізм. Тому, слід багато уваги приділити саме цим вирішальним ТС при визначенні термінів проведення ТОР.

У роботі пропонується математична модель, що описує еволюцію вирішальних ТС дизелів у часі. При цьому, використовується регенеруючі, марківські та напівмарківські випадкові процеси залежно від часу $x(t)$.

При визначенні термінів виконання технічного обслуговування розглянемо наступні показники якості функціонування систем дизелів при тривалій експлуатації:

- коефіцієнт готовності K ;
- ймовірність виконання задачі при ТОР $R(z)$;
- ймовірність безвідмовної роботи P .

Для регенеруючого процесу у часі $x(t)$ можна записати:

$$K = \frac{MX^{(0)}}{M\tilde{X}}; \quad R(z) = \frac{MX^{(z)}}{M\tilde{X}}; \quad P = \frac{MP^{(z)}}{M\tilde{X}}, \quad (1)$$

де $X^{(0)}$ – час справного функціонування вирішальних ТС дизелів в період регенерації;

$X^{(z)}$ – час перебування процесу $x(t)$ в стані e_z – система працездатна і у справному стані пропрацює час, більше за z ;

$P^{(z)}$ – ймовірність безвідмовної роботи вирішальних ТС дизелів до часу більше за z ;

\tilde{X} – тривалість періоду регенерації.

Для марківських і напівмарківських процесів $x(t)$ з кінцевою множиною станів, згідно [5]:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^N Mt_i^{(0)} \cdot p_i}{\sum_{i=1}^N M\tilde{t}_i \cdot p_i}; \quad R(z) = \frac{\sum_{i=1}^N Mt_i^{(z)} \cdot p_i}{\sum_{i=1}^N M\tilde{t}_i \cdot p_i}; \quad P = \frac{\sum_{i=1}^N MP_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^N M\tilde{t}_i \cdot p_i}, \quad (2)$$

де p_i p_i – стаціонарна ймовірність вкладеного ланцюга Маркова, $1 \leq i \leq N$;

$t_i^{(0)}$ – час справного функціонування систем дизелів за період, на якому $x(t) = e_i$;

\tilde{t}_i – тривалість періоду, на якому $x(t) = e_i$;

\tilde{P}_i – ймовірність безвідмовної роботи за період, на якому $x(t) = e_i$.

У випадку обмеженої інформації, коли характеристики надійності точно не відомі, припустимо, що функції розподілу роботи дизелів належать деякому класу. Опишемо деякі випадки:

- якщо існує функція розподілу часу безвідмовної роботи $P(y)$ з окремими значеннями $y = (y_0 = 0, y_1, \mathbf{K}, y_n)$, тобто $P(y_i) = p_i, i = 0, \mathbf{K}, n$, то клас таких функцій позначимо як $\Omega(n, y, p)$.

- при заданих моментах розподілу процесу експлуатації у вигляді:

$$P(y) \Leftrightarrow m_k = \int_0^{\infty} x^k dF(x), k = 1, 2, \mathbf{L}, m, \quad (3)$$

то клас таких функцій позначимо через $\Omega_m = \Omega(m_1, m_2, \mathbf{K}, m_m)$.

Для визначення оптимальної стратегії у вищеперелічених випадках, тобто їх вирішення, можна використати метод мінімакса [6], що полягає в наступному. Спочатку серед всіх функцій розподілу, які характеризують функціонування системи, знаходяться найгірші, а потім – визначається оптимальне управління.

Для регенеруючого процесу, функціонал якості роботи дизеля якого позначимо через $\tilde{J}(P, G, \Phi)$ необхідно визначити функції $P \in \Omega(n, y, p)$; $\Phi \in \Omega$; $G \in \Omega$, при яких досягається:

$$\tilde{J} = \max_{G \in \Omega} \min_{\Phi \in \Omega} \min_{P \in \Omega(n, y, p)} \tilde{J}(P, G, \Phi), \quad (4)$$

де $\Omega = \Omega(0, y, p)$; $\Phi(x)$ – функція розподілу часу самостійного прояву відмови.

Якщо випадковий процес $x(t)$, що описує еволюцію ТС дизелів, є регенеруючим, то функціонал $\tilde{J}(P, \Phi, G)$ – дробово-лінійний, і тоді екстремум функціонала $\tilde{J}(P, \Phi, G)$ по функціях $P \in \Omega(n, y, p)$ досягається на одній із східчастих функцій $P \in \Omega^*(n, y, p)$, на якій $\Omega^*(n, y, p)$ – безліч функцій розподілу східчастого вигляду, що мають на кожному з напівінтервалів $(-\infty, y_1), [y_1, y_2), \mathbf{K}, [y_n, \infty)$ рівно один стрибок величини $\Delta p_i = p_{i+1} - p_i$.

Якщо припустити, що існують функції чисельника A і знаменника B функціонала $\tilde{J}(P, \Phi, G)$ та їх екстремуми, то «якнайгіршою функцією» розподілу в класі $\Omega(n, y, p)$ по відношенню до функціонала $\tilde{J}(P, \Phi, G)$ буде функція:

$$F^*(y) = \begin{cases} 0 & \text{при } -\infty < y \leq 0, \\ p_{k+1} & \text{при } y_k < y \leq y_{k+1}, k = \overline{0, \mathbf{K}, n-1}, \\ 1 & \text{при } y > y_n. \end{cases} \quad (5)$$

У разі коли періоди профілактики призначаються детерміновано $G(x) \in \Omega^*$ (Ω^* – клас вироджених розподілів), мінімуму функціоналу $\tilde{J}(P^*, \Phi, G)$ можна досягти при $\Phi(n) \in \Omega^*$ для будь-якого фіксованого $G(x)$, а тому:

$$\tilde{J} = \max_{G \in \Omega^*} \min_{\Phi \in \Omega^*} \tilde{J}(P^*, \Phi, G) = \max_{0 \leq x \leq \infty} \min_{0 \leq v \leq \infty} = \frac{\sum_{i=0}^n A(x, v, y_i + 0) \Delta p_i}{\sum_{i=0}^n B(x, v, y_i + 0) \Delta p_i}. \quad (6)$$

При обмеженнях $P \in \Omega_m$ екстремум $\tilde{J}(P)$ також досягається на східчастих функціях, але пошук їх складніше.

При розгляді оптимальних термінів проведення ТОР дизелів при повній інформації положимо наступне.

Розглянемо регенеруючий процес роботи дизелів під час експлуатації. Припустимо, що у момент регенерації процесу $x(t)$, що розподілений за законом $G(x)$, призначається через час z проведення поточного чи капітального ремонтів. Тоді функціонали якості функціонування визначальних ТС дизелів можна описати наступним рівнянням:

$$J(G) = \int A(x) dG(x) / \int B(x) dG(x). \quad (7)$$

При цьому, виникає необхідність визначення закону розподілу функції $G(x)$, для якого можна задати границі:

$$J(G_0) = \max_G J(G). \quad (8)$$

При розгляді марківського і напівмарківського процесів роботи дизелів під час експлуатації можна припустити, що у момент переходу процесу $x(t)$ у граничний стан вирішальних ТС дизелів e_y , $1 \leq y \leq N$, призначається через час t_y проведення поточного чи капітального ремонтів, що протікає за розподілим законом $G_y(x)$. У цьому випадку, функціонали якості можна записати у вигляді дробово-лінійного функціонала:

$$J(G_1, G_2, \dots, G_N) = \frac{\int A(x_1, x_2, \dots, x_N) dG_1(x_1) dG_2(x_2) \dots dG_N(x_N)}{\int B(x_1, x_2, \dots, x_N) dG_1(x_1) dG_2(x_2) \dots dG_N(x_N)}. \quad (9)$$

Далі, необхідно визначити межі функцій розподілу $G_i^0(x)$, $1 \leq i \leq N$, для яких:

$$J(G_1^{(0)}, G_2^{(0)}, \dots, G_N^{(0)}) = \max_{\{G_i, i=1, \dots, N\}} J(G_1, G_2, \dots, G_N). \quad (10)$$

Якщо знайти екстремум дробово-лінійного функціонала за допомогою класу вироджених функцій розподілу []:

$$G(x) = \begin{cases} 0, & x \leq t, \\ 1, & x > t, \end{cases} \quad (11)$$

то для регенеруючого процесу можна записати:

$$\max_G J(G) = \max_t \frac{A(t)}{B(t)} = A(t_0) / B(t_0); \quad (12)$$

а для марківського чи напівмарківського процесів:

$$\max_{\{G_i, i=1, \mathbf{K}, N\}} J(G_1, G_2, \mathbf{K}, G_N) = \max_{t_i, i=1, \mathbf{K}, N} \frac{A(t_1, t_2, \mathbf{K}, t_N)}{B(t_1, t_2, \mathbf{K}, t_N)} = A(t_1^{(0)}, t_2^{(0)}, \mathbf{K}, t_N^{(0)}) / B(t_1^{(0)}, t_2^{(0)}, \mathbf{K}, t_N^{(0)}). \quad (13)$$

Як видно (вираз (7)), величина t_0 буде визначати оптимальну періодичність проведення поточних та капітальних ремонтів дизелів при регенеруючих процесах.

Вектор $(t_1^{(0)}, t_2^{(0)}, \mathbf{K}, t_N^{(0)})$, виразу (8) визначає більш точно оптимальну періодичність проведення поточних та капітальних ремонтів при відповідному стані вирішальних ТС дизелів e_y .

Якщо припустити, що час безвідмовної роботи $x(t)$ вирішальних ТС дизелів з ймовірністю P розподілений за законом $F(x) = P\{x < x\}$, то при виявленні в них відмов через деякий випадковий час $x(t)$ – закон розподілення $\Phi(x) = P\{x < x\}$.

На початку експлуатації дизелів $t = 0$ можна запропонувати проведення ТОР через час h , який розподілений за законом $G(x) = P\{h < x\}$. Якщо до призначеного моменту h вирішальні ТС дизелів не відмовили (відбулася подія $x > h$), то у момент h починають проводити планово-попереджувальні дії, підвищуючи ймовірність безвідмовної роботи до 100%. Тривалість цих дій можна позначити як g_1 , а функцію її розподілу – $F_1(t) = P\{g_1 < t\}$.

У випадку, коли до призначеного моменту h вирішальні ТС дизелів відмовили ($x \leq h$) та не відбулося самостійного проявлення ($x + q \geq h$), то у момент h починається проведення планового ремонту, тривалість якого рівна g_2 , а закон розподілу $F(t) = P\{g_2 < t\}$.

Якщо відмови вирішальних ТС дизелів наступили до призначеного моменту ($x \leq h$) і самостійно проявилися до призначеного моменту ($x + q \geq h$), то у момент виявлення відмови $x + q$ починається позаплановий ремонт, тривалість якого рівна g_3 , а закон розподілу $F_3(t) = P\{g_3 < t\}$.

Після проведення робіт ТОР дизелів, коли підвищується безвідмовність, повинно здійснюватись перепланування термінів проведення наступних технічних дій.

Всі випадкові величини, що впливають на безвідмовність можна вважати незалежними з кінцевими першими моментами.

Оскільки час безвідмовної роботи $x(t)$ вирішальних ТС дизелів з ймовірністю P розподілений за законом $F(x)$, то для часу відмов тотожна рівність: $\bar{F}(x) = 1 - F(x)$.

Тому, інтенсивність відмов вирішальних ТС дизелів має вигляд:

$$I(x) = f(x) / \bar{F}(x), \quad (14)$$

де $f(x) = F'(x)$.

Для знаходження оптимального періоду проведення ТОР t_0 , який буде максимізувати вибрані критерії якості функціонування вирішальних ТС дизелів. Тому, для даної моделі:

ймовірність виконання задачі:

$$R_t(z) = (t - \int_0^t \int_0^x F(x-y) d\Phi(y) dx + (Mg_3 - Mg_2)) \int_0^t F(t-x) d\Phi(x) + Mg_1 + (Mg_2 - Mg_1) F(t) \int_0^t \bar{F}(x+z) dx; \quad (15)$$

коефіцієнт готовності:

$$K(t) = R_t(0); \quad (16)$$

ймовірність безвідмовної роботи:

$$P(t) = \frac{\int_0^t F(x) dx - \int_0^t \int_0^x F(x-y) d\Phi(y) dx + (Mg_3 + Mg_2) \int_0^t F(t-x) d\Phi(x) + Mg_1 + (Mg_2 - Mg_1) F(t)}{\int_0^t \bar{F}(x) dx}. \quad (17)$$

Останні рівняння (15-17) призначені для визначення оптимального періоду проведення ТОР дизелів, а оптимальні значення критеріїв якості для окремих випадків індикації відмов можуть мати стаціонарні рішення: випадок миттєвої індикації:

$$\Phi(x) = \begin{cases} 0, & x < 0, \\ 1, & x \geq 0, \end{cases} \quad (18)$$

і випадок відсутності самостійного прояву відмов: $\Phi(x) = 0$ для $x < \infty$.

Висновки. При виборі оптимальних термінів проведення технічного обслуговування та ремонтів дизелів необхідно враховувати повноту інформації, що належить до категорії відмов вирішальних трибосистем. Тому, на основі регенеруючих, марківських та напівмарківських процесів отримано залежності ймовірності безвідмовної роботи, коефіцієнту готовності та ймовірності виконання задач залежно від часової функції для наступного вибору стратегії проведення технічного обслуговування та ремонтів дизелів.

Література

1. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение. – 1978. – 240с.
2. Барановський Д.М. Загальний підхід до оцінки та прогнозування ресурсу дизелів засобів транспорту // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – № 4/10 (40). – С. 49-52.
3. Барановський Д.М. Визначення залишкового ресурсу трибосистем // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2009. – № 4. – С. 127-129.
4. Барановський Д.М. Проблема довговічності дизелів засобів транспорту // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – Вип. 5/2009 (58) ч. 1. – С. 96-99.
5. Мартынов А. А. Основы теории надёжности и диагностики / А. А. Мартынов, Г. А. Долгополов – Новосибирск, 1999. – 107 с.
6. Саркисян С.А. Теория прогнозирования и принятия решений. – М. Высш. шк., 1977. – 215 с.

Надійшла 2.12.2009 р.

УДК 621.852 (043)

О.О. ОВЧИННИКОВ

Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЧЕПЛЕННЯ ЗУБЦІВ ПАСА І ШКІВА НАПІВКОЛОВОГО ПРОФІЛЮ

В результаті проведеного теоретичного дослідження були одержані математичні залежності для визначення характеристики зачеплення зубців паса і шківа напівколового профілю які задовольняють основному закону зачеплення і надають можливість за рахунок варіювання геометричних параметрів забезпечити надійну роботу зубчасто-пасової передачі для будь-яких умов.

As a result of the carried out theoretical research the mathematical dependences for definition of the characteristic of gearing tooth of a belt and pulley of a semicircular structure were received which satisfy to the basic law of gearing and enable at the expense of a variation of geometrical parameters to ensure reliable work gear belts of transfer for any conditions.

Ключові слова: зубці, пас, шків, профіль.

В процесі роботи зубчасто-пасової передачі однойменні спряжені профілі зубців шківа і паса знаходяться в контакті. Для плавної роботи передачі цей контакт повинен бути безперервним і для площинного зачеплення він відбувається в точці торкання (контакту) профілів зубців паса і шківа. Однією з основних характеристик зачеплення зубців є лінія зачеплення, яка характеризує положення точки контакту зубців. Точка контакту в процесі роботи передачі весь час переміщується по лінії, яка має назву лінія зачеплення. Лінія зачеплення поділяється на дві ділянки: теоретична (де міг би відбуватися контакт зубців) і дійсна (де відбувається контакт зубців). Плавний характер лінії зачеплення забезпечує надійну роботу зубчасто-пасової передачі.

Дослідженню впливу характеристики зачеплення на роботу передачі присвячені роботи [1, 2, 3]. В даних роботах автори роблять спробу компенсувати недоліки зачеплення за рахунок вводу поправок на геометричні розміри шківа, але це ускладнює виготовлення шківа і, крім того, не впливає на характер зачеплення і на довговічність передачі. Крім того, всі дослідження відносяться до конкретних умов роботи передачі, що не дозволяє використовувати результати дослідження для інших умов роботи.

Таким чином, для поліпшення роботи передачі необхідно мати можливість визначити характеристику зачеплення зубців паса та шківа залежно від геометричних параметрів зубців шківа і за рахунок їх зміння впливати на характер роботи зубчасто-пасової передачі.

Для рішення поставленої задачі знайдемо рівняння лінії зачеплення напівколового профілю зубців для двох умов: коли відомий профіль зубців шківа і коли відомий профіль зубців паса. Знаходимо рівняння

основних параметрів, що визначають рівняння лінії зачеплення. Для цього на основі матеріалів роботи [4] визначасмо формули переходу від допоміжних геометричних параметрів до основних параметрів для випадків, коли відомий профіль зубців шків (рівняння 1) і коли відомий профіль зубців паса (рівняння 2).

$$\left. \begin{aligned} X_p &= Y_2 \sin(\varphi_2 + \alpha) - X_2 \cos(\varphi_2 + \alpha) \\ Y_p &= R_\delta - Y_2 \cos(\varphi_2 + \alpha) - X_2 \sin(\varphi_2 + \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} X_p &= X_1 + W \\ Y_p &= Y_1 + d_0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Значення геометричних параметрів X_2, Y_2, X_1, Y_1 , що входять до математичних виразів (1, 2) і які були одержані в роботі [4], підставляємо в рівняння (1, 2) і знаходимо математичні вирази для параметрів X_p і Y_p , які визначають характеристику зачеплення зубців паса і шків для випадків, коли відомий профіль зубців шків (рівняння 3) і коли відомий профіль зубців паса (рівняння 4)

$$\left. \begin{aligned} X_p &= \frac{R_2(R_\delta + R_2 - h_2 - \delta_0) \sin \varphi_2}{\sqrt{(R_\delta + R_2 - h_2 - \delta_0)^2 - 2A_2(R_\delta + R_2 - h_2 - \delta_0) \cos \varphi_2 + A_2'^2}} + (R_\delta + R_2 - h_2 - \delta_0) \sin \varphi_2 \\ Y_p &= R_\delta + \frac{R_2[0,3mR_2 \cos(0,3m\varphi_2) - (2h_2R_2/z_2) \cos 2\varphi_2]}{\sqrt{(R_\delta + R_2 - h_2 - \delta_0)^2 - 2A_2(R_\delta + R_2 - h_2 - \delta_0) \cos \varphi_2 + A_2'^2}} - (R_\delta + R_2 - h_2 - \delta_0) \cos \varphi_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} X_p &= \frac{R_1 W}{\sqrt{W^2 + [R_\delta - \delta_0 - A_2 - A_3]^2}} + W \\ Y_p &= A_3 - \frac{R_1 [R_\delta - \delta_0 - A_2 - A_3]}{\sqrt{W^2 + [R_\delta - \delta_0 - A_2 - A_3]^2}} + \delta_0 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

де A_1, A_2', A_2, A_3 – додаткові геометричні параметри, що прийняті для скорочення запису, дорівнюють згідно з роботою [4]:

$$A_1 = (R_\delta - \delta_0) - (h_1 + R_1 \operatorname{tg} \gamma) \sin(0,5m\varphi_2) + 0,03m(1 + \operatorname{tg} \gamma) + (h_1 R_1 / z_2)(1 + \operatorname{tg} \gamma) \sin(2\varphi_2) - (h_1 - R_1) / \cos \gamma;$$

$$A_2' = (R_\delta + R_2 - h_2 - \delta_0) \cos \varphi_2 + 0,3mR_2 \cos(0,3m\varphi_2) - \frac{2h_2R_2}{z_2} \cos(2\varphi_2);$$

$$A_2 = 0,5mR_1 \cos(0,5m\varphi_2) - \frac{2h_1R_1}{z_2} \cos 2\varphi_2 + \frac{A_1 \cos^2 \gamma}{\cos^2(\varphi_2 - \gamma)} + \left[\frac{2h_1R_1}{z_2} \cos 2\varphi_2 - 0,5m(h_1 + R_1 \operatorname{tg} \gamma) * \right.$$

$$\left. * \cos(0,5m\varphi_2) \right] \frac{\sin \varphi_2 \cos \gamma}{\cos(\varphi_2 - \gamma)};$$

$$A_3 = \frac{h_1 - R_1}{\cos \gamma} + [R_1 \sin(0,5m\varphi_2) - 0,03m - \frac{h_1R_1}{z_2} \sin(2\varphi_2)] \operatorname{tg} \gamma + A_1 \frac{\sin \varphi_2 \sin \gamma}{\cos(\varphi_2 - \gamma)};$$

h_1, h_2, R_1, R_2 – висота, глибина западини, радіуси зубців паса та западини зубців шків;

$m, z_2, R_\delta = 0,5mz_2, \delta_0, \varphi_2, \alpha = \pi / z_2$ – модуль, кількість зубців шків, дільний радіус шків, відстань від ніжки зубця паса до середини корду, кут оберту шків, половина центрального кута, відповідно.

Для визначення закономірностей характеристики зачеплення зубців паса та шків, за допомогою математичних залежностей (3, 4), будемо графічні залежності основних геометричних параметрів X_p і Y_p від кута оберту шків ($X_p = f(\varphi_2), Y_p = f(\varphi_2)$). При побудові графічних залежностей задаємося параметрами передачі, тобто радіусами западини шків і зубця паса, модулем, кількістю зубців шків, глибиною западини і висотою зубця, кутом оберту шків, який є змінною величиною і знаходимо параметри X_p і Y_p . Одержані графічні залежності надаються на рис. 1 (відомим елементом є зубці шків) і рис. 2 (відомим елементом є зубці паса) для трьох значень модуля зубчасто-пасової передачі ($m = 3, 4, 5$ мм), які знаходять найбільше використання в промисловості, і кількості зубців шків ($z_2 = 20, 30, 40$) при куті нахилу передачі рівному нулю ($g = 0$). Аналіз одержаних характеристик зачеплення зубців паса і шків дозволяє зробити наступні висновки:

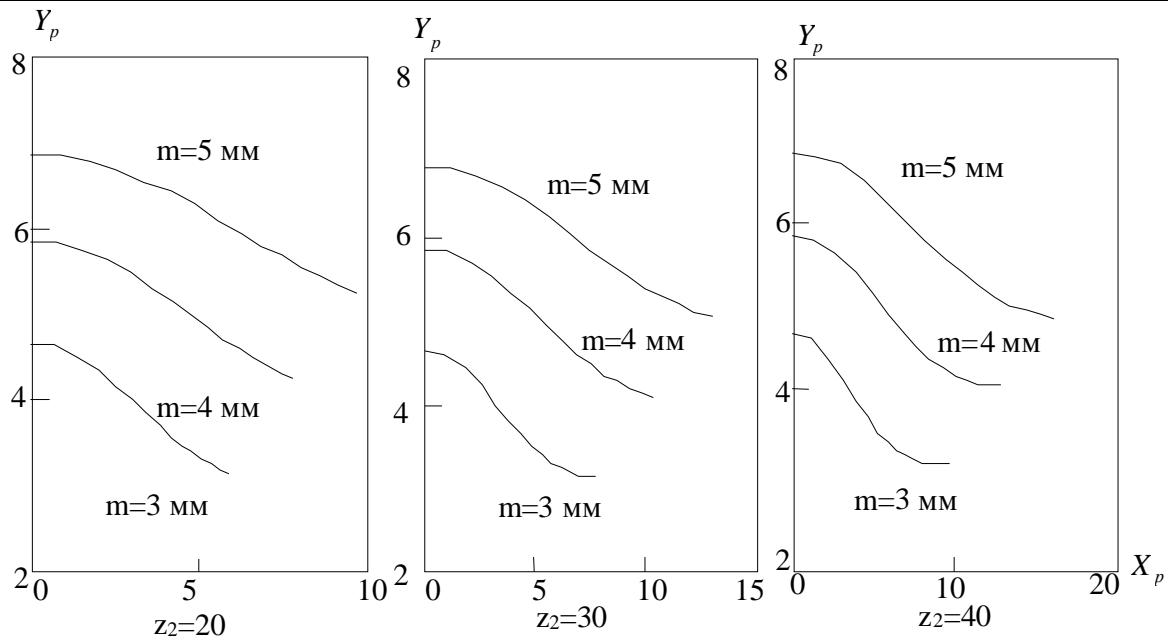


Рис. 1. Лінія зачеплення напівколового профілю зубців (відомий профіль зубців шківів)

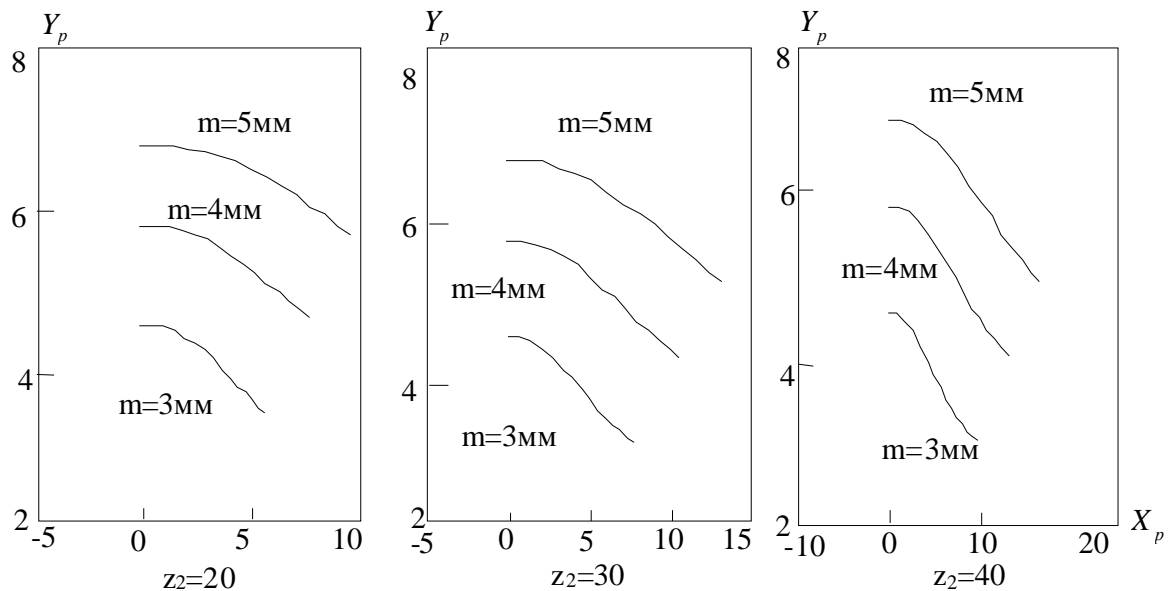


Рис. 2. Лінія зачеплення напівколового профілю зубців (відомий профіль зубців паса)

1) характеристика зачеплення уявляє плавну криву лінію; 2) характер лінії зачеплення не залежить від модуля і кількості зубців шківів; 3) кількість зубців шківів на характер лінії зачеплення не впливає; 4) збільшення модуля зубчасто-пасової передачі веде до невеликого повороту розташування лінії зачеплення; 5) характер лінії зачеплення не залежить від того, який елемент є відомим.

Таким чином, в результаті проведеного дослідження одержані математичні залежності для визначення характеристик зачеплення зубців паса і шківів, а також проведений графічний аналіз характеристик зачеплення зубців паса і шківів.

Література

1. Вороб'єв І.І. Ременные передачи. – М.: Машиностроение, 1979. – 163 с.
2. Арбузов М.О. Выбор оптимального профиля зуба ремня в плоскозубчатой передаче с точки зрения облегчения входа его в зацепление с зубом шкива // Механические передачи (цепные с зубчатым ремнем). М.: НИИМАШ, 1971. – С. 152-160.
3. Погребняк А.П. Геометрия зацепления зубчатых ременных передач. – Теория механизмов и машин. – 1979. – Вып. 27. – С. 88-92.
4. Овчинников О.О. Розрахунок профілю зубців шківів // Проблеми трибології. – Хмельницький. – 2008. – № 4. – С. 100-105.

Надійшла 4.12.2009 р.

МЕТОДИКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПОВЕРХОНЬ ФРЕТИНГ-КОНТАКТУ

*Предложена методика определения параметров поверхностей, работающих в условиях фреттинга.
The procedure of definition by parameters of the surfaces working in requirements fretting is offered.*

Ключові слова: фретинг, контакт поверхонь.

Вступ та постановка задачі. Задача визначення фактичної площі контакту є чи не центральною проблемою дослідження цілісності номінально-нерухомого з'єднання. Якщо навіть в найпростішому варіанті розглядати пару як сукупність мікроповерхні з ідеальною площиною (рис. 1), то фактична площа контакту (ФПК) формується як сума кінцевих елементарних площадок, причому в цьому варіанті вони всі паралельні контрповерхні K_n , в якості якої і виступає ідеальна площина. Проте роль кожної елементарної площадки різна, оскільки величина номінальних, максимальних напружень стиску, а також геометричних характеристик перетинів та їх співвідношення по цих площадках суттєво відрізняється.

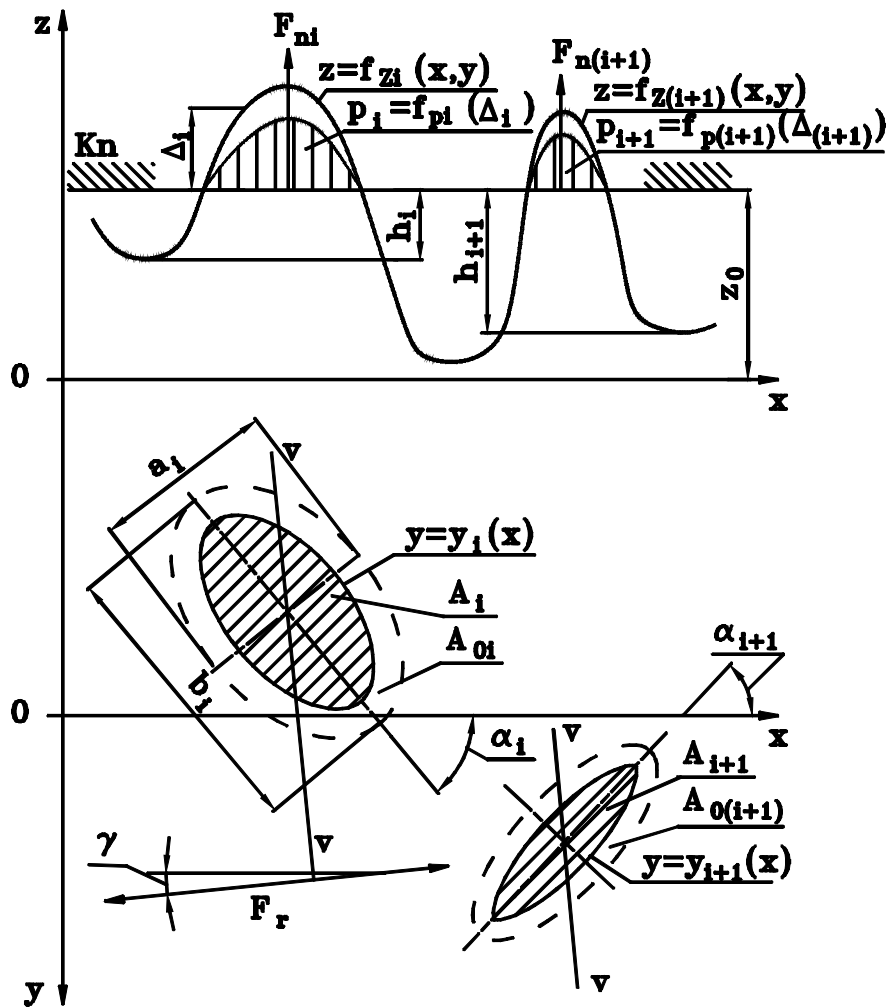


Рис. 1. Схема взаємодії мікропрофілю з ідеалізованою площиною

В загальному вигляді реальна поверхня складається з мікроелементів поверхні (МП), орієнтованих стосовно певної системи координат довільно. Ця орієнтація характеризується не тільки координатами якоїсь характерної точки прив'язки мікроелемента, але і кутами повороту фігури МП α_i, α_{i+1} тощо. Відповідно перетин МП теж може бути довільним і характеризуватись деякими розмірами a_i, b_i , площами основи $A_{0i}, A_{0(i+1)}$, а також геометричними характеристиками перетинів, які визначають міцність та жорсткість окремих елементів (осьовий момент опору, моменти інерції). Останні характеристики як важливий параметр, що впливає на сукупну жорсткість, витривалість при дії циклічних напружень та міцність всієї системи, слід визначати стосовно осей $v-v$, котрі перпендикулярні напрямку дії фрикційного збурювання F_r . Цей напрямок теж може характеризуватись певною орієнтацією, яка фіксується кутом між напрямком дії сили збурювання та однією з осей координат y (тією ж, що вибиралась для вимірювання кутів α).

Кожний з МП може мати довільну форму, описану певною закономірністю виду $z = f_{z_i}(x, y)$.

Проте, виходячи з умови рівномірності всіх перетинів МП, слід зупинити вибір на формі параболоїда, а з врахуванням відзначеного вище стосовно різних геометричних розмірів та характеристик основи найбільш реально зупинитись на формі МП у вигляді параболоїда, в основі котрого лежить еліпс з довжинами осей a_i, b_i . З врахуванням реально незначних абсолютних значень розмірів МП таке допущення цілком обґрунтоване.

Мікроелемент поверхні контакту (МПК) для схеми, показаної на рис. 1, з врахуванням запропонованої параболоїдної моделі МП теж мати форму еліпса, довжини осей якого визначаються на основі розмірів основи з врахуванням параболічної форми всіх осьових перетинів.

Стан рівноваги системи контактуючих поверхонь має місце для певного положення контрповерхні K_p , яке відзначається деяким характерним розміром базової координати z_0 , яка відмірюється від довільного, але стабільного, початкового положення. Відповідно це положення визначає залишкову висоту кожного МП стосовно його основи h_i, h_{i+1} тощо. При цьому кожний МП буде zdeформовано на величину Δ_i , яка буде змінюватись по поверхні МПК з врахуванням закону, за допомогою якого описана початкова поверхня МП. Тоді напруження стиску на поверхні МПК будуть змінюватись по закону виду $p_i = f_{p_i}(\Delta_i)$. Проте при цьому слід врахувати одну суттєву обставину, яка полягає в тому, що напруження стиску на поверхні МПК $p_i = E_i \epsilon_i$ залежать не тільки від відносної деформації $\epsilon_i = \Delta_i / (\Delta_i + h_i)$, але також від модуля пружності, який при ущільненні поверхні теж буде змінюватись. З врахуванням мікророзмірів МП, що неминуче на перший план висуне питання масштабного фактора, котрий при таких незначних розмірах врахувати буде практично неможливо, ймовірно вихід полягатиме в тому, що модуль пружності в тій чи іншій мірі залежатиме від характеристики ущільнення поверхні, якою, наприклад може служити характер зміни мікроповерхневої твердості $H_i = H_0 + f_H(\epsilon_i)$, де H_0 – початкова мікроповерхнева твердість, а $f_H(\epsilon_i)$ – характер зміни її залежно від відносної деформації. Останній для спрощення задачі, а також з врахуванням локальності дії напружень стиску дуже імовірно може бути лінійним, хоча це питання може бути вирішене експериментально, наприклад шляхом визначення відповідних показників для двох поверхонь, форма яких наближається до ідеальних площин, після стиснення їх при певних значеннях контактних напружень.

Сума нормальних до площадок контакту рівнодійних F_{ni}, F_{ni+1} тощо повинна врівноважувати зовнішню силу, яка номінально направлена перпендикулярно до поверхні контакту. В подальшому історія поведінки пари фретинг-контакту складатиметься з безлічі історій перетворень в кожному з МПК. Залежно від величин напружень стиску та їх рівнодійної, жорсткості МП на згин (з врахуванням притискуючої дії рівнодійної), втомної витривалості МП, а також міцності його на згин в зоні МПК можливе взаємне переміщення за рахунок пружної деформації МП, проковзування по МПК, а також у зв'язку з руйнуванням МП. Останнє призводить до перерозподілу напружень стиску і продовження історії поведінки пари фретинг-контакту вже по новому сценарію.

Ще значно складнішою буде картина взаємодії елементів пари фретинг-контакту, якщо вони обидва матимуть форму, відмінну від ідеалізованої площини. Тоді конфігурація МПК буде просторовою, а нормальна до поверхні МПК сила розкладатиметься на декілька напрямків, орієнтованих певним чином стосовно напрямку дії сили збурювання F_r .

Викладене вище підтверджує важливість задачі ідентифікації поверхні шляхом характеристики її за допомогою системи певних параметрів.

Основні положення методики ідентифікації. Зміна тих чи інших характеристик поверхневого шару контактуючих деталей в результаті його модифікації, в певній мірі змінює рельєф поверхневого шару. В зв'язку з цим при проектуванні вузлів та конструкцій, що мають в своєму складі з'єднання, поверхні яких модифікувались, слід враховувати отриманий внаслідок обробки рельєф та його вплив на експлуатаційні властивості машини в цілому. Вихідна якість поверхні, отримана при технологічній обробці, має характеристики, які відрізняються від характеристик в процесі експлуатації. Це пов'язано з тим, що внаслідок впливу високоенергетичного потоку часток на поверхню та нанесення певного покриття (імплантація) відбувається зміна макрогеометричних характеристик поверхні. Макрогеометричні характеристики особливо важливі для початкових умов роботи оскільки в значній мірі впливають на фактичну площу контакту. Внаслідок технологічної обробки поверхня деталі набуває певної форми, яке не відповідає ідеальній поверхні, на поверхні виникає мікрорельєф, який формують шорсткість та хвилястість. При контакті таких поверхонь площа контакту не буде суцільною, а навантаження сприйматимуть лише певні ділянки поверхні. Сума площ таких ділянок складає фактичну площу контакту. Формування ФПК відбувається внаслідок зминання та взаємного проникнення окремих мікронерівностей. Визначення ФПК є важливим при проектуванні номінально нерухомих фрикційних з'єднань, оскільки величина відносних мікропереміщень в значній мірі залежить від нормального тиску. У зв'язку зі значною зміною ФПК змінюється сила тертя в контакті, а отже властивість контакту опиратися відносному тангенціальному зміщенню.

Макропрофіль поверхні, що утворюється в процесі обробки поверхневого шару високоенергетичними методами має характер регулярних западин та підйомів. Як було зазначено вище, ця особливість рельєфу в значній мірі впливає на розподіл сил в нерухомому з'єднанні в бік підвищення механічної складової.

Тому для кількісної та якісної оцінки робочих поверхонь на стадії проектування та початкових циклах навантаження доцільно застосувати методи математичного аналізу для формалізації геометрії поверхні. Оскільки при дослідженні фретингостійкості було застосовано широкий спектр методів модифікації поверхні, які в свою чергу змінюють геометрію поверхневого шару в широкому діапазоні значень – від зміни шорсткості до надання специфічної макрогеометричної форми (рис. 2) доцільно визначити критерії, що дозволять порівняти геометрію поверхні при різних способах модифікації поверхні.

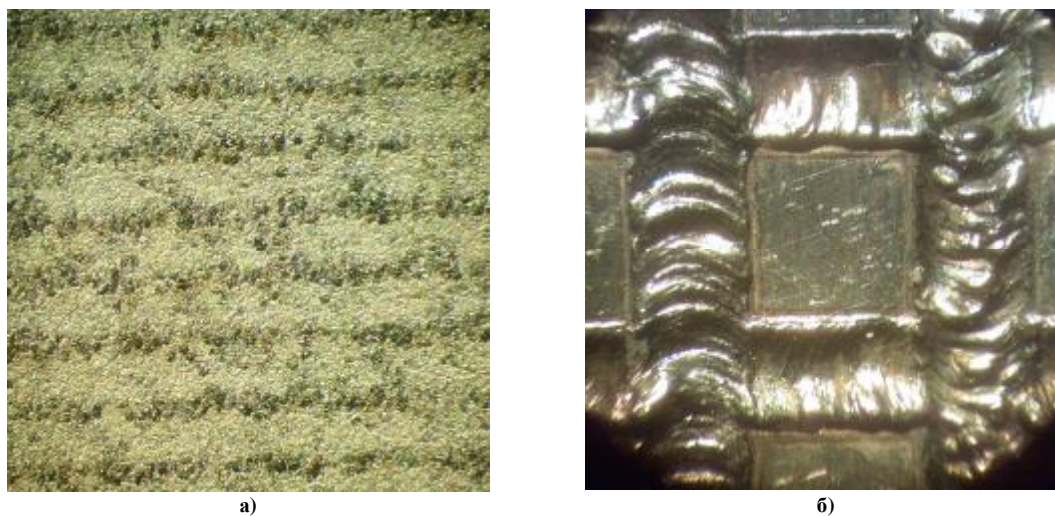


Рис. 2 – Видяк поверхні після електроіскрового легування (а) та лазерного опромінення (б) (x100)

Для цього доцільно визначити кількісні характеристики профілю поверхні та чисельно виміряти величину та крок нерівностей. При отриманні профілю поверхні деталей після їх поверхневої модифікації він також має значні відхилення від номінальної форми поверхні. Враховуючи значний діапазон зміни висоти профілю, що утворився після обробки, для вимірювання нерівностей поверхні запропоновано вимірювання безконтактним методом, а саме методом світлового січення.

Метод полягає у наступному (рис. 3). Пучок світла, що подається від джерела світла 5 через вузьку щілину направляється окуляром 2 під кутом β на контрольовану поверхню 1 в місце встановлення січної заслінки 3. Відбите зображення переноситься через об'єктив 4 вимірювального мікроскопа, який встановлений під тим же кутом β . Величина нерівності визначається зі співвідношення $h = b \cdot \sin a$.

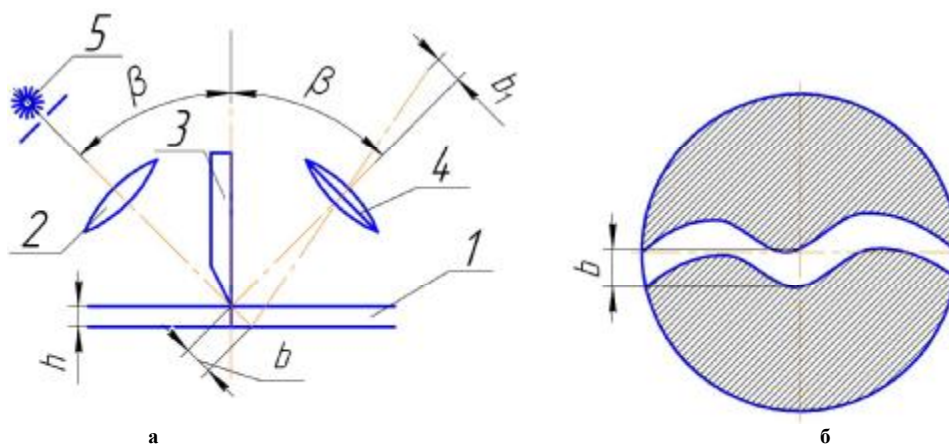


Рис. 3. Схема вимірювання висоти профілю
а – принципова схема вимірювання, б – до визначення ширини видимого контуру

На рис. 4 зображено вигляд контуру, отриманого запропонованим методом. Після цього графічний матеріал піддається обробці і отриманий контур представляється у вигляді числового ряду, графік отриманий на основі такого ряду (рис. 5) відображає форму та висоту відхилень геометричних характеристик поверхні.

Покриття, отримані для досліджень, наносяться з певною періодичністю (кроком), тому профіль поверхні після обробки з певними припущеннями можна вважати періодичним. В кінцевому результаті будь-яка з поверхонь може бути представлена у вигляді ряду Фур'є виду

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t),$$

$$\text{де } a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) dt, \quad a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \cos n\omega t dt, \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} f(t) \sin n\omega t dt.$$

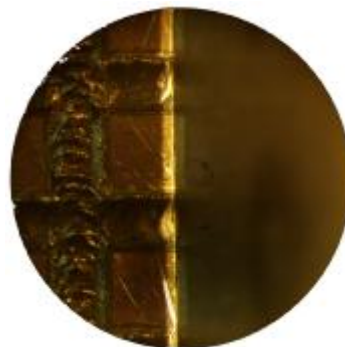
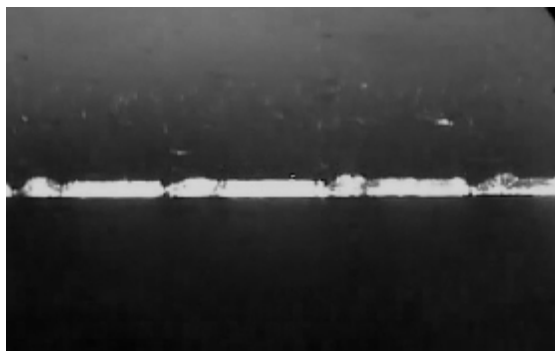
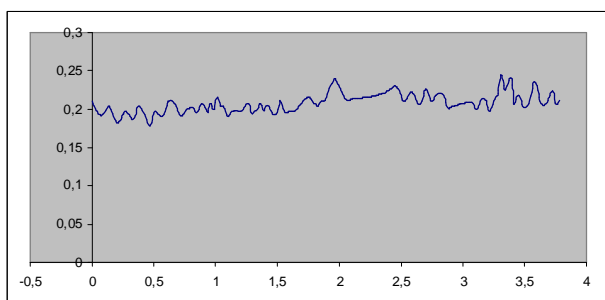
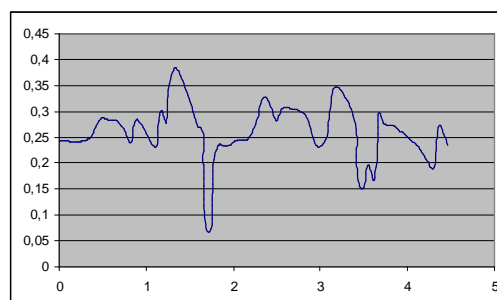


Рис. 4. Вигляд контурів зрізів в процесі вимірювання параметрів поверхні



а)



б)

Рис. 5. Профіль поверхні після електроіскрового легування (а) та лазерного опромінення (б)

Висновок. Запропонована методика ідентифікації поверхонь контакту практично апробована і може бути використана для досліджень фретингостійкості номінально нерухомих фрикційних з'єднань. Отримані характеристики передбачається використати для обґрунтування параметрів аналітичної моделі фрикційного контакту.

Література

1. Беляев Н. М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 608 с.

Надійшла 8.12.2009 р.

УДК 621.78/ (66.088+537.52+66.046)

А.М. ДАВИДОВ, М.В. ЛУК'ЯНЮК, І.М. ПАСТУХ
Хмельницький національний університет

АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЖИМУ АЗОТУВАННЯ В ЦИКЛІЧНО КОМУТОВАНОМУ ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Наведені основні передумови та принципи використання циклічно-комутованого тліючого розряду для азотування металевих поверхонь.

The base requirements and principles of application cyclically – commuted a glow discharge for a nitrogen hardening of metal surfaces are reduced.

Ключові слова: азотування, тліючий розряд

Вступ. Відповідно до даних, які наведені в джерелах [1-4], впровадження режиму циклічної комутації при азотуванні в тліючому розряді відкриває додаткові можливості підвищення ефективності та якості вказаної технології, насамперед:

- розширюється можливість азотування деталей складної форми (наявність глибоких та вузьких пазів, отворів малого діаметра та значної глибини тощо);
- знижується ризик локальних ушкоджень модифікованих поверхонь за рахунок зменшення імовірності виникнення дугових розрядів;
- розширюється допустимий діапазон регулювання таких важливих з точки зору оптимізації технологічного процесу параметрів як тиск в розрядній камері та температура поверхні деталей;

- для варіанту автономної системи нагрівання деталей значно спрощується контроль недопущення перегрівання поверхні, спричиненої виділенням додаткової енергії розряду.

Основні положення розробки апаратури для циклічної комутації розряду. Розробка експериментального макету пристрою для реалізації циклічної комутації газового розряду базувалась на наступних передумовах:

- максимальна сумісність з існуючим електротехнічним та електронним устаткуванням;
- використання доступної елементної бази;
- можливість забезпечити достатньо широкий діапазон зміни параметрів комутації з метою подальшої оптимізації режимів та їх порівняльного аналізу;

- надійний захист устаткування від перевантажень та нештатних ситуацій.

Обґрунтування параметрів комутації базується в першу чергу на наступних вимогах до джерела імпульсного струму:

- форма імпульсу повинна бути прямокутною, що забезпечувало б стрибок від нульового рівня до бажаної зони аномального тліючого розряду;

- тривалість імпульсу повинна бути меншою за час розвитку дуги (приблизно менше 100 мкс), при цьому порушується формування дуги; в разі необхідності переривання струму може виконуватись протягом будь-якого імпульсу;

- пауза, котра слідує після кожного імпульсу, повинна бути настільки короткою, щоб забезпечити легке запалювання розряду під дією наступного імпульсу, тобто бути меншою декількох мілісекунд;

- відношення тривалості імпульсу та паузи повинно змінюватись в широких межах для ефективного керування нагріванням деталей.

Типові значення тривалості імпульсу, які рекомендуються в [2], знаходяться в інтервалі 20 – 100 мкс, в той час, як тривалість паузи може змінюватись в межах 20 – 200 мкс. Слід в той же час зауважити, що процеси запалювання і гасіння розряду відзначаються суттєвою інерційністю, а ця обставина накладає певні обмеження на вибір часових параметрів комутації. Більш того, інерційність процесів газового розряду може залежати від геометрії розрядного простору та його розмірів, котрі в реальних умовах можуть змінюватись в дуже широкому діапазоні. З цього випливає висновок, що було б необачно беззастережно переносити рекомендації [2, 3], які розроблені на експериментальній установці з камерою діаметром 400 мм та висотою 600 мм, на випадок значно більших за розмірами установок. Те ж стосується і результатів, отриманих в процесі фізичних досліджень мініатюрних газорозрядних приладів (так званий лабораторний розряд). Однак, прийнято рішення на даному етапі розробки забезпечити достатньо широкий діапазон параметрів комутації струму з метою його уточнення після проведення серії попередніх експериментів. А саме задаємось діапазонами варіації частоти f слідування імпульсів від одного до десяти кілогерц, коефіцієнту заповнення періоду від нуля до одиниці

$$h = t_n / T = 0 \dots 1,$$

де T – період слідування імпульсів, $T = 1/f$,

t_n – тривалість імпульсу (тривалість активної частини періоду).

Вибір структури вторинного джерела живлення. З метою економії часу та витрат прийнято рішення як базовий використовувати блок живлення існуючих установок для азотування в тліючому розряді, в тому числі – відповідні пристрої керування (КПА – контролер процесу азотування), а також датчики струму та напруги розряду. Для реалізації імпульсного режиму установки блок живлення додатково укомплектовано Т-подібним RC – згладжуючим фільтром та спеціально розробленим контролером переривчастого режиму (КПР), який включає силовий електронний ключ ЕК з пристроєм керування та захисту.

Для побудови силового ключа вибрано потужний транзистор структури MOSFET, котрий відзначається наступними перевагами, в першу чергу – в порівнянні з біполярними транзисторами:

- мала потужність, споживання в колах управління;
- хорошими характеристиками при паралельній роботі, що дозволяє порівняно легко нарощувати потужність ключа (до певних меж).

Разом з тим, як і при використанні біполярних транзисторів, в даному випадку актуальна проблема захисту від перевантажень за струмом, котрі різко знижують надійність ключа.

Функціональна схема контролера переривчастого режиму приведена на рис. 1. Там же для зручності показані деякі суттєві з точки зору пояснення принципу роботи системи елементи установки: трифазний випрямляч 1 (включає Т-подібний RC- згладжуючий фільтр), газорозрядну камеру 2, датчик струму R_i – 3, контролер процесу азотування 4.

В якості електронного ключа використовуються два паралельно включені по виходу транзистори, кожний з котрих характеризується граничними значеннями напруги та струму, відповідно – 900 В та 8 А.

Перед тим, як перейти до викладення принципу роботи захисту електронного ключа за струмом, відмітимо наступне. По-перше, захист повинен спрацьовувати при перевищенні будь-яким імпульсом розрядного струму наперед встановленого безпечного значення. По-друге, після спрацьовування захисту та зникнення причини, яка викликала це спрацьовування (наприклад, короткочасне випадкове підвищення напруги джерела живлення), система захисту повинна повернутись у вихідний стан, а камера – продовжити

роботу в штатному імпульсному режимі. По-третє, особливу роль система захисту повинна відігравати при початковому включенні установки та запалюванні розряду, оскільки в цьому випадку місце знаходження робочої точки на вольт-амперній характеристиці газового розряду практично неконтрольоване, тому і ймовірність перевантаження за струмом значна.

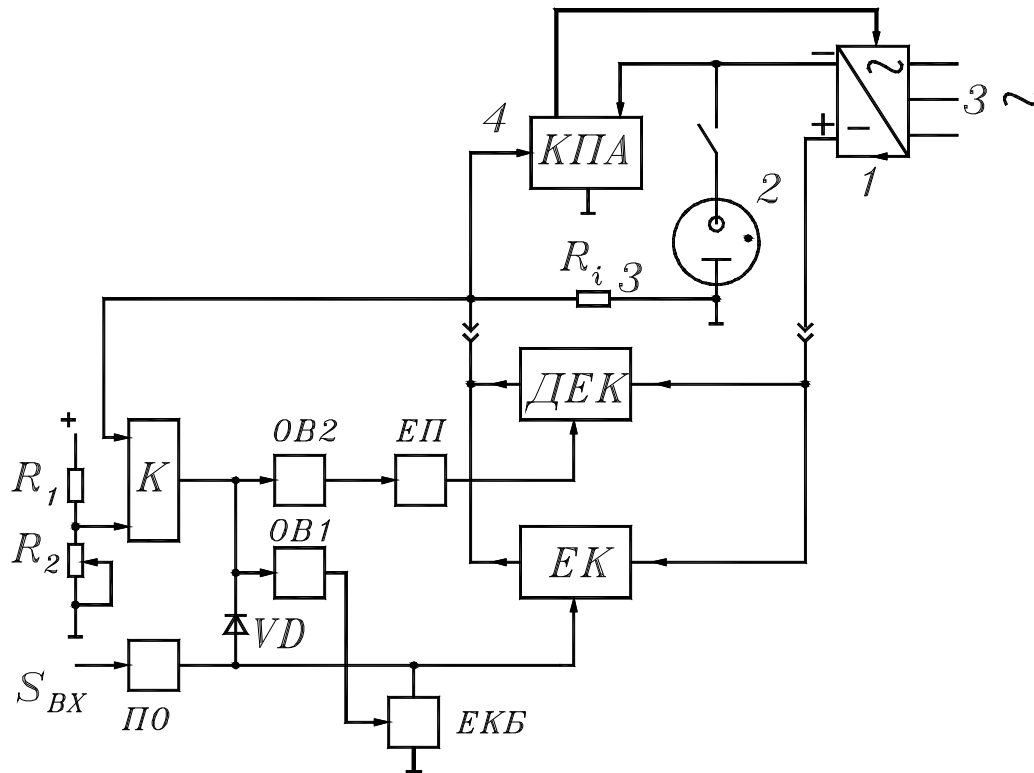


Рис. 1 Функціональна схема контролера переривчастого режиму

1 – трифазний випрямляч; 2 – розрядна камера; 3 – датчик струму; 4 – контролер процесу азотування; R_i – датчик струму; R_1 , R_2 – задавачки порогу; K – компаратор; S_{BX} – вхідний керуючий сигнал; $ПО$ – підсилювач-обмежувач; $OB1$, $OB2$ – одинвібратори; EK – електронний ключ; $ДЕК$ – допоміжний електронний ключ; $ЕП$ – емітерний повторювач; EKB – електронний ключ блокування; VD – діод блокування

Виходячи з вищесказаного, доцільно побудувати захист таким чином, щоб:

- сигнал перевантаження за струмом переводив установку з імпульсного режиму роботи в безперервний за допомогою допоміжного електронного ключа (ДЕК), толерантного стосовно перевантажень за струмом;
- в безперервному режимі система захисту в блоці КПП відслідковувала поточні значення струму, а відсічка дуг виконувалась під керуванням блоку КПА;
- при зникненні сигналу перевантаження за струмом система автоматично поверталась в імпульсний режим шляхом відновлення комутації електронного ключа EK та закривання допоміжного електронного ключа $ДЕК$.

Керуючі імпульси, які служать для циклічного замикання основного електронного ключа EK , утворюються з вхідного сигналу S_{BX} гармонічної чи імпульсної форми за допомогою підсилювача-обмежувача $ПО$. Штатний режим роботи установки полягає в тому, що за допомогою ключа EK циклічно комутується струм, створюваний джерелом 1, в колі живлення камери 2. Цим забезпечується періодичне чергування інтервалів існування в камері аномального тліючого розряду з інтервалами гасіння розряду. Миттєві значення розрядного струму безперервно відслідковуються шляхом порівнювання в компараторі K сигналу з датчика струму R_i та порогової напруги, котра задається дільником R_1 , R_2 . У випадку перевищення струмом розряду критичного значення напруга на виході компаратора переходить з вихідного стану «лог.1» в стан «лог.0», що в свою чергу призводить до запуску одинвібраторів $OB1$ і $OB2$. Позитивний імпульс з виходу одинвібратора $OB1$ відкриває паралельний електронний ключ блокування керуючих імпульсів EKB , в результаті чого основний електронний ключ EK закривається. Одночасно позитивний імпульс з виходу одинвібратора $OB2$, підсилений за потужністю емітерним повторювачем $ЕП$, відкриває допоміжний тиристорний електронний ключ $ДЕК$, толерантний стосовно значних перевантажень за струмом. В результаті камера переходить з режиму циклічно комутуваного в режим безперервного розряду. За допомогою цього досягається не тільки захист ключа EK від перевантажень за струмом, але і захист за напругою, що важливо в закритому стані силових транзисторів EK . Цикл захисту продовжується і після закінчення вихідного імпульсу одинвібратора $OB1$ в разі, коли на виході компаратора K зберігається

стан «лог. 1», що свідчить про перевантаження за струмом, проте в цьому випадку керуючі імпульси *EK* блокуються за рахунок відкриття діода *VD*.

Керування роботою установки на інтервалі захисту, в тому числі і відсічка дуг, виконується контролером процесу азотування *KPA*, котрий штатно входить у склад обладнання установки азотування.

Після того як зникне перевантаження за струмом, а відповідно – фактори блокування роботи ключа *EK*, установка автоматично повертається в режим циклічної комутації. Це відбувається після надходження першого ж позитивного імпульсу керуючого сигналу, який відкриває силові транзистори *EK*. В результаті шунтування ключем *EK* тиристора *ДЕК* останній закривається, що забезпечує вихід з циклу захисту. Для зручності початкового запуску і при налагоджувальних роботах використовується ручне перемикання режимів.

Живлення блока *KPP* забезпечується від стабілізованого джерела з вихідною напругою +15 В.

Висновки. Практична реалізація вищеописаного пристрою КІР на установці азотування в тліючому циклічно-комутуваному розряді підтвердила його працездатність в умовах реальних технологічних процесів. При цьому досягнуті всі заплановані вищевідзначені передумови, що відкриває шлях до експериментального використання циклічно-комутуваного розряду для модифікації поверхні металевих сплавів на принципово новій основі. Застосування означеного методу дозволяє вирішувати цілий ряд проблем технологічного порядку, серед яких найголовніша – модифікація деталей складної форми, з отворами та заглибленнями малих поперечних та великих за протяжністю розмірів. Подібні деталі вдавалось ефективно азотувати тільки з використанням пічного азотування в аміачних газових середовищах, тобто процесу, який в сучасних умовах неприйнятний не тільки з огляду на його економічні показники, але й, насамперед, з позицій екологічної безпеки. Крім того суттєво зменшується імовірність пошкодження поверхні, викликаного випадковим переходом тліючого розряду в дуговий, що часто спостерігається при застосуванні безперервного живлення розрядної камери.

Література

1. Kwon S. C., Lee G. H., Yoo M. C. A comparative study between pulsed and D. C. ion nitriding behavior in specimens with blind holes // 1st International conference of ion nitriding. – Cleveland, Ohio. – 1986. – P. 77-81.
2. Grun R. Pulse plasma treatment the innovation for ion nitriding // 1st International conference of ion nitriding. – Cleveland, Ohio. – 1986. – P. 143-168.
3. Grun R. Industrial advances for plasma nitriding // Ion nitriding and ion carburising: 2nd International conference of ion nitriding/carburising. – Cleveland, Ohio. – 1989. – P. 157-163.
4. Dressler S. Plasma parameter control for industrial situations: The role of hot wall plasma nitriding furnaces // Ion nitriding and ion carburising: 2nd International conference of ion nitriding/carburising. – Cleveland, Ohio. – 1989. – P. 183-195.

Надійшла 14.12.2009 р.

УДК 004.891.3: 004.3

О.В. ПОМОРОВА, Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, С.Я. ТАРАСЕК
Хмельницький національний університет**АНАЛІЗ ТА ОПРАЦЮВАННЯ МЕТРИК ЯКОСТІ
ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ**

У статті проведено огляд стандартів в галузі забезпечення якості програмного забезпечення (ПЗ) та моделей якості ПЗ. Проаналізовано метрики якості програмного забезпечення з точки зору можливості їх застосування на етапі проектування ПЗ з одержанням точного або прогнозованого значення. Розглянуто методи вимірювання показників якості з точки зору їх застосовності на етапі проектування. Виділено основні задачі в галузі метричного аналізу та опрацювання метрик якості на етапі проектування ПЗ.

In article review of standards in the area software quality guaranteeing and software quality models were surveyed. Software quality metrics were analyzed in respect to their adaptability on the software design stage with receiving of exact or predictable value. The measuring techniques of software quality metrics were viewed in respect to their adaptability on the software design stage. Basic tasks in the area software metrical analyze and software quality metrics on the developing stage processing were emphasized.

Ключові слова: якість ПЗ, стандарти якості, моделі якості, метрики якості ПЗ, методи вимірювання якості ПЗ, методи опрацювання метрик.

Вступ

Сучасне програмне забезпечення (ПЗ) є визначальною складовою багатьох систем, серед яких системи критичного застосування та спеціалізовані системи різноманітного призначення. Для зазначених систем проблема наявності помилок в програмному забезпеченні та низька якість ПЗ загрожують катастрофами [1-3] в певних галузях, які призводять до людських жертв та екологічних катаклізмів, або, щонайменше, до значних економічних та часових втрат. Проблема виявлення та усунення помилок загострюється по мірі збільшення складності задач та програм, які їх вирішують. Розвиток сучасних технологій розроблення ПЗ вимагає динамічного розвитку засобів оцінки якості ПЗ, причому вже на етапі проектування (з точки зору економічної та часової доцільності).

Сучасна індустрія ПЗ характеризується високою конкуренцією. Для успішної роботи на цьому ринку софтверна компанія повинна розробляти, впроваджувати та супроводжувати ПЗ швидко, вкладаючись в термін та із задовільною якістю. Тому багато софтверних компаній вкладають кошти в покращення якості процесу розробки ПЗ, пам'ятаючи про те, що таке вкладення коштів обов'язково окупається – аналіз документованих випадків покращення процесів розробки ПЗ показує, що в успішних випадках спостерігається істотне покращення продуктивності та якості з середнім рівнем повернення вкладень від 5: 1 до 8: 1 [4].

На етапі проектування важливо закласти цілу низку вимог по якості: вимоги до структури програмної системи (ПС); вимоги до навігації по ПС; вимоги до дизайну інтерфейсів користувача; вимоги до мультимедіа-компонентів ПС; вимоги по зручності (usability); технічні вимоги. На цьому етапі формується відповідь на питання "Яким чином програмна система буде реалізовувати висунуті до неї вимоги?" Інформаційні потоки етапу проектування ПЗ: вимоги до ПЗ, представлені інформаційною, функційною та поведінковою моделями аналізу. Інформаційна модель описує інформацію, які повинна обробляти ПЗ на думку замовника. Функційна модель визначає перелік функцій обробки інформації та перелік модулів програмної системи. Поведінкова модель фіксує бажану динаміку системи (режими її роботи). На виході етапу проектування – розробка даних, розробка архітектури та процедурна розробка ПЗ.

Огляд стандартів та основних термінів в області забезпечення якості програмного забезпечення

Якість ПЗ – це характеристика ПЗ, яка відображає ступінь його відповідності вимогам. При цьому вимоги можуть трактуватись досить широко, що породжує цілий ряд незалежних визначень поняття якості. Згідно з визначенням ISO [5], якість – це ступінь відповідності присутніх характеристик вимогам. Згідно з [6], якість – це повнота властивостей і характеристик продукту, процесу або послуги, які забезпечують здатність задовольняти оголошеним або передбачуваним потребам. Згідно з [7], якість ПЗ – це ступінь, в якому воно володіє потрібною комбінацією властивостей. Згідно з [8], якість програмного засобу – це сукупність властивостей програмного засобу, які обумовлюють його придатність задовольняти задані або передбачувані потреби у відповідності до його призначення. Стандарт [9] дає наступне визначення якості ПЗ – весь обсяг ознак та характеристик програмної продукції, який належить до її здатності задовольняти встановлені або передбачувані потреби.

У відповідності до стандартів [10], забезпечення якості – це сукупність планованих та систематичних заходів, необхідних для впевненості в тому, що продукція або процеси задовольняють певним вимогам до якості.

Критерій оцінки якості програмного засобу – сукупність прийнятих у встановленому порядку правил і умов, за допомогою яких встановлюється прийнятність в цілому якості програмного засобу [8]. Згідно з [9], критерій оцінки якості ПЗ – набір визначених та задокументованих правил і умов, які

використовуються для висновку про прийнятність загальної якості конкретної програмної продукції. Характеристика якості програмного засобу – набір властивостей програмного засобу, за допомогою яких описується та оцінюється його якість [8]. Згідно з [9], характеристика якості ПЗ – набір властивостей (атрибутів) програмної продукції, за якими її якість описується і оцінюється. Показник якості програмного засобу – характеристика якості програмного засобу, яка має кількісне значення [8]. Метрика якості ПЗ – кількісний масштаб і метод, які можуть бути використані для визначення значення ознаки, прийнятої для конкретної програмної продукції [9]. Згідно з [11], метрика визначається як міра ступеня володіння властивістю, яка має числове значення. Взагалі, метрика ПЗ – це міра, яка дозволяє одержати числове значення деякої властивості ПЗ або його специфікацій.

Основним стандартом якості в області інженерії ПЗ є стандарт [12], який визначає номенклатуру, атрибути і метрики вимог якості ПЗ. Цей стандарт є одним з визначальних факторів при моделюванні якості ПЗ. На додаток до нього випущено набір стандартів [13], які регламентують способи оцінки цих характеристик. В сукупності вони утворюють модель якості, відому під назвою SQuaRE (Software Quality Requirements and Evaluation).

Стандарти серії ISO 9000 складаються з частин [14-18]. Стандарти [14, 18] – довідники, стандартами відповідності є [15-17]. Крім серії ISO 9000 затверджені й інші системи стандартів, які поки що не настільки популярні, але впевнено набирають силу [19] – похідний стандарт від ISO 9000, розроблений асоціацією QuEST Forum. В нього включено додаткові вимоги до надійності, до управління життєвим циклом ПЗ, а також питання інсталяції та налагодження ПЗ [20] – модель зрілості процесів – стандарт, розроблений американським інститутом SEI і призначений переважно для програмної індустрії. Згідно з моделлю [20], софтверне підприємство повинно довести, що його продукція не просто задовільняє вимоги абстрактного замовника, але й ідеально підходить конкретній групі клієнтів.

Стандарт [8] встановлює терміни та визначення понять в області якості програмних засобів. Стандарт [21] встановлює загальні положення по оцінці якості програмних засобів, а також номенклатуру та застосовність показників якості ПЗ. Стандарт [9] визначає 6 характеристик, які оцінюють якість програмного забезпечення: функційні можливості, надійність, практичність, ефективність, супроводжуваність, мобільність. Дані характеристики утворюють основу для подальшого уточнення та опису якості ПЗ. Керівництва описують використання характеристик якості для оцінки якості ПЗ. Цей стандарт не визначає методи вимірювання та оцінки якості ПЗ. Визначення характеристик та відповідна модель процесу оцінки якості стандарту [9] застосовні, коли визначено вимоги до ПЗ та оцінюється якість ПЗ в процесі життєвого циклу.

Моделі якості програмного забезпечення

Загальний підхід до моделювання якості ПЗ полягає в тому, щоб спочатку ідентифікувати невеликий набір атрибутів якості найвищого рівня абстракції, а потім в напрямку "згори-донизу" розбити ці атрибути на набори підлеглих атрибутів. Стандарт [12] є типовим прикладом такого підходу. В межах моделі SQuaRE виділяються наступні 6 характеристик якості [22]:

- 1) функційність – функційні вимоги формулюються у вигляді тверджень в імперативній модальності, які описують поведінку ПЗ;
- 2) надійність – показники надійності характеризують поведінку ПЗ при виході за межі штатних значень параметрів функціонування за причини збою в оточенні або в самому ПЗ;
- 3) зручність – відповідність ПЗ вимогам до зручності надзвичайно важко піддається оцінці – запропоновані підходи базуються на вимірах витрат нормативних одиниць праці (нормогодин) на опанування програмного забезпечення користувачем, а також на проведенні та аналізі експертних оцінок, в тому числі із застосуванням методів нечіткої логіки;
- 4) ефективність (за ресурсами і часом) – атрибути ефективності традиційно належать до найважливіших кількісних показників якості ПЗ; для вимірювання значень атрибутів ефективності створено певний високорозвинений інструментарій, причому розроблені методики прогнозування інтегральних значень показників ефективності ПЗ, виходячи із значень цих показників для компонентів ПЗ та його оточення;
- 5) супроводжуваність – вимоги до супроводжуваності спрямовані в першу чергу на мінімізацію зусиль по супроводу та модернізації ПЗ, докладених експлуатаційним персоналом; для їх оцінки використовуються різні методики прогнозування витрат на виконання типових процедур супроводу;
- 6) можливість переносу ПЗ – характеризує ступінь свободи у виборі компонентів системного оточення, необхідних для його функціонування. Оцінка можливості переносу ускладнюється принциповою незавершеністю, динамічністю списку можливих варіантів оточення, обумовленою швидким прогресом в сфері інформаційних технологій.

Модель якості, створена в межах стандарту [12], визначається загальними характеристиками продукту. Характеристики можуть розбиватись на підхарактеристики якості. Нижній рівень ієрархії представляють атрибути ПЗ, які підлягають точному опису та виміру. Вимоги якості можуть бути представлені як обмеження на модель якості. Оцінка якості ПЗ відбувається наступним чином. Спочатку оцінюються атрибути ПЗ; обирається метрика, градуюється шкала оцінки залежно від можливих ступенів відповідності атрибуту накладеним обмеженням. Набір "вимірних" атрибутів представляє собою критерій для оцінки підхарактеристики та характеристик.

Існують десятки різних підходів до забезпечення якості ПЗ, і в кожного є свої переваги. Однією з

перших моделей якості став стандарт ISO серії 9000. Сертифікати ISO серії 9000 зберігають популярність та визнаються в усьому світі, але методики, покладені в основу стандартів серії ISO 9000, поступово застарівають. Недоліки стандартів серії ISO 9000 [23]:

- 1) недостатня деталізованість стандарту, можливість різних його трактувань залежно від уявлень аудитора;
- 2) неточність оцінки якості процесів, задіяних при створенні та впровадженні ПЗ;
- 3) відсутність в стандарті механізмів, які сприяють покращенню існуючих процесів.

Перераховані проблеми змусили експертів розробляти більш досконалі рішення в галузі забезпечення якості ПЗ, що призвело до створення цілої низки нових стандартів та методологій (Capability Maturity Model (CMM), ISO/IEC 15504 (SPICE), Bootstrap, Trillium, ISO 12207). Найбільш вдалі та змістовні стандарти – Capability Maturity Model (CMM) та ISO/IEC 15504 (SPICE).

Для визначення загального рівня розвитку технологічних процесів в програмних організаціях розробили спеціальну систему оцінки зрілості технологічних процесів в софтверних організаціях – модель Capability Maturity Model (CMM), засновану на так званих рівнях зрілості (maturity levels) [24]. Таких рівнів зрілості в CMM п'ять, і кожен з них характеризує певний ступінь якості програмних продуктів [24]:

1) початковий (initial) – відсутнє стабільне середовище розробки і супроводження; не витримуються терміни випуску продуктів; всі сили спрямовано на кодування і тестування програми (75 % софтверних організацій);

2) повторюваний (repeatable) – жорстке керування, планування і контроль; акцент робиться на початкові вимоги, методи оцінки і конфігураційний менеджмент (15 % софтверних організацій);

3) фіксований (defined) – процеси повністю документовані, стандартизовані та інтегровані в єдиний технологічний потік (8 % софтверних організацій);

4) керований (managed) – намагання оцінити якість процесів і готового продукту кількісно; для контролю над процесами використовуються метрики (1.5 % софтверних організацій);

5) оптимізований (optimizable) – намагання покращення роботи, керуючись кількісними критеріями якості; основна мета – випуск бездефектних продуктів, в яких помилки усунені ще на стадії внутрішнього тестування (0.5 % софтверних організацій).

6) 5-й рівень CMM вимагає постійного самостійного покращення процесу. Для покращення процесу керування проектом його ефективність вимірюється за допомогою метрик процесу [25]. Ці метрики дозволяють виміряти ефективність організації процесу, а також аналізу вимог, проектування, програмування і тестування.

Використання CMM ускладнюють наступні проблеми:

1) стандарт CMM є власністю Software Engineering Institute і не є загальнодоступним, відтак подальша розробка стандарту ведеться самим інститутом без залучення іншої частини програмістської спільноти;

2) оцінка якості процесів організацій може проводитись лише спеціалістами, які пройшли спеціальне навчання та акредитовані SEI;

3) стандарт орієнтований на застосування у відносно великих софтверних компаніях.

Для оцінки рівня компанії за шкалою CMM розроблено декілька програмних пакетів: CMM Live – електронний довідник та експерт-радник по технологіях CMM; SoftGuide – орієнтований на розробників ПЗ, які намагаються покращити якість своїх процесів; SCOPE*PROCEPT [24] – охоплює інформаційні моделі процесів створення ПЗ, включаючи методи оцінки якості на основі метрик.

Стандарт SPICE (скорочення від Software Process Improvement and Capability dEtermination) [26] створено ISO як єдиний стандарт оцінки програмних процесів. SPICE нагадує CMM. Основною задачею софтверної організації теж є постійне покращення процесу розробки ПЗ, також використовується схема з різними рівнями можливостей (в SPICE визначено 6 різних рівнів), але ці рівні застосовуються не лише до організації в цілому, але й до окремо взятих процесів. Рівні можливостей моделі SPICE [23]:

1) рівень 0 – процес не виконується;

2) рівень 1 – виконуваний процес (1.1 – вимірювання продуктивності процесу);

3) рівень 2 – керований процес (2.1 – керування продуктивністю, 2.2 – керування створенням продуктів);

4) рівень 3 – встановлений процес (3.1 – документування процесу, 3.2 – відстежування ресурсів процесу);

5) рівень 4 – передбачуваний процес (4.1 – вимірювання процесу, 4.2 – керування процесом);

6) рівень 5 – оптимізуючий процес (5.1 – зміна процесу, 5.2 – постійне вдосконалення).

Однією з найважливіших переваг SPICE є його вільне поширення на офіційному сайті SPICE [27]. SPICE являє собою більш повний набір засобів по забезпеченню якості та покращення процесів, ніж стандарти серії ISO 9000. Використовувати SPICE можна й в невеликих софтверних компаніях (менше 50 чоловік), причому, як показують результати роботи проекту SPIRE [28], навіть при невеликих вкладеннях в маленьких компаніях можна досягти істотного збільшення продуктивності праці та покращення якості розробленого ПЗ. В зв'язку з вільним поширенням стандарт SPICE набуває все більшої популярності.

В останні роки запропонований та розвивається так званий "мовно-орієнтовний підхід (МОП) до вимірювань та оцінки ПЗ", який дозволяє створювати автоматичні, засновані на знаннях, програмні технології оцінки ПЗ, що базуються на однозначному, "прозорому" та семантично коректному описі понять прикладної області "якість програмного забезпечення" [29]. МОП до оцінки ПЗ полягає у використанні трьох рівнів узгоджених формальних мов, призначених для [29]:

1) точного визначення множини властивостей базового набору символів і конструкцій кожної використовуваної мови опису програмних продуктів, виходячи з визначень семантики і синтаксису цієї,

точно визначеної мови. Ці властивості представляються в "вимірювальній моделі мови";

2) формального визначення метрик програмного продукту в термінах вимірювальних моделей мов опису цих продуктів;

3) формального визначення знань прикладної області "якість програмного забезпечення", специфікацій вимог до якості конкретних програмних продуктів в термінах формально визначених метрик і методів вимірювань програм, а також теорії вимірювань.

МОП підтримує всі відомі стандарти, моделі і метрики програмного забезпечення.

Аналіз метрик якості програмного забезпечення з точки зору можливості їх застосування на етапі проектування ПЗ з одержанням точного або прогнозованого значення

Показники оцінки складності проекту є дуже важливими для одержання об'єктивних оцінок щодо проекту. Як правило, дані показники не можуть бути обчислені на ранніх стадіях роботи над проектом, оскільки вимагають, як мінімум, детального проектування. Однак ці показники важливі для одержання прогнозованих оцінок тривалості та вартості проекту, оскільки безпосередньо визначають його трудомісткість.

Метрики складності програм прийнято розділяти на 3 основні групи [30]:

- метрики розміру програм;
- метрики складності потоку управління програм;
- метрики складності потоків даних програм.

Метрики розміру програм базуються на визначенні кількісних характеристик, пов'язаних з розміром програми, і відрізняються відносною простотою. Метрики цієї групи орієнтовані на аналіз вихідного тексту програм, тому вони можуть використовуватись для оцінки складності проміжних продуктів розробки. До найбільш відомих метрик даної групи відносять кількість операторів програми, кількість рядків вихідного тексту, набір метрик Холстеда [30, 1].

Метрики складності потоку управління програм базуються на аналізі керуючого графу програми. Метрики другої групи теж можуть застосовуватись для оцінки складності проміжних продуктів розробки. Представником другої групи є метрика Маккейба [30].

Метрики складності потоків даних програм базуються на оцінці використання, конфігурації та розташування даних в програмі. В першу чергу це стосується глобальних змінних. До даної групи відносять метрики Чепіна [30].

Розмірно-орієнтовані метрики (показники оцінки обсягу) прямо вимірюють програмний продукт і процес його розробки. Базуються такі метрики на LOC-оцінках (LOC – Lines of Code). Кількість рядків вихідного коду (Lines of Code – LOC, Source Lines of Code – SLOC) є найбільш простим і поширеним способом оцінки обсягу робіт по проекту. Ці метрики не універсальні, особливо це відноситься до показника LOC, який істотно залежить від використовуваної мови програмування.

Залежно від того, яким чином враховується вихідний код, виділяють 2 основних показники LOC [30, 1]: кількість «фізичних» рядків коду (LOC, SLOC, KLOC, KSLOC, DSLOC) – визначається як загальна кількість рядків вихідного коду, включаючи коментарі і порожні рядки; кількість «логічних» рядків коду (LSI, DSI, KDSI, де SI-source instructions) – визначається як кількість команд і залежить від використовуваної мови програмування. В тому випадку, якщо мова не допускає розташування декількох команд на одному рядку, то кількість "логічних" LOC буде відповідати кількості "фізичних", за винятком кількості порожніх рядків і рядків коментарів.

Метрика Холстеда належить до метрик, які обчислюються на основі аналізу кількості рядків та синтаксичних елементів вихідного коду програми.

Основу метрики Холстеда складають 4 вимірювані характеристики програми [30, 1]: *NUOprr* (Number of Unique Operators) – кількість унікальних операторів програми, включаючи символи-роздільники, імена процедур і знаки операцій (словник операторів); *NUOprnd* (Number of Unique Operands) – кількість унікальних операндів програми (словник операндів); *NOprtr* (Number of Operators) – загальна кількість операторів в програмі; *NOprnd* (Number of Operands) – загальна кількість операндів в програмі.

На основі цих характеристик розраховуються оцінки: словник програми, довжина програми, обсяг програми, оцінка її реалізації, складність її розуміння, трудомісткість кодування, інформаційний вміст, оптимальна модульність, складність програми ($HDiff = (NUOprr / 2) \times (NOprnd / NUOprnd)$) [30].

Показник цикломатичної складності Маккейба є одним з найбільш розповсюджених показників оцінки складності програмних проектів. Цикломатичне число Маккейба показує необхідну кількість проходів для покриття всіх контурів сильнозв'язаного графа або кількість тестових прогонів програми, необхідних для вичерпного тестування за принципом «працює кожна гілка програми». Показник цикломатичної складності розраховується для модуля, метода та інших структурних одиниць програми.

Показник цикломатичної складності дозволяє не лише провести оцінку трудомісткості реалізації окремих елементів програмного проекту і скоригувати загальні показники оцінки тривалості та вартості проекту, але й оцінити зв'язані ризики і прийняти необхідні управлінські рішення.

Існує декілька модифікацій *метрик Чепіна*. Суть найпростішого з точки зору практичного використання і досить ефективного методу полягає в оцінці інформаційної міцності окремо взятого програмного модуля за допомогою аналізу характеру використання змінних зі списку введення-виведення. Вся множина змінних, яка складає список введення-виведення, розбивається на 4 функційні групи [30]:

множина "P" – змінні, що вводяться для розрахунків та для забезпечення виведення; множина "M" – модифіковані або створювані всередині програми змінні; множина "C" – змінні, які приймають участь в управлінні роботою програмного модуля (керуючі змінні); множина "T" – не використовувані в програмі ("паразитні") змінні.

Оскільки кожна змінна може виконувати одночасно декілька функцій, необхідно її враховувати в кожній відповідній функційній групі.

Значення метрики Чепіна: $Q = P + 2 * M + 3 * C + 0.5 * T$.

Для оцінки складності програми використовуються й інші метрики [31]: метрики Джилба – кількість операторів циклу, кількість операторів умови, кількість модулів або підсистем, відношення кількості зв'язків між модулями до кількості модулів; метрика Шнадевіда – кількість шляхів в графі керування; метрика Майерса – інтервальна міра; метрика Хансена – пара (цикломатична кількість, кількість операторів); метрика Чена – топологічна міра; метрика Вудворда – кількість вузлів передач управління; метрика Кулика – кількість найпростіших циклів; метрика Хура – цикломатична кількість мереж Петрі; метрики Вітворфа, Зулевського – міра складності потоку керування, міра складності потоку даних; метрика Петерсона – кількість багатовходових циклів; метрики Харрісона, Мейджела – функційна кількість, функційне відношення, регулярні вирази; метрика Пивоварського – модифікована цикломатична міра складності; метрика Пратта – тестуюча міра; метрика Кантоне – характеристичні числа поліномів графу програми; метрика Мак-Клура – міра складності, заснована на кількості можливих шляхів виконання програми, кількості керуючих конструкцій та змінних; метрика Кафура – міра на основі концепції інформаційних потоків; метрика Схуттса, Моханті – ентропійні міри; метрика Коллофело – міра логічної стабільності програм; метрика Зольновського, Сімонса, Тейєра – зважена сума різних індикаторів; метрика Берлінгера – інформаційна міра; метрика Шумана – складність з позиції статистичної теорії мови; метрика Янгера – логічна складність з врахуванням історії обчислень; метрика Тая – покращення метрики Маккейба; метрика Кокола – комплексна метрика, заснована на більш простих; метрики зв'язності (зчеплення) – ступінь залежності кожного модуля від кожного з інших модулів за даними, за зразком, за управлінням, за зовнішніми посиланнями, за загальною областю, за змістом (кількісний показник – ступінь зчеплення).

Для оцінки складності програми на етапі розробки специфікації вимог до програми використовується метрика прогнозованої кількості операторів $N_{прогн}$ програми [30]: $N_{прогн} = NF * N_{од}$, де NF – кількість функцій або вимог в специфікації вимог до розроблюваної програми; $N_{од}$ – одиничне значення кількості операторів (середня кількість операторів, які доводяться на одну середню функцію або вимогу).

Оцінка складності програми на етапі визначення архітектури [30]: $C = \frac{NI}{NF * NI_{од} * K_{скл}}$, де NI –

загальна кількість змінних, які передаються по інтерфейсах між компонентами програми (статистична); $NI_{од}$ – одиничне значення кількості змінних, які передаються по інтерфейсах між компонентами (середня кількість змінних, які передаються по інтерфейсах, що доводяться на одну середню функцію або вимогу); $K_{скл}$ – коефіцієнт складності розроблюваної програми, враховує ріст одиничної складності програми (складності, що доводиться на одну функцію або вимогу специфікації вимог до програми) для великих та складних програм в порівнянні з середнім показником складності.

Враховуючи результати досліджень, одержаних в [32], створимо таблицю метрик (табл. 1) процесу проектування ПЗ з огляду на точність або прогнозованість їх значень.

Різні метрики відображають різні аспекти складності ПС. Для всебічного врахування даних аспектів при оцінці ПС застосовується не одна метрика, а їх сукупність. Якщо було одержано декілька метрик, то кожне значення метрики множиться на відповідний ваговий коефіцієнт, встановлений експертним шляхом з огляду на домінуючі критерії якості відповідно до принципів задачі, особливостей, функціонального призначення та властивостей ПС, а потім додаються всі показники для одержання комплексної оцінки рівня якості ПЗ або якості процесу проектування ПЗ. Найбільш актуально застосовувати досить великі сукупності метрик складності на етапі проектування, а в наступних етапах значення метрик фактично уточнюються.

Щодо метрик процесу розроблення ПЗ, то однією з найпростіших метрик є ступінь виявлення дефектів для заданої фази виявлення і заданої фази появи [25]. Наприклад, "ступінь виявлення дефектів, рівний 0,2 дефекта на 100 вимог на стадії реалізації" означає, що на стадії реалізації 500 вимог, і в одній з них було виявлено дефект. Коли ступені виявлення дефектів стають рівними нормам організації, відбувається оцінка всього процесу в цілому, а не лише конкретного проекту. Результат такої метрики очевидний: більше дефектів виявляється на тому етапі, коли вони були допущені, а на більш пізніх етапах виявляється менше дефектів. Оскільки чим пізніше виявляється і виправляється дефект, тим дорожче це обходиться, даний факт може означати, що проект і процес розроблення виконаний краще.

Метрики процесу проектування ПЗ

Метрики:	
з точним значенням на етапі проектування	з прогнозованим значенням на етапі проектування
<p>1) метрики Чепіна – аналізують характер використання змінних зі списку введення, тобто оброблювану інформацію;</p> <p>2) метрики зв'язності (зчеплення) – чим вище зв'язність модуля з іншими модулями, тим вища чутливість до внесення змін, тобто високий ступінь зв'язності (зчеплення) модуля з іншими модулями – це суттєвий недолік;</p> <p>3) метрика Джилба – на етапі проектування можна тільки підрахувати кількість модулів та відношення кількості зв'язків між модулями до кількості модулів;</p> <p>4) метрика Мак-Клура – метрика, спрямована на вимірювання архітектури системи;</p> <p>5) метрика Кафура – метрика, заснована на врахуванні даних;</p> <p>6) метрика Зольновського, Сіммонса, Тейсера – складова метрики (структура, взаємодія, обсяг, дані);</p> <p>7) метрика звертання до глобальних змінних – пара (модуль, глобальна змінна);</p> <p>8) метрика Тая – складність програми визначається вимірюванням інформаційного потоку даних;</p> <p>9) метрика Вітворфа, Зулевського – складова метрики "міра складності потоку даних";</p> <p>10) час модифікації моделей;</p> <p>11) кількість знайдених помилок при інспектуванні.</p>	<p>1) очікувана LOC-оцінка – за кожною функцією експерти надають краще, гірше та імовірне значення, тоді очікувана LOC-оцінка обчислюється за формулою:</p> $LOC_{оч_i} = (LOC_{кращ_i} + LOC_{гірш_i} + 4 \times LOC_{імов_i}) / 6$ <p>є вільно поширювані інструменти очікуваної LOC-оцінки [33];</p> <p>2) метрики Холстеда – міра довжини модуля ($N = n_1 \log_2(n_1) + n_2 \log_2(n_2)$), де n_1 – кількість різних операторів, n_2 – кількість різних операндів та обсяг модуля як кількість символів для запису всіх операторів і операндів тексту програми ($V = N \times \log_2(n_1 + n_2)$);</p> <p>3) метрики Маккейба – для оцінки складності ПС, виходячи з топології внутрішніх зв'язків, Маккейб розробив метрику цикломатичної складності $V(G) = E - N + 2$, де E – кількість дуг, а N – кількість вершин в керуючому графі ПЗ;</p> <p>4) метрика Хансена;</p> <p>5) метрика Кокола – комплексна метрика, яка, як правило, враховує значення метрик Холстеда, Маккейба і LOC;</p> <p>6) загальний час розробки і окремий час для кожної стадії;</p> <p>7) час виконання робіт в процесі;</p> <p>8) прогнозована кількість операторів програми;</p> <p>9) прогнозована оцінка складності програми;</p> <p>10) очікувана вартість розробки кожної функції:</p> $ВАРТІСТЬ_i = LOC_{оч_i} \times ВАРТІСТЬ_{рядка_i};$ <p>11) прогнозована вартість перевірки якості;</p> <p>12) прогнозована вартість процесу розробки;</p> <p>13) прогнозована продуктивність розробки кожної функції (на основі продуктивності аналогічних функцій в аналогічних програмних продуктах): $ПРОДУКТ_i = ПРОДУКТ_{ан_i} \times (LOC_{ан_i} / LOC_{оч_i})$;</p> <p>14) прогнозовані витрати на розробку кожної функції:</p> $ВИТРАТИ_i = (LOC_{оч_i} / ПРОДУКТ_i);$ <p>15) прогнозований функційний розмір FP – для обчислення функційного розміру: ідентифікуються очікувані від програмного додатку функції за критеріями International Function Point Users Group (IFPUG) [35]; для кожної виділеної функції порахувати кількість зовнішніх входів, кількість зовнішніх виходів, кількість зовнішніх запитів, кількість внутрішніх логічних файлів, кількість зовнішніх логічних файлів; кожен з факторів, визначених на попередньому кроці, множиться на коефіцієнт складності даного фактору в програмному додатку [34], такі добутки додаються за кожним з факторів; додати одержані для кожної функції суми (наближений функційний розмір); визначити ваги для 14 загальних характеристик проекту [36, 25] від 0 до 5 та знайти їх суму; обчислити уточнений функційний розмір за формулою:</p> $Уточн.функц.розмір = Наближений_функц_розмір \times [0.65 + 0.01 \times (Сума_загальних_характеристик)].$ <p>Функційний розмір використовується як відносна метрика для порівняння з попередніми проектами, за його допомогою можна обчислити кількість рядків коду, що дозволяє визначити загальну трудомісткість та терміни проекту; є вільно поширювані інструменти для обчислення функційного розміру [37];</p> <p>16) прогнозована оцінка трудовитрат та тривалості проекту – за моделлю Боєма [25, 38] трудовитрати на розробку програмних додатків зростають швидше, ніж розмір додатків, для представлення даного співвідношення використовується експоненційна функція зі значенням показника, близьким до 1.12; тривалість проекту за моделлю Боєма зростає експоненційно разом з докладеними до проекту зусиллями, однак в цьому випадку значення експоненти менше 1 і складає близько 0.35.</p>

Інші метрики процесу розроблення ПЗ [25]: кількість дефектів на тисячу рядків програмного коду, виявлених протягом 12 тижнів після завершення проекту; відхилення в розкладі на кожній фазі: $(\text{Фактична_тривалість} - \text{Планова_тривалість})$; відхилення у вартості: $(\text{Фактична_вартість} - \text{Планова_вартість})$;

відношення загального часу проектування до загального часу програмування повинно бути не менше 50 %; ступені появи і виявлення дефектів на деякій фазі; ймовірна норма дефектів, що залишилися – відношення кількості дефектів на 100 рядків коду до норми організації кількості дефектів на 100 рядків коду; залишковий ступінь дефектності – кількість дефектних детальних вимог на 100 вимог після завершення фази детальних вимог.

Процес розроблення ПЗ можна виміряти лише в порівнянні з даними по організації або по галузі, а самі по собі одержані значення не є інформативними [25].

Загальне покращення процесу розроблення ПЗ, в першу чергу, вимагає класифікації типів робіт і процесів, яка цілком залежить від компанії. Для кожного типу робіт визначається середня кількість дефектів на тисячу рядків вихідного коду до моменту завершення на етапах вимог, архітектури, детального проектування, реалізації для різних моделей життєвого циклу ПЗ – наприклад, каскадної, спіральної на 2-4 ітерації та спіральної на 5-10 ітерацій [25]. Для покращення процесу розроблення ПЗ використовуються кращі частини різних моделей.

В результаті аналізу метрик ПЗ можна визначити *основні проблеми метрології ПЗ* [32]: відсутність загальноприйнятої номенклатури показників якості; неможливість проведення натурних випробувань програм на всій множині початкових даних; низька достовірність та недостатність інформації для одержання оцінок показників якості; недостатність засобів вимірювання метрик програми; відсутність обґрунтованих вимог до метричної інформації, виражених в числовому вигляді, які могли б підлягати перевірці; відсутність можливості інтерпретації одержуваних метрик і оцінок показників якості програм.

Отже, методи оцінки якості ПС, особливо на етапі проектування, на сьогодні є суб'єктивно залежними, оскільки використовуються експертні вагові коефіцієнти для метрик; порівняння значень метрик поточних проектів з попередніми (постає проблема, що робити, якщо проект принципово новий); немає загальноприйнятої номенклатури метрик; відсутні точні значення метрик, з якими можна було б порівняти поточні одержані значення.

Методи вимірювання показників якості з точки зору їх застосовності на етапі проектування

Для одержання оцінки значень показників якості за стандартом [21] використовуються такі методи:

1) вимірвальний – базується на використанні інструментальних, вимірвальних та спеціальних програмних засобів для одержання інформації про властивості та характеристики ПЗ (обсяг ПЗ, кількість рядків коду, кількість операторів, кількість гілок в програмі, кількість точок входу/виходу та ін);

2) реєстраційний – заснований на одержанні інформації під час випробувань або функціонування ПЗ, коли реєструються або підраховуються певні події (час і кількість збоїв та відмов, час передачі керування від одного модуля до іншого, час початку і завершення роботи ПЗ);

3) органолептичний – заснований на використанні інформації, одержаної в результаті аналізу сприйняття органів чуття, і застосовується для визначення таких показників як зручність застосування, ефективність;

4) розрахунковий – базується на використанні теоретичних та емпіричних залежностей (на ранніх етапах розробки), статистичних даних, зібраних при проведенні випробувань, експлуатації та супроводженні ПЗ. Розрахунковими методами оцінюються показники надійності, точності, стійкості, час реакції, необхідні ресурси та ін.;

5) експертний – здійснюється групою експертів. Їх оцінка базується на досвіді та інтуїції, а не на безпосередніх результатах розрахунків або експериментів. Цей метод реалізується шляхом перегляду програм, кодів, супровідних документів, описів вимог до ПЗ групою експертів. Для цього встановлюються контрольовані ознаки, корельовані з одним або декількома показниками якості і включені в карти опитування експертів [36]. Метод застосовується при оцінці таких показників, як наочність, повнота та доступність програмної документації, легкість засвоєння, аналізованість, документованість, структурованість ПЗ та ін.

З опису методів вимірювання показників (метрик) якості зрозуміло, що на етапі проектування ПЗ неможливо виміряти жодної характеристики ще не розробленого ПЗ, неможливо реєструвати моменти процесу виконання ще не існуючого ПЗ і неможливо сприйняти органами чуття інформацію щодо нерозробленого ПЗ. Отже, на етапі проектування є можливість визначити якість ПЗ лише із застосуванням розрахункових та експертних методів.

Опрацювання результатів метричного аналізу

Порівняння якості програмних продуктів без кількісних оцінок є неможливим, тому доцільність застосування кількісних методів оцінки якості (метрик) очевидна. Актуальним є питання, як трактувати та опрацювати значення метрик, оскільки однією з проблем аналізу метрик вихідного коду є складність інтерпретації обчислених величин.

Статистичний аналіз метричної інформації передбачає:

1) Аналіз метрик за релізами: накопичення статистичної інформації метрик складності і якості ПЗ служить основою для управління складністю і якістю ПЗ в наступних проектах. Так, метрики довжини і

обсягу програми дають інформацію про збільшення чи зменшення обсягу програми в часі. Метрика цикломатичної складності показує, чи зростає складність від релізу до релізу. Метрика кількості рядків на реалізацію вимоги попереджає про виявлення збільшення кількості рядків під час виконання типового запиту чи під час реалізації типової вимоги та дозволяє спрогнозувати кількість рядків коду при використанні типових вимог і функцій на ранніх етапах. Глибокий аналіз змін по релізах інших кількісних метрик дає можливість виявити вузьке місце в програмі – блок коду, що інтенсивно змінюється, як потенційне місце виникнення помилок.

2) Аналіз метрик за замовниками: слід зберігати інформацію про всі зміни коду для всіх замовників.

3) Вибірка проектних даних за певними критеріями – проектами, програмами, замовниками і т.п.

Для визначення задовільності чи незадовільності досягнутого рівня складності ПС використовується відношення розрахункового значення метрики до базового (статистичного) значення метрики, взятого зі статистичних даних попередніх проектів. Якщо таке відношення близьке до 1 або менше 1, то можна зробити висновок про задовільний рівень складності ПС за аналізованою метрикою. При значенні відношення, яке значно перевищує 1, можливо, слід виконати попередні роботи заново. При цьому слід враховувати змістовний вміст незадовільної метрики, щоб коригувати відповідні аспекти програмного продукту.

Для визначення впливу конкретних значень окремих метрик на загальну складність ПС виконується інтегральна оцінка складності [39]. Можливі 2 варіанти інтегральної оцінки: 1) інтегральну відносну складність ПС можна визначити як середнє арифметичне відношень результатів (відношень розрахункового значення метрики до базового) всіх метрик, якщо відсутня апріорна інформація про вплив результатів конкретної метрики на загальну складність проміжного або кінцевого продукту; 2) інтегральна складність ПС визначається як середньозважена сума одержаних значень метрик (сума ваг всіх метрик дорівнює 1), якщо наявна статистична інформація про ступінь впливу значень конкретних метрик на інтегральну складність ПС.

При статистичному аналізі метричної інформації основною проблемою є неможливість опрацювання метрик для принципово нового проекту.

Важливість якості ПЗ збільшує інтерес до нових методів, які використовуються в побудові моделей якості ПЗ для прогнозування атрибутів якості. Одним з таких методів є метод, що базується на штучній нейронній мережі (ШНМ). В [40] показано використання ШНМ для прогнозу якості ПЗ на основі об'єктно-орієнтованих метрик. Залежною змінною в такому досліді були роботи по технічному обслуговуванню. Незалежними змінними були головні компоненти 8 об'єктно-орієнтованих метрик. Результат показав, що середня абсолютна величина відносної похибки був 0.265 для моделі з ШНМ. Тому можна зробити висновок, що ШНМ можуть бути корисні в побудові моделі якості ПЗ. В [41] доведено застосовність байєсових мереж в якості інструменту підтримки для числової оцінки ПЗ в реальному масштабі часу, особливо для додатків з особливими вимогами щодо безпеки. Байєсові мережі можуть також відігравати важливу роль при прийнятті рішення про сертифікацію ПЗ.

Проблема оцінювання результатів метричного аналізу програмних продуктів з використанням інтелектуальних методів (зокрема з використанням ШНМ) досліджувалась мало, причому лише для конкретних видів метрик (об'єктно-орієнтовані метрики) і для конкретних типів програмного забезпечення (об'єктно-орієнтоване ПЗ та ПЗ з особливими вимогами щодо безпеки). Отже, актуальними є подальші дослідження на предмет можливості використання ШНМ для прогнозу якості ПЗ на основі аналізу інших типів метричної інформації для різних типів ПЗ.

Висновки

Незважаючи на дослідження програмних метрик, в галузі забезпечення якості ПЗ є ряд невирішених питань:

1) лише 1.5 % софтверних організацій намагаються оцінити якість процесів і готового продукту кількісно, за допомогою метрик і лише 0.5 % софтверних організацій намагаються покращити роботу, керуючись кількісними критеріями якості з метою випуску бездефектних продуктів [42];

2) технологія вимірювання якості ще не досягла зрілості, оскільки лише 0.5 % софтверних організацій знаходяться на оптимізованому, зрілому рівні моделі СММ;

3) відсутні єдині стандарти на метрики, створено більше тисячі метрик [24], тому кожен постачальник "вимірювальної" системи пропонує власні способи оцінки якості і відповідно метрики;

4) існує проблема складності інтерпретації величин метрик.

Саме через невирішеність цих питань поки що неможливо створити бездефектне високоякісне ПЗ.

Приймаючи до уваги результати аналізу стандартів, моделей та метрик якості ПЗ, а також методів вимірювання показників якості ПЗ, можна зробити висновок, що перспективним напрямком досліджень є розроблення інтелектуальних систем, які: 1) обчислюватимуть розрахунковими та експертними методами точні або прогнозовані значення метрик програмного забезпечення вже на етапі проектування; 2) не лише будуватимуть метрики, але й аналізуватимуть і опрацьовуватимуть результати метричних оцінок, на основі чого надаватимуть рекомендації, висновки і прогнози про розроблюване програмне забезпечення.

Література

1. Склад В.В. Оценка качества и экспертиза программного обеспечения: Лекционный материал. –

Харьков: НАУ "ХАИ", 2008. – 204 с.

2. Майерс Г. Надежность программного обеспечения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 360 с.
3. Myers G.J. The Art of Software Testing. – New York: John Wiley and Sons, 1979. – 312 pp.
4. . Paulk M. C., Curtis B., Chrissis M. B., Weber C. V. Capability Maturity Model, Version 1.1 // IEEE Software, July 1993, pp. 18-27
5. ISO 9001: 1994 Quality systems – Model for quality assurance in design, development, production, installation and servicing
6. ISO 8402: 1994 Quality management and quality assurance
7. 1061-1998 IEEE Standard for Software Quality Metrics Methodology
8. ГОСТ 28806-90. Качество программных средств. Термины и определения.
9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению.
10. Сборник действующих международных стандартов ИСО серии 9000: Т.1, 2, 3. – М.: ВНИИКИ, 1998.
11. IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology /IEEE Std 610.12-1990
12. ISO/IEC 9126 Software engineering – Product quality
13. ISO/IEC 14598 Information technology – Software product evaluation
14. ISO 9000 Quality systems – Fundamentals and vocabulary
15. ISO 9001 Quality systems – Requirements
16. ISO 9002 Quality systems – Model for quality assurance in production, installation and servicing
17. ISO 9003 Quality systems – Model for quality assurance in final inspection and test
18. ISO 9004 Quality management systems – Guidelines for performance improvements
19. TL 9000 A Two-part Quality Management System for Telecommunications
20. CMM Capability maturity model for Software
21. ГОСТ 28195-89. Оценка качества программных средств. Общие положения
22. <http://softwarequality.narod.ru/qualitymodelstandards.html>
23. <http://www.interface.ru/fset.asp?Url=/misc/qs.htm>
24. http://www.rol.ru/news/it/press/cwm/25_96/teh.htm
25. Брауде Э. Технология разработки программного обеспечения. – СПб.: Питер, 2004. – 655 с.
26. ISO/IEC 15504: Information Technology – Software Process Assessment
27. <http://www.sqi.gu.edu.au/spice>
28. <http://www.cse.dcu.ie/spire>
29. Коган Б.И. Автоматизация оценивания качества программного обеспечения // <http://www.febras.ru/~conf/seminar/kogan.html>
30. Новичков А., Шамрай А., Черников А. Метрики кода и их практическая реализация в Subversion и ClearCase // http://cmcons.com/articles/CC_CQ/dev_metrics/mertics_part_1/
31. http://kapustin_andrey.boom.ru/Materials/Metrics2.htm
32. Поморова О.В., Говорущенко Т.О. Аналіз методів та засобів оцінки якості програмних систем // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: НАУ "ХАИ", 2009. – № 6. С.148-158.
33. <http://www.construx.com>
34. Орлов С.А. Технологии разработки программного обеспечения. Разработка сложных программных систем: Учебник для ВУЗов. – СПб.: Питер, 2004. – 527 с.
35. International Function Point User's Group, <http://www.ifpug.org/>
36. Петрухин В.А., Лаврищева Е.М. Методы и средства инженерии программного обеспечения // <http://www.intuit.ru/department/se/swebok/10/1.html>
37. International Function Point User's Group reference to function point spread-sheets, <http://ifpug.org/home/docs/freebies.html>
38. Boehm V. Software Engineering Economics – NJ: Prentice Hall, 1981. – 392 p.
39. Бахтизин В.В., Глухова В.А. Применение метрик сложности при разработке программных средств // <http://www.giac.unibel.by/docs/pdf/1-2005/s10-1-2005.pdf>
40. Aggarwal K. K., Yogesh Singh, Arvinder Kaur, and Ruchika Malhotra. Application of Artificial Neural Network for Predicting Maintainability using Object-Oriented Metrics // PROCEEDINGS OF WORLD ACADEMY OF SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGY VOLUME 15 OCTOBER 2006 ISSN 1307-6884 // <http://www.waset.org/pwaset/v15/v15-52.pdf>
41. Janusz Zalewski, Andrew J. Kornecki, Henry L. Pfister. Numerical Assessment of Software Development Tools in RealTime Safety Critical Systems Using Bayesian Belief Networks // <http://www.proceedings2006.imcsit.org/pliks/194.pdf>
42. Липаев В.В. Выбор и оценивание характеристик качества программных средств: Методы и стандарты. – М.: Синтез, 2001. – 224 с.

Надійшла 13.12.2009 р.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ПРОЦЕСУ ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У статті розглянуто принципи повторного тестування, нейромережну категорійну модель процесу повторного тестування програмного забезпечення (ПЗ) та нейромережний метод процесу повторного тестування ПЗ, а також розроблено метод оцінки достовірності процесу повторного тестування ПЗ. Виконано програмну реалізацію та дослідження штучної нейронної мережі (ШНМ) в пакеті Matlab. Описано структуру та функціонування програмних засобів оцінки достовірності для формування висновку щодо необхідності повторного тестування ПЗ.

In article retesting principles, neuronet categorical model of software retesting process and neuronet technique of software retesting process were viewed and software retesting process reliability evaluation technique was developed. Artificial neuron network (ANN) program realization and research were realized in Matlab. Structure and functioning of reliability evaluation software instruments for inferencing about software retesting necessity were described.

Ключові слова: повторне тестування, нейромережна категорійна модель, нейромережний метод процесу повторного тестування, метод оцінки достовірності.

Вступ

Підвищити достовірність тестування (ймовірність проведення вірного і вичерпного тестування ПЗ, під час якого не припускались помилки) і відповідно якість ПЗ можна не тільки шляхом тестування дефектів на етапах розроблення та налагодження, а й шляхом повторного тестування з метою виявлення прихованих помилок у програмах після основного тестування. Це підтверджується тим, що, як достовірність тестування, так і якість ПЗ залежать від кількості виявлених у ньому помилок, у тому числі і прихованих [1-7].

Для проведення оцінки ПЗ замовником з метою перевірки його відповідності встановленим вимогам та підвищення рівня якості і надійності ПЗ можна використовувати повторне тестування – тестування з метою прогнозування наявності прихованих помилок ПЗ та встановлення їх небезпечності та ступеня впливу на ПЗ, яке здійснюється після розроблення та налагодження ПЗ і є окремим технологічним процесом [8, 9].

Повторне тестування здійснюється на етапі вхідного контролю, який здійснює замовник, тобто допомагає замовнику оцінити якість програмного забезпечення та якість тестування програмного забезпечення, яке приймається, і вказує на наявність в ньому прихованих помилок [10, 11].

Принципи повторного тестування ПЗ

Прихованою помилкою назвемо будь-яку помилку ПЗ, що залишилась у програмному продукті після його діагностування у процесі розроблення та налагодження [8, 9]. Приховані помилки відрізняються від виявлених тим, що вони на певний момент часу після діагностування у процесі розроблення та налагодження ПЗ існують і ще не виявлені. При цьому помилки, зумовлені дефектом, певним чином впливають на систему через програмне забезпечення. Виявлення прихованих помилок проводиться після розроблення і налагодження ПЗ, де тестування програм здійснювалось як часткова технологічна операція під час цих процесів (етапів), під час окремого технологічного процесу повторного тестування.

Отже, головним напрямком дослідження оберемо методи і засоби підвищення достовірності процесу тестування ПЗ за рахунок виявлення прихованих помилок ПЗ на етапі повторного тестування.

Всі приховані помилки розподілимо за їх небезпечністю та ступенем впливу на ПЗ на незначні (НПП), помірні (ППП), серйозні (СПП) та катастрофічні (КПП) приховані помилки. Незначними прихованими помилками (НПП) програмного забезпечення вважатимемо такі, що не впливають на дії користувача, програмний продукт з їх наявністю придатний для використання. Помірними прихованими помилками (ППП) програмного забезпечення вважатимемо такі, що впливають на дії користувача. Програмний продукт з їх наявністю придатний для використання з частковою втратою функційності. Серйозними прихованими помилками (СПП) програмного забезпечення вважатимемо такі, що призводять до помилкових результатів, внаслідок чого програмний продукт непридатний до використання. Катастрофічними прихованими помилками (КПП) програмного забезпечення вважатимемо такі, що призводять до спотворення інформації (даних), внаслідок чого програмний продукт непридатний до використання і намагання його опрацювати призводить до відмови програмної системи. Незначним прихованим помилкам присвоїмо найнижчий рівень категорійності – перший. Помірним прихованим помилкам присвоїмо, відповідно, рівень 2; серйозним – рівень 3. Найвищим рівнем вважатимемо катастрофічний – рівень 4. Таким чином, рівнів прихованих помилок буде чотири.

На основі такої класифікації запропоновано принципи підвищення достовірності тестування ПЗ з виявленням прихованих помилок різних типів шляхом повторного тестування ПЗ з розподілом прихованих помилок на різні категорії і припущенням, що певна кількість помилок попередньої за серйозністю категорії призводить до появи окремих типів помилок наступної категорії, що забезпечило вибір та обґрунтування моделі процесу на базі ШНМ [8, 9].

На основі запропонованого підходу до розподілу прихованих помилок за категорійністю введемо

порог a_i допустимої кількості помилок і важливості помилок різних типів одного виду, при перевищенні якого необхідно здійснювати повторне тестування з метою виявлення прихованих помилок цього виду. Знаходження більшої кількості прихованих помилок під час повторного тестування підвищить, у свою чергу, достовірність процесу тестування взагалі, і відповідно якість програмного продукту.

Нейромережна категорійна модель процесу повторного тестування ПЗ

На основі принципів повторного тестування і розподілу прихованих помилок за категорійністю з врахуванням порогів допустимої кількості помилок і важливості помилок [8-11] розроблено математичну модель процесу повторного тестування, в основі якої лежить штучна нейронна мережа (ШНМ) типу прямонапрявленого перцептрону.

Вибір апарату ШНМ мотивований тим, що штучні нейронні мережі за рахунок можливості апроксимації нелінійних функцій дають можливість враховувати важливість (ваги) кожного типу неприхованих та прихованих помилок, пороги граничної кількості допустимих помилок кожної категорії, взаємний вплив прихованих помилок одних типів на помилки інших типів. Визначення вихідного функціоналу кожного із шарів ШНМ, що відповідають категорійності помилок, дає можливість оцінити сумарний вплив кожної категорії помилок на якість розробленого ПЗ, яке пройшло основне тестування, і зробити висновки щодо необхідності повторного тестування з метою виявлення і усунення помилок тієї чи іншої категорії. Важкоформалізованою задачею повторного тестування є визначення ваг впливу помилок різних типів однієї категорії [8, 10] на помилки іншої категорії, причиною яких є помилки попередніх категорій [8, 10]. Ця задача може бути вирішена за допомогою використання навченої ШНМ.

Зазначений підхід відображено узагальненою складною ШНМ, в якій структура багатозарового перцептрона типу MLP (multi-layer-perceptron) поєднується зі структурою простого перцептрона Розенблатта (одношарова ШНМ, де ваги першого шару незмінні, і зважені компоненти вхідного вектора на вході нейрона другого шару сумуються). Активаційною функцією нейронів вхідних та прихованих (асоціативних) шарів є функція гіперболічного тангенсу. Активаційною функцією нейронів ефекторних шарів є лінійна функція. Результати лінійної активаційної функції нейронів ефекторних шарів лежать в інтервалі [-1; 1]. Для оцінки достовірності з метою формування висновку про необхідність повторного тестування потрібні результати у вигляді 1 або 0 (відповідно є помилка i -го рівня категорійності чи немає), тому здійснюється перетворення (заокруглення) результатів наступним чином:

$$Y_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } Y_i > 0; \\ 0, & \text{якщо } Y_i \leq 0. \end{cases}$$

Структура цієї ШНМ представлена на рис. 1

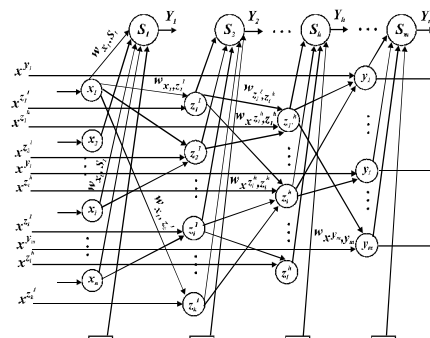


Рис. 1. Нейромережна категорійна модель процесу повторного тестування

Нейромережний метод процесу повторного тестування ПЗ [11, 12].

Початковими даними для реалізації повторного тестування є інформація про типи помилок (множина $P = \{p_k / k = 1..n\}$), виявлених під час основного тестування, та методи (множина $M = \{m_k / k = 1..n\}$) і операції, що були застосовані для їх виявлення (множина $O = \{o_k / k = 1..n\}$). Ця інформація береться із звітів про результати основного тестування. Оскільки основне тестування здійснює тестувальник, то на результати тестування можливий вплив суб'єктивного та людського факторів, що може як позитивно, так і негативно впливати на ефективність повторного тестування. Саме для зменшення зазначеного суб'єктивного фактора враховуються не тільки типи виявлених помилок, а й методи та операції тестування.



Рис. 2. Принцип застосування ШНМ для процесу повторного тестування

Вхідні дані для реалізації повторного тестування подаються у вигляді матриці $VD = \begin{pmatrix} m_1 & o_1 & p_1 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ m_i & o_i & p_i \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ m_n & o_n & p_n \end{pmatrix}$,

де m_i, o_i, p_i – елементи множин M, O, P відповідно. Кожен елемент матриці VD , представлений у вигляді тексту, піддається перетворенню для представлення його у кількісному вигляді. Використовуючи

$$\text{матриці } MN = \begin{bmatrix} 1 & m_1 \\ \cdot & \cdot \\ i & m_i \\ \cdot & \cdot \\ s & m_s \end{bmatrix}, \text{ де } m_i - \text{ елемент множини } M, \quad ON = \begin{bmatrix} 1 & o_1 \\ \cdot & \cdot \\ i & o_i \\ \cdot & \cdot \\ v & o_v \end{bmatrix}, \text{ де } o_i - \text{ елемент множини } O, \quad PN = \begin{bmatrix} 1 & p_1 \\ \cdot & \cdot \\ i & p_i \\ \cdot & \cdot \\ z & p_z \end{bmatrix},$$

де p_i - елемент множини P , які представляють собою присвоєння номерів методам тестування, операціям тестування та типам виявлених помилок відповідно, $[i,1]$ -й елемент матриці VD , представлений у вигляді тексту, піддається перетворенню для представлення його у кількісній формі. Відбувається пошук елемента в другому стовпці матриці MN , одержується порядковий номер j рядка елемента. $[j,1]$ -й елемент матриці

$$MN \text{ заноситься в } [i,1]\text{-й елемент матриці } VDM = \begin{bmatrix} mn_1 & on_1 & pn_1 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ mn_i & on_i & pn_i \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ mn_n & on_n & pn_n \end{bmatrix}, \text{ де } mn_i, on_i, pn_i - \text{ кількісне представлення}$$

значень елементів множин M, O, P відповідно.

Далі піддається перетворенню в кількісне представлення $[i,2]$ -й елемент матриці VD . Відбувається пошук елемента в другому стовпці матриці ON , одержується порядковий номер j рядка елемента. $[j,1]$ -й елемент матриці ON заноситься в $[i,2]$ -й елемент матриці VDM . Останнім піддається перетворенню в кількісне представлення $[i,3]$ -й елемент матриці VD . Відбувається пошук елемента в другому стовпці матриці PN , одержується порядковий номер j рядка елемента. $[j,1]$ -й елемент матриці PN заноситься в $[i,3]$ -й елемент матриці VDM .

Після одержання кількісного представлення значень кожного елемента матриці VD формується набір вхідних векторів для ШНМ. На вхід q_i подається 1, якщо використовувався відповідний для i -го рівня категорійності метод основного тестування (дана відповідність наведена в матриці

$$NMRK = \begin{bmatrix} nm_1 & rk_1 \\ nm_2 & rk_2 \\ nm_3 & rk_3 \\ nm_4 & rk_4 \end{bmatrix}, \text{ де } nm - \text{ номер методу основного тестування, } rk - \text{ рівень категорійності). На вхід } x'_i$$

подається номер i -ї операції основного тестування on_i ($[i,2]$ -й елемент матриці VDM), на вхід x_i подається номер i -го типу виявленої під час основного тестування помилки pn_i ($[i,3]$ -й елемент матриці VDM). На всі інші входи подається «0».

ШНМ опрацьовує набір вхідних векторів згідно методу вирішення задачі повторного тестування та

$$\text{видає матрицю вихідних векторів } VV = \begin{bmatrix} rk_{11} & rk_{12} & rk_{13} & rk_{14} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ rk_{i1} & rk_{i2} & rk_{i3} & rk_{i4} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ rk_{n1} & rk_{n2} & rk_{n3} & rk_{n4} \end{bmatrix}, \text{ де } i\text{-й рядок містить } i\text{-й вихідний вектор,}$$

елемент rk_{i1} містить значення «нуль» або «одиниця» для рівня категорійності з номером 1 i -го вихідного вектора, елемент rk_{i2} містить значення «нуль» або «одиниця» для рівня категорійності з номером 2 i -го вихідного вектора, елемент rk_{i3} містить значення «нуль» або «одиниця» для рівня категорійності з номером 3 i -го вихідного вектора, rk_{i4} містить значення «нуль» або «одиниця» для рівня категорійності з номером 4 i -го вихідного вектора. Вихідні вектори потрібно піддати перетворенню для одержання результатів у лінгвістичній формі. Для цього використовується матриця присвоєння рівнів категорійності типам

$$\text{прихованих помилок } RK = \begin{bmatrix} 1 & rk_1 \\ 2 & rk_2 \\ 3 & rk_3 \\ 4 & rk_4 \end{bmatrix}, \text{ де } rk_i - \text{ тип прихованих помилок. Перетворенню з кількісної в}$$

лінгвістичну форму піддається окремо кожен вихідний вектор, тобто окремо кожен рядок матриці VV . Для

перетворення i -го рядка в ньому відбувається пошук “одиниці”, запам’ятовується номер стовпця h та знаходиться $[h,2]$ -й елемент матриці RK . Знайдений елемент rk_h є лінгвістичним представленням одержаного результату. Цей елемент заноситься в множину результатів $R = \{rk_k | k = 1..n\}$. На основі аналізу складу множини R робиться висновок про необхідність та тип повторного тестування.

Оцінка достовірності ідентифікації прихованих помилок програмного забезпечення

Із запропонованої моделі випливає, що при $Y_h > 0$ у програмі є помилки категорії, якій відповідає Y_h . І припустимо, що вони впливають на появу додаткових помилок наступного рівня категорійності. Нехай без врахування впливу на початку у програмі було p_x помилок першого рівня категорійності, p_{z^1} – помилок другого рівня категорійності, ..., $p_{z^{h-1}}$ – помилок h -го рівня категорійності. З врахуванням впливу помилок попереднього рівня категорійності на наступний помилку стало: p_x – першого рівня категорійності, $p_{z^1} + p_{z_i^{h-1}}$ – h -го рівня категорійності.

Припустимо, що ідентифікуються як помилки, що відповідають кожному рівню категорійності, так і помилки, що виникають внаслідок впливу кожного попереднього рівня на наступний.

За критерій достовірності процесу ідентифікації помилок ПЗ приймемо кількість виявлених помилок згідно запропонованої моделі. Тоді загальна кількість помилок N визначиться як сума всіх виявлених помилок:

$$N = p_x + (p_{z^1} + p_{x_i}) + \dots + (p_{z^h} + p_{z_i^{h-1}}) + \dots [10].$$

Достовірність D процесу ідентифікації прихованих помилок ПЗ шляхом повторного тестування дорівнюватиме [3]:

$$D = kn_1 p_x + kn_2 \frac{p_{z^1} + p_{x_i}}{p_{z^1}} + \dots + kn_h \frac{p_{z^h} + p_{z_i^{h-1}}}{p_{z^h}} + \dots,$$

де $KN = \{kn_h\}$ – множина коефіцієнтів нормування категорійності прихованих помилок.

Підвищення достовірності процесу ідентифікації прихованих помилок дорівнюватиме $\Delta D = 1 - \frac{D'}{D}$,

де D' – достовірність процесу ідентифікації прихованих помилок ПЗ без врахування впливу прихованих помилок кожного попереднього рівня категорійності на помилки наступного рівня категорійності [10].

Визначимо достовірність процесу виявлення прихованих помилок при повторному тестуванні для згаданих раніше чотирьох рівнів категорійності- НПП, ППП, СПП, КПП:

$$D = kn_1 \cdot p_x + kn_2 \cdot \frac{p_{z^1} + p_{x_i}}{p_{z^1}} + kn_3 \cdot \frac{p_{z^2} + p_{x_i}^{z^1}}{p_{z^2}} + kn_4 \cdot \frac{p_{z^3} + p_{x_i}^{z^2}}{p_{z^3}}.$$

Експертним шляхом (за результатами роботи 9 експертів Хмельницької філії софтверної організації Sitronics Telecom Solutions) присвоєно наступні значення коефіцієнтам нормування категорійності прихованих помилок: $kn_1 = 0,08$; $kn_2 = 0,22$; $kn_3 = 1,7$; $kn_4 = 8$.

Наприклад, з j -ї вибірки одержано наступні значення величин для визначення достовірності процесу повторного тестування (2-8-й стовпці табл. 1). Тоді за вище наведеними формулами обчислимо достовірність процесу виявлення прихованих помилок при повторному тестуванні (9-й стовпець табл. 1), достовірність процесу виявлення прихованих помилок при неврахуванні впливу попередніх рівнів категорійності (10-й стовпець табл. 1) та підвищення достовірності процесу ідентифікації прихованих помилок (11-й стовпець табл. 1)

Таблиця 1

Визначення достовірності повторного тестування

№ екс n.	p_x	p_{z^1}	p_{z^2}	p_{z^3}	p_{x_i}	$p_{x_i}^{z^1}$	$p_{x_i}^{z^2}$	D	D'	ΔD
1	28	16	10	4	6	4	2	16,92	12,16	0,28
2	32	20	10	6	8	6	2	16,26	12,48	0,23
3	46	28	14	8	10	6	4	18,40	13,60	0,26
4	50	30	18	10	12	8	2	16,36	13,92	0,15

Очевидно, що врахування впливу помилок попередніх рівнів категорійності підвищило достовірність процесу виявлення прихованих помилок на 15-28%. Графік підвищення достовірності відображений на рис. 3.

На цій гістограмі ряд 1 (чорний колір) показує достовірність D процесу ідентифікації прихованих помилок при повторному тестуванні, а ряд 2 (сірий колір) – відображає достовірність D' процесу ідентифікації прихованих помилок ПЗ без врахування впливу прихованих помилок кожного попереднього рівня категорійності на помилки наступного рівня категорійності.

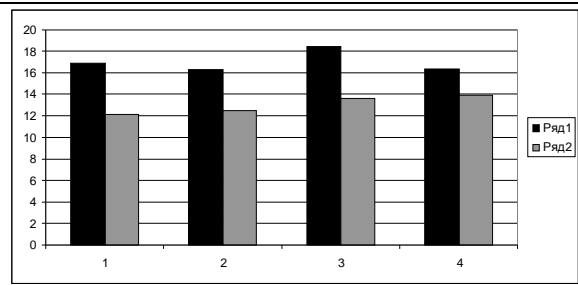


Рис. 3. Гістограма підвищення достовірності

Запропонована категорійна модель виявлення прихованих помилок підвищує якість програмного забезпечення і дає можливість оцінити достовірність процесу виявлення прихованих помилок.

Програмна реалізація та дослідження ШНМ в пакеті Matlab

В пакеті Matlab було виконано програмну реалізацію моделі ШНМ. Структурну схему імітаційної моделі ШНМ в пакеті Matlab представлено на рис. 4 [13].

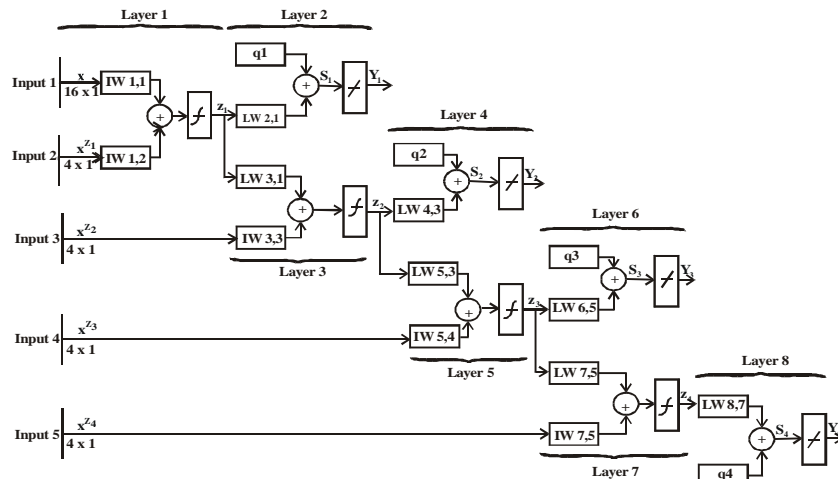


Рис. 4. Структурна схема імітаційної моделі ШНМ в пакеті Matlab

На кожен з входів $q_1 - q_4$ потрібно подати “одиницю”, тому що тестування здійснюється одним з методів тестування, які утворюються внаслідок об’єднання двох методів тестування під одним номером, що відображено в матриці присвоєння номерів методам тестування.

За статистикою [14] тестувальник тестує програму не більш як чотирма операціями одного методу тестування, тому на кожен з входів Input2 – Input5 можна подати не більше чотирьох номерів операцій тестування. На входи Input2 (x^{Z_1}), Input3 (x^{Z_2}), Input4 (x^{Z_3}), Input5 (x^{Z_4}) подаються номери операцій основного тестування ПЗ.

На вхід Input1 (x) подаються номери результатів операцій основного тестування ПЗ, тобто номери типів виявлених під час основного тестування помилок. Оскільки за статистикою [14] в програмі буває максимум 14-15 помилок, то на даний вхід можна подати не більше 16 типів помилок.

Кожен з виходів Y_i відповідає за один з чотирьох рівнів категорійності (Y_1 – перший рівень категорійності, Y_2 – другий рівень категорійності, Y_3 – третій рівень категорійності, Y_4 – четвертий рівень категорійності) і приймає значення „1”, якщо штучною нейронною мережею спрогнозовано наявність в програмі помилок i -го рівня категорійності, в протилежному випадку значення виходу Y_i становить „0”.

Для вибору алгоритму навчання ШНМ та критерію оцінки якості навчання ШНМ досліджувалась при навчанні вибіркою з 2250 векторів різними алгоритмами з використанням різних критеріїв оцінки якості навчання. В результаті проведеного аналізу було зроблено висновок, що похибка навчання змодельованої ШНМ залежить від критерію оцінки якості навчання та від форми представлення вхідних даних. Тому надалі використовується комбінований критерій якості навчання і масштабована навчальна вибірка. Мінімальна похибка, яку було досягнуто при використанні комбінованого критерію якості навчання та масштабованої навчальної вибірки з 2250 векторів, становить 0.448359. Меншої похибки навчання досягати неможливо і не потрібно, оскільки виходи мережі, які знаходяться в інтервалі [-1; 1] перетворюються для представлення цілими значеннями 1 або 0 (є чи немає помилки i -го рівня категорійності відповідно): $Y_i = \begin{cases} 1, & \text{якщо } Y_i > 0; \\ 0, & \text{якщо } Y_i \leq 0; \end{cases}$

В результаті аналізу імітаційної моделі ШНМ за часовим показником та за показником “кількість epoch” найкращими є: алгоритм навчання CGB на основі метода спряженого градієнта з оберненим поширенням і рестартами в модифікації Пауела-Біеле, алгоритм навчання SCG, алгоритм навчання Флетчера-Рівса, алгоритм навчання Полака-Рібейри, пороговий алгоритм оберненого поширення помилки

Рrgor. Оскільки алгоритм навчання CGB на основі метода спряженого градієнта з оберненим поширенням і рестартами в модифікації Пауела-Біеле, алгоритм навчання Флетчера-Рівса та алгоритм навчання Полака-Рібейри є модифікаціями метода спряженого градієнта, то для навчання оберано один з них – алгоритм навчання CGB на основі метода спряженого градієнта з оберненим поширенням і рестартами в модифікації Пауела-Біеле. Для тестування ШНМ було побудовано тестову вибірку з 200 векторів, яка також підлягала масштабуванню.

Програмні засоби для реалізації процесу повторного тестування ПЗ

На основі нейромережного методу процесу повторного тестування розроблено структурну схему системи ідентифікації прихованих помилок ПЗ (рис. 5) [15].

Система ідентифікації прихованих помилок ПЗ складається з наступних компонентів [15]:

1) блок збору – передачі даних – підключає наданий користувачем файл з результатами основного тестування, представленими у вигляді журналу “Метод тестування– Операція тестування– Тип виявленої помилки”;

2) кодувальник – виконує перетворення вхідних даних з лінгвістичної форми представлення в кількісну форму за допомогою відповідних таблиць бази знань та формування вхідних векторів для модуля вирішувача. Здійснює заповнення бази знань вихідними даними, перетворення результуючих векторів вирішувача з кількісної в лінгвістичну форму за допомогою відповідної таблиці бази знань та передачу їх модулю опрацювання результатів роботи вирішувача;

3) база знань – містить таблиці присвоєння номерів методам і операціям основного тестування, типам виявлених помилок та присвоєння номерів рівням категорійності прихованих помилок; таблицю кількісного представлення вхідних даних, в якій містяться вхідні дані, перетворені кодувальником в кількісну форму; таблицю текстового представлення результуючих векторів вирішувача (ШНМ), в якій представлені результуючі вектори, перетворені кодувальником в лінгвістичну форму; таблиці відповідності методу основного тестування, операцій основного тестування, типів виявлених під час основного тестування помилок, відповідності між номером методів тестування ПЗ та рівнем категорійності прихованих помилок ПЗ, відповідності між операціями тестування ПЗ та рівнем категорійності прихованих помилок, на основі яких система формує висновок про метод, яким рекомендується проводити повторне тестування прикладного ПЗ, а також правила для формування висновку про необхідність повторного тестування;

4) вирішувач – штучна нейронна мережа, на входи якої подається інформація про методи і операції основного тестування та типи виявлених під час основного тестування помилок, а на виході одержується рівень категорійності прихованих помилок;

5) модуль опрацювання результатів роботи вирішувача – на основі правил та таблиці результатів роботи вирішувача, взятих з бази знань, генерує висновок про необхідність чи непотрібність повторного тестування, який передається користувачу через кодувальник, динамічний довідник та діалоговий компонент;

6) динамічний довідник – надає користувачу довідку про формат вхідного файлу, про відомі системі методи і операції основного тестування ПЗ, типи виявлених під час основного тестування помилки ПЗ, а також представляє в наглядній формі всі повідомлення будь-якого з компонентів системи;

7) діалоговий компонент – візуалізує повідомлення динамічного довідника та видає їх користувачу в зрозумілій для сприйняття формі.

Запропонована система ідентифікації прихованих помилок програмного забезпечення дозволяє користувачу, на основі звіту про результати основного тестування, одержати висновок про необхідність повторного тестування, а також про наявність у ПЗ прихованих помилок та їх рівень категорійності. Систему ідентифікації прихованих помилок ПЗ було реалізовано в Borland C++ Builder 6.0 із застосуванням системи управління базами даних Paradox7.

Діалогові вікна системи ідентифікації прихованих помилок ПЗ показано на рис. 6-8:

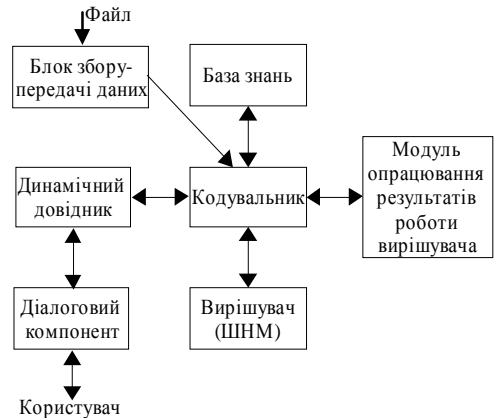


Рис. 5. Структурна схема системи ідентифікації прихованих помилок ПЗ



Рис. 6. Діалогове вікно системи повторного тестування прикладного програмного забезпечення



Рис. 7. Вікно довідника

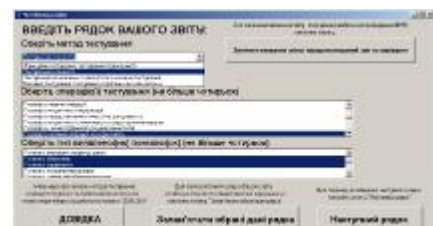


Рис. 8. Введення рядка звіту

При натисканні в діалоговому вікні (рис. 6) кнопки "ДОВІДКА" користувач може викликати довідник (рис. 7), а при натисканні кнопки "ВВЕДЕННЯ ЗВІТУ" – користувач має змогу подати по рядку звіт в систему ідентифікації прихованих помилок програмного забезпечення (рис. 8). Діалогове вікно введення рядка звіту (рис. 8) передбачає можливості: виклику довідки (рис. 7), запам'ятовування обраних даних рядка, переходу до введення наступного рядка звіту, а також закінчення введення звіту і передачі його на вирішувач.

Для формування висновку про необхідність повторного тестування модулем опрацювання результатів роботи вирішувача введемо величини порогових значень кількостей помилок кожного рівня категорійності, оскільки принципи підвищення достовірності тестування ПЗ з виявленням прихованих помилок різних типів шляхом повторного тестування ПЗ з розподілом прихованих помилок на різні категорії і припущенням, що певна кількість помилок попередньої за серйозністю категорії призводить до появи окремих типів помилок наступної категорії, є авторською і розроблялась саме в рамках цього дослідження. Для встановлення цих порогових значень проведемо дослідження кількості помилок програмного забезпечення, яке складалось з різної кількості операторів, з врахуванням і без врахування впливу помилок одного типу (категорії) на виникнення помилок наступного типу (категорії). Результати такого дослідження відображені в таблиці 2.

Таблиця 2

Кількість помилок програмного забезпечення з врахуванням і без врахування впливу помилок одного типу на виникнення помилок наступного типу

Кількість операторів в програмі	Кількість виявлених помилок без врахування взаємовпливу помилок					Реальна кількість помилок				
	100	500	1000	5000	10000	100	500	1000	5000	10000
Загальна кількість помилок	10	18	25	42	68	16	24	36	42	85
Незначні	8	14	19	31	51	8	14	19	31	51
Помірні	2	4	5	11	16	5	9	14	11	33
Серйозні	0	0	1	0	1	2	1	2	0	1
Катастрофічні	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0

Після аналізу одержаних результатів дослідження зроблено евристичні оцінки, на основі яких введено наступні порогові значення, по перевищенню яких виникають приховані помилки більш високих рівнів категорійності:

1) якщо кількість помилок 4-го рівня категорійності (катастрофічних) перевищує 1, то повторне тестування необхідне за причини можливості відмови програмної системи;

2) якщо кількість помилок 3-го рівня категорійності (серйозних) перевищує 2, то повторне тестування необхідне за причини виникнення помилок вищого рівня категорійності;

3) якщо кількість помилок 2-го рівня категорійності (помірні) дорівнює або перевищує 50 % від загальної кількості виявлених під час основного тестування помилок, то повторне тестування необхідне за причини виникнення помилок вищих рівнів категорійності;

4) якщо кількість помилок 1-го рівня категорійності (незначні) дорівнює або перевищує 75 % від загальної кількості виявлених під час основного тестування помилок, то повторне тестування необхідне за причини виникнення помилок вищих рівнів категорійності.

Подамо на вхід системи звіт 1 про результати основного тестування (таблиця 3).

Таблиця 3

Звіт 1 про результати основного тестування

Метод тестування	Операція тестування	Тип виявленої помилки
Тестування елементів	Перевірка коректності кожної гілки програми (графу керування)	Помилки незалежних маршрутів програми
Тестування незалежних шляхів (гілок)	Перевірка форми операцій	Помилки обчислень
Вихідне тестування	Перевірка правильності розробки та функціонування драйверів	Помилки драйверів та їх розробки

Результат роботи системи визначення необхідності повторного тестування ПЗ виводиться у лінгвістичній формі, зрозумілій користувачу, програмісту і тестувальнику. Після аналізу звіту 1 система видає висновок: "Повторне тестування не потрібне" (рис. 9), оскільки жодне порогове значення не було перевищене.

Наступним на вхід системи подамо звіт 2 про результати основного тестування (таблиця 4).

Звіт 2 про результати основного тестування

Метод тестування	Операція тестування	Тип виявленої помилки
Тестування елементів	Перевірка коректності кожної гілки програми (графу керування)	Помилки незалежних маршрутів програми
Тестування елементів	Перевірка цілісності зберезжуваних даних	Помилки внутрішніх структур даних
Тестування незалежних шляхів (гілок)	Перевірка форми операцій	Помилки обчислень
Вихідне тестування	Перевірка правильності розробки та функціонування драйверів	Помилки драйверів та їх розробки

Після аналізу звіту 2 система видає висновок: "Повторне тестування потрібне" (рис. 10). Проводити його система рекомендує методом тестування елементів, оскільки висновок про необхідність повторного тестування зроблено по перевищенню порогового значення кількістю помилок 3-го рівня категорійності, а помилки 3-го рівня категорійності виявляє метод тестування елементів (ця відповідність наведена у таблиці відповідності між номером методів тестування ПЗ та рівнем категорійності прихованих помилок ПЗ бази знань).

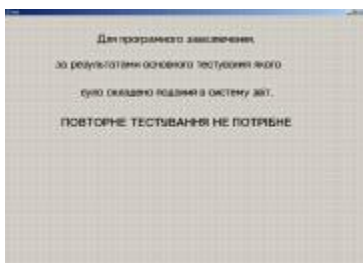


Рис. 9. Висновок системи повторного тестування після аналізу звіту 1



Рис. 10. Висновок системи повторного тестування після аналізу звіту 2

Висновки

Для оцінки небезпечності та ступеня впливу прихованих помилок на ПЗ введено 4 рівні категорійності. На основі запропонованого принципу повторного тестування розроблено нейромережну категорійну модель процесу повторного тестування ПЗ і нейромережний метод процесу повторного тестування ПЗ, дослідження яких дало можливість зробити висновок про підвищення достовірності процесу повторного тестування з врахуванням впливу помилок попередніх рівнів категорійності на 15-28%. На основі нейромережного методу процесу повторного тестування розроблено структуру та виконано програмну реалізацію системи визначення необхідності повторного тестування, яка на основі звіту про основне тестування ПЗ дає висновок про необхідність повторного тестування ПЗ на основі прогнозу наявності прихованих помилок в аналізованому ПЗ, тобто дає можливість замовнику оцінити якість ПЗ.

Література

1. Харченко В.С., Скляр В.В., Гордеев А.А. Верификация программного обеспечения. – Харьков: НАУ "ХАИ", 2006. – 132 с.
2. Локазюк В.М. Надійність, помилки і тестування програмного забезпечення комп'ютерних пристроїв та систем: Навчальний посібник. – Хмельницький: ТУП, 2003. – 74с
3. Липаев В.В. Качество программного обеспечения. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 263 с.
4. Липаев В.В. Отладка сложных программ: Методы, средства, технология. – М.: "Энергоатомиздат", 1993. – 384 с.
5. Липаев В.В. Тестирование программ. – М.: "Радио и связь", 1986. – 411 с.
6. Myers G.J. The Art of Software Testing. – New York: John Wiley and Sons, 1979. – 312.
7. Сэм Канер, Джек Фолк, Енг Кек Нгуен. Тестирование программного обеспечения: Пер. с англ. – К.: Издательство "ДиаСофт", 2001. – 544 с.
8. Локазюк В.М., Пантелеєва (Говоруценко) Т.О. Категорійна модель процесу повторного тестування дефектів програмного забезпечення // Вісник Технологічного університету Поділля – Хмельницький: ТУП, 2004. – ч.1, т.1, с. 53 – 58
9. Lokazyuk V.M., Govoruschenko T.O. Category Model of Process of Repeated Software Testing // Proceedings of the Third IEEE Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications. – Sofia, Bulgaria, 2005. – p. 241-245
10. Говоруценко Т.О. Підвищення достовірності тестування програмного забезпечення // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Комп'ютерні науки та інформаційні технології" –

Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2007 – с.186-196

11. V.Lokasyuk, O.Pomogova, T.Govorushchenko. Neural Nets Method for Estimation of the Software Retesting Necessity // Proceedings of the 2008 international workshop on Software Engineering in east and south Europe – Germany, Leipzig, 2008. – pp. 9-14. ISBN 978-1-60558-076-0. (<http://doi.acm.org/10/1145/1370868.1370871>)

12. Говорущенко Т.О. Система повторного тестування програмного забезпечення // Радіоелектронні і комп'ютерні системи – Харків: НАУ "ХАІ", 2005. – № 4, с.120-126

13. Говорущенко Т.О. Дослідження моделі вирішувача системи повторного тестування прикладного програмного забезпечення // Вісник Хмельницького національного університету – Хмельницький: ХНУ, 2007 – № 3, т.1, с.236-244

14. Калбертсон Р., Браун К., Кобб Г. Быстрое тестирование: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. – 384 с.

15. Говорущенко Т.О. Реалізація та функціонування системи повторного тестування прикладного програмного забезпечення // Вісник Хмельницького національного університету – Хмельницький: ХНУ, 2007 – № 2, т.2, с. 113-120

Надійшла 9.12.2009 р.

УДК 389:638.011.54

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ФУНДАМЕНТАЛЬНОСТИ ФИЗИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В работе представлены доказательства фундаментальности физической теории избыточных измерений. Показано соответствие созданной теории всем требованиям, предъявляемым к физическим теориям со стороны ученых-физиков и ученых-философов.

In-process adduced solidity of physical theory of the surplus measuring. Accordance the created theory is rotined to all of requirements, to produced to the physical theories from the side of scientists-physicists and scientists-philosophers.

Ключевые слова: фундаментальность, избыточные измерения.

Введение

Вопросы фундаментальности физической теории волнуют многих ученых. Для исключения субъективных мнений и необоснованных предположений, нами было проанализировано отношение философов и физиков к данной проблеме. В результате было предложено и объединено в единую систему четырнадцать правил и признаков фундаментальности физических теорий [1]:

- 1) использование общенаучной методологии системного подхода¹ при создании новых теорий;
- 2) следование основным требованиям философии (науки всех наук) к теориям в части формулирования и использования основных структурных элементов теории, – общих и частных законов, явлений, категорий, принципов, методов, методологий, научных положений, основных правил, руководящих идей, парадигм, точек зрения и т.д., отличающих данную теорию от других;
- 3) глубокая проработка теории, использование структур и структурных элементов общих со структурами и структурными элементами фундаментальных физических теорий;
- 4) следование принципу соответствия Н.Бора или принципу преемственности знаний, их использование, обновление и обогащение с помощью новой теории;
- 5) инвариантные проявления сущности ФС или возможность установления инвариантов известных групп преобразований или группы преобразований, известные элементы которой неизменны;
- 6) наличие не одной, а совокупности целей (системы стратегических целей);
- 7) наличие доступного для понимания математического аппарата, описывающего основные законы, закономерности, состояния ФС, свойства, связи и воздействия разной физической природы и т.д.;
- 8) получение системного эффекта от использования данной теории;
- 9) возможность системной и целенаправленной (закономерной) структуризации данных с целью получения новых знаний;
- 10) возможность получения достоверной информации о типовых состояниях ФС и прогнозирование критических состояний;
- 11) обладание предсказательной силой;
- 12) получение новых положительных системных результатов исследований состояний статических или динамических систем;
- 13) развитие прикладных направлений научных исследований и становление новых дисциплин;

¹ В XXI-м веке методологию системного анализа целесообразно использовать только на начальных этапах развития теории.

14) прогнозируемость и известность путей дальнейшего развития физической теории (предсказательная сила теории).

На основании приведенных правил и признаков выделяются соответствующие аспекты и доказываются фундаментальность разработанной автором теории избыточных измерений.

Теория избыточных измерений (ТИИ), родившись в самом начале XXI века (– в 2001 году [2]), представляет науку метрологию как теория, созданная на основе общенаучной методологии системного подхода и информативной избыточности [3-6].

ТИИ понимает и представляет метрологию как науку об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения точности, соизмеримой с точностью воспроизведения нормированных по значению физических величин (ФВ) мерами и рабочими эталонами [7, 8].

На сегодняшний день написано уже достаточное количество научных работ о теории и методах избыточных измерений (ИИ) [2, 5, 6, 9-19]. Результаты теоретических исследований докладывались на международных научно-технических конференциях и симпозиумах [10, 12, 20, 21]. Получено множество патентов Украины на способы избыточных измерений величин разной физической природы и соответствующие технические решения. В частности, 34 лучших патента демонстрируются на сайте Европейского патентного офиса [22].

Доказательство фундаментальности ТИИ, являющейся составной частью науки метрологии, может сделать только автор теории. Задача других ученых – принять или не принять приведенные правила и признаки, а также соответствующие доказательства фундаментальности новой стратегии измерений.

Объект исследований – теория избыточных измерений и ее составные части.

Предмет исследований – основные аспекты и научные положения ТИИ, подтверждающие ее фундаментальность.

Цель работы – доказать ученым-метрологам фундаментальность физической теории избыточных измерений.

Доказательства фундаментальности ТИИ

1. Использование общенаучной методологии системного подхода и информативной избыточности при создании новой теории

В нашем мире существуют две фундаментальные методологии научных исследований: общенаучная методология системного анализа и общенаучная методология системного подхода. Теория прямых измерений развивалась и развивается на основе методологии системного анализа (по принципу – разделий, изучай и совершенствуй). На сегодня общенаучная методология системного анализа, на основе которой развивалась теория измерений, исчерпала свои возможности как движущая сила наук. На ее смену в 80-х годах прошлого столетия пришла общенаучная методология системного подхода, хотя многие ученые-метрологи этого не заметили.

Согласно общенаучной методологии системного подхода, объект измерений (ОИ) и средство избыточных измерений (СИИ) рассматриваются не изолированно друг от друга, а как единая измерительная (физическая или техническая) система «ОИ – СИИ»¹, состоящая из конечного числа функциональных блоков и элементов, которые находятся в определенных (закономерных) взаимосвязях и отношениях друг с другом, служат установленной совокупности целей, выступают как единое целое по отношению к окружающей среде и взаимодействуют с ней через наложенные извне связи.

При этом, для определения искомой физической величины (ФВ) x_i и состояния ИС, измерениям подлежит не одна ФВ, а ряды ФВ, размеры которых составляют арифметическую и/или геометрическую прогрессии [9,10, 17-21].

2. Следование основным требованиям философии к теориям

2.1. Современные понятия «физическая величина» и «физическая система»

Физическая величина

В ТИИ предлагается толкование понятия «физическая величина» отличное от общепринятого. Известно [23, 24], что чем больше число связей между ФВ, тем в большем числе разнокачественных явлений они обнаруживаются и тем выразительнее ее тонкая структура.

Определение 1

ФВ – это объединенная общим понятием совокупность качественно и количественно различных проявлений индивидуального свойства объекта исследований (или измерений), характеризующая его многогранность и тонкую структуру.

Утверждение

ФВ имеют, по меньшей мере, пять видов различных проявлений свойств: хронометрическое, статистическое, спектральное, корреляционное и полевое.

Впервые подобный взгляд на ФВ высказал в 1978 году В.Г. Кнорринг в работе [23].

Автор настоящей статьи, принимая и развивая идею В.Г. Кнорринга на другие параметры электрического сигнала, опубликовал в 2001 году статью [24] о тонкой структуре параметров электрических сигналов, посвященную разным, но однотипным проявлениям свойств этих параметров. Действительно, существуя в окружающем нас электромагнитном эфире или электровакууме, ФВ проявляет себя по-разному, с учетом воздействий на нее факторов окружающей среды и разной степени взаимосвязи с ними. В этой

¹ Далее, для упрощения изложения, будем использовать аббревиатуру ИС «ОИ – СИИ»

связи дадим следующее определение ФВ.

Определение 2

ФВ – это интегральная характеристика качественно и количественно различимых хронометрических, статистических, спектральных, корреляционных и полевых¹ проявлений свойства объекта измерений.

Определение того или иного физического явления или проявления свойств объекта исследований зависит от выбранного метода измерений. Если ФВ – это сущность, то она проявляется через разновидности свойств.

Физическая система

Что же такое «физическая система» с позиции новой физики?

Определение

Физическая система (ФС) – это естественная или искусственная вещественно-полевая система, составные (структурные) элементы которой находятся в определенных (закономерных) связях и отношениях друг с другом, функционируют в пространстве (в электромагнитном эфире или электровакууме) и в инерциальном времени, не меняя его ход, совершают работу без убыли энергии вещества и поля и взаимодействуют с окружающей средой через наложенные извне связи.

Состояние измерительной системы «ОИ – СИИ»

Состояние ИС «ОИ – СИИ» описывается системой нелинейных уравнений величин, или системой уравнений дискретных состояний, значения параметров которых и их неопределенность и определяют состояние системы во времени и в пространстве.

По известным состояниям ИС однозначно определяются не сами ФВ, а вероятности того, что значения этих величин лежат внутри значений полосы неопределенности. Однозначно определяются также средние значения ФВ.

2.2. Сущность ИС «ОИ – СИИ» и его познание

Как известно [25], «сущность ИС «ОИ – СИИ» (про)является; явление искомого свойства всегда существенно и проявляется через изменения состояния системы». В нашем случае сущность ИС «ОИ – СИИ» познается по совокупности явлений, принадлежащих заданному классу условий. Сущность, как общее, как источник для всех явлений, которые подлежат измерениям, отражает глубинные связи и отношения. В отличие от явления, сущность не зависит от условий его наблюдения. При описании явлений невозможно обойтись без наблюдателя, без задания условий наблюдения, без задания систем отсчета. Явление можно не только наблюдать, но и измерять, фотографировать.

Сущность ИС «ОИ – СИИ» может быть охарактеризована некоторыми инвариантными параметрами и характеристиками. Их называют инвариантными проявлениями сущности. Процесс познания сущности системы «ОИ – СИИ» предусматривает выделение инвариантных характеристик или проявлений сущности, на базе которых идет процесс его осмысления и формулировки. Поиск симметрий и инвариантов в физических теориях имеет под собой глубокое основание для познания сущности [41].

Определение 1

Процесс познания сущности (ИС «ОИ – СИИ», ее свойств и состояний) осуществляется через закономерные связи и отношения явлений, получаемых при условии инвариантных, симметричных и нормированных дискретных изменениях ее состояния (по входу и/или через параметры) конечное число раз, зависящее от вида системы уравнений состояния ИС.

Следовательно, сущность ИС познается через инвариантные проявления, закономерные связи и отношения между явлениями.

Для получения (квази)истинного значения ФВ важно установить последовательность событий или явлений, обусловленных друг другом, путем осуществления ряда начальных воздействий на вход ИК системы (как минимум тремя ФВ) и получить конечную реакцию СИИ ИС на это воздействие (как минимум в виде трех выходных ФВ). Число воздействий зависит от вида НФП ИК. Обычно оно составляет от 3-х до 8(10)-и воздействий.

Содержание ИС „ОИ – СИИ” отражается (выражается) в форме системы ММ. Различают внешнюю и внутреннюю форму такой системы. Внешняя форма выражает (через параметры НФП) связь данной системы с воздействующими на нее дестабилизирующими факторами окружающей среды или с другими объектами и системами. Внутренняя форма связана с качественной и количественной определенностью измеряемых свойств (рядов ФВ).

3. Глубина проработки теории

3.1. Определения ТИИ

Определение 1 (с позиции системного подхода)

ТИИ – это система законов, принципов, методологий, методов, условий и ограничений, характеризующая новую стратегию определения свойств, неопределенности свойств и состояний ИС «ОИ – СИИ» и предсказывающая возможные состояния системы во времени и в пространстве² при нелинейной и нестабильной функции преобразования (ФП) одного или нескольких ИК.

Определение 2 (с метрологической точки зрения)

ТИИ – это система законов, принципов, методов, математических и структурных моделей,

¹ Введено благодаря существованию теории электромагнитного эфира или электровакуума через дискретные изменения состояния ИС.

² Т.е. в разных местах расположения и эксплуатации СИИ.

определений, научных положений и условий, характеризующая новую стратегию измерений при нелинейной и нестабильной функции преобразования (ФП) ИК типа «серый ящик», предлагающая новые пути линейного и нелинейного измерительного преобразования величин разной физической природы и предсказывающая достижимые результаты по точности, чувствительности, быстрдействию и метрологической надежности (МН) средств избыточных измерений (СИИ) [17].

Определение 3 (лаконичное определение)

ТИИ – это система структурированных научных знаний о новой стратегии измерений, объединенных общенаучной методологией системного подхода и информативной избыточности, опирающаяся на определенную совокупность законов, категорий, научных принципов, методов и математических моделей.

3.2. ТИИ – физическая теория

Метрология является одной из наук физического цикла [27]. В этом нет никакого сомнения. Понятие “метрология” издревле связано с мерами физических величин (ФВ) и эталонами [28, 29].

Утверждение 1

ТИИ является физической теорией, поскольку представляет собой одну из ветвей метрологии, рассматривает и описывает новую стратегию измерений независимых и зависимых свойств, приращений свойств, зависимостей свойств и характеристик.

Теории, которые рассматривают процессы и проблемы измерений с математических позиций, абстрагируясь от сущности физических процессов и явлений, не являются физическими теориями. К нефизическим можно отнести алгоритмическую теорию измерений А.П. Стахова [30], теорию статистических измерений Э.И. Цветкова [31], теорию алгоритмических измерений П.А. Арутюнова [32] и другие.

ТИИ, как и любая иная теория, имеет свой предмет исследования, который выражает ее содержание и отвечает на вопрос: что изучает данная теория.

Утверждение 2

Предметом исследований ТИИ является познание собственных (общих и частных) законов строения, функционирования и развития, новая стратегия необходимых и достаточных измерений независимых и зависимых свойств, приращений свойств, зависимостей и характеристик ИС «ОИ – СИИ» с неизвестными, в общем случае, нелинейными и нестабильными параметрами ФП ИК, направленная на получение нового качества измерений и новых знаний о состоянии ИС, а также на развитие и становление метрологии и ее эталонной базы, современной сенсорики и метроники [9-21, 33-40].

3.3. Структура ТИИ

Структура ТИИ соответствует структуре фундаментальных физических теорий. В ТИИ имеются подобные структурные элементы. Каждая система нелинейных уравнений величин и ее решения описывают состояние ИС «ОИ – СИИ» и его изменения во времени, искомые свойства, параметры и характеристики.

3.4. Связи и состояния системы «ОИ – СИИ»

В фундаментальных теориях “явления и состояния следуют друг за другом во времени неопределенным, неоднозначным, неуникальным образом”[41]. Это же наблюдается и в ТИИ, но в дискретные моменты времени и при априори определенной совокупности измеряемых ФВ.

В ТИИ закономерные, т.е. необходимые связи между явлениями выражаются посредством линейных и нелинейных уравнений величин.

ТИИ обеспечивает определение параметров ФП ИК непосредственно в процессе ИИ. В ТИИ, в отличие от теории прямых измерений, решения той или иной измерительной задачи тесным образом связано с определением значений параметров нелинейной функции преобразования (НФП) измерительного канала (ИК). Последние, вместе с измеряемой ФВ, и являются начальными условиями состояния системы, значения которых не подчинены определенным закономерностям. Значения параметров НФП предопределяются влиянием внешних дестабилизирующих факторов на ИК или на СИИ в целом.

Следовательно, в ТИИ также используется понятие состояние ИС «ОИ – СИИ», свойственное фундаментальным физическим теориям. ТИИ обеспечивает определение всех свойств, описывающих состояние ИС «ОИ – СИИ». Как и в фундаментальных физических теориях, в ТИИ состояние ИС также представляет собой вероятностную характеристику.

3.5. Категории – каркас ТИИ

Категории – это ступени и формы познания мира. С другой стороны, категории – это наиболее общие формы высказываний и понятий, от которых происходят остальные понятия [18]. Категории составляют каркас любой науки, в том числе и метрологии. Для метрологии, физики и философии общими являются такие категории, как материя, пространство, время, взаимодействие, состояние. Пространство, как и время, есть условие существования материи или «коренная форма бытия материи».

В метрологии и в ТИИ рассматриваются следующие категории [18]: категории объектов исследований (категории тел, категории веществ, категории физических явлений, категории физических процессов, категории физических систем), категории объектов измерений, категории измерительных задач, система категорий качества измерений, категории качества СИ и измерительных систем, классы (производные частно-научных категорий) объектов измерений, категория содержания, категория формы (форма – это тождественный содержанию способ его выражения) и др.

В частности, категория неопределенности измерений связана с понятием рассеяния результатов многократных измерений одной и той же ФВ.

3.6. Инварианты и симметрия

Утверждение 1

Инвариантные признаки и симметрии в физической ТИИ выступают как инвариантные проявления сущности физической системы «ОИ – СИИ». Опираясь на них, ТИИ определяет и изучает сущность явлений.

Утверждение 2

Инвариантные проявления сущности достигаются инвариантными воздействиями на измерительную систему «ОИ – СИИ» как путем симметричных изменений входных величин, так и путем симметричных изменений параметров ИС.

3.6. Явления

Явление – это способ обнаружения сущности через свойства и отношения, доступные чувствам [26]. Каждому условию существования сущности соответствует свое объективное явление искомого свойства, которое по своей количественной определенности будет отличаться от других явлений, соответствующих иным условиям. Изменяется условие – изменяется и количественная определенность явления, но сама ИС «ОИ – СИИ» и вид НФП ИК не испытывают никаких изменений. Собственное состояние системы, описываемое системой уравнений состояния с соответствующими параметрами, выступает по отношению к совокупности явлений одной из характеристик сущности.

Утверждение 1

Явление существенно и подлежит измерениям.

Утверждение 2

Измерение – процесс познания сущности через явления.

Для ТИИ (как и для метрологии в целом) эти явления являются существенными, необходимыми и устойчивыми в своих проявлениях.

3.7. Принципы ТИИ

ТИИ построена на фундаменте, состоящем из десяти основных научных принципов [9, 10, 17]: преемственности знаний; системной инвариантности; системной информативной избыточности; системной линеаризации (или принцип системного линейного преобразования физических величин (ФВ)); системной деформации (или принцип системного нелинейного преобразования ФВ); системной управляемости измерений; симметрии; автоматического исключения погрешностей; системной (или избыточной) МН; системного программно-алгоритмического обеспечения ИИ.

В ТИИ изложены также научные принципы (исходные положения), связанные с такими базовыми понятиями, как свойство, измерение, ОИ, результат измерения и погрешность [42]:

1. *Базовые принципы, связанные с понятием «свойство»*: принцип истинности свойства; принцип постоянства свойства; принцип непостоянства свойства; принцип познания свойств; принцип несоответствия (количественной определенности свойств).

2. *Базовые принципы, связанные с понятием „измерение“*: принцип возможности измерения; принцип необходимости; принцип достаточности; принцип измерения; принцип истинности измерений; метрологический принцип измерения; принцип опосредованности; принцип совокупности; принцип совместности; принцип избыточных измерений.

3. *Базовые принципы, связанные с понятием „результат измерения“*: принцип неопределенности результата измерений; принцип стандартной неопределенности результата измерений; принцип расширенной неопределенности результата измерений; принцип структурирования знаний.

4. *Базовые принципы, связанные с понятием „погрешность“*: принцип несоответствия; принцип граничной точности (погрешности).

5. *Базовые принципы, связанные с понятием „объект измерения“*: принцип формализации объекта измерений; общий принцип материальности объекта измерения; принцип материальности объектов измерений 1-й категории – физических тел (веществ, материалов, изделий и электрических цепей); принцип материальности объектов измерений 2-й категории – процессов и сигналов.

6. *Базовые принципы, связанные с понятиями «структуризация данных, информации и знаний»* (по данным работы [43]): принцип структуризации данных; принцип структуризации информации; принципа структуризации знаний.

Принципы – наилучшая форма изложения научных положений. Научные принципы – основные правила, руководящие идеи, точки зрения.

3.8. Открытия в ТИИ

Согласно положению о открытиях, научное открытие в области естественных наук означает установление явлений, свойств, законов или объектов материального мира, ранее не установленных и доступных проверке.

Нами установлено явление искомого свойства (или способ его обнаружения) через свойства и параметры ИС «ОИ – СИИ», подвергшейся конечное число раз инвариантным, закономерным и нормированным дискретным изменениям ее состояния, зависящим от вида функциональной зависимости выходной величины ИК от искомой с последующей интерпретацией полученных данных.

Утверждение 1

Установлено явление свойства, подобного истинному по своей количественной определенности (в пределах полосы неопределенности), проявляющееся вследствие инвариантного и закономерного изменения

и познания состояния ИС «ОИ – СИИ» с линейными и нелинейными внутрисистемными связями и закономерной (и единственной) интерпретации количественной определенности измеренных (или познанных) свойств относительно искомого.

Утверждение 2

Установлено явление свойства, функционально измененного по количественной определенности относительно преобразуемого (измеряемого), проявляющееся вследствие инвариантного и закономерного дискретного изменения и познания состояний ИС «ОИ – СИИ» с нелинейными внутрисистемными связями и закономерной функциональной интерпретации количественной определенности познанных свойств.

3.9. Законы ТИИ

В работе [18] показано, что сердцевину ТИИ, как и науки метрологии в целом, составляют входящие в них законы. Каркасом служат категории объектов исследований, объектов измерений, измерительных задач, качества измерений, качества СИИ или измерительной системы в целом, содержания, состояния исследуемой системы и др., которые представляют собой основные ступени и формы познания сущности данной теории. Фундаментом ТИИ являются научные принципы, а основными исходными положениями ТИИ – ее мини-теории и учения.

Утверждение 1

Познание собственных законов развития и есть основная задача метрологии и ТИИ, связанная с поиском

закономерных связей между свойствами, явлениями и процессами разной физической природы.

Глубина проработки ТИИ определяется объемом и глубиной знаний и умений использовать собственные общие и частные законы строения, функционирования и развития.

Утверждение 2

Закон – есть существенная, необходимая, устойчивая, повторяющаяся связь явлений [44].

3.9.1. Основной закон ТИИ

В результате научных исследований и развития ТИИ нами был открыт и сформулирован универсальный (теоретический) закон метрологии или «основной закон ТИИ».

С помощью данного закона выражаются существенные связи и отношения свойств и явлений объективного мира.

Универсальный (фундаментальный) закон метрологии

Достоверная истинность свойств определяется достоверной истинностью свойств, воспроизводимых мерой или эталоном, неопределенностью состояния ИС «ОИ – СИИ», ее параметрами и соотношениями, а также внешними воздействиями на данную систему.

3.9.2. Закон истинности свойств

Установлен способ обнаружения качественной и количественной определенности искомого свойства через свойства ИС «ОИ – СИИ», путем инвариантного, закономерного и нормированного дискретного изменения ее текущего состояния с последующей интерпретацией количественной определенности измеренных (или познанных) свойств относительно искомого.

3.9.3. Основной закон ТИИ

Определение 1

Процесс познания сущности ИС «ОИ – СИИ» (через ее состояния и свойства) осуществляется через инвариантные проявления ее сущности при инвариантных, симметричных и нормированных дискретных воздействиях на вход ИС «ОИ – СИИ» или на ее отдельные параметры с последующей интерпретацией полученных проявлений сущности через установленные закономерные связи между явлениями, число которых зависит от вида установленной функциональной зависимости выходной величины ИК от искомой.

Определение 2 (более лаконичное)

Процесс познания сущности ИС «ОИ – СИИ» осуществляется через его инвариантные проявления при инвариантных, симметричных и нормированных дискретных воздействиях на систему с последующим осмысливанием и интерпретацией полученных свойств и параметров.

3.9.4. Законы развития и частные законы

В метрологии и в ТИИ действуют следующие основные законы развития: закон единства и борьбы противоположностей; закон перехода количества в качество; закон отрицания; закон развития от простого к сложному и закон отражения. В [4, 10] приведены их определения применительно к ТИИ.

Утверждение 1

Уравнения избыточных измерений – это частные законы ТИИ. Они характеризуют раз и навсегда установленные зависимости искомого свойства (или параметра) от результатов изменений состояния (реакции) ИС «ОИ – СИИ» при заданных и закономерно нормированных дискретных воздействиях на нее. Частные законы не зависят от времени и места. Они зависят от вида от вида функциональной зависимости выходной величины ИК от искомой¹.

3.10. Закономерности

Закономерности – это причинно-следственные квазистационарные связи заданного вида, характеризующиеся изменяемым во времени рассеянием параметров. В ТИИ такими закономерностями являются система уравнений состояний ИС и функции преобразования ИК.

¹ Искомая ФВ связана с входной ФВ ИК функциональной зависимостью в том случае, когда объекту измерений приписывается ММ.

Утверждение 1

В ТИИ система когерентных нелинейных уравнений величин описывает поведение и состояние системы «ОИ – СИИ» во времени и в пространстве и является закономерностью, свойственной только для систем с установленным (или заданным) видом НФП и определенной системой размеров измеряемых ФВ.

Утверждение 2

Система взаимосвязей размеров измеряемых ФВ – это закономерность, обеспечивающая изучение состояния ИС и получение искомого свойства.

Данная ММ представляет собой систему числовых значений измеряемых ФВ, которые закономерно связаны между собой по размерам. Обычно используются связи,

описываемые арифметической и/или геометрической прогрессиями. При изменении размера искомой ФВ значения ФВ рядов изменяются, при неизменном характере установленных закономерностей.

*3.11. Фундаментальность ТИИ**Утверждение 1 (о фундаментальности ТИИ)*

С физической точки зрения ТИИ является фундаментальной, поскольку ей присущи те же общие признаки, которые присущи и в фундаментальных физических теориях: общность структуры и составляющих ее структурных элементов, использование понятий (категорий) «состояние» и «неопределенность измерений», а также «оценка состояния системы посредством вероятностных характеристик».

Примечание

Категория неопределенности измерений связана с понятием рассеяния результатов многократных измерений одной и той же ФВ.

Утверждение 2

ТИИ является фундаментальной (физической) теорией, поскольку она создана с учетом базовых философских воззрений (основных подходов) к созданию любой теории, использовала обобщенные методы мышления и познания мира, выделила основные общенаучные понятия: «категории», «классы», «принципы», «методы», «методологии» и т.д., а также использовала веками накопленные знания о предмете исследований.

4. Следование принципу соответствия Н.Бора или принципу преемственности знаний, их использование, обновление и обогащение с помощью новой теории

Созданная ТИИ не противоречит принципу соответствия Н.Бора [48], согласно которого новая теория должна включать в себя как частный случай старую теорию, имеющую более ограниченную область применимости. ТИИ, как более точная теория в применении к исследуемым свойствам и явлениям, дает результаты, намного превышающие результаты классической теории по точности и метрологической надежности.

ТИИ обеспечивает преемственность знаний, их использование, обновление и обогащение. В качестве примера следует отметить тот факт, что в ТИИ могут использоваться практически все известные методы прямых измерений, хотя базовыми являются методы измерительных преобразований рядов ФВ. Обогащение знаний об ОИ и ИС в целом достигается благодаря новой стратегией измерений величин разной физической природы, т.е. возможностью определения всех параметров НФП ИК в текущий момент времени ИИ.

5. Инвариантные проявления сущности ИС

ИС, изучаемые в ТИИ, присуще свойство неизменности (инвариантности) результата измерительных преобразований ФВ относительно изменений значений параметров ИК”, т.е. свойство симметрии. Инвариантные проявления сущности ИС имеют место по следующим причинам:

1) в физической ТИИ ИС действительно являются носителями симметрии. В роли симметричных объектов здесь выступают ФВ, физические процессы, физические воздействия и уравнения (законы) избыточных измерений;

2) в ТИИ имеются такие признаки, как измеряемые ФВ, свойства ИС, отношения между параметрами и характеристиками, процессы измерительного преобразования свойств, явления и др., которые при преобразованиях симметрии остаются неизменными; их называют инвариантными признаками (в математике – инварианты);

3) в ТИИ осуществляются такие изменения состояния ИС (преобразования симметрии), при которых ИС остается тождественной самой себе по инвариантным признакам;

4) ИС обладает свойством превращаться по выделенным признакам в саму себя после соответствующих изменениях ее состояния.

Опираясь на инвариантные проявления сущности ИС, ТИИ определяет и изучает сущность явлений.

6. Система стратегических целей

ТИИ присуща не одна конечная цель, а система стратегических целей [15, 17]:

1) обеспечение правильности измерений, т.е. близости к нулю значений систематических погрешностей результата ИИ;

2) получение приведенного к входу ИК результата измерений с погрешностью того же порядка, что и погрешность воспроизведения нормированной по значению ФВ мерой, эталоном или стандартным образцом;

3) получение независимого от действия дестабилизирующих факторов результата измерений как для ОИ, которым не приписывается математическая модель, так и для ОИ с приписываемой математической моделью, т.е. с уменьшенной или даже исключенной дополнительной погрешностью;

4) обеспечение повторяемости (сходимости) результатов ИИ, выполненных повторно, в одних и тех же условиях эксплуатации и с одинаковой тщательностью с помощью измерительной системы «ОИ – СИИ», реализующей один и тот же метод ИИ;

5) обеспечение воспроизведения результатов ИИ одной и той же ФВ, полученных в разных местах, в разное время и разными операторами с помощью СИИ, реализующих разные методы ИИ (МИИ), но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.);

6) достижение высокоточных результатов ИИ при относительно низкой долговременной нестабильности параметров НФП ИК СИИ (за априори установленный интервал времени – час, месяц, год и др.);

7) обеспечение быстродействия (оперативности) ИИ свойств и параметров системы «ОИ – СИИ» приближенного к быстродействию методов прямых измерений;

8) разработка методов обработки метрологических чисел для задач ИИ и методик работы с метрологическими функциями¹ [33];

9) получение новых системных знаний (структурированных систем знаний) о текущем состоянии измерительной системы «ОИ – СИИ»;

10) становление и развитие метрологии, как науки о теоретических и практических аспектах прогнозирования, определения параметров и обеспечения метрологической надежности (МН) и сверхнадежности средств измерений разного класса точности [7, 8, 34-40];

11) создание новых законов, научных принципов и методов конструирования и построения базовых структур интеллектуальных СИИ (ИСИИ), информационно-измерительных систем (ИИС) и нелинейных измерительных преобразователей (НИП);

12) создание базовых структур ИСИИ, ИИС и НИП, включающих экспертные системы (ЭС), интеллектуальные интерфейсы (ИНИ) и т.п.;

13) становление и развитие сенсорики на основе новой общенаучной методологии системного подхода, идеологии ИИ и современных законов, научных принципов и методов конструирования и построения информативно-избыточных сенсоров и биосенсоров с управляемыми и неуправляемыми параметрами;

14) создание базовых структур информативно-избыточных сенсоров и биосенсоров с управляемыми параметрами, в том числе и интеллектуальных (с согласующими усилителями, памятью и элементами управления);

15) разработка принципов построения мер, эталонов и стандартных образцов веществ и материалов для ИИ неэлектрических величин разной физической природы.

16) разработка общих подходов и принципов системного и прикладного программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) СИИ и методов их тестирования.

7. Наличие доступного для понимания математического аппарата

Фундаментальной особенностью ТИИ является использование доступного для понимания математического аппарата, обеспечивающего формализованное описание основных законов, закономерностей, состояний измерительных систем, свойств, связей и воздействий разной физической природы. Используемый математический аппарат доступен не только ученым, но и студентам и аспирантам. Для его использования достаточны знания по математике в объеме, получаемых в техническом ВУЗе.

Используемые математические модели и их уровень

В ТИИ используется не одна ММ, а система ММ ИИ. В ее состав входят:

ММ функционирования ИС «ОИ – СИИ» во времени и в пространстве (информативно-избыточная, неполная информативно-избыточная и типовая (общепринятая) ММ);

ММ состояний ИС «ОИ – СИИ» (в виде систем нелинейных уравнений величин, подлежащих измерениям);

ММ в виде информативно-избыточной, неполной информативно-избыточной или типовой системы нелинейных уравнений величин с временным, пространственно-временным или пространственным разделением ИК;

ММ в виде информативно-избыточной, неполной информативно-избыточной или типовой системы нелинейных уравнений величин с временным разделением нескольких ИК, параллельно соединенных по входам, и аналоговым суммированием;

ММ в виде информативно-избыточной, неполной информативно-избыточной или типовой системы нелинейных уравнений величин при измерительном преобразовании аддитивной смеси «сигнал-шум» $x_i + h_x(t)$ и использовании операции интегрирования выходного сигнала ИК (до проведения операции аналого-цифрового преобразования);

ММ в виде информативно-избыточной, неполной информативно-избыточной или типовой системы нелинейных уравнений величин для случая измерительного преобразования аддитивной смеси «сигнал-шум» $x_i + h_x(t)$ и использовании операции фильтрации выходного сигнала ИК (до АЦП);

ММ в виде информативно-избыточной, неполной информативно-избыточной или типовой системы нелинейных уравнений величин при измерительном преобразовании аддитивной смеси «сигнал-шум»

¹ Каждому значению аргумента метрологической функции соответствует триединое число: среднее значение, а также значения верхней и нижней границ полосы неопределенности.

$x_i + h_x(t)$ и использовании иных операций усреднения выходного сигнала ИК;

система взаимосвязей размеров измеряемых ФВ;

уравнение ИИ искомой ФВ;

уравнение ИИ параметра S_{π} НФП ИК;

уравнение ИИ параметра $S_{\pi 1}$ НФП ИК;

уравнение ИИ параметра $S_{\pi 2}$ НФП ИК;

уравнение ИИ смещения НФП ИК;

уравнение избыточных измерений текущей (суммарной) чувствительности ИК;

уравнение избыточных измерений изменений во времени текущей чувствительности S_{Σ} ИК;

уравнение измерений времени наработки СИИ до МО;

уравнение измерений времени наработки СИИ на МО;

аналитические выражения для определения стандартной, суммарной стандартной или расширенной неопределенности, используемой при представлении конечного результата измерений и другие ММ.

Причем ММ данной системы имеют свои характерные особенности при ИИ I-го, II-го и III-го родов. Системы ММ отличаются между собой для случаев, когда ММ не приписывается или приписывается ОИ.

8. Получение системного эффекта от использования данной теории

ТИИ обеспечивает получение системного эффекта в части обеспечения сверхвысокой точности измерений (того же порядка, что и точность воспроизведения значения нормированной ФВ мерой или эталоном) и сверхнадежности СИИ, реализующих методы ИИ. В частности, например, высокая точность ИИ достигается за счет использования свойственных данной теории ММ, структура которых предполагает вначале определение разностей результатов измерительных преобразований ФВ, а затем их отношения. При вычитании исключаются аддитивные составляющие, а при делении – мультипликативные составляющие систематической погрешностей результата ИИ.

9. Возможность системной и целенаправленной (закономерной) структуризации данных с целью получения новых знаний

Многообразие ММ обеспечивает определение всех необходимых данных, касающихся искомой ФВ и параметров функции состояния ИС. По частным законам, характеризующим взаимосвязь действительного значения искомой ФВ, с ФВ, воспроизводимой мерой и с результатами измерительных преобразований ФВ, осуществляется системная и целенаправленная (закономерная) структуризация данных с целью получения новых знаний.

Наличие системы целей и соответствующих ММ, обеспечивающих их достижение, достигается высокая информативность результатов ИИ и получение большого объема знаний как об ОИ, так и об ИС в целом.

10. Возможность получения информации о типовых состояниях ИС и прогнозирования критических состояний

Новая стратегия измерений обеспечивает получение информации о типовых состояниях ИС (при разных условиях ее эксплуатации), и прогнозирование докритических состояний, в частности, например, времени наработки до МО и на МО [45]. Определение времени наработки до МО, например, стало возможным благодаря возможностям ТИИ по определению чувствительности ИК в текущие моменты времени эксплуатации СИИ. Используя неопределенность значений чувствительности НФП ИК и ее изменения в пределах установленных границ (при разных условиях эксплуатации и хранения), стало возможным прогнозировать время наработки СИИ до МО.

Прогнозирование и определение времени наработки СИИ на МО стало возможным благодаря выводу новых вероятностно-физических моделей отказов или функций распределения нормированных погрешностей в течение времени наработки на МО [34-40] и соответствующих уравнений измерений.

11. Обладание предсказательной силой

Согласно [1], предсказательная сила ТИИ, как и других физических теорий, базируется на концепции существования функциональных связей. Наличие функциональных связей между величинами позволяет предвидеть будущее, осуществлять обоснованный прогноз еще не состоявшихся типичных событий. Математическая формулировка физических законов, представленных в виде, например, уравнений избыточных измерений, резко повышает точность описания различных физических явлений, а с ней и возможности что-либо предсказывать.

11.1. Предсказания в ТИИ

В ТИИ предсказания связаны и проводятся с использованием ММ, описывающих функциональное состояние ИС и происходящие в ней процессы и явления. Данные модели представляют собой системы нелинейных уравнений величин, описывающие, с одной стороны, процессы измерений рядов ФВ во времени и в пространстве, а с другой – состояние ИС. Предсказания строятся на том факте, что по состоянию ИС в начальный момент времени можно однозначно определить ее состояние в любой наперед заданный (последующий) момент времени. Именно благодаря этому стало возможным предсказание и развитие новой стратегии измерений [17], т.е. стратегии избыточных измерений ФВ.

В теории метрологической надежности средств (избыточных) измерений, которую также развивает автор, предсказания имеют вероятностный характер, обусловленный действием на ИС множества

случайных факторов. В этой связи результаты измерений получают рассеянными, т.е. с некоторой неопределенностью. Состояние ИС в части сохранения неизменными его метрологических характеристик (МХ), характеризуется уже функцией распределения.

Нами было предсказано процесс синтеза прогнозных нелинейных функций и дальнейшее развитие теории метрологической надежности по пути синтеза новых вероятностно-физических моделей метрологических отказов с гибкими параметрами [19]. Было предложено несколько двухпараметровых функций распределения нормированных погрешностей в течение времени наработки средства измерений на МО [34-40].

Исследования подтвердили, что действительно, в указанных предсказаниях главным является вопрос: как задать определенное состояние ИС и возможно ли точное определение начальных условий ИС? ТИИ положительно отвечает на данный вопрос.

Зная вид и параметры нелинейной функции распределения можно прогнозировать состояние ИС и вычислять для данной ИС среднее значение нормированной погрешности и меру отклонения ее от среднего значения – среднеквадратичное отклонение, или дисперсию. По значениям функции распределения в начальный и в два последующих момента времени проведения проверок при известном законе распределения нормируемой погрешности не сложно определить вероятность наработки СИ на МО в текущий и последующие моменты времени.

11.2. Дополнительные типы предсказаний

1. Предсказание качественно новых эффектов с помощью ММ

В ТИИ использование идеальной ММ ИС, дало возможность изучить ее поведение при воздействиях внешних дестабилизирующих факторов. Это привело к получению новой информации о моделируемом объекте, то есть к предсказанию качественно нового эффекта – получение результата измерений искомой ФВ, инвариантного к указанным воздействиям. Этот эффект обусловлен как неизменностью состояния ИС (ввиду ее инерционности) в течение незначительного промежутка времени избыточных измерений рядов ФВ, инвариантных к внешним воздействиям, так и за счет соответствующей обработкой полученных результатов.

2. Предсказания по наложенным ограничениям

Как отмечалось в [1], предсказания физических теорий – это не только определенные разрешения, но и определенные ограничения, накладываемые на систему и ее ММ. В ТИИ имеет место ограничение по быстродействию процесса измерительного преобразования искомой ФВ. Установленное ограничение, как одна из форм предсказаний, используется при постановке ряда практических задач ИИ.

Известно, что ИИ I-го рода используются для определения действительного значения ФВ при отсутствии случайных помех и наводок. Нами предсказана возможность уменьшения или даже исключения действия медленно изменяющихся помех (и наводок) на конечный результат ИИ при условии, что быстродействие процесса измерительного преобразования рядов ФВ будет обеспечено намного меньшим временем изменения помехи от пика к пику (или периода наведенного сигнала). В этом случае математическое ожидание нестационарного случайного процесса на промежутке времени измерений рядов ФВ рассматривается как систематическая погрешность, исключение которой обеспечивается за счет обработки результатов промежуточных измерений.

Нет сомнений, что осознание подобных ограничений является признаком фундаментальности ТИИ.

3. Предсказания по гипотезам (предположениям)

В ТИИ предсказана гипотеза о сверхнадежности СИИ, которые реализуют методы ИИ.

Сущность гипотезы состоит в следующем: «любая систематическая погрешность, не приводящая к функциональному отказу, не может привести СИ и к МО, поскольку она автоматически исключается при обработке результатов промежуточных измерений».

Здесь подразумевается наличие запаса по динамическому диапазону входного сигнала, т.е. работоспособность ИК (в том числе и АЦП) при увеличении уровня сигнала на допустимое значение систематической погрешности, определяемое классом точности СИ, или превышающее его в несколько раз.

4. Предсказание новых теорий и принцип соответствия

ТИИ, описывающая более широкий круг явлений, включает в себя как частный случай теорию прямых измерений, имеющую более ограниченную область применимости в части ее возможностей по обеспечению высокой точности измерений. Так, например, ТИИ не исключает возможность использования СИ, реализующие методы прямых измерений, для реализации новой стратегии измерений. ТИИ, опирающаяся на методы измерительных преобразований ФВ не исключает возможность использования методов прямых измерений при реализации новой стратегии измерений.

5. Предсказания посредством физических законов

Как отмечалось в [1], физический закон обладает предсказательной силой, поскольку он указывает на то, что будет происходить в ИС при определенных условиях.

Это утверждение прекрасно характеризует случаи, когда моделируются процессы ИИ при наличии приписываемой ОИ ММ. Так, например, при оптических измерениях влажности оптически прозрачных веществ и материалов, широко используется закон Ламберта – Бугера – Бера. Зная его аналитическое выражение, не сложно учесть влияние дополнительных параметров (коэффициентов поглощения, коэффициента рассеяния, длину кюветы, мощность оптического излучения и т.д.) на результат ИИ и

обеспечить соответствующие условия для исключения их влияния.

6. Предсказания прошлого состояния физических систем

Предсказания, связанные с восстановлением прошлого состояния ИС и составляют суть всех нестационарных моделей ИС. Мы утверждаем, что зная нелинейную функцию распределения нормируемых погрешностей в течение времени наработки на метрологический отказ, начальное значение нормируемой погрешности (на момент времени ввода СИ в эксплуатацию) и два последующих значений (при n -й и $n+1$ -й поверках), мы можем спрогнозировать и ближайшее прошлое состояние ИС (погрешность мнимого результата измерений).

7. Предсказание состояния открытых нелинейных систем разной физической природы (самоорганизующихся систем)

В ТИИ пока не разработаны самоорганизующиеся ИС, что не позволяет говорить о предсказаниях соответствующего вида. Полагаем, что существуют биосенсоры, представляющие собой самоорганизующиеся биотехнические системы, над предсказанием состояния которых работают ученые. Предсказание состояния открытых нелинейных систем разной физической природы (самоорганизующихся систем разного класса) является задачей будущего.

12. Получение новых положительных системных результатов исследований ИС

Результаты исследований ИС разного прикладного назначения показали, что они инвариантны к влияниям внешних дестабилизирующих факторов, полоса неопределенности результатов избыточных измерений искомой ФВ в несколько раз уже полосы неопределенности средств прямых измерений, СИИ обладают метрологической сверхнадежностью, имеется возможность текущего определения времени наработки до метрологического отказа и т.д.

13. Развитие прикладных направлений научных исследований и становление новых дисциплин

В ТИИ выделены и развиваются следующие основные ее направления или „мини-теории”, которые более широко изложены в [17]:

- 1) теория информативной избыточности;
- 2) теория избыточных линейных измерительных преобразований независимых и зависимых свойств, зависимостей свойств, приращений свойств и характеристик;
- 3) теория избыточных нелинейных измерительных преобразований ФВ;
- 4) учение о метрологических функциях, о числах, полученных по результатам достоверных промежуточных измерений и способах их обработки с целью получения высокоточных результатов ИИ;
- 5) теория погрешностей СИИ и нелинейных измерительных преобразователей (НИП);
- 6) учение о статических и динамических измерительных системах и их свойствах;
- 7) теория создания и проектирования информативно-избыточных сенсоров и биосенсоров с неуправляемыми и управляемыми параметрами (– новая ветвь науки сенсорики);
- 8) теория и методология создания и проектирования микропроцессорных, в том числе и интеллектуальных СИИ, нелинейных измерительных преобразователей и информационно-измерительных систем;
- 9) теория системной метрологической надежности цифровых СИИ, НИП и ИИС (– новая ветвь метроники);
- 10) теория системного программно-алгоритмического обеспечения (ПАО) процессов управления и обработки результатов ИИ ФВ и параметров;
- 11) теория программирования задач ИИ;
- 12) теория метрологической надежности ПАО ИИ.

В ближайшем будущем будет выделено и научное направление, связанное с избыточными измерениями независимых и зависимых свойств, приращений свойств, зависимостей и характеристик объектов наномира.

Одновременно с развитием ТИИ развиваются и в стадии становления находятся такие прикладные направления научных исследований, как избыточная пирометрия, избыточная радиометрия, избыточная влагометрия, избыточная концентратометрия, избыточная манометрия, избыточные измерения дальности всеми существующими методами в инфракрасном диапазоне длин волн, избыточные измерения углового ускорения (на основе эффекта Саньяка), избыточная фазометрия, избыточные измерения мощности, частоты, и т.д. и т.п. По данным направлениям нами получено более 50-ти патентов Украины на новейшие технические решения методов и средств измерений величин разной физической природы.

14. Прогнозирование развития теории избыточных измерений

Зная состояние метрологии в прошлом и настоящем, не трудно спрогнозировать будущее ТИИ.

Как было показано в работе [21], в XXI веке (через 10-15 лет), при условии интенсивного развития ТИИ и интеллектуальных СИИ, наступит новый виток развития ТИИ (по спирали).

Этот виток развития будет обусловлен созданием материалов с новыми гибкими, т.е. управляемыми, свойствами, обеспечивающими создание измерительных преобразователей, прежде всего сенсоров и биосенсоров с видоизменяемыми функциями преобразования.

Процесс избыточных измерений будет описываться системами ММ, состоящих, в общем случае, только из видоизменяемых нелинейных уравнений величин, соответствующих уравнений избыточных

измерений и т.д. Процесс управления будет уже не дискретным, а непрерывным и закономерным, направленным на достижение поставленных целей. Метрологи должны будут научиться решать системы видоизмененных нелинейных уравнений величин. Возможно, изменяться требования к составлению рядов корректирующих ФВ или будет измеряться одна и та же искомая ФВ при разных видах НФП сенсора (биосенсора) или ИК в целом. Всегда будет использоваться один ИК, а при двух- или трехчастотных методах измерения или при измерениях на двух или трех длинах волн – соответственно два или три ИК. Таков прогноз развития ТИИ на ближайшее будущее.

Выводы

Впервые в истории метрологии доказана фундаментальность ТИИ, т.е. соответствие ее, как физической теории, всем перечисленным выше основным правилам и признакам фундаментальности.

Предложено два толкования понятия ФВ – как совокупность качественно и количественно различных проявлений индивидуального свойства ОИ, и как интегральная характеристика качественно и количественно различных хронометрических, статистических, спектральных, корреляционных и полевых проявлений свойства ОИ.

Предложено новое определение понятию «физическая система» с позиции новой физики, – как естественная или искусственная вещественно-полевая система.

Приведены три определения ТИИ, – с позиции системного подхода, с метрологической точки зрения и лаконичное определение, расширяющие наши представления о данной теории.

Утверждается, что ТИИ является физической теорией, поскольку представляет собой одну из ветвей метрологии, как физической науки об измерениях, развивает и описывает новую стратегию измерений величин разной физической природы.

Предмет исследований, который четко отражает содержание ТИИ и отвечает на вопрос – что изучает данная теория.

Первой фундаментальной особенностью ТИИ является наличие системы стратегических целей.

Второй фундаментальной особенностью ТИИ является получение системного эффекта от использования данной теории в части обеспечения сверхвысокой точности измерений (того же порядка, что и точность воспроизведения значения нормированной ФВ мерой или эталоном) и супернадёжности СИИ, реализующих методы ИИ.

Третьей фундаментальной особенностью ТИИ является высокая информативность результатов исследований, обеспечиваемая использованием не одной ММ ИИ, а системы ММ и дающая информацию как об измеряемой ФВ, так и о текущем состоянии ИС. Причем системы ММ отличаются между собой для случаев, когда ММ не приписывается или приписывается ОИ. Сами ММ данной системы имеют свои характерные особенности при ИИ I-го, II-го и III-го родов.

Четвертой фундаментальной особенностью ТИИ является преемственность знаний о методах прямых измерений и возможность их использования в практике ИИ, хотя базовыми являются методы измерительных преобразований рядов ФВ.

Пятой фундаментальной особенностью ТИИ является использование доступного (даже для студентов) математического аппарата, обеспечивающего формализованное описание основных законов, закономерностей, состояний измерительных систем, свойств, связей и воздействий разной физической природы.

Шестой фундаментальной особенностью ТИИ является то, что структура ТИИ соответствует структуре фундаментальных физических теорий.

Фундаментальность ТИИ проявляется также в том, что в ней используется понятие «состояние физической системы», в частности ИС «ОИ – СИИ», свойственное фундаментальным физическим теориям и обеспечивается определение всех свойств, описывающих текущее состояние системы.

Как и в фундаментальных физических теориях, в ТИИ состояние каждой ИС также представляет собой вероятностную характеристику и описывается соответствующей функцией распределения.

Фундаментальность ТИИ состоит и в том, что в работах по данной теории используются основные понятия фундаментальных физических теорий; выделены категории, которые составляют каркас ТИИ; показано большое разнообразие используемых категорий, как наиболее общих форм высказываний и понятий, от которых происходят остальные понятия.

В отличие от теории прямых измерений, ТИИ построена на фундаменте, состоящем из десяти основных научных принципов. В ТИИ изложены также научные принципы (исходные положения), связанные с такими базовыми понятиями, как свойство, измерение, ОИ, результат измерения, погрешность и др.

Утверждается, что явление существенно и подлежит измерениям, поскольку именно измерения являются процессом познания сущности через явления. Инвариантные проявления сущности ИС достигаются инвариантными воздействиями на нее как путем симметричных изменений входных величин, так и путем симметричных изменений параметров ИС.

Фундаментальность ТИИ подтверждается и тем, что впервые в ТИИ, как составной части науки метрологии, открыто новое явление.

Показано, что сердцевину ТИИ составляют входящие в них законы. Познание собственных законов развития и есть основная задача метрологии и ТИИ, связанная с поиском закономерных связей между свойствами, явлениями и процессами разной физической природы.

Предложена формулировка универсального (фундаментального) закона теории измерений, согласно

которому достоверная истинность свойств определяется достоверной истинностью свойств, воспроизводимых мерой или эталоном, неопределенностью состояния ИС «ОИ – СИИ», ее параметрами и соотношениями, а также внешними воздействиями на данную систему.

Сформулированы основные законы развития теории измерений: закон единства и борьбы противоположностей; закон перехода количества в качество; закон отрицания; закон развития от простого к сложному и закон отражения. Показано, что уравнения избыточных измерений – это частные законы ТИИ. Они характеризуют раз и навсегда установленные зависимости искомого свойства (или параметра) от результатов изменения состояния (реакции) ИС «ОИ – СИИ» при заданных и закономерно нормированных воздействиях на нее.

В ТИИ выделены и сформулированы не только общие и частные законы, но и закономерности, характеризующиеся изменяемым во времени рассеянием параметров. В ТИИ они представляются уравнениями состояний измерительных систем и функциями преобразований ИК.

Обязательным атрибутом ТИИ является развитие прикладных направлений научных исследований и становление новых дисциплин, что является важным атрибутом фундаментальности любой теории. В ТИИ выделены и развиваются как в теоретическом, так и в практическом плане 12 основных направлений или „мини-теории”, представляющие собой насущные задачи и проблемы ТИИ.

В стадии становления находятся такие прикладные направления научных исследований, как избыточная пирометрия, избыточная радиометрия, избыточная влагометрия, избыточная концентратометрия и т.д. и т.п. Это основа прецизионного и сверхнадежного (в части метрологических отказов) приборостроения.

Важнейшей особенностью созданной теории является прогнозируемость и известность путей ее дальнейшего развития, которое органически связано с созданием новых чувствительных материалов и веществ с управляемыми параметрами и характеристиками для сенсоров и биосенсоров, с развитием современной элементной базы, микро- и нанотехнологий.

Предсказательная сила теории состоит в том, что благодаря особенностям ИИ удалось синтезировать ряд функций распределения нормируемых погрешностей ИС в течение времени наработки до и на метрологический отказ, предложить правила синтеза таких функций и методы определения параметров метрологической надежности ИС.

Нами спрогнозировано дальнейшее развитие ТИИ после синтеза новых материалов с управляемыми свойствами и создания на их основе информативно-избыточных сенсоров и биосенсоров с управляемыми параметрами.

На сегодняшний день весьма важным является установление правительствами развитых и развивающихся стран стратегии развития ТИИ, сенсорики и метроники на ближайшие 5-10 и даже 20 лет. От этого зависит научно-технический прогресс человечества.

Литература

1. Кондратов В.Т. О фундаментальности физических теорий // Законодательная и прикладная метрология. – 2009. – № 1. – С. 77-92.
2. Кондратов В. Т. Стратегічна теорія XXI століття//Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – №2. – С. 11-16.
3. Блауберг И.В., Юдин Б.Г. Системный подход как современное общенаучное направление // Диалектика и системный анализ. – М.: Наука, 1986, с. 136-144.
4. Кондратов В.Т. Избыточность: основные понятия и классификация // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – № 1, 1997. – с. 18-22.
5. Кондратов В.Т. Основы теории автоматической коррекции систематических погрешностей измерения физических величин при нестабильной и нелинейной функции преобразования датчика”, Дис. ... докт. техн. наук, Киев, 2001. Т. 1. – 501 с.
6. Кондратов В.Т. Основы теории автоматической коррекции систематических погрешностей измерения физических величин при нестабильной и нелинейной функции преобразования датчика”, Дис. ... докт. техн. наук, Киев, 2001. Приложение, Т. 2. – 791 с.
7. Кондратов В.Т. Современная метрология: виды измерений // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2002. – №2. – С.7-13.
8. Кондратов В.Т. Погрешности результатов измерений: источники, термины и определения // Метрологическое обеспечение измерительных систем./ Сборник докладов IV-й международной научно-технической конференции. Под ред. А.А.Данилова. – Пенза, 2007. – с. 13-29.
9. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 1. – С. 7-24.
10. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений /В сб. докладов межд. науч.-техн. конф. „Метрологическое обеспечение измерительных систем”. – Пенза, 2005. – С. 191-210.
11. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений – стратегическая теория XXI века // Вісник Черкаського державного технологічного університету. 2007 - спецвипуск. Науково-технічний журнал. Черкаси: ЧДТУ, 2007. – с. 120-122.
12. Кондратов В.Т. Методы избыточных измерений: определения и классификация / Науч. тр. IX

- межд. науч.-практ. конф. „Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики”. Дополнительный сборник. М.: МГУПИ, 2006. – С.42-57.
13. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений // Комп’ютерні засоби, мережі та системи. Зб. наук. праць / НАН України. Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова, Наук. рада НАН України з проб. „Кібернетика, Редкол.: Романов В.О. (відп. ред.) та ін. – Київ, 2006. – С. 23-33.
 14. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений – теория мирового значения // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – № 1. – С. 152-160.
 15. Кондратов В.Т. Методы избыточных измерений физических величин /Засоби комп’ютерної техніки з віртуальними функціями і нові інформаційні технології. Зб. наук. праць / НАН України. Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова. Наук. рада НАН України з проб. „Кібернетика, Редкол.: Романов В.О. (відп. ред.) та ін. – Київ, 2002.– Т.1. – С. 38-44.
 16. Кондратов В.Т. Классификация методов избыточных измерений // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2006. – №2. – С. 7-17.
 17. Кондратов В.Т. Новая стратегия измерений // Законодательная и прикладная метрология. – 2008. – №3. – С. 101-121.
 18. Кондратов В.Т. Философские аспекты теории избыточных измерений // Законодательная и прикладная метрология. – 2009. – №2. – С. 8-20.
 19. Кондратов В.Т. Фундаментальная теория избыточных измерений: особенности и обобщенная структура. Сообщение 1 // Законодательная и прикладная метрология. – 2009. – №4. – С. 15-30.
 20. Кондратов В.Т. Фундаментальная теория избыточных измерений // Официальный каталог. V-я Международная специализированная выставка-конкурс средств измерений, испытательного и лабораторного оборудования «МЕТРОЛОГИЯ-2009». Первый Всероссийского симпозиума метрологов. М.: ВВЦ, 19-21 мая 2009. – Москва. – С. 36-37.
 21. Кондратов В.Т. Новая стратегия развития теории метрологической надежности // Официальный каталог. V-я Международная специализированная выставка-кон-курс средств измерений, испытательного и лабораторного оборудования «МЕТРОЛО-ГИЯ-2009». Первый Всероссийского симпозиума метрологов. М.: ВВЦ, 19-21 мая 2009. – Москва. – С. 48-49.
 22. Европейский патентный офис. Патенты проф. Кондратова В.Т. <http://v3.espacenet.com/results?sf=a&DB=EPODOC&PGS=10&CY=ep&LG=en&ST=advanced&I=KONDRATOV+VLADYSLAV&FIRST=1>.
 23. Кнорринг В.Г. Частота. – Приборы и системы управления, 1978. №3, С. 19-25.
 24. Кондратов В.Т. О тонкой структуре параметров электрических сигналов // Измерение параметров формы и спектра. Харьков: НПО “Метрология”, 1991. – С. 23-29.
 25. Кулигин В., Кулигина Г., Корнева М. Физика и философия физики. Теория познания научной истины. Часть 2. – 2001. <http://n-t.ru/tp/ns/fff2.htm>.
 26. Кулигин В., Кулигина Г., Корнева М. Физика и философия физики. Философские категории и физические термины. Часть 1. – 2001. <http://n-t.ru/tp/ns/fff2.htm>.
 27. Рудзит Я.А., Плуталов В.Н. Основы метрологии, точность и надежность в при-боростроении. – М.: Машиностроение, 1991. – 304 с.
 28. Маликов В.Ф. Основы метрологии. – М.: Коммерприбор, 1949. – 479 с.
 29. РМГ 29–99. Метрология. Основные термины и определения. Издание официальное. Межгос. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск, 2002.
 30. Стахов А.П. Введение в алгоритмическую теорию измерений. – М.: Сов. Радио, 1977. – 287 с.
 31. Цветков Э.И. Основы теории статистических измерений. – 2-изд., перераб. и доп. – л. Энергоатомиздат, 1986 – 256 с.
 32. Арутюнов П.А. Теория и применение алгоритмических измерений. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.
 33. Кондратов В.Т. Проблемы работы с метрологическими числами – проблема, которая объединит метрологию, информатику и вычислительную технику / Комп’ютерні засоби, мережі та системи. Зб. наук. праць / НАН України. Ін-т кібернетики ім. В. М. Глушкова. Наук. рада НАН України з проб. „Кібернетика, Редкол.: Романов В.О. (відп. ред.) та ін. – Київ, 2008.– Т.7. – С. 13-22.
 34. Кондратов В.Т. Функции распределения погрешностей в течение времени наработки на метрологический отказ и их свойства / Сборник докладов V-й международной научно-технической конференции. Под ред. А.А.Данилова. – Пенза, 2008. – С. 10-22.
 35. Кондратов В.Т. Теория метрологической надежности: функция распределения Кондратова – Вейбулла и ее основные разновидности / Научные труды XI-й Международной научно-технической конференции „Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики”. Книга „Приборостроение”. – М.: МГУ ПИ, 2008. – с. 124-131.
 36. Кондратов В.Т. Теория метрологической надежности: функция распределения Кондратова – Вейбулла // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008.– № 3. – С. 101-113.
 37. Кондратов В.Т. Функция распределения Кондратова – Коши и ее свойства // Научные труды XI-й Международной научно-технической конференции „Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики”. Книга „Приборостроение”. – М.: МГУ ПИ, 2008. – С. 145-154.
 38. Кондратов В.Т. Расширение функциональные возможностей функции распределения

Кондратова – Коши // Научные труды XI-й Международной научно-технической конференции „Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики”. Книга „Приборостроение”. – М.: МГУ ПИ, 2008. – С. 154-160.

39. Кондратов В.Т. Теория метрологической надежности: экспоненциальная функция распределения проф. В.Т. Кондратова и функция распределения Кондратова –Лапласа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 6. – С.43-55.

40. Кондратов В.Т. Свойства и функциональные возможности экспоненциальных функций распределения нормируемых погрешностей в течение времени наработки на метрологический отказ // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 1. – С.57-65.

41. Мякишев Г.Я. Общая структура фундаментальных физических теорий и понятие состояния // Физическая теория. – М.: Наука, 1980. – С.420-436. <http://www.philsci.univ.kiev.ua/biblio/mjakshev.html>.

42. Кондратов В.Т. Основные принципы теории измерений / Труды МНТК „Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации”, 22-24 октября, 2008 г., Пенза, ИИЦ ПГУ. – С. 37-41.

43. Учебный курс «Информационные технологии: фазы обработки информации – источники, поиск, сбор, анализ и представление. Раздел 2. Знание и управление знаниями. http://vladimir.socio.msu.ru/1_KM/theme_07.htm.

44. Сухотин А. Парадоксы науки. <http://n-t.ru/ri/sh/pn01.htm>

45. Кондратов В.Т. Фундаментальная теория избыточных измерений: обобщенная структура и ее особенности. Сообщение 2.1/ Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 3. – С.116-130.

46. Цветков В.Д. Сердце, золотое сечение и симметрия. Р. 1.2. симметрия, “особые” числа и отношения. http://314159.ru/tsvetkov/ts_1_2.htm.

47. Вейль Г. Симметрия. – М.: Наука, 1968. – 192 с.

48. Бор Н. Избранные научные труды. – Т.2. – М., 1971. – С.15.

Надійшла 5.12.2009 р.

УДК 159.98: 159.923.4: 316.62

І.В. ДРАЧ, І.О. ФУРСЄЄВ
Хмельницький національний університет

ДИСКРЕТНА ДИНАМІЧНА ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ МІЖСОБИСТІСНИХ ВЗАЄМИН ВІДНОСНО УСТАНОВКИ ТЕМПЕРАМЕНТУ

У статті описується розроблена авторами математична імітаційна модель міжособистісних відносин стосовно установки темпераменту в дискретному часі. За допомогою авторського програмного продукту CoPSBotT наочно зображується робота моделі. Одержані результати комп'ютерних експериментів аналізуються й інтерпретуються відносно реальних соціальних явищ і ситуацій.

This article describes developed by authors mathematical simulation model of interpersonal relations which based on setting of temperament in discrete time. The work of model is evidently represented by the author's software product CoPSBotT. The results of computer experiments are analyzed and interpreted in relation to the real social phenomena and situations.

Ключові слова: модель, математичне моделювання, імітаційне моделювання, темперамент, індивід.

Вступ

Моделювання соціальних процесів є досить новим предметом досліджень для сучасної математики. Відповідний методологічний апарат моделювання даної області досліджень ще недосконалий. Бурхливий розвиток сучасного інформаційного суспільства вимагає застосування математичного моделювання в існуючих соціальних структурах усіх рівнів (окрема особистість, сім'я, колектив, прошарок населення, етнос і т.д.).

Метою даної статті є висвітлення створеної авторами математичної моделі міжособистісних відносин. Об'єктом дослідження були вибрані міжособистісні взаємини окремих членів соціуму (індивідів). Спілкування і передача інформації – невід'ємна частина людського суспільства. Саме зі спілкування двох або більшої кількості людей починається сучасне суспільство. Тому предметом дослідження природно було обрано поведінку окремих індивідів, реакції їх на міжособистісні ситуації, що виникають в процесі спілкування і соціальні наслідки цих реакцій.

Створена імітаційна математична модель відображає поведінку і соціальну структуру скінченної кількості індивідів, обмежених деяким полем спілкування.

Для перевірки моделі і наочного зображення її функціонування було розроблено програмний продукт „CoPSBotT” (Creator of primitive societies based on the temperament).

1. Математична модель

Нехай на деякому полі S взаємодіють n індивідів в дискретному часі T .

Для спрощення моделі визначимо поле міжособистісних взаємин як $S \subset R^2$ – підмножину декартової площини. Положення кожного об'єкта, що належить полю S , визначатиметься декартовими координатами (x, y) .

У випадку дискретного часу T введемо позначення поточного моменту часу як t . Тоді попередній момент позначимо $t-1$, а наступний момент $t+1$.

Кожен індивід, який належить, „існує” і „спілкується” в полі S , є деяким об'єктом, що має певні властивості. Позначимо через M_i ($i = \overline{1, n}$) i -го індивіда поля S . Визначимо властивості (характеристики) i -го індивіда:

1) $(x, y)^i$ – положення i -го індивіда на полі S ; поточне положення кожного індивіда важливе, в першу чергу, з точки зору відносності його положення щодо положення інших;

2) v^i – швидкість руху i -го індивіда на полі S ; швидкість переміщення в просторі спілкування важлива для зміни положення індивіда відносно інших;

3) D^i – область „огляду” – i -го індивіда на полі S ; область огляду (видимості) індивіда, як і в моделі спілкування за Берном, – це частина поля S , в якій відбувається взаємодія даного індивіда з іншими, що знаходяться в даному полі [1, с.73].

Необхідно враховувати, що усі вищеприписані характеристики змінюються в часі, тому додаючи індекс часу ми одержимо значення характеристики в даний момент часу $((x, y)_t^i, v_t^i, D_t^i)$.

Далі важливо визначити взаємодію індивідів. Розкладемо поняття „взаємодія” M_i і M_j на суб'єктивні складові для кожного індивіда. Будемо говорити, що M_i „бачить” M_j , якщо $(x, y)^j \in D^i$, і починає на нього реагувати. Реакція індивіда M_i визначатиметься деякою функцією $F_t^{ij} \in R$.

Важливо зазначити, що якщо M_j не знаходиться в області огляду M_i , то M_i не буде реагувати на M_j . Формалізуємо наявність або відсутність реакції деяким коефіцієнтом a :

$$a_t^{ij} = \begin{cases} 1, & (x, y)_t^j \in D_t^i \\ 0, & (x, y)_t^j \notin D_t^i \end{cases}$$

Таким чином, динамічна модель міжособистісних взаємин в дискретному часі матиме вигляд:

$$(x, y)_{t+1}^i = (x, y)_t^i + v_t^i \left(\sum_{j=1}^{i-1} a_t^{ij} F_t^{ij} + \sum_{j=i+1}^n a_t^{ij} F_t^{ij} \right) \quad (i = \overline{1, n}) \quad (1)$$

Визначимо функції реакції індивідів залежно від їх темпераменту.

Формула поведінки сангвініка полягає в наступному: поведінка сангвініка зароджується в процесі балансування міжособистісних відносин. Вона спрямована на усунення дисбалансу в міжособистісних відносинах за рахунок зняття міжособистісної ситуації й утворення в міжособистісних відносинах елементарних міжособистісних зв'язків.

Таким чином, можна зробити висновок, що швидкість руху сангвініка в полі спілкування S прямо пропорційна кількості індивідів в області його огляду. Це означає, що чим більше міжособистісних ситуацій виникає, тим швидше сангвінік „рухається” для створення балансу міжособистісних взаємин у колі його спілкування:

$$v_t^i = k \left(\sum_{j=1}^n (a_{t-1}^{ij}) - 1 \right), \quad (2)$$

де k – деякий коефіцієнт пропорційності.

Область огляду сангвініка приймемо сталою величиною D^i – круг деякого радіуса $r^i = const$, центром якого є $(x, y)_t^i$ – положення сангвініка в полі спілкування S . Сталість області огляду сангвініка можна пояснити його потребою в установленні міжособистісних зв'язків, а не ситуацій. Змінне поле огляду само по собі може викликати міжособистісні ситуації і трактуватись як зміна потреби сангвініка в спілкуванні, якої немає.

Нарешті, прагнучи до балансу в міжособистісних відносинах, сангвінік в полі спілкування S буде прагнути до встановлення чіткої відстані між ним і індивідом, з яким він спілкується. Віддалення або наближення об'єкта реакції сангвініка змусить його подіяти таким чином, щоб відновити відстань між ними. Нехай цією відстанню буде, наприклад, половина радіусу огляду сангвініка:

$$F^{ij} = \begin{cases} \left(\frac{x^i - x^j}{\sqrt{(x^i - x^j)^2 + (y^i - y^j)^2}}, \frac{y^i - y^j}{\sqrt{(x^i - x^j)^2 + (y^i - y^j)^2}} \right) \text{ при} \\ \sqrt{(x^i - x^j)^2 + (y^i - y^j)^2} > \frac{r^i}{2} \\ \left(-\frac{x^i - x^j}{\sqrt{(x^i - x^j)^2 + (y^i - y^j)^2}}, -\frac{y^i - y^j}{\sqrt{(x^i - x^j)^2 + (y^i - y^j)^2}} \right) \text{ при} \\ \sqrt{(x^i - x^j)^2 + (y^i - y^j)^2} < \frac{r^i}{2} \\ 0 \text{ при } \sqrt{(x^i - x^j)^2 + (y^i - y^j)^2} = \frac{r^i}{2} \end{cases} \quad (3)$$

Далі для зручності відстань між i -м та j -м індивідами позначимо:

$$d^{ij} = \sqrt{(x^i - x^j)^2 + (y^i - y^j)^2} \quad (4)$$

Тоді (3) набуде вигляду:

$$F^{ij} = \begin{cases} \left(\frac{x^i - x^j}{d^{ij}}, \frac{y^i - y^j}{d^{ij}} \right) \text{ при } d^{ij} > \frac{r^i}{2} \\ \left(-\frac{x^i - x^j}{d^{ij}}, -\frac{y^i - y^j}{d^{ij}} \right) \text{ при } d^{ij} < \frac{r^i}{2} \\ 0 \text{ при } d^{ij} = \frac{r^i}{2} \end{cases} \quad (5)$$

Формула поведінки флегматика така, що його поведінка формується в процесі освоєння міжособистісних зв'язків. Вона спрямована на одержання й нагромадження інформації про дані зв'язки, умови, при яких здійснювалося їхнє освоєння, і на утворення міжособистісних зв'язків з нормативним змістом на основі накопиченої інформації.

Виваженість флегматика легко можна інтерпретувати як сталість його руху в полі спілкування S . Флегматик рухається з постійною швидкістю $v^i = const$.

Зовнішня замкнутість і необхідність обробки міжособистісної інформації змушує флегматика зменшувати коло огляду. Таким чином, можна представити коло огляду флегматика у вигляді круга, радіус якого в даний момент часу буде обернено пропорційним кількості об'єктів спілкування в попередній момент часу (включаючи його самого):

$$r_t^i = \frac{r^i}{\sum_{j=1}^n a_{t-1}^{ij}}, \quad (6)$$

де r^i – деякий сталий радіус – радіус „самотності” флегматика.

Центр $(x, y)_t^i$ круга (області) D_t^i знаходиться в поточному положенні флегматика на полі спілкування S .

Так як для флегматика важлива лише інформаційна складова спілкування, він не потребує постійної близькості з іншими індивідами для спілкування. Його реакція на оточуючих буде направлена на усамітнення, необхідне для обробки інформації:

$$F^{ij} = \left(-\frac{x^i - x^j}{d^{ij}}, -\frac{y^i - y^j}{d^{ij}} \right) \quad (7)$$

У даному випадку тенденцію до усамітнення компенсує радіус самотності флегматика – поступово віддаляючись від об'єктів спілкування, він збільшуватиме радіус огляду в своїй спразі до нової інформації.

Формула поведінки холерика полягає в наступному: поведінка холерика формується в процесі боротьби за лідерство в групі на основі предмета міжособистісних відносин. Вона спрямована на перетворення міжособистісних зв'язків, що становлять зміст предмета міжособистісних відносин, у нормативні зв'язки, які регулюють міжособистісні відносини членів групи.

Швидкість руху холерика в полі спілкування S напряму залежить від визнання його особистості колективом, тобто від близькості його з оточуючим індивідами. Таким чином, швидкість руху холерика можна представити у вигляді відстані необхідної йому, щоб подолати середню відстань до об'єктів

спілкування в області огляду за одиницю дискретного часу:

$$v_t^i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{t-1}^{ij} \cdot d_{t-1}^{ij}}{\sum_{j=1}^n (a_{t-1}^{ij}) - 1} \quad (8)$$

Одночасно, потреба холерика у визнанні і спілкуванні породжує пряму пропорційність області огляду від кількості вже існуючих об'єктів спілкування. Область огляду – круг з центром в поточному положенні холерика $(x, y)_t^i$ на полі спілкування S . Очевидно, що зміна радіусу області огляду в поточний момент часу залежить від кількості об'єктів спілкування в попередній момент:

$$r_t^i = q \left(\sum_{j=1}^n (a_{t-1}^{ij}) \right), \quad (9)$$

де q – деякий коефіцієнт пропорційності.

Реакція холерика на об'єкт спілкування завжди направлена на зближення з об'єктом:

$$F^{ij} = \left(\frac{x^i - x^j}{d^{ij}}, \frac{y^i - y^j}{d^{ij}} \right) \quad (10)$$

Формула поведінки меланхоліка наступна: поведінка меланхоліка зароджується в процесі занурення в стан гальмування. Вона спрямована на адаптацію норм міжособистісних відносин в ієрархії цінностей меланхоліка й утворення в міжособистісних відносинах неформальних міжособистісних зв'язків.

Контакт з будь-яким об'єктом спілкування викликає у меланхоліка гальмування активності в полі спілкування S . Тому швидкість руху меланхоліка в полі спілкування обернено пропорційна кількості міжособистісних ситуацій, що виникають:

$$v_t^i = \frac{g}{\sum_{j=1}^n a_{t-1}^{ij}}, \quad (11)$$

де g – деякий коефіцієнт пропорційності.

Необхідність зрівноважувати себе у міжособистісних ситуаціях змушує меланхоліка „замикатись” у собі, звужуючи коло спілкування до найближчих об'єктів спілкування, що дозволить йому знову динамізуватись як особистість, тобто збільшити швидкість в полі спілкування. Областю огляду меланхоліка буде круг з центром в поточному положенні меланхоліка $(x, y)_t^i$ змінного радіуса, для забезпечення меланхоліку спілкування в поточний момент часу лише з індивідами, відстань до яких була б не більшою середньої відстані до усіх об'єктів спілкування в попередній момент часу:

$$r_t^i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{t-1}^{ij} \cdot d_{t-1}^{ij}}{\sum_{j=1}^n (a_{t-1}^{ij}) - 1}. \quad (12)$$

Реакція меланхоліка на оточуючих в даному випадку не відрізняється від реакції флегматика (7), але мотивована намаганням вийти зі стану гальмування.

Перед узагальненням моделі варто зауважити, що за відсутності об'єктів спілкування кожен з темпераментів в кожен момент часу буде рухатись у довільному напрямку зі своєю швидкістю:

$$F^i = (\cos j, \sin j), \quad (13)$$

де $j \in [0; 2\pi]$ – деякий довільний кут. В моделі міжособистісних взаємодій за Берном цей процес називається „випадкове блукання” [2, с.147-150].

Модель (1) набуде вигляду:

$$(x, y)_{t+1}^i = \begin{cases} (x, y)_t^i + v_t^i \left(\sum_{j=1}^{i-1} a_t^{ij} F_t^{ij} + \sum_{j=i+1}^n a_t^{ij} F_t^{ij} \right), \text{якщо } \sum_{j=1}^n a_t^{ij} > 1 \quad (i = \overline{1, n}) \\ (x, y)_t^i + v_t^i F^i, \text{якщо } \sum_{j=1}^n a_t^{ij} = 1 \quad (i = \overline{1, n}) \end{cases} \quad (14)$$

Модель (14) – є математичною моделлю, що імітує соціальні процеси між скінченною кількістю індивідів, які знаходяться в обмеженому просторі спілкування.

2. Комп'ютерний експеримент

Для перевірки моделі (14) і наочного зображення її функціонування було розроблено програмний продукт „CoPSBotT” (Creator of primitive societies based on the temperament). ПП CoPSBotT є вікном Windows і сумісний з усіма системами, які підтримують Net Framework (версія 2.0 і вище).

В програмному продукті CoPSBotT було проведено серію експериментів. В результаті експериментів досить довільні множини індивідів різних темпераментів формували відносно стійкі в часі соціальні структури. Такі результати можна інтерпретувати, як формування соціальних груп, що виникають в ході спілкування людей в реальному житті.

Наприклад, стійка структура, сформована сангвініком, холериком і флегматиком, може бути зруйнована лише під зовнішнім впливом, таким як виникнення міжособистісних ситуацій з новим індивідом. У представленій структурі флегматик, знаходячись на деякій відстані від холерика, не дає йому можливості динамізувати сангвініка. Таким чином вся структура не змінює своїх координат, за винятком незначного колювання холерика. Відстань останнього до інших залишається сталою (індивідів сангвіністичного, флегматичного, холеричного, меланхолічного темпераменту позначили відповідно c , ϕ , x , m) (рисунок 1).

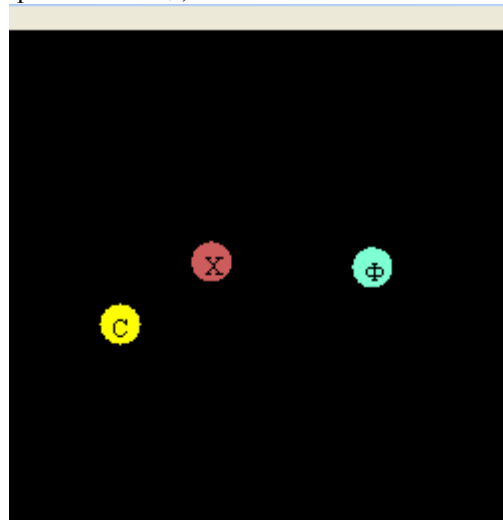


Рис. 1

Група трьох сангвініків здійснює невеликі рухи і обертання трикутної структури, балансує саму себе (рисунок 2).

Група трьох холериків в „погоні” за меланхоліком, що намагається уникнути гальмування, пов'язаного спілкуванням з ними, „не забуває” зберегти свій вплив один на одного (рисунок 3):

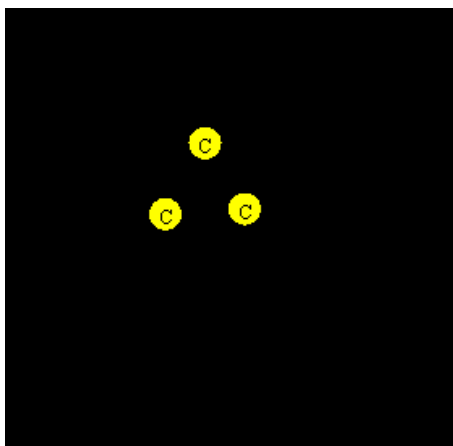


Рис. 2

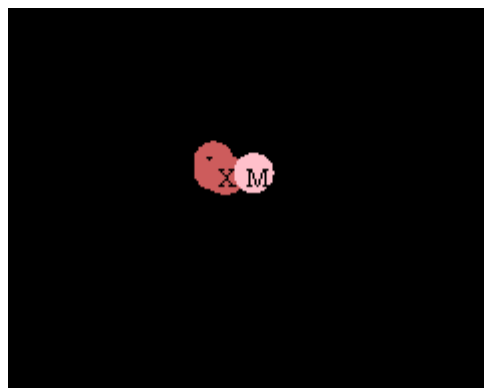


Рис. 3

Подібні приклади є аналогами соціальних взаємодій, розглянути всю множину яких просто неможливо у даній статті. Одержані результати вказують відповідність моделі сучасним уявленням про взаємодію темпераментів [3, с.144-146] і вимагають подальшого дослідження і проведення нових експериментів.

Висновки

Отже, у даній статті розглянуто розроблену імітаційну математичну модель міжособистісних взаємин, в якій поведінка суб'єктів спілкування базується на понятті „установка темпераменту”.

Для реалізації моделі розроблено програмний продукт CoPBotT, що наочно зображає роботу моделі в дискретному часі та дозволяє проводити комп'ютерні експерименти.

Одержані результати експериментів можна розглядати як абстраговану проекцію реальних соціальних процесів, що дозволяє говорити про адекватність моделі.

Література

1. Социальные системы: формализация и компьютерное моделирование / А. К. Гуц, В. В. Коробицын, А. А. Лаптев, Л. А. Паутова, Ю. В. Фролова. – Омск: ОмГУ, 2000. – 160 с.
2. Математические модели социальных систем: Учебное пособие / А. К. Гуц, В. В. Коробицын, А. А. Лаптев, Л. А. Паутова, Ю. В. Фролова. – Омск: Омск. гос. ун-т, 2000. – 256 с.
3. Симонов П. В., Ершов П. М. Темперамент. Характер. Личность / П. В. Симонов, . М.: Наука, 1984. – 162 с.

Надійшла 9.12.2009 р.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПРИБОЮ ПРИ ФОРМУВАННІ БАГАТОШАРОВИХ ТЕХНІЧНИХ ТКАНИН

Наведені результати побудови математичної моделі процесу прибою при формуванні багатошарових технічних тканин зовнішні шари яких виробляються полотняним та репсовим переплетеннями.

The results of construction of mathematical model of process of surf are resulted at forming of multi-layered technical fabrics the external layers of which are made the linen and rep interlacings.

Ключові слова: математична модель

Вступ. Теоретичне дослідження процесу фронтального прибою утоку полягає у визначенні натягу основних ниток на ділянці «опушка–реміз». Рішення даного питання нерозривно пов'язане з отриманням рівнянь рівноваги основних ниток в зоні формування багатошарової тканини при прибої. Теоретичною базою для цього служить механіка нитки [1], яка дозволяє здійснити моделювання процесу взаємодії основних і уточних ниток при їх відносному переміщенні в зоні формування тканини з мінімальними допущеннями.

При побудові фізичної моделі зони формування тканини необхідно враховувати реальні фізико-механічні властивості ниток: зім'яття, жорсткість на вигин, фрикційні властивості. Найбільш повно дані чинники були враховані д.т.н., професором Щербанем В.Ю. при розробці узагальненої механіки ниток, яка стала теоретичною базою при проведенні цього дослідження.

При визначенні рівнянь рівноваги ниток в зоні формування багатошарових тканин необхідно враховувати і ряд технологічних чинників. До них можна віднести заправний натяг, величину заступу, щільність тканини по утоку, фізико-механічні властивості основних і утокових ниток.

Знайдене значення величини натягу основних ниток на ділянці «опушка–реміз» підставляється у відоме рівняння рівноваги опушки тканини при прибої. З даного рівняння визначається величина сили прибою, основного технологічного показника, що визначає напруженість процесу ткацтва. Такий підхід дозволяє ще на початковій стадії, при проектуванні нових тканин або використанні нового вигляду сировини, визначити найбільш оптимальні технологічні параметри, при яких тканина заданої структури і будови вироблятиметься при мінімально допустимих значеннях сили прибою [2]. Це призведе до значної економії коштів при проведенні досліджень, дозволить ще на початковій стадії (при проектуванні) підібрати раціональні параметри заправки, а це дозволить скоротити обривність ниток і простої устаткування на ліквідацію обриву.

Основний розділ. Зовнішні шари багатошарових технічних тканин виробляються полотняним та репсовим переплетенням. Враховуючи структуру тканини найбільша сила прибою виникає саме при формуванні цих шарів. Зовнішній вигляд цих шарів наведено на рис. 1. Рис. 1,а відображує полотняне переплетення, а рис. 1,б відображує репсове переплетення. Основне рівняння для визначення сили прибою має вигляд

$$P = P_1^1 - P_T, \quad (1)$$

де P – сила прибою;

P_1^1 – натяг основних ниток на ділянці «опушка–реміз» в положенні заступу;

P_T – натяг багатошарової тканини.

На рис. 2 наведені розрахункові схеми для визначення сили прибою для зовнішніх шарів полотняного та репсового переплетень. Рис. 2, а представлена розрахункова схема для полотняного переплетення, а на рис. 2, б представлена розрахункова схема для репсового переплетення.

При використанні чисельних методів для розв'язання трансцендентних рівнянь і при використанні методів лінійного програмування та при вирішенні завдань оптимізації необхідно задати систему обмежень на отримуваний результат у вигляді строгих і не строгих нерівностей. Отримання рівнянь рівноваги основної нитки в зоні формування тканини вимагає завдання нижньої межі величини натягу основної нитки на ділянці «опушка–реміз».

У положенні заступу натяг основи дорівнює натягу тканини

$$P_{30} = P_{3T}, \quad (2)$$

де P_{30} – натяг основи при заступі;

P_{3T} – натяг тканини при заступі.

В момент прибою, при крайньому передньому положенні берда, за рахунок переміщення опушки тканини натяг основи збільшиться, а натяг тканини зменшиться. Тоді значення нижньої межі величини натягу основної нитки на ділянці «опушка–реміз» P_{10} визначиться за формулою

$$P_{10} = P_{30} + \frac{C_0}{C_T} (P_{30} - P_{3T}) , \quad (3)$$

де C_0 – коефіцієнт жорсткості основи;
 C_T – коефіцієнт жорсткості тканини.

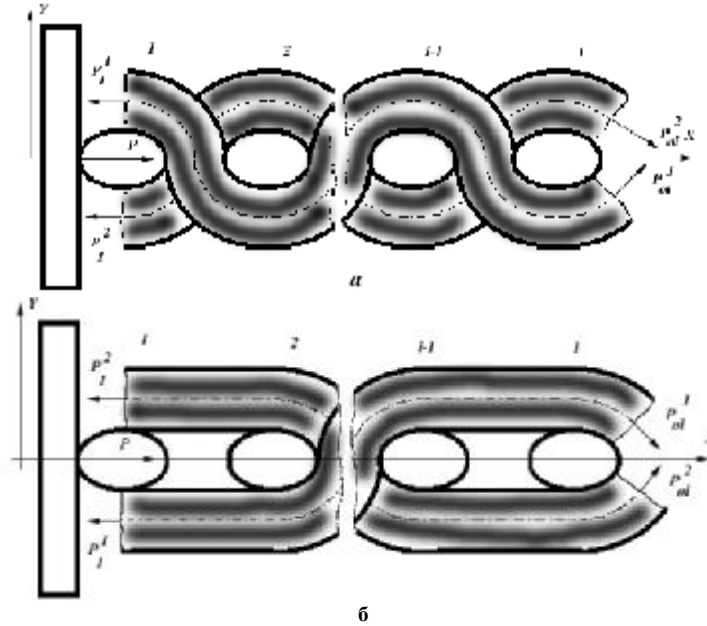


Рис. 1. Види переплетення для зовнішніх шарів технічної тканини

Визначення натягу основних ниток на ділянці «опушка-реміз» проводилося з урахуванням зім'яття і жорсткості на вигин текстильних ниток. Початкова система рівнянь має вигляд

$$\begin{aligned}
 & P_1^1 + \left\{ \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d_0)]^2} - P_2^1 \left\{ 1 + \frac{(r_C + r_H)}{r_C + r_H(1-d_0)} \left\{ \exp \times [m] j_p + \right. \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. + \arccos \left[1 - d_0 \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] + \arccos \left[1 - d \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] - \right. \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. - \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_2^1(r_C + r_H)^2} \right] - \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_1^1(r_C + r_H)^2} \right] \right\} - 1 \right\} - \\
 & \quad - \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d)]^2} = 0, \\
 & P_2^1 + \left\{ \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d_0)]^2} - P_3^1 \left\{ 1 + \frac{(r_C + r_H)}{r_C + r_H(1-d_0)} \left\{ \exp \times [m] 2j_p + \right. \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. + \arccos \left[1 - d_0 \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] + \arccos \left[1 - d \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] - \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_3^1(r_C + r_H)^2} \right] - \right. \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. - \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_2^1(r_C + r_H)^2} \right] \right\} - 1 \right\} - \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d)]^2} = 0, \\
 & \dots\dots\dots \\
 & P_{i-1}^1 + \left\{ \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d_0)]^2} - P_i^1 \left\{ 1 + \frac{(r_C + r_H)}{r_C + r_H(1-d_0)} \left\{ \exp \times [m] 2j_p + \right. \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. + \arccos \left[1 - d_0 \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] + \arccos \left[1 - d \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] - \right. \right. \right.
 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
& -\arccos\left[1-\frac{B}{2P_i^1(r_C+r_H)^2}\right]-\arccos\left[1-\frac{B}{2P_{i-1}^1(r_C+r_H)^2}\right]\Bigg]-1\Bigg)-\frac{B}{2[r_C+r_H(1-d)]^2}=0, \\
& P_i^1+\left\{\frac{B}{2[r_C+r_H(1-d_0)]^2}-P_{oi}^1\right\}\left\{1+\frac{(r_C+r_H)}{r_C+r_H(1-d_0)}\left\{\exp\left[m\{2j_P+\right.\right.\right. \\
& \quad \left.\left.\left.+\arccos\left[1-d_0\left(\frac{2r_H}{r_C}\right)^2\right]+\arccos\left[1-d\left(\frac{2r_H}{r_C}\right)^2\right]-\right.\right.\right. \\
& \quad \left.\left.\left.-\arccos\left[1-\frac{B}{2P_{oi}^1(r_C+r_H)^2}\right]-\arccos\left[1-\frac{B}{2P_i^1(r_C+r_H)^2}\right]\right]\right\}\right\}- \\
& \quad -\frac{B}{2[r_C+r_H(1-d)]^2}=0, \\
& d_O=\frac{u_*}{r_H}, \quad d=d_O e^{mj_P}.
\end{aligned}$$

- де B – коефіцієнт жорсткості нитки на згин;
 r_C – радіус спрямного кола;
 r_H – розрахунковий радіус нитки;
 d_0 – відносна початкова деформація нитки в зоні контакту з напрямною в точці входу;
 m – коефіцієнт тертя між основними та утоковими нитками;
 j_P – розрахунковий кут охоплення ниткою напрямної поверхні;
 u_* – деформація утокової нитки в точці входу на напрямну;
 d – відносна деформація основної нитки в точці сходу з напрямної.

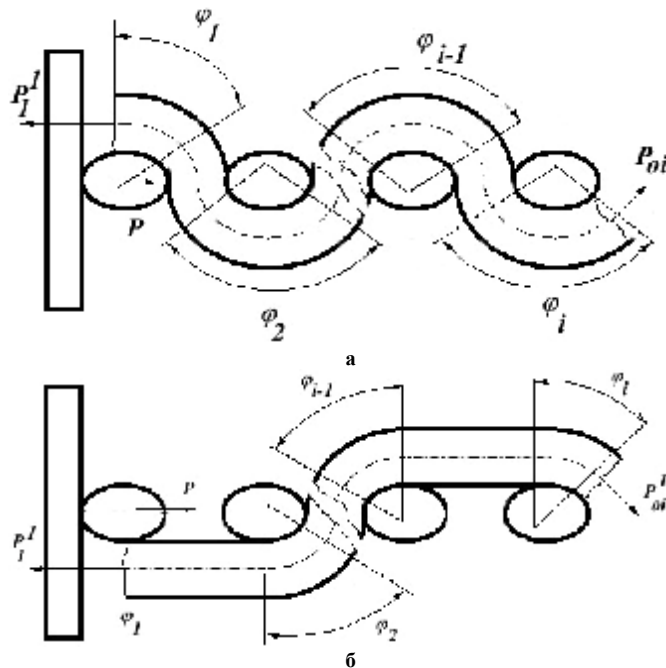


Рис. 2. Розрахункові схеми для визначення сили прибою для зовнішніх шарів полотняного та репсового переплетень

Отримана система рівнянь (4) є трансцендентною, визначення натягу в явному вигляді не представляється можливим. Для його знаходження необхідно використовувати чисельні методи. В даному випадку зручно використовувати модифікований метод Ньютона. Для цього на кожному переході (взаємодії основної нитки з конкретною утоковою в зоні формування тканини) представляємо рівняння системи (4) у вигляді $f(P_{i-1}^1)=0$.

Для репсового переплетення система трансцендентних рівнянь має вигляд

$$\begin{aligned}
 & P_1^1 + \left\{ \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d_0)]^2} - P_2^1 \left\{ \left[1 + \frac{(r_C + r_H)}{r_C + r_H(1-d_0)} \{ \exp \times [mj]_P + \right. \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. + \arccos \left[1 - d_0 \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] + \arccos \left[1 - d \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] - \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. - \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_2^1(r_C + r_H)^2} \right] - \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_1^1(r_C + r_H)^2} \right] \right\} - 1 \right\} - \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d)]^2} = 0, \\
 & P_2^1 + \left\{ \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d_0)]^2} - P_3^1 \left\{ \left[1 + \frac{(r_C + r_H)}{r_C + r_H(1-d_0)} \{ \exp \times [mj]_P + \right. \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. + \arccos \left[1 - d_0 \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] + \arccos \left[1 - d \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] - \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. - \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_3^1(r_C + r_H)^2} \right] - \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_2^1(r_C + r_H)^2} \right] \right\} - 1 \right\} - \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d)]^2} = 0, \\
 & \dots\dots\dots \\
 & P_{i-1}^1 + \left\{ \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d_0)]^2} - P_i^1 \left\{ \left[1 + \frac{(r_C + r_H)}{r_C + r_H(1-d_0)} \{ \exp \times [mj]_P + \right. \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. + \arccos \left[1 - d_0 \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] + \arccos \left[1 - d \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] - \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. - \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_i^1(r_C + r_H)^2} \right] - \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_{i-1}^1(r_C + r_H)^2} \right] \right\} - 1 \right\} - \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d)]^2} = 0, \\
 & P_i^1 + \left\{ \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d_0)]^2} - P_{oi}^1 \left\{ \left[1 + \frac{(r_C + r_H)}{r_C + r_H(1-d_0)} \{ \exp \times [mj]_P + \right. \right. \right. \\
 & \quad \left. \left. \left. + \arccos \left[1 - d_0 \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] + \arccos \left[1 - d \left(\frac{2r_H}{r_C} \right)^2 \right] - \right. \right. \right. \\
 & \left. \left. \left. - \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_{oi}^1(r_C + r_H)^2} \right] - \arccos \left[1 - \frac{B}{2P_i^1(r_C + r_H)^2} \right] \right\} - 1 \right\} - \frac{B}{2[r_C + r_H(1-d)]^2} = 0, \\
 & d_O = \frac{u_*}{r_H} \quad , \quad d = d_O e^{mj}_P.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Для вирішення системи (5) використовувалася методика, яка наведена вище.

Висновки. 1. Розроблена математична модель взаємодії основних та уткових ниток в зоні формування багатшарової технічної тканини, зовнішні шари яких виробляються полотняним та репсовим переплетеннями.

2. На основі вирішення системи трансцендентних рівнянь рівноваги основної нитки в зоні формування багатшарової тканини, з використанням чисельних методів, отримані математичні залежності для визначення величини сили прибою для різних типів багатшарових технічних тканин.

1. Щербань В.Ю., Хомяк О.Н., Щербань Ю.Ю. Механика нити. – К.: ВАТ "Патент", 2002. – 196 с.
2. Программы и математические компоненты проектирующих подсистем технологических процессов, оборудования, свойств материалов легкой и текстильной промышленности / Щербань В.Ю., Щербань Ю.Ю., Озадовский А.Б. и др. – К.: Конус-Ю, 2009. – 327 с.

Надійшла 18.12.2009 р.

УДК 622.24

Т.В. ГУМЕНЮК, В.Б. КРОПИВНИЦЬКА, Д.О. ТКАЧІВСЬКИЙ
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНІВ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ

Розглянутий метод та розроблена комп'ютерна система ідентифікації станів бурової установки для вирішення завдань оптимізації і автоматизації оперативного керування процесом буріння свердловин і в удосконалюванні організації робіт при бурінні свердловин. Програмне забезпечення системи оформлене у вигляді прикладного програмного модуля.

Considered method and computer system of identification of conditions of air drill is designed for the decision of tasks optimization and automation of operative process control of drilling of boreholes and in the follow-on of authority of works at drilling of boreholes. System software is designed as the applied programmatic module.

Ключові слова: бурова установка, комп'ютерна система, система ідентифікації, стани.

Вступ

На даний час парк бурових установок в Україні більше ніж на 75 % укомплектований застарілими моделями, які за матеріаломісткістю, надійністю, рівнем механізації та автоматизації, осначеністю контрольно-вимірними приладами, комп'ютеризацією і технічним станом не відповідають сучасним вимогам. В той же час сучасний стан паливно-енергетичного комплексу України вимагає подальшого збільшення видобутку енергетичних видів палива, що зумовлює розвідування нових нафтових і газових родовищ і ефективне використання наявних за рахунок вдосконалення техніки та технології буріння свердловин. Незважаючи на впровадження сучасного устаткування, інструментів, прогресивної технології буріння, засобів механізації й автоматизації окремих операцій, у бурінні залишаються значні резерви підвищення продуктивності праці і поліпшення його техніко-економічних показників. Ці резерви полягають, насамперед, в оптимізації й автоматизації оперативного керування процесом буріння свердловин і в удосконалюванні організації робіт [1].

Постановка завдання

Існуючі технічні засоби контролю і управління процесу буріння (СКУБ-М1, СКУБ-М2, «Геостат-5», «Леуза-1», «Леуза-2», «AutoTrack») дають можливість тільки контролювати основні технологічні параметри і показники процесу буріння, але вони не вирішують питання обробки технологічної інформації згідно з відповідними алгоритмами [2]. Частково ця задача було розглянута в роботах [2, 4]. Крім реалізації оптимальних алгоритмів процесу буріння, найважливішим питанням підвищення якості робіт в бурінні свердловин є зменшення кількості ускладнень і виключення аварій за допомогою використання сучасних методів контролю. Тому, на сьогоднішній день, актуальною є розробка автоматизованої системи ідентифікації станів бурової установкою.

Ряд науковців [1, 5] пропонує формалізовані методи розпізнавання технологічних операцій будівництва свердловини, прогнозування ненормальних режимів і аварійних ситуацій. Але комплексно і в повному обсязі задача автоматичної ідентифікації станів бурової установки і визначення моменту їх закінчення залишається не вирішеною.

Основний розділ

Буріння свердловин – це складний технологічний процес, особливістю якого є нестационарність і взаємозв'язок більшості процесів, що виникають в стовбурі свердловини і навколишньому масиві гірничих порід, а також винятковість різноманітних технологічних умов, що часто призводять до виникнення непрогнозованих передаварійних ситуацій і необхідності прийняття кваліфікованого рішення в обмежений проміжок часу [1]. Бурова установка, з допомогою якої здійснюється технологічний процес спорудження свердловини, з точки зору керування нею, є складним об'єктом з багатьма каналами передачі як керуючих впливів, так і збурень, які зумовлені взаємодією системи з навколишнім середовищем і унікальними властивостями самої бурової установки.

Бурова установка може перебувати в одному зі станів: спуск колони, опрацювання, буріння, нарощування, циркуляція і промивка свердловини, підйом колони, заміна долота, простій, дослідження свердловини, ремонт, кріплення, передаварійний стан, аварія [5].

Типова система контролю, що функціонує на вибої свердловини, має набір давачів, мікропроцесор для первинної обробки отриманих даних, електричний блок з машинною пам'яттю для збору і зберігання отриманої інформації [2], телеметричний пристрій для передачі інформації у закодованому вигляді на

поверхню по стовпу циркулюючого бурового розчину у свердловині у вигляді імпульсів зміни тиску, а також батарейне або турбогенераторне джерело електроенергії. Всі компоненти системи розташовані всередині труби із немагнітного сплаву, яка встановлюється безпосередньо над долотом або гідравлічним двигуном, залежно від виду буріння. Обробка і відтворення отриманих даних здійснюється на поверхні за допомогою спеціальної комп'ютерної системи.

В даній статті запропонована комп'ютерна система ідентифікації станів бурової установки (рис. 1) на базі серійних апаратних засобів системи управління процесом буріння СКУБ-М2, які виготовляються Івано-Франківським спеціалізованим конструкторським бюро. Сьогодні цей комплекс вважається найсучаснішим засобом контролю основних параметрів процесу буріння нафтових і газових свердловин, який розроблено і виготовляється в Україні. Суттєвою перевагою комплексу є те, що він періодично оновлюється і модернізується. В ньому врахований багаторічний досвід проектних організацій, які займаються створенням засобів контролю технологічного процесу буріння, а також рекомендації і пропозиції експлуатуючих організацій і замовників та найбільш вдалі технічні рішення підприємств і організацій близького і далекого зарубіжжя. Комплекс відповідає вимогам, пропонованим до виробів такого призначення чинною системою стандартизації, і адаптований до кліматичних умов України [3]. Слід зазначити, що даний комплекс включає в себе апаратуру, яка передбачає використання універсальних засобів обчислювальної техніки. Це дозволяє ефективно забезпечити реалізацію алгоритмів ідентифікації станів процесу буріння свердловин без розробки спеціального обладнання.

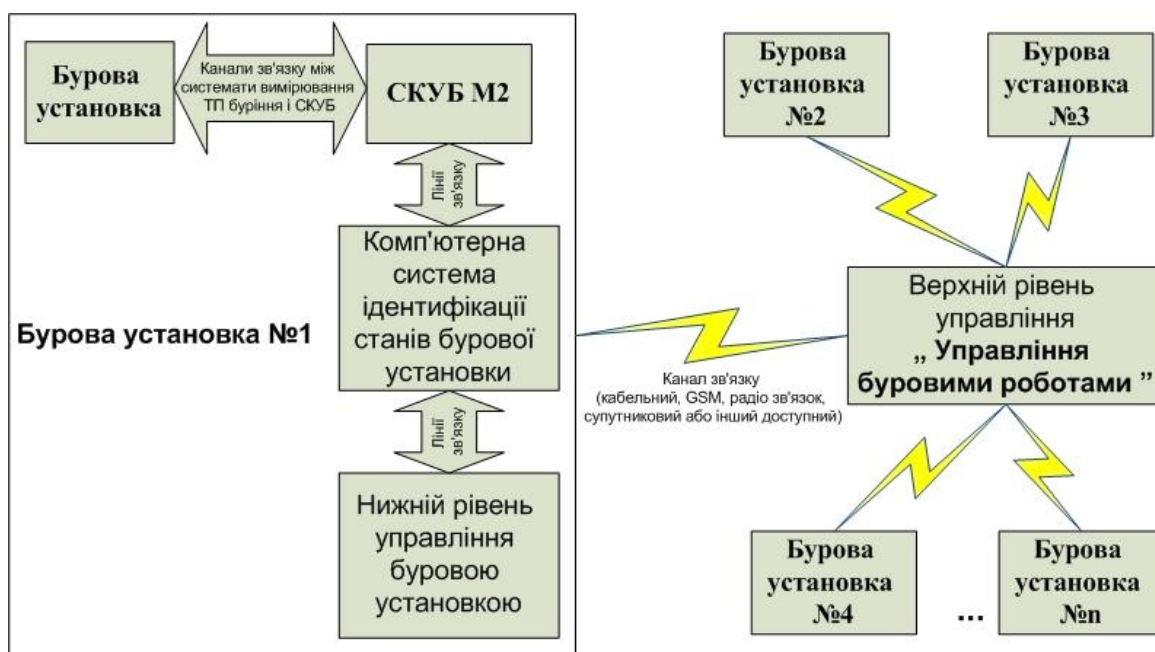


Рис. 1. Комп'ютерна система ідентифікації станів бурової установки на основі системи СКУБ М2

Технологічна інформація про процес буріння і технічний стан бурової установки поступає в реальному режимі часу з системи СКУБ в систему ідентифікації станів бурової установки. Після того як система автоматично визначить, в якому стані перебуває бурова установка, інформація про стан передається операторові, який приймає остаточне рішення. У випадку несправності системи, викликаній відмовою одного із її блоків, рішення про стан бурової установки приймає оператор. Одночасно інформація про стани бурової установки і технологічна інформація процесу буріння в реальному режимі часу передаються в управління буровими роботами (УБР), де і відбувається контроль за виконанням запроєктованих режимів проведення буріння. Дані можуть поступати в УБР з усіх бурових установок. Таким чином, можна проводити оперативний контроль за процесом буріння і здійснювати ефективне управління з використанням сучасних досягнень науки.

На першому рівні управління (бурова установка) слід проводити контроль основних технологічних параметрів буріння, сигналізацію відхилень параметрів і здійснювати інформаційний обмін з верхнім рівнем управління.

На другому рівні управління необхідно проводити автоматичний періодичний збір інформації з бурових установок, первинну обробку інформації, автоматичний розрахунок, контроль і реєстрацію основних техніко-економічних показників, інформаційний обмін з верхнім рівнем управління.

На третьому рівні управління (УБР) повинні розв'язуватися оптимізаційні задачі планування і управління районним бурінням.

Для функціонування комп'ютерної системи ідентифікації станів бурових установок необхідно використовувати систему передачі інформації з низових об'єктів – бурових установок – на верхній рівні управління: районні і центральні інженерно-технологічні служби і бурові підприємства.

В талб.1 наведений найпростіший метод ідентифікації станів бурової установки. Згідно з даними

методом, якщо контрольований технологічний параметр не рівні нуля і змінюється в часі, то йому присвоюється логічна 1, у протилежному випадку логічний 0. Таким чином, можна однозначно ідентифікувати стан бурової установки. У випадку співпадіння параметрів технологічного процесу для декількох станів необхідно накладати додаткові умови. Наприклад, у випадку спуско-підймальних операцій необхідно контролювати напрямки руху.

Таблиця 1

Ідентифікація основних станів бурової установки

Стани бурової установки	Технологічні параметри							
	навантаження на гаку	осьового навантаження на буровий інструмент	обертowego моменту на роторі	обертowego моменту на машинному ключі	тиску в лінії нагнітання бурового розчину	положення талєвого блоку	витрат бурового розчину на вході і виході свердловини	швидкості обертання ротора (частота)
Спуск колони	1	0	0	1	0	1	0	0
Буріння	1	1	1	0	1	1	1	1
Опрацювання	1	1	1	0	1	1	0	1
Нарощування	1	0	0	1	0	1	0	0
Циркуляція і промивка свердловини	1	0	0	0	1	1	1	0
Підйом колони	1	0	0	1	0	1	0	0
Заміна долота	1	0	0	0	0	0	0	0

Програмне забезпечення, розроблене для комп'ютерної системи ідентифікації станів бурової установки (рис. 2), оформлено у вигляді окремого модуля, що дозволяє легко інтегрувати його в існуючий пакет прикладних програм. Для створення програмного забезпечення системи було використано мову програмування Java та сервер бази даних MySQL. В розроблений модуль входить програма, що імітує пульт бурильника. Пульт бурильника відслідковує поточні параметри зняті із датчиків бурової установки та виводить повідомлення про стан в якому перебуває в даний момент бурова установка.

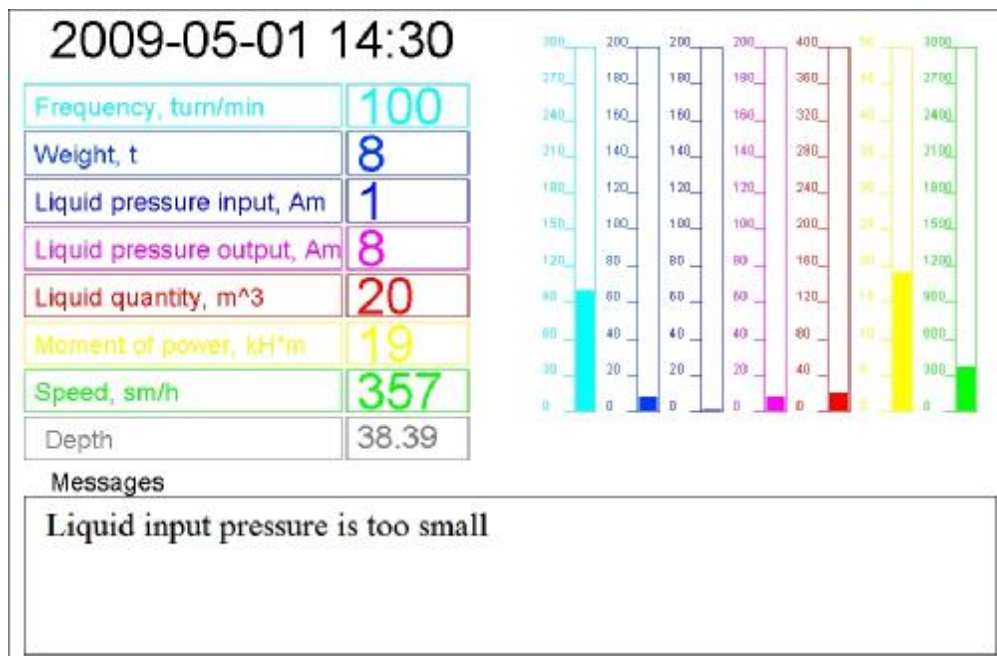


Рис. 2. Графічний інтерфейс пульту бурильника

Програмний модуль статистики буріння (рис 3) здійснює в реальному режимі часу обробку, архівацію і зберігання в базу даних інформації про частоти обертання долота, вагу бурової колони, вхідного та вихідного тисків промивальної рідини, кількості промивальної рідини, моменту сили на долоті, глибину свердловини. Одночасно виводяться графіки вказаних параметрів буріння в масштабі часу. Також передбачена можливість перегляду даних за попередні періоди буріння.



Рис. 3. Графічний інтерфейс програмного модуля статистики буріння

Передача даних на верхній рівень управління здійснюється з допомогою програмного модуля формування, шифрування і передачі інформації та супутникового терміналу або GPRS-модемом, або іншого доступного каналом зв'язку. Програмне забезпечення, встановлене на буровій, при запуску встановлює з'єднання із сервером що знаходиться в УБР. Після цього свердловина стає доступною для контролю. Ніяких дій з боку оператора станції не потрібно – вся робота відбувається автоматично. Можливість використання різних каналів зв'язку дозволяє побудувати систему з оптимальним співвідношенням ціни і якості.

Перед установленням з'єднання може задати період часу, за який будуть опитуватись дані з бурової. Після встановлення з'єднання, оператор одержує повну картину, що відбувається на буровій.

Дані обновляються з інтервалом в 10 с, що забезпечує повноцінний контроль процесів на буровій в реальному часі.

Висновки

Для детальної характеристики роботи бурової бригади необхідно за допомогою розробленої комп'ютерної системи з контрольованого пункту, тобто з бурової установки, автоматично передавати на диспетчерський пункт інформацію: 1) фактичну глибину забою свердловини; 2) види і тривалість всіх можливих технологічних процесів (операцій) на буровій; 3) деякі технологічні параметри (по запиті). Враховуючи отриману інформацію, можна зробити висновок про хід виконання буровою бригадою поставлених завдань та дотримання технологічних рекомендацій (наприклад, по механічній швидкості, проходці на долото, часу рейса та ін.), що дозволить забезпечити виконання планових завдань по проходці і здача свердловини з мінімальними затратами і високою якістю.

Література

1. Горбійчук М. І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М. І. Горбійчук, Г.Н. Семенов. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 493 с.
2. Вошинский В. С. Модернізований комплекс засобів наземного контролю і керування процесом буріння нафтових і газових свердловин СКУБ-М2 / В. С. Вошинский, В. А. Ролик // Нафтова і газова промисловість. – 2004. – № 3. – С. 24-29.
3. Кропивницька В. Б. Розробка програмного забезпечення для комп'ютерної системи оптимальним керуванням процесом буріння / В. Б. Кропивницька, Б. В. Клим, Т. В. Гуменюк // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2008. – № 2 (18). – С. 126-130.
4. Горбійчук М. І. Оптимальне керування процесом механічного буріння / М. І. Горбійчук, В. Б. Кропивницька // Нафтова і газова промисловість. – К.: ЛОГОС, 2005. – № 3. – С. 20-22.
5. Булатов А. И. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин: [учеб. для вузов]. / Булатов А. И., Проселков Ю. М., Шаманов С. А. – М.: ООО "Надра-Бизнесцентр", 2003. – 1007 с.: ил.

Надійшла 12.12.2009 р.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МЕТОДУ ПОШУКУ ТРОЯНСЬКИХ ПРОГРАМ В ПЕРСОНАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРАХ

В роботі розроблено програмне забезпечення виявлення невідомих троянських програм в персональних комп'ютерах, що ґрунтується на інтелектуальному методі їх пошуку шляхом використання нечіткої логіки та алгоритмів штучних імунних систем. Досліджено результати роботи розробленого програмного забезпечення.

Exposure of the unknown trojan programs software is in-process developed in the personal computers, that is based on the intellectual method of their search by the use of fuzzy logic and algorithms of the artificial immune systems. Investigational job of the developed software performances.

Ключові слова:

Вступ

Дослідження методів та програмного забезпечення (ПЗ) пошуку троянських програм (ТП) показало низьку достовірність антивірусного діагностування (АД) [1]. Сучасне антивірусне програмне забезпечення в своїй основі ґрунтується на використанні антивірусних баз, які поповнюються вже після виявлення шкідливого ПЗ і не здатні виявляти нові невідомі троянські програми. Антивірусне програмне забезпечення (АПЗ), яке використовує евристичні методи пошуку поки демонструють недостатню достовірність АД. В роботах [2-6] представлені новий інтелектуальний метод пошуку ТП в ПК, які ґрунтуються на використанні інтелектуальних компонент, а саме нечіткої логіки та алгоритмів штучних імунних систем (ШИС).

Постановка задачі

Постає науково-практична задача дослідження можливості практичної програмної реалізації інтелектуального методу. Також необхідним є дослідження результатів роботи розробленого ПЗ щодо спроможності підвищення достовірності антивірусного діагностування із застосуванням даного методу.

Програмне забезпечення пошуку ТП в ПК

Для ефективної організації процесу пошуку троянських програм в персональних комп'ютерах було розроблено програмне середовище, яке забезпечує мінімум трудозатрат користувача при його експлуатації ПК. При розробці антивірусного програмного забезпечення використовувались принципи структурного програмування згідно яких проектування та відлагодження програмних одиниць виконується за правилами програмування «зверху вниз», де процес написання ПЗ починається з визначення ієрархії в структурі ПЗ та поступової деталізації програми у вигляді сукупності підпорядкованих програмних модулів. Даний спосіб забезпечує можливість модифікації програмного коду, оскільки зміни в одному із модулів, не вимагає перекопіювання усіх інших модулів розроблюваного програмного забезпечення.

Розроблені програмні засоби реалізації інтелектуального методу пошуку ТП в ПК дають змогу здійснити основні операції антивірусного діагностування ПК та налагоджуватися згідно вимог користувача.

Програмне забезпечення надає користувачу наступні можливості:

- виконати запуск антивірусного монітора, який відслідковуватиме системні події та має змогу виявляти підозрілі програмні об'єкти в середовищі операційної системи;
- виконати антивірусне сканування персонального комп'ютера на предмет підміни системних файлів троянськими версіями.

При розробці програмного забезпечення використовувалась мова програмування C, C++ із застосування середовища розробок програмних продуктів C++Builder 7.0 [7]. Також в програмній реалізації було використано модуль з пакету fuzzy logic toolbox, що входить до складу прикладного програмного забезпечення для вирішення технічних Matlab 7.0 [8].

ПЗ системи пошуку ТП в ПК (СПТП) включає дві частини ПЗ: користувацьку і адміністраторську.

Користувацька частина передбачає можливість проведення антивірусного моніторингу системи, що діагностується. Користувач має змогу запустити антивірусний монітор чи відключити його.

Також користувацька частина програмного забезпечення передбачає можливість проведення антивірусного сканування ПК за вимогою користувача для виявлення системних файлів, що можуть бути троянськими модифікаціями та виконувати деструктивні дії в операційній системі.

Розроблена СПТП дає змогу користувачу здійснити оновлення антивірусних баз для забезпечення підвищення достовірності антивірусного діагностування ПК.

Адміністраторська частина передбачає можливість спеціалісту (чи спеціалістам) виконати формування (редагування) антивірусних баз, що використовуються в моніторі та сканері. Формування баз для монітора полягає в занесенні поведінкових моделей троянських програм на різних етапах їх життєвого циклу (ЖЦ).

Антивірусні бази для сканера створюються шляхом вибірки файлів для сканування, генерації захищених двійкових послідовностей та детекторів.

Структурні схеми ПЗ СПТП користувацької та адміністраторської частин подано на рис. 1.

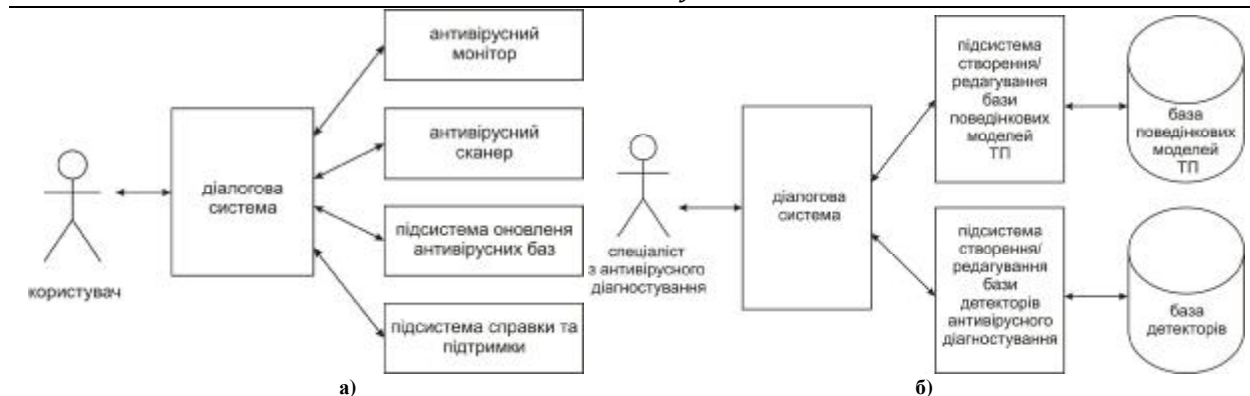


Рис. 1. Структурні схеми ПЗ СПТР: а) користувацька частина, б) адміністраторська частини

За допомогою діалогової підсистеми користувач системи пошуку троянських програм має змогу виконати запуск антивірусного монітора, який буде виконувати постійне відслідковування системних подій програмних об'єктів в ПК на предмет їх схожості на ТП. Таких пошук система АД веде в базі поведінок ТП.

База поведінок включає три складові бази: базу поведінок ТП на етапі потрапляння, базу поведінок ТП на етапі активізації та базу поведінок ТП на етапі виконання закладених функцій. Пошук здійснюється по хешу та знаходженні максимально відповідної поведінки троянській програмі.

У випадку виявлення схожого програмного об'єкту на ТП, зібрана інформація передається на систему нечіткого логічного висновку, яка присутня в складі СПТР і призначена для виконання результуючого рішення щодо можливості присутності ТП в ПК. Таким результатом є число від 0 до 1, яке свідчить про ступінь підозрілості досліджуваного програмного об'єкту. Згідно з вибраною політикою безпеки, а саме вибору порогу активізації підсистеми блокування дій підозрілого ПЗ, користувач буде сповіщений про підозріле ПЗ та запропоновано підтвердити продовження роботи даного ПЗ чи заблокувати його роботу.

Додатково за допомогою діалогової підсистеми користувач системи пошуку троянських програм має змогу виконати запуск антивірусного сканера, який може здійснити виявлення факту підміни системних файлів троянськими версіями. Для цього користувач може виконати вибір файлів для антивірусного сканування за його типом чи просто вибравши необхідна каталоги файлів.

СПТР в своєму складі має підсистему поновлення баз поведінок троянських програм. Для цього користувач вибирає необхідну вкладку в АПЗ і натискає кнопку «завантажити антивірусні оновлення». В склад СПТР також входить підсистеми довідки для пояснення користувачу як користуватися розробленою системою антивірусного діагностування персонального комп'ютера.

Адміністраторська частина розробленого програмного забезпечення пошуку ТП в ПК призначена для спеціалістів в області антивірусного діагностування, які мають великий досвід у дослідженнях поведінки шкідливого програмного забезпечення. Розроблене ПЗ дає можливість створення поведінкових моделей та занесення їх до спеціальної антивірусної бази, яка потім використовуватиметься користувачами для антивірусного діагностування ПК.

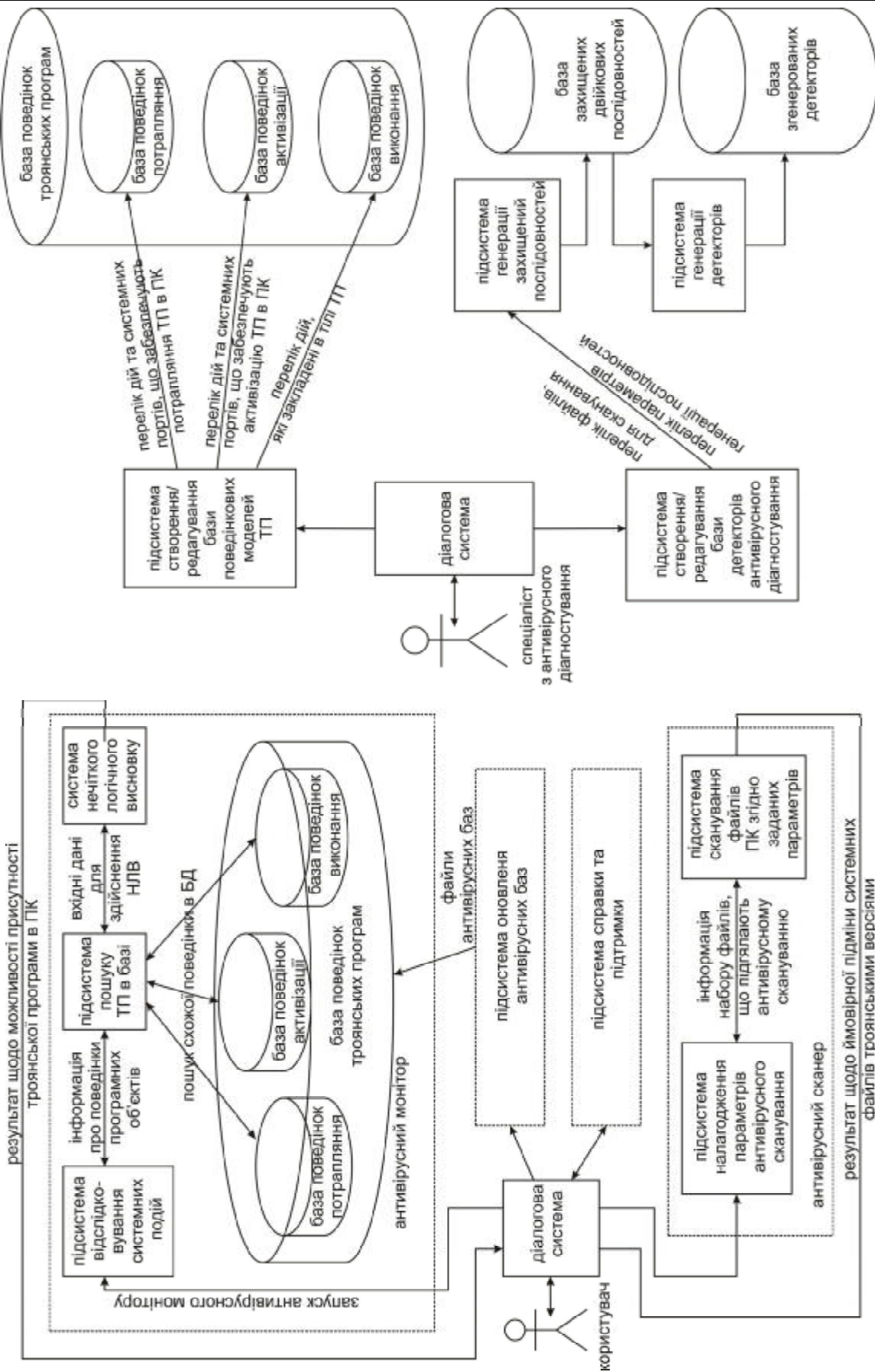
Загалом є дві окремі антивірусні бази: для моніторингу та сканування. База, що використовується для моніторингу представляє собою три БД, для кожного з етапів життєвого циклу ТП в ПК. Кожна поведінка, яка заноситься спеціалістом є матрицями відповідності між діями програмного об'єкту і системними портами, та матрицями відповідності між діями ТП і структурними одиницями ОС ПК. З кожної поведінки формується хеш, за яким в подальшому виконується пошук ТП.

База, що застосовується для сканування ПК використовує розроблені підсистеми, які спочатку виконують формування набору файлів для сканування, а потім виконують генерацію антивірусних детекторів. БД антивірусного сканера представляє собою сховище двійкових послідовностей для кожного відібраного файлу та сформованих детекторів.

Адміністратор СПТР має додатково змогу здійснювати налаштування в формуванні детекторів шляхом підбору параметрів генерації детекторів, а саме: у виборі кількості необхідних детекторів, розрядності детекторів та ключа пошуку. Перераховані параметри впливають на швидкість сканування та ймовірність виявлення факту підміни системних файлів троянськими версіями. Функційні схеми користувацької та адміністраторської частин програмного забезпечення СПТР в ПК показані на рис. 2.

Весь програмний комплекс СПТР складається з п'яти частин:

- системи запуску антивірусного діагностування trojan_finder,
- антивірусного монітора (АМ) – monitor (користувацька частина);
- антивірусного сканера (АС) – scanner (користувацька частина);
- підсистеми створення та редагування баз поведінок ТП – editor (адміністраторська частина);
- генератора антивірусних детекторів – detector (адміністраторська частина).



а) **Рис. 2.** Функційні схеми ПЗ СІПТІ: а) користувацька частина, б) адміністраторська частина

Система запуску антивірусного діагностування trojan_finder є основною в складі СІПТІ, оскільки призначена для запуску, зупинки та налаштування параметрів АД. Дана система викликає модулі антивірусного монітора та сканера та керує їх роботою. Опис модулів, які входять до складу системи trojan_finder подано в таблиці 1. До складу антивірусного монітора входять модулі, перелік яких подано в таблиці 2.

Опис модулів системи trojan_finder

Назва модуля	Призначення
trojan_finder.cpp	модуль керування системою діалогу з користувачем
Unit1.cpp	модуль запуску, зупинки та комплексу АД; виклик монітора та сканера; виконання оновлення баз; запуск довідки роботи комплексу

Таблиця 2

Модулі програмного забезпечення антивірусного монітора

Назва модуля	Призначення
monitor.cpp	основна програма функціонування монітора, яка ініціалізує діалогову систему монітора та викликає інші модулі
unit_monitor.h	модуль, який виконує моніторинг за системними подіями, здійснює пошук схожих поведінок у БД за їх хешем
cmp.h	порівняння згенерованої поведінки з поведінками з наявної антивірусної бази
hash.h	створення хешу та виконання пошуку за заданими ключами
memory.h	виділення пам'яті для створення хешу
table.h	перебір поведінкових моделей
types.h	робота з антивірусними базами
fis.h	модуль обробки параметрів fis-файлів, що завантажуються в середовище АМ
fuzzy.h	модуль здійснення НЛІВ щодо можливості присутності ТП в ПК
backdoor.h	модуль бази поведінкових моделей ТП типу backdoor
trojan-PSW.h	модуль бази поведінкових моделей ТП типу trojan-PSW
trojan-Clicker.h	модуль бази поведінкових моделей ТП типу trojan-Clicker
trojanDownloader.h	модуль бази поведінкових моделей ТП типу trojan-Downloader
trojanDropper.h	модуль бази поведінкових моделей ТП типу trojan-Dropper
trojanProxy.h	модуль бази поведінкових моделей ТП типу trojan-Proxy
trojanSpy.h	модуль бази поведінкових моделей ТП типу trojanSpy
trojanNotifier.h	модуль бази поведінкових моделей ТП типу backdoor

Опис роботи модулів, які входять до складу антивірусного сканера представлено в таблиці 3. Опис модулів, які входять до складу системи формування баз поведінок троянських програм подано в таблиці 4. Опис модулів, які входять до складу системи генерації детекторів подано в таблиці 5.

Таблиця 3

Модулі, які входять до складу антивірусного сканера

Назва модуля	Призначення
scanner.cpp	модуль діалогової системи антивірусного сканера з користувачем
Unit1.cpp	модуль виконання сканування шляхом перебору збігу захищених двійкових послідовностей зі згенерованими детекторами
Data.h	модуль генерації детекторів
Db.h	модуль читання з баз даних детекторів
String.h	модуль обробки двійкових послідовностей
Table.h	модуль читання таблиць
Type.h	модуль передачі параметрів сканування

Таблиця 4

Модулі системи побудови БД поведінок ТП

Назва модуля	Призначення
editor.cpp	модуль керування системою діалогу з адміністратором СІТІ
Unit1.cpp	Заповнення та формування таблиць
Unit2.cpp	Виконання доступу та пошук по таблицях
hash.h	створення хешу та виконання пошуку за заданими ключами
memory.h	виділення пам'яті для створення хешу
table.h	перебір поведінкових моделей
types.h	робота з антивірусними базами

Таблиця 5

Модулі, які входять до складу системи генерації детекторів

Назва модуля	Призначення
detector.cpp	модуль керування системою діалогу з адміністратором СІТІ
Unit1.cpp	модуль створення відбитків файлів
Unit2.cpp	Модуль створення детекторів

Для забезпечення функціонування в програмному середовищі операційних систем Windows XP, Windows Vista і Windows 7 для кожного з п'яти основних модулів розробленого програмного забезпечення було використано динамічні бібліотеки: Rtl60.bpl, Vcl60.bpl, Vcl.bpl, Borlandmm.dll, Cc3260mt.dll, dbeditorpp.dll.

Програмні засоби розроблення системи нечіткого логічного висновку

Складовою антивірусного монітору, який реагує на підозрілі програмні об'єкти є підсистема аналізу та висновку. В основі даної підсистеми лежить використання розробленої системи нечіткого логічного висновку (СНЛВ). Для ророблення такої СНЛВ було використано програмний засіб Fuzzy Logic Toolbox з пакету Matlab 7, який є набором інструментів для побудови та аналізу нечітких множин [8].

Система нечіткого логічного висновку, яка входить до складу антивірусного монітора, в розробленому програмному забезпеченні реалізована у вигляді програмних модулів fis.h та fuzzy.h, які зчитують та опрацьовують спеціальну структуру даних, що представляється в робочій області пакету MatLab у вигляді fis-файлів – текстових файлів спеціального формату.

Для визначення ступеня підозрілості програмного об'єкту в адміністративній частині програмного забезпечення пошуку ТП в ПК існує можливість завантаження попередньо налаштованого спеціалістами антивірусного діагностування ПК fis-файлу.

Інтерфейс програмного забезпечення

Результатом компіляції описаного вище проекту є прикладне програмне забезпечення з інтерфейсом, представленим на рисунках 3-10.

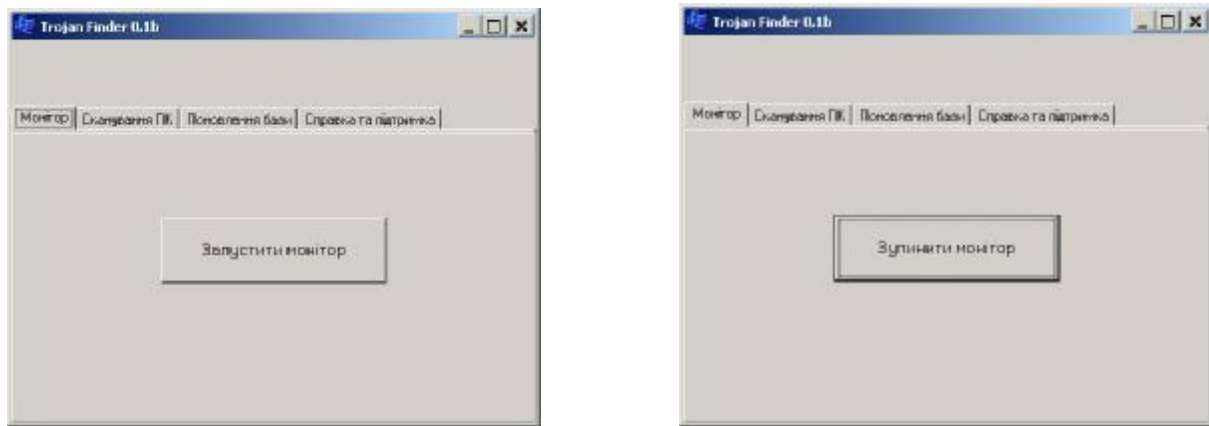


Рис. 3. Антивірусний монітор: а) зупинений монітор, б) запущений монітор

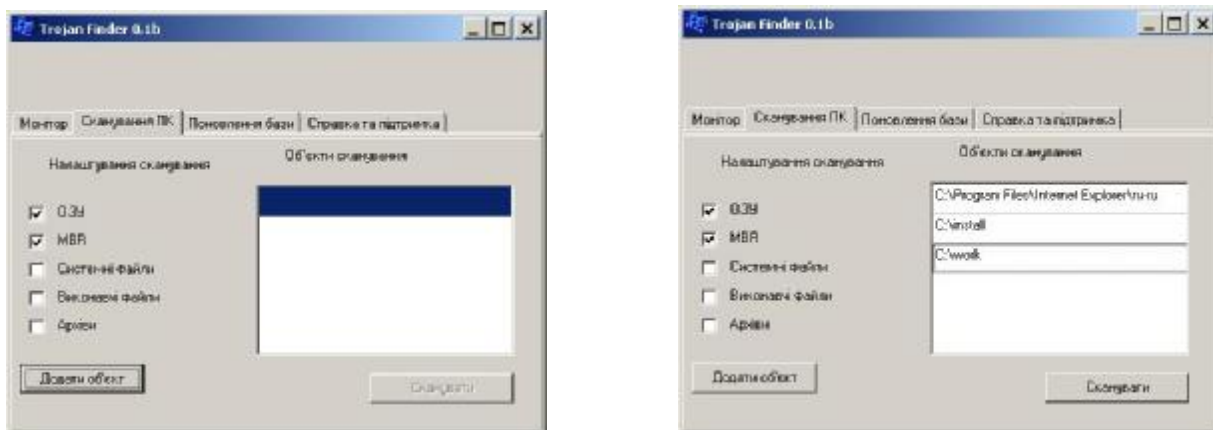


Рис. 4. Антивірусний сканер: а) параметри сканування, б) файли для сканування

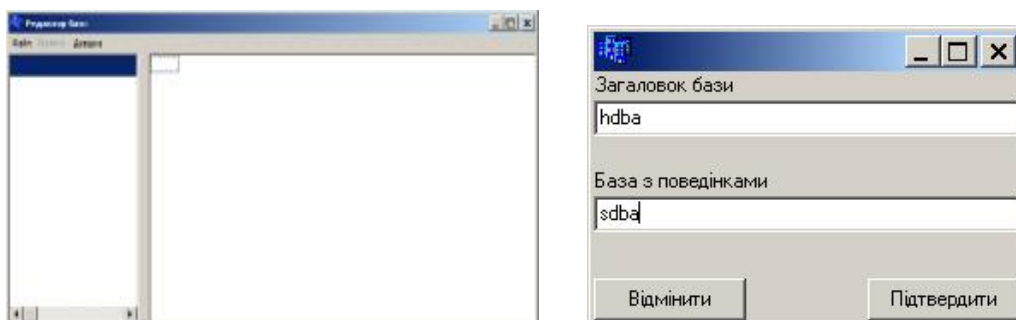


Рис. 5. Редактор баз поведінок троянських програм

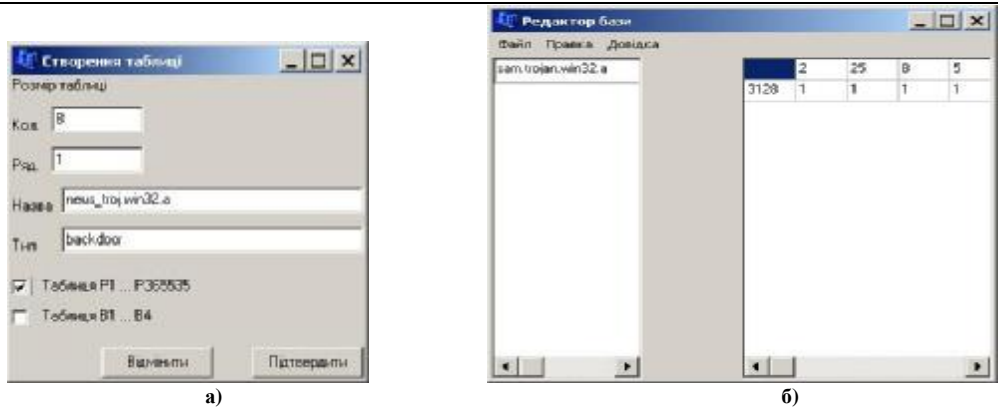


Рис. 6. Редактор баз поведінки троянських програм: а) створення таблиць, б) відображення поведінки троянської програми

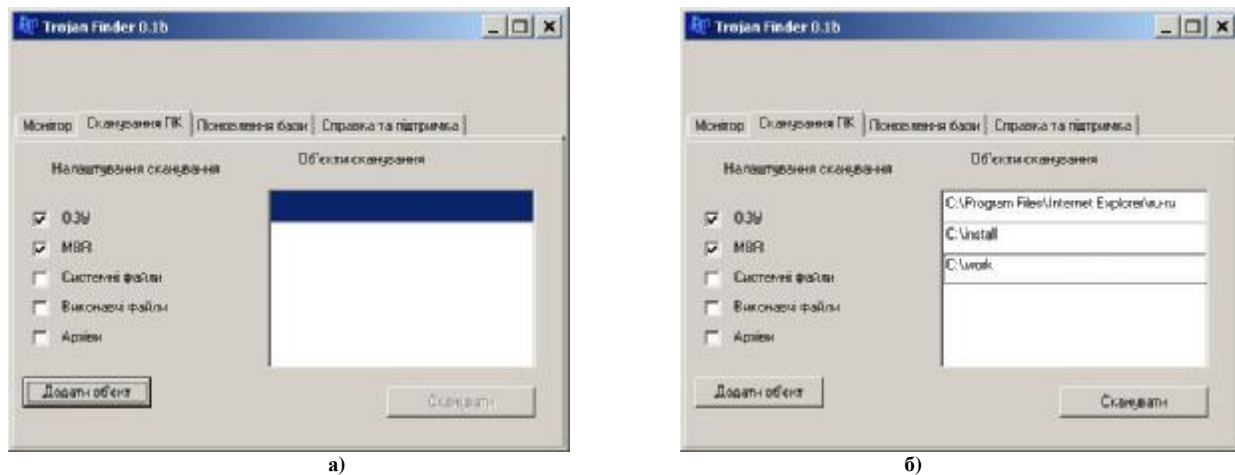


Рис. 7. Антивірусний сканер: а) параметри сканування, б) вибір файлів для сканування

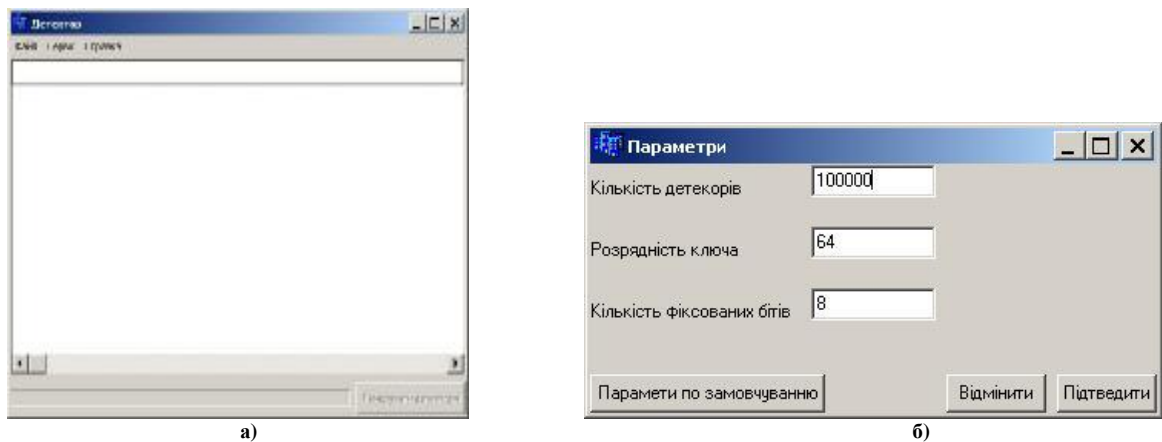


Рис. 8. Редактор детекторів антивірусного сканування: а) загальне вікно, б) параметри створення детекторів

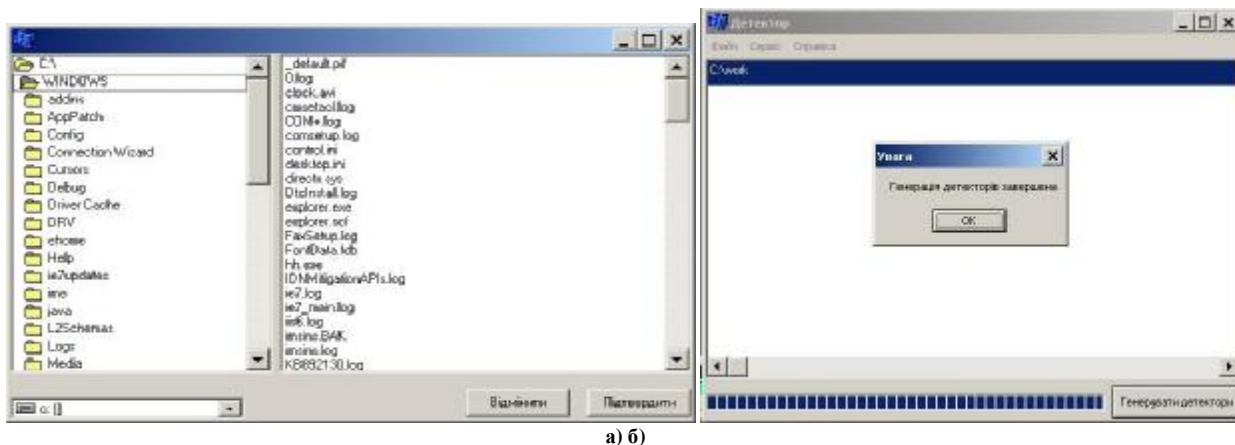


Рис. 9. Генератор детекторів: а) вибір файли для створення захищених послідовностей, б) генерація детекторів

Результати антивірусного діагностування програмного забезпечення

Для демонстрації роботи програмного забезпечення було програмно згенеровано 324 програмних об'єкти з функційним навантаженням троянських програм. Дані програми потенційно невідомі для антивірусних баз фірм-розробників антивірусного ПЗ.

В своїй основі набір згенерованого ПЗ має такі властивості:

- 18 програм використовують rootkit-технологію
- 81 програм мають функційне навантаження ТП типу BackDoor
- 32 програм мають функційне навантаження ТП типу Trojan-PSW
- 21 програм мають функційне навантаження ТП типу Trojan-Clicker
- 85 програм мають функційне навантаження ТП типу Trojan Downloader
- 23 програм мають функційне навантаження ТП типу Trojan-Dropper
- 15 програм мають функційне навантаження ТП типу Trojan-Proxy
- 33 програм мають функційне навантаження ТП типу Trojan-Spy
- 16 програм мають функційне навантаження ТП типу Trojan-Notifier

Чисельне співвідношення згенерованих програм відповідає процентному співвідношенню типів троянських програм, які найчастіше інфікують персональні комп'ютери.

З вказаного набору 8 програмних об'єктів виконували підміну системних файлів, але не виконували деструктивних дій на ПК.

Результати антивірусного діагностування із залученням розробленого ПЗ подано в таблиці 4.7 та на рис. 10.

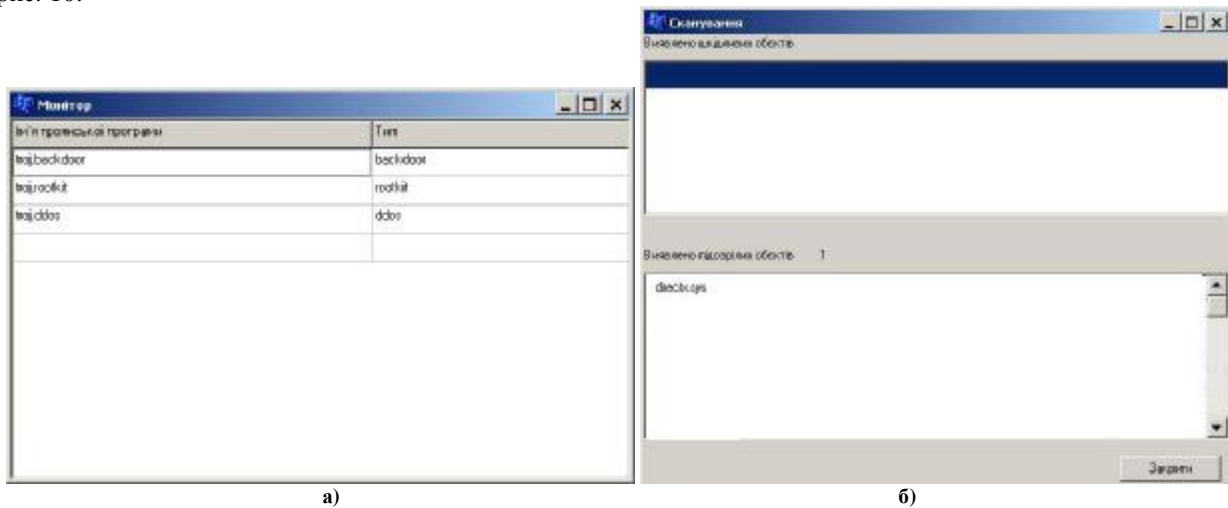


Рис. 10. Результати антивірусного діагностування ПК: а) антивірусного монітора, б) антивірусного сканера

Результати роботи програмної реалізації системи пошуку троянських програм демонструють спроможність виявлення троянських програм із застосуванням компонентів штучного інтелекту. Так із згенерованого набору програмних об'єктів видно виявлення антивірусним монітором поведінки, що занесені до бази і найбільше «схожі» до троянських програм типів backdoor, rootkit та ddos. Антивірусне сканування ПК виявило модифікацію системного файлу directx.sys.

Таблиця 6

Результати антивірусного діагностування із залученням розробленого ПЗ

Програми з властивостями троянських програм типу	Кількість програм, ідентифікованих як підозрілі	Відсоток виявлення, %
Rootkit	18	10
BackDoor	81	75
Trojan-PSW	32	25
Trojan-Clicker	21	8
Trojan Downloader	85	67
Trojan-Dropper	23	13
Trojan-Proxy	15	10
Trojan-Spy	33	23
Trojan-Notifier	16	9
Всього	324	240
		74,07

Дослідження розробленого програмного забезпечення показали приріст параметра достовірності антивірусного діагностування ПК в 5-15 % у порівнянні з існуючими засобами АПЗ.

Висновки

В результаті проведеного дослідження було розроблено програмне забезпечення, яке реалізує

інтелектуальний метод пошуку троянських програм в ПК. Розроблене програмне забезпечення реалізує процес виявлення троянських програм в персональних комп'ютерах, який ґрунтується на використанні нечіткої логіки для здійснення антивірусного моніторингу та застосуванні алгоритмів штучних імунних систем для реалізації антивірусного сканування персональних комп'ютерів.

Дослідження результатів програмної реалізації інтелектуального методу пошуку ТП в ПК показало можливість здійснення антивірусного діагностування ПК з ймовірністю 75 %, що є високим результатом для виявлення нових невідомих троянських програм.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє здійснювати виявлення відомих та невідомих троянських програм в персональних комп'ютерах без побудови баз сигнатур вірусних програм.

Література

1. Савенко О.С., Лисенко С.М. Дослідження методів антивірусного діагностування комп'ютерних мереж // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 2, Т.2. – С.120-126.
2. Савенко О. Розробка процесу виявлення троянських програм на основі використання штучних імунних систем / Олег Савенко, Сергій Лисенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 5, – С.183-188.
3. Савенко О.С. Использование нечеткой логики для поиска троянских программных продуктов в вычислительных системах/ Савенко О.С., Графов Р.П., Лисенко С.М // Вісник Чернівецького національного університету. – 2009. – № 6, – С.25-31.
4. Савенко О. Лисенко С. М. Інтелектуальний метод та алгоритми пошуку троянських програм в персональних комп'ютерах / Олег Савенко, Сергій Лисенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2008. – № 6, – С.129-137.
5. Савенко О. Алгоритми пошуку троянських програм в персональних комп'ютерах / Олег Савенко, Сергій Лисенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 6. – С.98-103.
6. Borland C++ Builder 6. Руководство разработчика / Джаррод Холингворт, Боб Сворт, Марк Кэшмэн, Поль Густавсон. – М.: Вильямс, 2004. – 976 с.
7. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая Линия – Телеком, 2007. – 288 с.

Надійшла 5.12.2009 р.

УДК 681.3+519.6

О.А. ПАСТУХ

Європейський університет

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ГРАФІВ З НЕЧІТКИМИ МІТКАМИ В КВАНТОВИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Вперше здійснено чисельне моделювання представлення графів з нечіткими мітками у квантових нечітких інформаційних системах другого роду за допомогою квантових нечітких відношень другого роду. Основу моделювання складає мікропрограма в унітарно-операторній формі, що діє на сімейство квантових процесорів квантової нечіткої інформаційної системи другого роду. Правильність результатів моделювання встановлена шляхом проведення перевірки, яка полягає в порівнянні результатів чисельного моделювання на основі нечітких відношень та на основі квантових нечітких відношень другого роду в квантових нечітких інформаційних системах другого роду.

Numerical simulation of graph with fuzzy marks in the quantum fuzzy information systems of second level had been realized. Quantum fuzzy relations of second level are basic of numerical simulation. Micro program at unitary-operator form is for sets of quantum processors of quantum fuzzy information systems of second level. Results of numerical simulation fuzzy relations and results of numerical simulation quantum fuzzy relations of second level in the quantum fuzzy information systems of second level had been compared.

Ключові слова: графи, нечітка мітка, інформаційна система.

Вступ. Як відомо [1, 2], графи широко використовуються при розв'язуванні найрізноманітніших задач у сфері інформаційних технологій. Серед великої сукупності різного типу графів чинне місце займають графи з нечіткими мітками.

Одним з актуальних питань, яке пов'язане з графами із нечіткими мітками є питання їх представлення в квантових інформаційних системах, зокрема, в квантових нечітких інформаційних системах другого роду ($q_{II}f$ -системах).

Огляд існуючих відомостей. В основі представлення графів з нечіткими мітками у $q_{II}f$ -системах лежать квантові нечіткі множини, які вперше введені автором у його роботах [3-6].

Мета. Здійснити чисельне моделювання представлення графів з нечіткими мітками у $q_{II}f$ -системах.

Постановка завдання. Чисельно змоделювати представлення графів з нечіткими мітками у $q_{II}f$ -

системах за допомогою квантових нечітких відношень другого роду.

Основна частина. Відомо [1, 2], що графи, як математичний апарат мають широке застосування в найрізноманітніших сферах технічної галузі. Однією з яких є сфера інформаційних технологій (ІТ). Зокрема, наприклад, досить часто графи використовуються, як математичні моделі баз знань (БЗ) інтелектуалізованих агентів.

Якщо БЗ інтелектуалізованих агентів враховують лише рівень об'єктів та зв'язків між ними деякої предметної області, то математичними моделями є чіткі графи (чіткі бінарні відношення), у випадку коли БЗ інтелектуалізованих агентів враховують диференціації сили зв'язків між об'єктами та й самих об'єктів, то математичними моделями є нечіткі графи (нечіткі бінарні відношення, графи, що мають чіткі мітки на ребрах та вершинах). Однак, поряд з цим часто виникають випадки, коли знання про предметну область в якій існує інтелектуалізований агент є неточними, що повинно відобразитися у математичній моделі БЗ даного інтелектуалізованого агента. В такому разі математичними моделями БЗ є графи з нечіткими мітками ребер та вершин (графи мітки ребер і вершин яких є, наприклад, нечіткими числами). Хоча графи з нечіткими мітками добре математично формалізують неточні знання інтелектуалізованих агентів, вони приводять до великих витрат обчислювальних ресурсів (ресурсів пам'яті) при технічній реалізації цих агентів, коли потрібно зберігати неточні знання у нечітких інформаційних системах (f -системах) на основі графів з нечіткими мітками.

Шлях до вирішення таких труднощів полягає у реалізації даних інтелектуалізованих агентів на основі квантових інформаційних систем, зокрема, квантових нечітких інформаційних систем другого роду ($q_{II}f$ -систем). Тому слушним є розгляд числового моделювання щодо представлення графів з нечіткими мітками (нечітких бінарних відношень другого роду) в $q_{II}f$ -системах.

Розгляньмо спершу числове моделювання графів із нечіткими мітками (вагами) ребер на основі нечітких бінарних відношень другого роду.

Нехай дано, наприклад, об'єкти (міста): u_1, u_2, u_3, u_4 та зв'язки між ними (неточні відстані (км) між містами, що математично формалізуються нечіткими множинами, зокрема, нечіткими числами) рис. 1.

Такий граф є графом з нечіткими мітками на ребрах (нечітким графом другого роду) і задається нечіткими бінарним відношенням другого роду $f_{II}G$ з індикаторною функцією $I_{f_{II}G}(\tilde{u}_i, u_j)$, $\tilde{u}_i, u_j \in U = \{u_1, u_2, u_3, u_4\}$, $i, j = \overline{1,4}$, представлення якої наведено в табл.1.

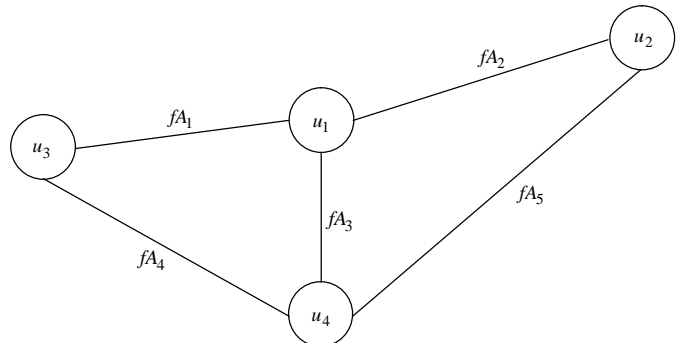


Рис. 1. Граф із нечіткими числовими мітками на зв'язках, який зображає міста: u_1, u_2, u_3, u_4 та неточні знання про відстані між ними

Таблиця 1

Представлення індикаторної функції $I_{f_{II}G}(\tilde{u}_i, u_j)$, $i, j = \overline{1,4}$ нечіткого бінарного відношення другого роду $f_{II}G$

	u_1	u_2	u_3	u_4
\tilde{u}_1		$I_{f_{A_2}}$	$I_{f_{A_1}}$	$I_{f_{A_3}}$
\tilde{u}_2	$I_{f_{A_2}}$			$I_{f_{A_5}}$
\tilde{u}_3	$I_{f_{A_1}}$			$I_{f_{A_4}}$
\tilde{u}_4	$I_{f_{A_3}}$	$I_{f_{A_5}}$	$I_{f_{A_4}}$	

Нечіткі мітки (нечіткі числові мітки ребер) $f_{A_1}, f_{A_2}, f_{A_3}, f_{A_4}, f_{A_5}$ задаються своїми індикаторними функціями

$$I_{f_{A_1}} = 300 \left| \sqrt{0,4} + 400 \left| \sqrt{0,6} \right. \right. , \quad I_{f_{A_2}} = 450 \left| \sqrt{0,7} + 600 \left| \sqrt{0,3} \right. \right. , \quad I_{f_{A_3}} = 700 \left| \sqrt{0,9} + 750 \left| \sqrt{0,1} \right. \right. ,$$

$$I_{f_{A_4}} = 750 \left| \sqrt{0,05} + 800 \left| \sqrt{0,95} \right. \right. , \quad I_{f_{A_5}} = 900 \left| \sqrt{0,5} + 1100 \left| \sqrt{0,5} \right. \right. .$$

Таким чином граф з нечіткими мітками задається однозначно індикаторною функцією $I_{f_{II}G}(\tilde{u}_i, u_j)$, $i, j = \overline{1,4}$, яка виражається за допомогою індикаторних функцій $I_{f_{A_1}}, I_{f_{A_2}}, I_{f_{A_3}}, I_{f_{A_4}}, I_{f_{A_5}}$ нечітких числових міток $f_{A_1}, f_{A_2}, f_{A_3}, f_{A_4}, f_{A_5}$ на ребрах.

Розгляньмо числовий експеримент, який на основі квантових нечітких відношень другого роду імітує представлення графу з нечіткими (числовими) мітками на ребрах, що задається, як нечітке

відношення другого роду $f_{II}G$, зокрема, за допомогою його індикаторної функції $I_{f_{II}G}(\tilde{u}_i, u_j)$, $i, j = \overline{1,4}$ в $q_{II}f$ -системах.

Нехай $q_{II}f$ -система містить п'ять кубітів q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 . Закодуємо числа 300 та 400 з індикаторної функції $I_{f_{A_1}}$ у базисні стани кубіта q_1 відповідно $|0_1\rangle, |1_1\rangle$; числа 450 та 600 з індикаторної функції $I_{f_{A_2}}$ у базисні стани кубіта q_2 відповідно $|0_2\rangle, |1_2\rangle$; числа 700 та 750 з індикаторної функції $I_{f_{A_3}}$ у базисні стани кубіта q_3 відповідно $|0_3\rangle, |1_3\rangle$; числа 750 та 800 з індикаторної функції $I_{f_{A_4}}$ у базисні стани кубіта q_4 відповідно $|0_4\rangle, |1_4\rangle$; числа 900 та 1100 з індикаторної функції $I_{f_{A_5}}$ у базисні стани кубіта q_5 відповідно $|0_5\rangle, |1_5\rangle$.

Розгляньмо для імітування представлення індикаторної функції $I_{f_{II}G}(\tilde{u}_i, u_j)$, $i, j = \overline{1,4}$, яка виражається через індикаторні функції $I_{f_{A_1}}, I_{f_{A_2}}, I_{f_{A_3}}, I_{f_{A_4}}, I_{f_{A_5}}$ в $q_{II}f$ -системі. Квантові біти q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 даної $q_{II}f$ -системи розглядаються як сукупність паралельних не взаємодіючих між собою квантових регістрів (ізолювані від впливу один на одного). Тобто $q_{II}f$ -система є системою, на якій реалізуються паралельні квантові обчислення не лише в сенсі обчислювального простору, а й фізичного простору. А тому слід розглядати квантові мікропрограми в унітарно-операторній формі для кожного квантового регістра із паралельної їх сукупності $q_{II}f$ -системи, тобто, для конкретного даного прикладу, це для кожного окремо взятого кубіта q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 :

$$\begin{aligned} \mathbf{B} \cdot \Phi(j_1) \cdot \mathbf{B}|0_1\rangle &= \sin\left(\frac{j_1}{2}\right)|0_1\rangle + \cos\left(\frac{j_1}{2}\right)|1_1\rangle = I_{f_{A_1}}(300)|0_1\rangle + I_{f_{A_1}}(400)|1_1\rangle = \sqrt{0,4}|0_1\rangle + \sqrt{0,6}|1_1\rangle, \\ \mathbf{B} \cdot \Phi(j_2) \cdot \mathbf{B}|0_2\rangle &= \sin\left(\frac{j_2}{2}\right)|0_2\rangle + \cos\left(\frac{j_2}{2}\right)|1_2\rangle = I_{f_{A_2}}(450)|0_2\rangle + I_{f_{A_2}}(600)|1_2\rangle = \sqrt{0,7}|0_2\rangle + \sqrt{0,3}|1_2\rangle, \\ \mathbf{B} \cdot \Phi(j_3) \cdot \mathbf{B}|0_3\rangle &= \sin\left(\frac{j_3}{2}\right)|0_3\rangle + \cos\left(\frac{j_3}{2}\right)|1_3\rangle = I_{f_{A_3}}(700)|0_3\rangle + I_{f_{A_3}}(750)|1_3\rangle = \sqrt{0,9}|0_3\rangle + \sqrt{0,1}|1_3\rangle, \\ \mathbf{B} \cdot \Phi(j_4) \cdot \mathbf{B}|0_4\rangle &= \sin\left(\frac{j_4}{2}\right)|0_4\rangle + \cos\left(\frac{j_4}{2}\right)|1_4\rangle = I_{f_{A_4}}(750)|0_4\rangle + I_{f_{A_4}}(800)|1_4\rangle = \sqrt{0,05}|0_4\rangle + \sqrt{0,95}|1_4\rangle, \\ \mathbf{B} \cdot \Phi(j_5) \cdot \mathbf{B}|0_5\rangle &= \sin\left(\frac{j_5}{2}\right)|0_5\rangle + \cos\left(\frac{j_5}{2}\right)|1_5\rangle = I_{f_{A_5}}(900)|0_5\rangle + I_{f_{A_5}}(1100)|1_5\rangle = \sqrt{0,5}|0_5\rangle + \sqrt{0,5}|1_5\rangle, \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned} j_1 &= 2 \cdot \arcsin(I_{f_{A_1}}(300)) = 2 \cdot \arcsin(\sqrt{0,4}) \quad \text{або} \quad j_1 = 2 \cdot \arccos(I_{f_{A_1}}(400)) = 2 \cdot \arccos(\sqrt{0,6}), \\ j_2 &= 2 \cdot \arcsin(I_{f_{A_2}}(450)) = 2 \cdot \arcsin(\sqrt{0,7}) \quad \text{або} \quad j_2 = 2 \cdot \arccos(I_{f_{A_2}}(600)) = 2 \cdot \arccos(\sqrt{0,3}), \\ j_3 &= 2 \cdot \arcsin(I_{f_{A_3}}(700)) = 2 \cdot \arcsin(\sqrt{0,9}) \quad \text{або} \quad j_3 = 2 \cdot \arccos(I_{f_{A_3}}(750)) = 2 \cdot \arccos(\sqrt{0,1}), \\ j_4 &= 2 \cdot \arcsin(I_{f_{A_4}}(750)) = 2 \cdot \arcsin(\sqrt{0,05}) \quad \text{або} \quad j_4 = 2 \cdot \arccos(I_{f_{A_4}}(800)) = 2 \cdot \arccos(\sqrt{0,95}), \\ j_5 &= 2 \cdot \arcsin(I_{f_{A_5}}(900)) = 2 \cdot \arcsin(\sqrt{0,5}) \quad \text{або} \quad j_5 = 2 \cdot \arccos(I_{f_{A_5}}(1100)) = 2 \cdot \arccos(\sqrt{0,5}). \end{aligned}$$

Квантові мікропрограми графічно представляються у вигляді квантової мережі, що наведена на рис. 2.

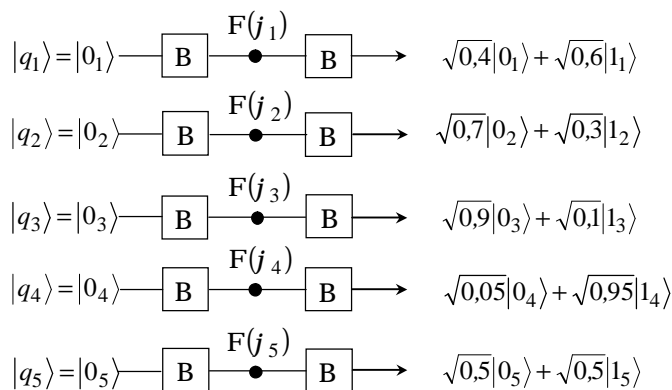


Рис. 2. Графічний вигляд мікропрограм операторів $\mathbf{B} \cdot \mathbf{F}(j) \cdot \mathbf{B}$ у вигляді квантової мережі.

Або все це ж може бути реалізовано завдяки квантовим мікропрограмам:

$$\begin{aligned} \mathbf{H} \cdot \Phi(\tilde{f}_1) \cdot \mathbf{H}|0_1\rangle &= \cos\left(\frac{\tilde{f}_1}{2}\right)|0_1\rangle - i \cdot \sin\left(\frac{\tilde{f}_1}{2}\right)|1_1\rangle = \sqrt{0,4}|0_1\rangle - i \cdot \sqrt{0,6}|1_1\rangle, \\ \mathbf{H} \cdot \Phi(\tilde{f}_2) \cdot \mathbf{H}|0_2\rangle &= \cos\left(\frac{\tilde{f}_2}{2}\right)|0_2\rangle - i \cdot \sin\left(\frac{\tilde{f}_2}{2}\right)|1_2\rangle = \sqrt{0,7}|0_2\rangle - i \cdot \sqrt{0,3}|1_2\rangle, \\ \mathbf{H} \cdot \Phi(\tilde{f}_3) \cdot \mathbf{H}|0_3\rangle &= \cos\left(\frac{\tilde{f}_3}{2}\right)|0_3\rangle - i \cdot \sin\left(\frac{\tilde{f}_3}{2}\right)|1_3\rangle = \sqrt{0,9}|0_3\rangle - i \cdot \sqrt{0,1}|1_3\rangle, \\ \mathbf{H} \cdot \Phi(\tilde{f}_4) \cdot \mathbf{H}|0_4\rangle &= \cos\left(\frac{\tilde{f}_4}{2}\right)|0_4\rangle - i \cdot \sin\left(\frac{\tilde{f}_4}{2}\right)|1_4\rangle = \sqrt{0,05}|0_4\rangle - i \cdot \sqrt{0,95}|1_4\rangle, \\ \mathbf{H} \cdot \Phi(\tilde{f}_5) \cdot \mathbf{H}|0_5\rangle &= \cos\left(\frac{\tilde{f}_5}{2}\right)|0_5\rangle - i \cdot \sin\left(\frac{\tilde{f}_5}{2}\right)|1_5\rangle = \sqrt{0,5}|0_5\rangle - i \cdot \sqrt{0,5}|1_5\rangle, \end{aligned}$$

де

$$\begin{aligned} \tilde{f}_1 &= 2 \cdot \arccos(I_{f_{A_1}}(300)) = 2 \cdot \arccos(\sqrt{0,4}) \quad \text{або} \quad \tilde{f}_1 = 2 \cdot \arcsin(I_{f_{A_1}}(400)) = 2 \cdot \arcsin(\sqrt{0,6}), \\ \tilde{f}_2 &= 2 \cdot \arccos(I_{f_{A_2}}(450)) = 2 \cdot \arccos(\sqrt{0,7}) \quad \text{або} \quad \tilde{f}_2 = 2 \cdot \arcsin(I_{f_{A_2}}(600)) = 2 \cdot \arcsin(\sqrt{0,3}), \\ \tilde{f}_3 &= 2 \cdot \arccos(I_{f_{A_3}}(700)) = 2 \cdot \arccos(\sqrt{0,9}) \quad \text{або} \quad \tilde{f}_3 = 2 \cdot \arcsin(I_{f_{A_3}}(750)) = 2 \cdot \arcsin(\sqrt{0,1}), \\ \tilde{f}_4 &= 2 \cdot \arccos(I_{f_{A_4}}(750)) = 2 \cdot \arccos(\sqrt{0,05}) \quad \text{або} \quad \tilde{f}_4 = 2 \cdot \arcsin(I_{f_{A_4}}(800)) = 2 \cdot \arcsin(\sqrt{0,95}), \\ \tilde{f}_5 &= 2 \cdot \arccos(I_{f_{A_5}}(900)) = 2 \cdot \arccos(\sqrt{0,5}) \quad \text{або} \quad \tilde{f}_5 = 2 \cdot \arcsin(I_{f_{A_5}}(1100)) = 2 \cdot \arcsin(\sqrt{0,5}). \end{aligned}$$

Квантові мікропрограми графічно представляються у вигляді квантової мережі, що наведена на рис. 3.

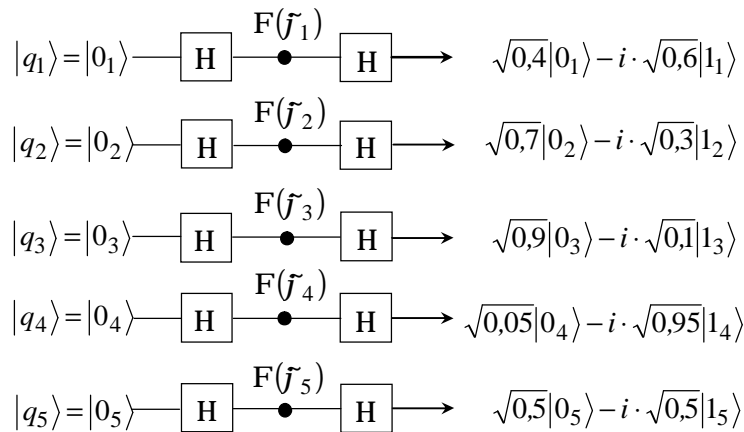


Рис. 3. Графічний вигляд мікропрограм операторів $\mathbf{H} \cdot \mathbf{F}(\tilde{f}) \cdot \mathbf{H}$ у вигляді квантової мережі

Після виконання даних мікропрограм над відповідними квантовими регістрами сукупності квантових регістрів $q_{II}f$ -системи дана сукупність знаходиться у стані, який описується індикаторною функцією $I_{q_{II}fG}$, що виражається через індикаторні функції I_{qfA_1} , I_{qfA_2} , I_{qfA_3} , I_{qfA_4} , I_{qfA_5} , бінарного квантового нечіткого відношення другого роду $q_{II}fG$, тобто в своїй сукупності квантові регістри $q_{II}f$ -системи містять бінарне квантове нечітке відношення другого роду $q_{II}fG$, зокрема, сукупність квантових нечітких числових міток qfA_1 , qfA_2 , qfA_3 , qfA_4 , qfA_5 . Оскільки існує взаємна однозначність між значеннями області визначення індикаторної функції $I_{f_{II}G}$ нечіткого бінарного відношення другого роду $f_{II}G$ та квантовими регістрами $q_{II}f$ -системи, що технічно представляють відповідні значення області визначення індикаторної функції $I_{q_{II}fG}$ бінарного квантового нечіткого відношення другого роду $q_{II}fG$, зокрема й існує взаємна однозначність між значеннями областей визначення індикаторних функцій $I_{f_{A_1}}$, $I_{f_{A_2}}$, $I_{f_{A_3}}$, $I_{f_{A_4}}$, $I_{f_{A_5}}$ нечітких числових міток ребер f_{A_1} , f_{A_2} , f_{A_3} , f_{A_4} , f_{A_5} та їх відповідними двійковими кодами – значеннями областей визначення індикаторних функцій відповідно I_{qfA_1} , I_{qfA_2} , I_{qfA_3} , I_{qfA_4} , I_{qfA_5} квантових нечітких числових міток qfA_1 , qfA_2 , qfA_3 , qfA_4 , qfA_5 причому при всіх цих значеннях $I_{f_{II}G} = I_{q_{II}fG}$, тобто $I_{f_{A_1}} = I_{qfA_1}$, $I_{f_{A_2}} = I_{qfA_2}$, $I_{f_{A_3}} = I_{qfA_3}$, $I_{f_{A_4}} = I_{qfA_4}$, $I_{f_{A_5}} = I_{qfA_5}$, то цим самим квантові регістри $q_{II}f$ -системи містять нечітке бінарне відношення другого роду $f_{II}G$, зокрема його індикаторну функцію $I_{f_{II}G}$.

Рівність значень $I_{f_{II}G}$ та $I_{q_{II}fG}$ є підтвердженням представлення нечіткого графа другого роду (нечіткого бінарного відношення другого роду $f_{II}G$) у системі квантових реєстрів $q_{II}f$ -системи.

З очевидності числового експерименту випливає, що нечіткі гіперграфи другого роду, як математичні моделі об'єктів та процесів ІТ, можуть бути представлені у системі квантових реєстрів $q_{II}f$ -систем завдяки N -арних квантових нечітких відношень другого роду (гіперграфів з квантовими нечіткими числовими мітками).

Висновки. Здійснено чисельне моделювання представлення графів з нечіткими мітками в квантових нечітких інформаційних системах другого роду на основі бінарних квантових нечітких відношень другого роду та його апробація шляхом порівняння з результатами чисельного моделювання представлення графів з нечіткими мітками у нечітких інформаційних системах, що дає основу для проведення практичних робіт у даному напрямі.

Література

1. Берж К. Теория графов и ее применение / Берж К.; [пер. с фр. А.А. Быкова]. – М.: Иностранная литература, 1962. – 319 с.
2. Харари. Ф. Теория графов / Харари. Ф.; [пер. с англ. В.П.Козырева]. – М.: Мир, 1973. – 300 с.
3. Пастух О.А. Квантові нечіткі множини з комплексно значною характеристичною функцією і їх використання для квантового комп'ютера / О.А. Пастух // Вісник Хмельницького національного ун-ту. – 2006. – Т.1. – № 2. – С. 158-161.
4. Пастух О.А. Квантова нечітка випадкова подія та її маргінальна амплітуда ймовірності / О.А.Пастух // Вісник Хмельницького національного ун-ту. – 2006. – № 5. – С. 58-60.
5. Пастух О.А. Повний біунарний уноід квантових нечітких булевих підмножин на просторі $[0; \infty)$ / О.А. Пастух // Вісник Хмельницького національного ун-ту. – 2007. – № 1. – С. 196-198.
6. Пастух О.А. Основи зв'язку між математичними формалізмами інформаційних систем, нечітких інформаційних систем та квантових інформаційних систем / О.А. Пастух // Вісник Хмельницького національного ун-ту. – 2008. – № 3. – С. 87-98.

Надійшла 6.12.2009 р.

УДК 681.215

Н.Г. ШИРМОВСЬКА, Н.Б. ГОЛЕМБІЙОВСЬКА, Г.Я. ШИРМОВСЬКИЙ,
В.В. ЖУРАКІВСЬКИЙ

Івано-Франківський національний університет нафти і газу

РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ВИЯВЛЕННЯ І ВИПРАВЛЕННЯ ПОМИЛОК ПРИ КОДУВАННІ-ДЕКОДУВАННІ ПОВІДОМЛЕНЬ НА ПІДПРИЄМСТВАХ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

У статті розглядається проблематика і пропонується комбінований підхід розробки алгоритмів виявлення і виправлення одиночних і багатократних помилок, виникаючих на різних етапах збору, формування, обробки, передачі і відображення технологічних і планово-економічних даних на підприємствах нафтогазового комплексу України. Показані переваги використання комбінації коректуючих AN і (n, k) – кодів і системи числення залишкових класів.

The paper considers issues and proposed a combined campaign of the development of algorithms to detect and correct single and multiple errors, pozniakayuschih at different stages збора, formation, processing, Transmission and mapping-tion of technological and economical даних at enterprises of oil and gas complex of Ukraine. The advantages of a combination of correcting AN and (n, k) – codes and the number system of residual classes.

Ключові слова: виявлення помилок, нафтогазовий комплекс.

Вступ

Зважаючи на різноманіття і складність проблем, що виникають в процесі розробки, впровадження і розвитку інформаційно-вимірвальних систем (ІВС) виникає потреба в постановці і рішенні ряду завдань з оптимізації концентрованих повідомлень для формування достовірних та захищених від перешкод даних в ІВС бурових виробництв.

Для підвищення достовірності передачі інформації по каналах зв'язку, зберігання її в пам'яті ЕОМ і подальшої обробки в інформаційних системах, використовуються корегуючі залишкові, AN – коди [1].

Вибір AN і (n, k) – кодів зумовлений тим, що вони можуть ефективно використовуватися для захисту інформації при передачі по каналах зв'язку, а також при контролі достовірності результатів обчислень та обробки інформації на ЕОМ [1].

1. Розробка алгоритмів виявлення і виправлення помилок

При реалізації алгоритму стиснення інформації доцільним є формування залишкових і нероздільних AN – кодів [2].

В основі конструкції нероздільних AN – кодів лежить властивість ділення кодових слів не деяке, визначене для заданого коду число A ; в разі виникнення помилки ділення без остачі не відбувається, а характер помилки визначається за значенням залишку. AN – код представляє відображення $N_k + AN_k$ цілих чисел $0,1,2,\dots,N_k$ в цілі числа $0, A,\dots, AN_k$, де A – стала величина [1].

Арифметична вага W_A коду N_k визначається як найменше число ненульових членів у виразі (1).

Як впливає з визначення, арифметична вага W_A не може бути більше ваги Хеммінга W_H цього числа.

Арифметична відстань $d(C_1, C_2)$ між парою будь-яких чисел C_1 і C_2 визначається як арифметична вага абсолютної величини їх різниці

$$d_A(C_1, C_2) = W_A(|C_1 - C_2|)$$

Арифметична відстань, як і відстань Хеммінга, володіє властивостями рефлексивності, симетричності та задовольняє нерівність трикутника.

AN – код може виявляти $d - 1$ помилку тоді і лише тоді, коли він має максимальну арифметичну відстань d [1].

З цього випливає, що для виявлення одиночних арифметичних помилок необхідно і достатньо, щоб мінімальна арифметична відстань $d_{\min} = 2$.

Для будь-якого непарного $A > 1$ AN – код з довільною довжиною n здатний виявляти всі одиночні помилки. Очевидно, код з $A = 3$ є кодом з мінімальними витратами і вимагає два перевіірочні розряди при довільній кількості інформаційних розрядів.

Для виправлення одиночних помилок необхідно, щоб $d_{\min} = 3$. Конструкцію кодів, що виправляють одиночні помилки, описує наступна теорема 1 [1]:

Якщо A – непарне число, не рівне одиниці, то

$$M(A,3) = \begin{cases} \frac{2^e - 1}{A}, & \text{якщо } 2^e \equiv 1 \pmod{A} \\ \frac{2^e + 1}{A}, & \text{якщо } 2^e \equiv -1 \pmod{A} \end{cases}$$

де e – найменше додатне ціле число, яке задовольняє вказані порівняння.

У таблиці 1 наведені значення $M(A,3)$ і параметри відповідних кодів з виправленням одиночних помилок для простих A , які задовольняють умови теореми 1.

Таблиця 1

Параметри кодів з виправленням одиничних помилок			
A	$M(A, 3)$	n	k
11	3	5	1
13	5	6	2
19	27	9	4
23	89	11	6
29	565	14	9
37	7085	18	12
47	178481	23	17
53	1266205	26	20
59	9099507	29	23
61	17602325	30	24

Максимальне значення кодових чисел, що формується розроблювальною апаратурою, не перевершує 2712996. Отже, як видно з табл. 1, для реалізації AN – коду, що виправляє одиночні помилки формуючим пристроєм код необхідно помножити на $A = 59$. Проте введення такого великого модуля значно збільшує час на формування вихідного коду. Для усунення цього недоліку вводиться додатковий модуль, що породжує залишковий код. Таким чином, відпадає необхідність в реалізації неділимого AN - коду, який виправляє одиночні помилки. Стає достатньою реалізація AN - коду, який виявляє одиночні помилки [1].

Як наголошувалося вище, для цього достатньо ввести модуль 3. В апаратурі $A = 5$. Вибір цього модуля пояснюється тим, що в процесі індикації і реєстрації числа з'являється можливість візуального виявлення помилок оператором, а також порівняно простим пристроєм декодування.

Таким чином, вихідний код представляє собою комбінацію неділимого AN – коду і (n, k) – коду.

Він дозволяє виявляти і виправляти адитивні і арифметичні одиночні помилки. На рис. 1 представлено структуру вихідного коду. Для розпізнання рангових $N_k(a)$ і вирахуваних $N_k(b)$ слів використовується знаковий розряд, в якому одиниці відповідає $N_k(a)$, а нулю – $N_k(b)$.

Вирахування b_{k+1} являє собою вирахування кодових слів AN - коду по породжуючому модулю $P_{k+1}(n, k)$ - коду. І так, породжуючі модулі вихідного коду рівні $P_0 = 5$ і $P_{k+1} = 23$.

Розглянемо випадок одиночної адитивної помилки, тобто помилки, пов'язаної з трансформацією двійкового числа в одному з розрядів кодового слова N_{ik} при передачі інформації по каналу зв'язку ($1 \rightarrow 0$ або $0 \rightarrow 1$). При цьому можуть мати місце два випадки:

1. Помилка сталася в перевірочній частині b_{k+1} , тобто

$$N_{ik} \equiv 0(\text{mod } 5); N_{ik} \neq b_{k+1}(\text{mod } 23);$$

В цьому випадку, очевидно, виправляти помилку немає потреби, оскільки інформаційна частина N_{ik} передана правильно.

2. Помилка сталася в інформаційній частині.

Позначимо спотворене кодове слово через \tilde{N}_{ik} , його залишки від ділення на 5 або на 23 відповідно через c і r . В цьому випадку очевидно,

$$c \neq 0 \text{ і } r \neq b_{k+1}(\text{mod } 23);$$

Задача полягає у знаходженні номера розряду, в якому сталася помилка.

Зміна двійкового числа $i - m$ розряду на протилежне рівнозначна збільшенню його на 2 при трансформації 0 на 1 і зменшенню на 2 – у в зворотному випадку.

У таблиці 2 наведені остачі від ділення ряду чисел кратних двом на модуль 23.

Таблиця 2

Значення остачі від ділення рядка чисел кратних двом на модуль 23			
2^{0-10}	Остача	2^{11-21}	Остача
2^0	1	2^{11}	1
2^1	2	2^{12}	2
2^2	4	2^{13}	4
2^3	8	2^{14}	8
2^4	16	2^{15}	16
2^5	9	2^{16}	9
2^6	18	2^{17}	18
2^7	13	2^{18}	13
2^8	3	2^{19}	3
2^9	6	2^{20}	6
2^{10}	12	2^{21}	12

Обчисливши різницю $b_{k+1} - r$, ми, очевидно, можемо вказати лише два розряди, в яких могла б статися помилка.

Наприклад:

1. $b_{k+1} - r \equiv 8(\text{mod } 23)$

В цьому випадку або в третьому, або в чотирнадцятому розряді 1 змінилась на 0.

2. $b_{k+1} - r \equiv 10(\text{mod } 23)$

В цьому випадку протилежна помилка (0 змінився на 1) могла виникнути або в 7-му, або в 18-му розряді.

Номер розряду, в якому треба здійснювати виправлення, із величини остачі \tilde{N}_{ik} по модулю 5, тобто C .

В результаті виправлення повинне вийти число, що ділиться без залишку на 5.

У таблиці 3 наведена остача від ділення ряду чисел кратних двом на модуль 5.

Таблиця 3

Значення остачі від ділення ряду чисел кратних двом на модуль 5

2^{0-10}	Остача (с)	2^{11-21}	Остача (с)
2^0	1	2^{11}	3
2^1	2	2^{12}	1
2^2	4	2^{13}	2
2^3	3	2^{14}	4
2^4	1	2^{15}	3
2^5	2	2^{16}	1
2^6	4	2^{17}	2
2^7	3	2^{18}	4
2^8	1	2^{19}	3
2^9	2	2^{20}	1
2^{10}	4	2^{21}	2

Зіставивши таблиці 2 і 3, можна бачити, що немає таких двох чисел кратних 2, щоб остачі від ділення на 23 і 5 збігалися, тобто, якщо остачі від ділення на 23 однакові, то різні остачі від ділення на 5 і навпаки.

Це означає, що вказати розряд, в якому сталася помилка, можна однозначно.

Приклад.

Припустимо $b_{k+1} - r \equiv 8(\text{mod } 23)$ і $C = 1$.

Раніше було встановлено, що якщо $b_{k+1} - r \equiv 8(\text{mod } 23)$, то помилка могла б статися або в 3-му, або в 14-му розряді, причому 1 змінилася на 0. Порівнюючи розрахунки $C = 1$ з розрахунками в табл. 3, можна бачити, що помилка могла б статися лише в 14-му розряді, або $2^{14} \equiv 4(\text{mod } 5)$ і лише зміна в ньому 1 на 0 могла б призвести до остачі 1 по модулю 5. Зміна 1 на 0 в 33-му розряді привела б до $C = 2$. Таким чином у вказаному прикладі необхідно в 14-му розряді замінити 0 на 1.

На рис. 1 представлена блок-схема алгоритму виявлення і виправлення помилок.

2. Технологічні особливості об'єктів впровадження

Інформація у вигляді 30-розрядних кодових слів M (рис. 2) поступає з каналу зв'язку в ЕОМ, де відбувається їх розділення на інформаційну частину і остачу "в" за породжуючим модулем (n, k) – коду (оператор 1).

Обчислюються залишки $N_{ik}r$ і n по модулях 23 і 5 (оператори 2, 3). Якщо $r = 0$ і $n = 0$, то виробляється перехід до програми декодування інформації (оператори 5, 6) інакше виконується програма виявлення і виправлення помилок. Визначаються адреси розрахунків A_j , порівнюємо їх з Δr за модулем 23 (оператори 10, 11, 12, 13, 14), де A_j – адреси масиву розрахунків 2^k за модулем 23. Після цього визначаються адреси B_b розрахунків, порівняних з 2^k за модулем 5, де B_b – адреса масиву розрахунків 2^k за модулем 5 (оператори 17, 18, 19, 20, 21). Порівнюючи між собою відносні адреси $2^k(\text{mod } 23)$, порівняних з Δr , визначається номер розряду "С", в якому виникла помилка (оператори 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28).

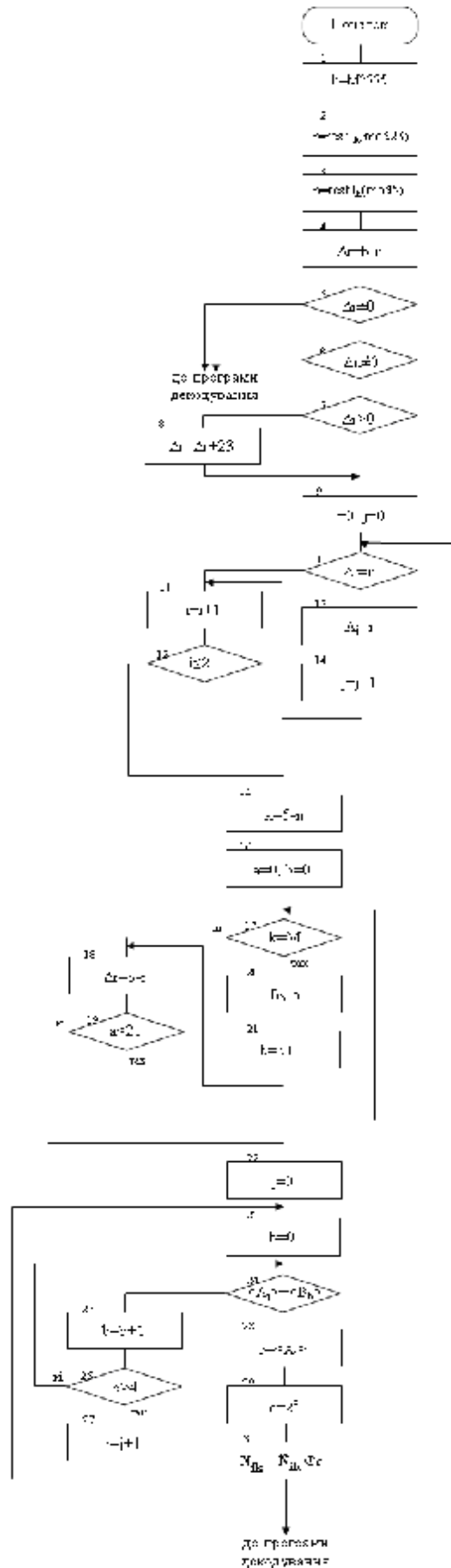


Рис. 1. Блок-схема алгоритму виявлення та виправлення помилок

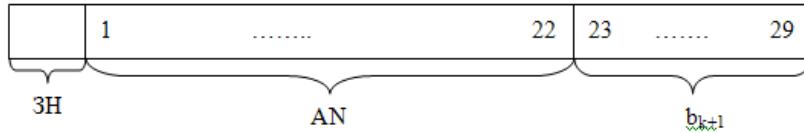


Рис. 2. Структура вихідного коду

Після визначення номера спотвореного розряду, відбувається виправлення помилки в слові \tilde{N}_{ik}

$$N_{ik} = \tilde{N}_{ik} \oplus 2^e \text{ (оператори 29, 30)}$$

і управління передається підпрограмі декодування інформації.

Отриманий алгоритм реалізований на ЕОМ "Наїрі- 2" і дав необхідні результати по виявленню і виправленню помилок при декодуванні.

При надходженні інформації на ЕОМ, розміщеної на центральному диспетчерському пункті, вирішуються завдання обробки даних:

1. Виявлення і виправлення помилок прийнятої інформації.
2. Декодування інформації.
3. Статистична обробка з метою здобуття кореляційних, регресійних і спектральних характеристик.
4. Оптимізація режимів буріння і видача рекомендацій операторові на буровій.
5. Прогнозування аварійних ситуацій.

В даному параграфі вирішуються перші два завдання обробки інформації. При надходженні інформації в ЕОМ починає роботу програма виявлення і виправлення помилок. Після її виконання управління передається програмі декодування інформації.

При декодуванні інформації в початковий момент визначаються розрахунки b_{ij} з $N_k(b)$ по модулях кодування P_j

$$b_{ij} = \text{res}(N_i(b)(\text{mod } P_j)),$$

потім обчислюються ординати u_{ij} по поточних значеннях вирахувань.

Якщо прийнятим по каналу зв'язку є код $N_i(a)$, то ординати обчислюються за формулою:

$$y_{ij} = a_i P_j + b_{ij},$$

де $N_i(a)$ – рангове число.

Блок-схема програми декодування інформації, що поступає в стислому вигляді, наведена на рис. 3.

Після виконання програми виявлення і виправлення помилок, управління передається програмі декодування.

За допомогою оператора 1 визначається обчислення b_{i7} числа $N_k(\cdot)$ за модулем P_7 . Аналізуючи обчислення за допомогою умовного оператора 2, розрізняються числа $N_k(a)$ і $N_k(b)$. Якщо $b_{i7} = 0$, то число класифікується як $N_k(a)$, в інакшому випадку (вихід "ні" умовного оператора 2) число класифікується як $N_k(b)$.

Якщо прийшло число $N_k(a)$, то включається в роботу підпрограма обчислення рангів $\{a_j\}$ ординат u_{ij} . Управління передається операторові 3.

Операції виключення рангів $\{a_j\}$ за формулою

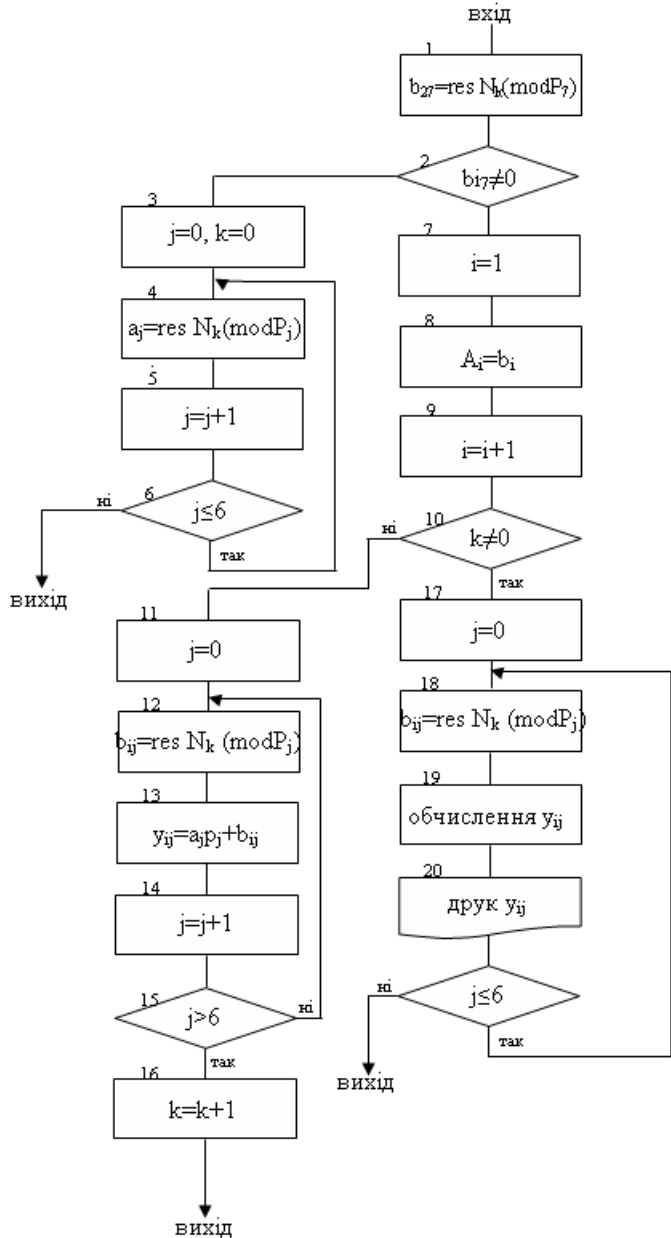


Рис. 3. Блок-схема програми декодування інформації

$$a_j = \text{res}N_k(a)(\text{mod}P_j).$$

і розміщення їх в спеціальному масиві елементів пам'яті ЕОМ реалізується операторами 3, 4, 5, 6.

Враховуючи, що масиву кодівих чисел $N_k(b)$ завжди передує рангове число $N_k(a)$, то з прибутком наступного числа $N_k(\cdot)$ управління передається правій гілці блок-схеми. При цьому 7, 8, 9 оператори організовують засилання розрахунків за модулем P_j в спеціальний масив клітинок, виділений для даних добового рапорту.

Процес виключення обчислень b_{ij} і обчислення ординат розгалужується умовним оператором 10.

Якщо ознака $k = 0$ (вихід "так" умовного оператора 10), тобто є першим кодівим числом, наступним за $N_k(a)$, то ординати y_{ij} обчислюється за формулою $y_{ij} = a_i P_j + b_{ij}$ за допомогою операторів 11, 12, 13, 14, 15. Після виконання цих операторів управління передається (вихід "ні" умовного оператора 15) операторові нарощування ознаки k на 1 і далі програмі виявлення і виправлення помилок.

Якщо при приході кодівого числа $N_k(b)$ $k \neq 0$ (вихід "ні" умовного оператора 10), то обчислення ординат y_{ij} проводиться за формулою (3.3) за допомогою операторів 17, 18, 19, 21, 22. Після виконання цієї гілки програми, управління передається (вихід "ні" умовного оператора 22) програмі виявлення і виправлення помилок.

Виведення шести вимірюваних параметрів на цифровий друк здійснюється оператором 20, у вигляді таблиці, вигляд якої показаний на рис. 3.

Висновки

Таким чином алгоритм виявлення і виправлення помилок і алгоритм декодування дозволяють виключати ординати вимірюваних процесів розшифровкою послідовності чисел $N_k(\cdot)$ відновлювати інформацію при збоях або перешкодах в каналах зв'язку, і так само виводити її на цифровий друк.

У спільному випадку обчислювальний засіб може бути укомплектований набором стандартних програм для вивчення перешкодостійкості каналу зв'язку, аналізу збоїв передаючих і приймаючих пристроїв, статистики розподілу відмов, а також визначення необхідної частоти передачі опорних кодів $N_k(a)$ залежно від зміни зовнішніх умов. Розроблені алгоритми випробовувались на технологічних об'єктах [3].

Література

1. Дадаев Ю.Г. Теория арифметических кодов. - М.: Радио и связь, 1981. – 272 с.
2. Николайчук Я.Н., Процюк В.Р., Ширмовський Г.Я. Эффективное кодирование суточного рапорта бурового мастера для формализованого ввода в ЭВМ. – М., 1986. – 256 с.

Надійшла 23.12.2009 р.

УДК 621.3.049.771.14

Н.Г. ШИРМОВСЬКА, К.Г. ШИРМОВСЬКА
Івано-Франківський національний університет нафти і газу

ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ ЗА ПАРАМЕТРАМИ ВІБРАЦІЇ

У статті пропонується розробка алгоритму діагностування, а також дається оцінка стану газоперекачувального агрегату за параметрами вібрації за допомогою експертної системи. Також розглянуті правила побудови експертних систем зі змінними величинами. Визначення технічного стану агрегату по вібраційних параметрах виробляється як за змістом відповідної інформації в момент часу, так і на основі аналізу зміни її в часі.

The paper proposed the development of diagnostic algorithms and assesses the state of gas compressor units for vibration parameters by the expert system. Also consider rules of construction of expert systems with variables. Definition of the technical condition of the unit to vibration parameters is made as to the content of relevant information in time and based on analysis of changes in time.

Ключові слова: діагностика, експертна система.

Вступ

Надійність роботи газоперекачуючого агрегату (ГПА) залежить від ряду факторів, в тому числі і від вібрації, яка згубно відбивається на його технічному стані. При вібрації окремі деталі та вузли піддаються впливу знакозмінних навантажень. Це призводить до підвищеної напруженості, в результаті чого

знижується міцність деталей і в кінцевому випадку може наступити руйнування.

Таким чином забезпечення якісного контролю вібраційного стану ГПА за допомогою експертної системи дає можливість зменшити витрати на проведення технічних оглядів та планово-попереджувальних ремонтів, збільшити строки експлуатації технологічного обладнання, а також за рахунок своєчасної сигналізації про наявність дефектів, зменшити руйнування та фізичний знос механізмів.

Алгоритм діагностування ГПА за допомогою експертних систем

Основним елементом, з яким оперує експертна система (ЕС), є функція двох змінних, яка задана на регулярній сітці (полі). У вигляді полів представляються значення амплітуд в контрольних точках досліджуваної структури і сам діагноз діагностування ГПА.

Формовані системою значення амплітуд в контрольних точках описують локальні особливості середовища діагностування в околах вузлів. Значення амплітуд в контрольних точках вибираються і кодується спеціалістами так, щоб поле шуканого діагнозу могло бути з достатньою точністю функції полів цих ознак. Основні засоби системи призначені для того, щоб допомогти спеціалісту знайти і проаналізувати дану діагностуючу функцію і одержане поле діагностування.

Для знаходження функції діагностування використовується вибірка з гармонік, для якої даються оцінки діагностування. У вибірку входять вибрані точки, і точки по яких є додатковою інформацією стосовно діагнозу. Точки вибірки повинні по можливості рівномірно заповнювати оцінку (механічну причину) дефекту і мати рівну представленість для різних значень діагностуючого дефекту.

Оцінки діагнозу в точках вибірки роблять експерти. Спеціалісти, що приймають участь в експертизі, дають оцінки незалежно одне від одного. При оцінюванні враховуються зареєстровані події або досліджені об'єкти ГПА, відомості про діагностуюче явище і знання про особливості дефекту і тенденції оцінки, що досліджується.

Як оцінки можуть використовуватися зареєстровані значення діагнозу. Проте в ряді випадків відмова від експертних оцінок і формальна заміна їх даними про зареєстровані спостереження збіднюють вхідну інформацію і можуть суттєво погіршити результати діагностування.

Діагностуюча функція $FC(x, g)$, де x – вектор ознак; g – вектор оцінюваних параметрів, шукають в деякому наперед вибраному класі функцій виходячи із умов найкращої оцінки діагнозу в точках вибірки.

Важливим питанням є оцінювання точності залежності діагнозу від значень амплітуд в контрольних точках. Відомі методи оцінювання точності вимагають введення ряду статистичних тверджень, що явно не впливають із задачі, яка розв'язується. Тому, як формальний показник точності рішення використовується величина середньої помилки оцінок діагнозу.

Величина середньої похибки не може служити єдиним критерієм правильності. При хорошому діагностуванні в середньому можуть існувати окремі зони, в яких діагноз сильно відрізняється від представлень експерта. В результаті аналізу одержаних розбіжностей спеціаліст повинен дати діагностичну інтерпретацію одержаного діагнозу і діагностичної функції, а також прийняти рішення про необхідність корекції моделі діагностованого дефекта. При цьому може бути змінений вид функції діагностування, або внесені зміни в склад вихідних даних: введені або знайдені засобами системи додаткові поля ознак, змінено кодування ознак, додані додаткові точки вибірки і т.і. На кожному кроці ітерації спеціаліст формує модель діагностованого дефекту і підготовлює вхідні дані. Далі знаходиться діагностуюча функція. Функція інтерпретується як гіпотеза про шукану закономірність, що узгоджується з наявними знаннями і даними. Результати аналізуються і спеціаліст приймає рішення про необхідність виконання наступної ітерації.

ESTA – пуста експертна оболонка. В системі ESTA використовуються наступні типи даних:

- каталоги спектрів (значення амплітуд в контрольних точках);
- діагностовані дефекти, вихідні і одержані засобами системи поля за допомогою значень амплітуд в контрольних точках.

Знання експертів складаються із знань про механічну причину дефекту і знань про величину значення амплітуди в контрольній точці гармоніки спектру.

Знання про характер залежності між діагностичною величиною і ознаками дефекту носять якісний характер. Із загальних теоретичних положень або користуючись якісними моделями і емпіричними даними спеціаліст може визначити характер зміни діагностованої величини залежно від змін окремо кожної із ознак при умові незмінності решти. Ці знання використовуються для вибору значень амплітуд в контрольних точках, для розробки способів їх кодування, обґрунтування рекомендацій по обчисленню вторинних ознак засобами системи, а також для знаходження і аналізу діагностичної функції.

Результатами рішення є побудований діагноз і знайдена залежність діагностичної величини від ознак дефекту. Ціль аналізу полягає в тому, щоб обґрунтувати діагноз і прийняти рішення про спосіб його можливої корекції.

Відношення точок вимірювання – це одна із поіменованих таблиць. Ім'я таблиці (в даному випадку "Точка вимірювання") визначається змістовним відношенням. Ступінь відношення дорівнює кількості стовпців таблиці.

Як ефективні засоби збереження фактів використовуються правила зі змінними величинами. Змінні в правилах заміняють певну сукупність фактів. Розглянемо наступні правила:

Якщо

гармоніка $1 \geq 1.2$ і

гармоніка2 >= 0.54

то

розцентровка валів компресора і електродвигуна.

Якщо

гармоніка1 >= 21.08 і

гармоніка2 >= 0.498

то

Розцентровка валів редуктора і проміжного валу.

Через використання змінних ці правила можна об'єднати в одне:

Якщо

Точка вимірювання має характеристику X

і точка вимірювання має характеристику Y

то

дефект – Z.

Для правил із змінними будують реляційні таблиці, в яких містяться фактичні значення змінних.

Відомо, що доступна експерту інформація про нафтогазові об'єкти і взаємозв'язки між ними в загальному випадку є суттєво невизначеною. Тим не менше експерт все-таки здатний робити певні логічні висновки на основі цієї інформації.

Наші знання про реальний світ характеризуються неповнотою, неточністю і неузгодженістю. Застосування теорії нечітких множин робить можливим означення неточних нафтогазових об'єктів, як нечітких множин. Вона пропонує лінгвістичний підхід, що являє собою ефективне наближення нафтогазових текстів.

Точність існує тільки за допомогою абстракції. Абстракція може бути означена, як здатність людини розпізнавати і вибирати потрібні властивості явищ і об'єктів реального світу. Це призводить до побудови концептуальних моделей, що визначають абстрактні класи явищ і об'єктів. Тим не менше, в дійсності кожне явище, кожний об'єкт реального світу є унікальними.

Абстрактні моделі явищ і об'єктів реального світу такі, як математичні структури, рівності і висловлювання являють собою штучні конструкції. Вони являють собою ідеальні структури, ідеальні рівності, ідеальні висловлювання.

В нафтогазовій справі немає потреби розглядати мікроявища і мікрооб'єкти, щоб зіткнутися з проблемами неповноти, невизначеності і неузгодженості. Недостатня кількість інформації, її неточність і суперечлива природа є дуже важливим фактом.

Оцінка стану ГПА за допомогою розробленої ЕС

На рис. 1 показано як в середовищі ESTA розробленої експертної системи можна вибрати контрольну точку вимірювання.

На рис. 2 показано як в середовищі ESTA розробленої ЕС вводяться значення амплітуди вібрації гармонік по п'яти заданих підшипниках.

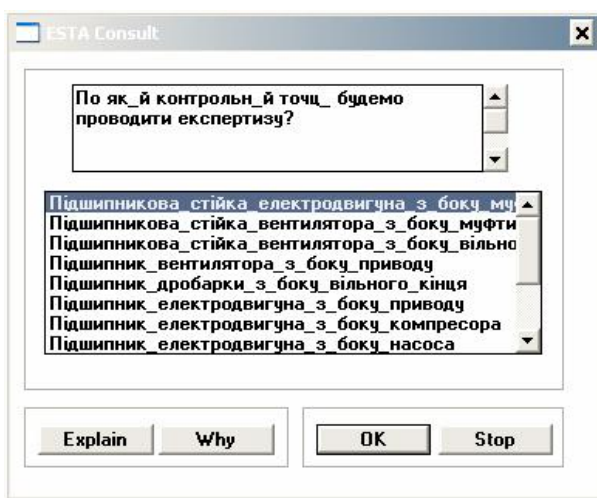


Рис. 1. Вибір контрольної точки вимірювання

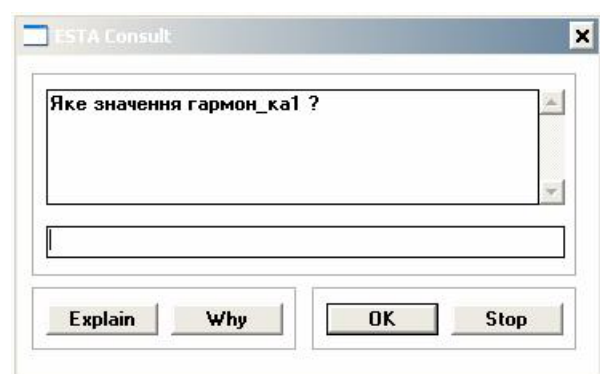


Рис. 2. Ввід значення гармоніки

На рис. 3, 4, 5, 6 показана оцінка стану ГПА за заданими точками вимірювання.

Точка вимірювання – підшипникова стійка електродвигуна з боку муфти, значення амплітуди по гармоніках – 1.5, 0.58, 0.5, 0.23, 0.02.

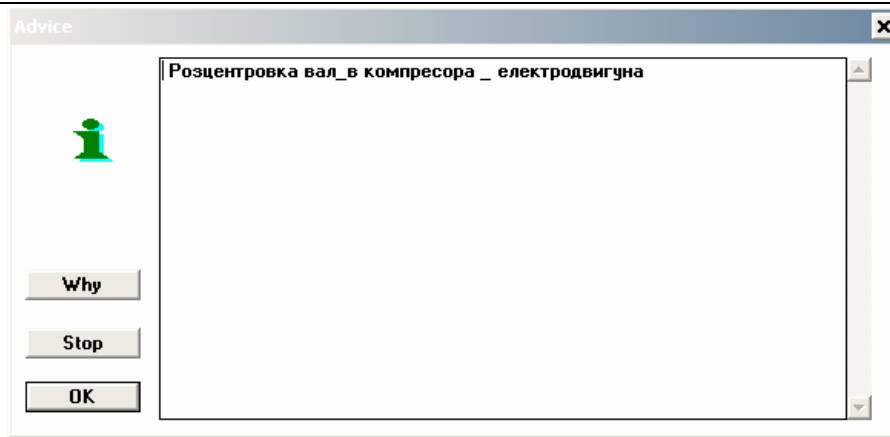


Рис. 3. Оцінка стану ГПА

Точка вимірювання – підшипникова стійка електродвигуна з боку муфти, значення амплітуди по гармоніках – 1.5, 0.58, 0.5, 0.23, 0.02.

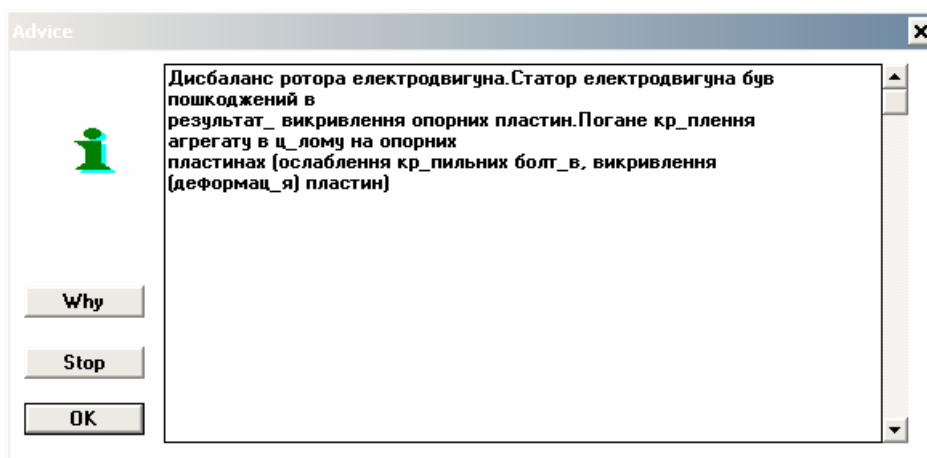


Рис. 4. Оцінка стану ГПА

Точка вимірювання – Корпус редуктора, значення амплітуди по гармоніках – 2.9, 2.5, 3.52, 3.46, 3.51.

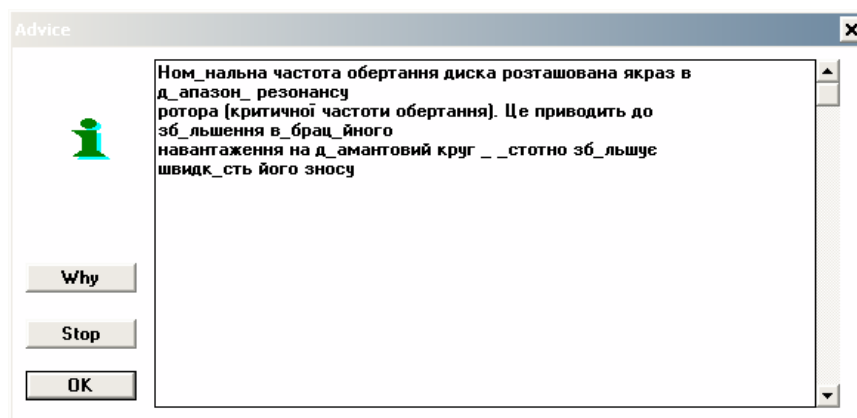


Рис. 5. Оцінка стану ГПА.

Точка вимірювання – підшипникова стійка вентилятора з боку вільного кінця, значення амплітуди по гармоніках – 0.15, 0.06, 0.37, 0.01, 0.02.

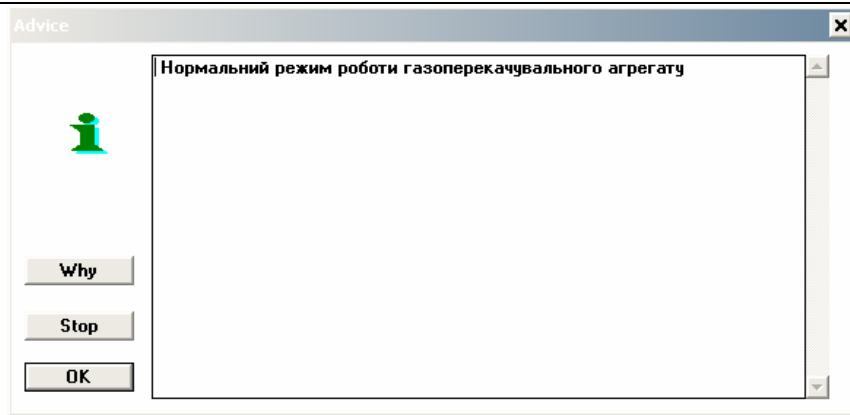


Рис. 6. Оцінка стану ГПА

Висновок

В даній роботі виконаний вибір середовища реалізації експертної системи – діагностування ГПА за параметрами вібрації. Виконано обґрунтування експертної оболонки ЕСТА. Використання вибраної методики діагностування дефектів з метою досягнення оптимальних умов визначення нормального стану агрегата дозволили зменшити кількість відмов та дефектів ГПА в окремих вузлах.

При розробці ЕС діагностування ГПА передбачена розробка загальної структури, виконана побудова бази знань та побудова внутрішніх правил. Проведена апробація стану ГПА за значеннями амплітуди в спектрі вузла ГПА. Розроблене програмне забезпечення показало свою працездатність в робочому діапазоні технологічних параметрів ГПА. Досліджені значення амплітуди в контрольних точках дозволили виявити ряд дефектів ГПА, що є важливим при експлуатації в нормальному робочому технологічному режимі. Експлуатація експертної системи дозволяє використовувати її в режимі порадики, шляхом виявлення дефекту чи визначення нормального режиму роботи ГПА.

Література

1. Обчислювальна техніка і її застосування. – Москва, 2002. – № 2.
2. Стефанюк В.Л. Експертні системи і їхнє застосування: Курс лекцій.
3. Мызин Н.И., Скварновский А.В., Чудиков Ю.П. Вибрация газоперекачивающих агрегатов. Л.: Недра, 1973. – 144 с.
4. Зарицкий С.П. Диагностика газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. – М.: Недра, 1987. – 198 с.
5. Ширмовська Н.Г. Проектування та реалізація експертних систем для технологічних об'єктів нафтогазового комплексу. – Хмельницький, 2009. – № 1 (126).

Надійшла 15.12.2009 р.

УДК 004.272, 519.171

А.О. МЕЛЬНИК

Національний університет „Львівська політехніка”

І.Д. ЯКОВЛЄВА

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ПОБУДОВА СТРУКТУРНОЇ МАТРИЦІ ПОТОКОВОГО ГРАФА АЛГОРИТМУ З ЙОГО ОПИСУ НА РІВНІ ТРІАД

В роботі запропоновано підхід до формального опису поточкових графів інваріантних до зсуву даних алгоритмів за допомогою структурної матриці. Запропоновано метод заповнення структурної матриці шляхом привласнення її елементам номерів тріад за певним правилом. Кількість вхідних даних визначає ширину структурної матриці, а її висота визначається в процесі аналізу тріад. Це дає можливість не будувати поточковий граф алгоритму, а одразу переходити до його формального опису.

In-process offered approach to the formal specification of potokovikh counts of to the change these invariant algorithms by a structural matrix. The method of filling of structural matrix is offered by an appropriation its elements of numbers of triads by certain rule. The amount of datains determines the width of structural matrix, and its height is determined in the process of analysis of triads. It enables not to build potokoviy count of algorithm, but at once to pass to his formal specification.

Ключові слова: структурна матриця, поточковий граф.

Вступ. Для успішного розв'язання задач на обчислювальних системах паралельної архітектури та

при проектуванні спеціалізованих процесорів доводиться використовувати принципово нові відомості про структуру алгоритмів на рівні зв'язків окремих операцій між собою [1, 2, 3]. Найкращим засобом для пошуку шляхів паралельного виконання алгоритмів та оцінки підходів до їх апаратної реалізації є потокові графи алгоритмів (ПГА) [1]. Але виникає дуже багато питань, що стосуються у першу чергу того, як будувати й вивчати граfi алгоритмів, та в якій формі повинні описуватися ПГА. Актуальною метою досліджень є розробка методів формального опису ПГА на основі аналізу тексту програм [1, 2, 3].

В роботі запропоновано підхід до формального опису поточкових графів інваріантних до зсуву алгоритмів структурною матрицею з опису алгоритму на рівні тріад. В структурну матрицю, яка описує ПГА, заносяться номери функціональних операторів (ФО) за певним правилом. Це дає можливість не будувати ПГА в процесі аналізу алгоритму, а одразу переходити до його формального опису, а ПГА використовувати тільки для забезпечення наочності графічного подання графів алгоритмів та їх верифікації.

Огляд літератури. Традиційно ПГА описуються наступним чином: спочатку на основі послідовної програми будується граф алгоритму, потім вивчаються його паралельні форми і виконується їх формальний математичний опис [2, 4]. Але такий підхід є досить трудомістким і ймовірність внесення помилок при побудові ПГА збільшується із збільшенням кількості вершин графа.

В роботі [5] запропоновано структурну матрицю, яка на відміну від однойменної матриці [6] зберігає обчислювальні і структурні характеристики ПГА такі як набір ФО, організацію з'єднань між ними, розподіл ФО по ярусах та інші. Ці характеристики об'єднані в множину $S(C, L, K, W)$, де $C = \{n_j\}$ – множина вхідних дуг ПГА, $j = \overline{1, n}$ – номер вхідної дуги ПГА, по яких поступають дані, n – кількість вхідних дуг ПГА; $L = \{l_i\}$, $i = \overline{1, l}$ – номер ярусу ПГА, l – кількість ярусів ПГА; $K = \{f_{ij}\} = \{0..k\}$ – множина функціональних операторів ПГА, $k \in N$, $i = \overline{1, l}$, $j = \overline{1, n}$ – номер функціонального оператора ПГА, $W = \{w_i, w\}$ – множина, яка визначає кількість ФО на кожному i -му ярусі і ширину ПГА – w . В цій же роботі [5] запропоновано заносити інформацію про ПГА в матрицю, кількість стовпців якої рівна кількості дуг, по яких надходять операнди в найширшому ярусі, кількість рядків рівна загальній кількості ярусів. Дуги в найширшому ярусі нумеруються від 1 до n , їх кількість на кожному ярусі є незмінною та дорівнює кількості вхідних та вихідних вершин, з яких (на які) поступають дані. Елементами такої матриці є номери ФО, які присвоєні кожній дузі, по якій на ФО надходять операнди.

Зважаючи на те, що більшість операцій є двомісними, а результат виконання операції часто необхідний для виконання більше як однієї наступної операції, тут використані ФО, які мають дві вхідні і дві вихідні дуги.

Структурна матриця F розмірністю $l \times n$, елементами якої є номери ФО, які присвоєні кожній дузі, по якій на ФО надходять операнди, має наступний вигляд:

$$F = \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & f_{ij} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{l1} & f_{l2} & \dots & f_{ln} \end{pmatrix},$$

де $\forall f_{ij} \in N$, $i = \overline{1, l}$, $j = \overline{1, n}$, l – кількість ярусів (рядків), n – загальна кількість дуг найширшого ярусу, по яких надходять операнди (стовпців).

Заповнюється структурна матриця F за правилом: на перетині i -го рядку і j -го стовпця ставиться номер відповідного ФО i -го ярусу, який виконує операцію над операндом, який поступає j -ю дугою ПГА $f_{ij} = k$, де k належить множині натуральних чисел, $k \in N$. Нумерація починається від 1 і призначається всім наступним ФО підряд в порядку зростання. Решта елементів такої матриці заповнюються нулями. Може бути два типи ФО: операційні, які передбачають виконання операцій, і перепускні, які передбачають передачу інформації з входу на вихід. Операційні ФО позначаються k , а перепускні – 0. Оскільки один ФО виконується над двома даними, які поступають різними дугами, то два елементи структурної матриці F i -го рядка приймають одне й те саме значення k . Якщо $f_{ij} = 0$, то в i -му ярусі над даними, які надходять j -ю дугою, не виконується жоден операційний ФО, а дані просто передаються на наступний ярус.

Постановка задачі. Оскільки потокові граfi алгоритмів є найкращим засобом для пошуку шляхів паралельного виконання алгоритмів та оцінки підходів до їх апаратної реалізації, актуальною є задача отримання інформації про обчислювальні і структурні характеристики ПГА з їх опису в вигляді програми шляхом безпосередньої побудови структурної матриці.

Відомий підхід до побудови структурної матриці поточкових графів інваріантних до зсуву алгоритмів.

Представимо ПГА обчислення виразу

$$y = (a+b) \times (c-d) / (e+f), \quad (1)$$

який зображений на рис. 1, а з допомогою ФО, які мають дві вхідні і дві вихідні дуги (рис. 1, б).

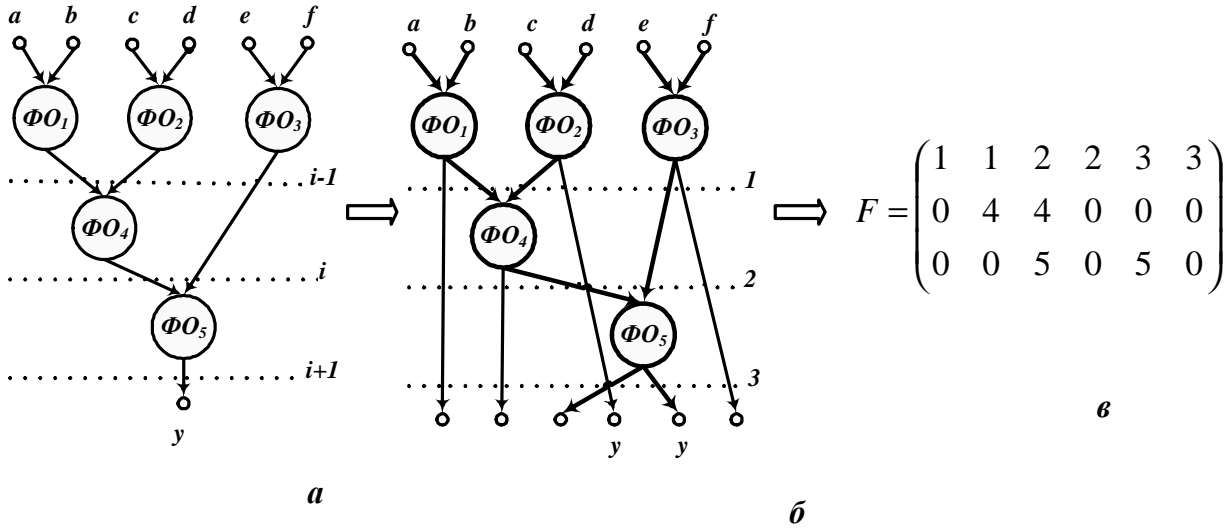


Рис. 1. ПГА обчислення виразу $y = (a + b) \times (c - d) / (e + f)$: а, б – потоковий граф алгоритму; в – структурна матриця; ФО – функціональний оператор

Вважаємо, що всі вхідні дані переміщуються по дугах ПГА одночасно. Якщо на шляху даних, які переміщуються дугами, зустрічається вершина, то дані приймають участь в операції, заданій вершиною ПГА, інакше – просто передаються на наступний ярус. В результаті перетікання даних між вершинами ПГА, і виконання операцій, заданих алгоритмом, на виході ПГА отримується результат $y = (a + b) \times (c - d) / (e + f)$. Результат обчислень міститься тільки на дугах, які виходять із останньої вершини даного ПГА – ФО₅. По всіх інших дугах перетікають результати проміжних обчислень

Структурна матриця F , яка описує даний ПГА (рис. 1, в), має розмір 6×3 , оскільки ПГА має шість вхідних дуг і три яруси. На першому ярусі ПГА знаходяться три вершини ФО₁, ФО₂, ФО₃. Кожна з них виконує операцію над операндами, які надходять 1-ю і 2-ю, 3-ю і 4-ю та 5-ю і 6-ю дугами відповідно. Тому перший рядок структурної матриці F буде мати вигляд (1, 1, 2, 2, 3, 3). На наступному ярусі дуги нумеруються в тому ж порядку, а оскільки на другому ярусі тільки одна вершина – ФО₄, на яку надходять друга і третя дуги, то другий рядок структурної матриці F буде мати вигляд (0, 4, 4, 0, 0, 0). Аналогічно третій рядок структурної матриці – (0, 0, 5, 0, 5, 0). Таким чином отримується структурна матриця F , яка зберігає характеристики ПГА обчислення виразу (1) (рис. 1, в).

Пропонований підхід до побудови структурної матриці потокових графів інваріантних до зсуву алгоритмів.

Нехай задана довільна програма. Пронумерувавши всі операції підряд, отримаємо вершини ПГА. Залежність між операціями, для опису зв'язків ПГА, дає представлення цих операцій у вигляді тріад (triple) [7]. Тріади включають три складові: операцію і два операнди. Наприклад, тріади можуть мати вигляд: $\langle \text{операція} \rangle (\langle \text{операнд1} \rangle \langle \text{операнд2} \rangle)$. Особливістю тріад є те, що один або обидва операнди можуть бути посиланням на іншу тріаду в тому випадку, коли в якості операнду даної тріади є результат виконання іншої тріади. При записі тріади послідовно нумерують для зручності вказування посилань одних тріад на інші. Наприклад, вираз (1) буде записаний наступним чином:

1. + (a , b)
2. - (c , d)
3. + (e , f)
4. * (^1 , ^2)
5. / (^4 , ^3)

Тут операції позначені відповідним знаком 1..5, а знак ^ означає посилання операнду однієї тріади на результат іншої. Тріади не залежать від архітектури обчислювальної системи, на яку орієнтована результуюча програма. Тому вони є машинно-незалежною формою внутрішнього представлення програми. Таке представлення операцій є зручним для проектування спеціалізованих процесорів різної архітектури.

Розглянемо метод заповнення структурної матриці шляхом занесення до неї номерів тріад. Даний метод для можливості подальшого опрацювання накладає на тріади наступні вимоги: 1) всі вхідні операнди, які в правій частині оператора присвоювання зустрічаються більше одного разу, перейменовуються за допомогою тимчасових змінних, а посилання на одну тріаду не може бути використане більше двох разів (виходячи із прийнятого ФО ПГА [5]); 2) кожному вхідному операнду ставиться у відповідність натуральне число $j = \overline{1, n}$. Тоді n – ширина структурної матриці. Також використовується додаткова проміжна таблиця

тріад, до якої заносяться тріади і номери їх вхідних операндів. Дана таблиця використовується для формування всіх рядків матриці крім першого, оскільки за її допомогою можна відслідкувати залежність за даними.

Алгоритм заповнення структурної матриці ПГА:

- Крок 1. Записати операції у вигляді тріад (рис. 2, а) за допомогою тимчасових змінних таким чином, щоб і всі операнди тріад зустрічалися не більше одного разу, а посилання на одну тріаду не було використане більше двох разів.
- Крок 2. Кожному вхідному операнду послідовно поставити у відповідність натуральне число $j = \overline{1, n}$ (рис. 2, б).
- Крок 3. Здійснити опис динамічної структурної матриці F розміром $n \times l$:
а) n - кількість стовпців і дорівнює кількості вхідних операндів.
б) $l = 1$, l – кількість рядків структурної матриці F .
- Крок 4. Вибрати із послідовності тріад тріаду, яка не містить в якості операндів посилань на інші тріади. (Операції, задані такими тріадами складають перший ярус ПГА і, відповідно, перший рядок структурної матриці.)
- Крок 5. Вибрати із тріади, отриманої на кроці 4, знак операції і під номером тріади занести її в таблицю відповідності номерів ФО виконуваним операціям (рис. 2, в).
- Крок 6. В таблицю тріад занести номер даної тріади і номера операнду 1 та операнду 2, яким поставлені у відповідність натуральні числа на кроці 2 (рис. 2, г).
- Крок 7. Елементом l го рядка структурної матриці F із індексами, які дорівнюють номерам операнду 1 та операнду 2 привласнити номер тріади (рис. 2, д).
- Крок 8. Вилучити дану тріаду із послідовності тріад.
- Крок 9. Якщо в послідовності тріад є тріада, яка не містить в якості операнду посилань на інші тріади, то перейти до кроку 4, інакше – до кроку 10.
- Крок 10. Якщо послідовність тріад не порожня, то перейти до кроку 11, інакше – закінчити виконання алгоритму.
- Крок 11. Збільшити l на одиницю: $l = l + 1$.
- Крок 12. Встановити вказівник на першу тріаду з послідовності тріад.
- Крок 13. Якщо операнди тріади, на яку вказує вказівник, вхідні дані або тріади, номер яких міститься в таблиці тріад (рис. 2, е), то перейти до кроку 14, інакше перейти до кроку 24.
- Крок 14. Вибрати із тріади, отриманої на кроці 13, операцію і під номером тріади занести її в таблицю відповідності номерів ФО виконуваним операціям (рис. 2, ж).
- Крок 15. В таблицю тріад занести номер тріади.
- Крок 16. Вибрати перший операнд тріади і перейти до кроку 17.
- Крок 17. Якщо вибраний операнд є вхідним операндом, то перейти до кроку 18. Інакше – до кроку 19.
- Крок 18. В структурну матрицю в рядок l в стовпчик з номером, який дорівнює номеру даного вхідного операнда занести номер тріади, а в таблицю тріад номер операнду.
- Крок 19. Якщо вибраний операнд є посиланням на тріаду, то перейти до кроку 20, інакше – до кроку 24.
- Крок 20. В таблиці тріад по номеру посилання на тріаду вибрати номер одного з двох її операндів і перенести його в поле таблиці тріад, яка аналізується (рис. 2, з).
- Крок 21. В структурну матрицю в рядок l в номер стовпчика, номер якого дорівнює номеру вхідного операнду тріади, на яку є посилання, записати номер тріади, на яку вказує вказівник (рис. 2, і).
- Крок 22. Якщо аналізувався перший операнд, то вибрати другий операнд тріади і перейти до кроку 17. Інакше перейти до кроку 23.
- Крок 23. Вилучити дану тріаду із послідовності тріад.
- Крок 24. Якщо це не остання тріада послідовності тріад, то зсунути вказівник на наступну тріаду і перейти до кроку 13. Інакше перейти до кроку 10.

Закінчивши виконання алгоритму, отримаємо заповнену структурну матрицю, яка описує ПГА даного алгоритму та таблицю відповідності номерів ФО виконуваним операціям. Наприклад, для фрагменту програми обчислення виразу (1) процес отримання структурної матриці та таблиці відповідності номерів ФО виконуваним операціям зображено на рис. 2.

Для фрагменту програми обчислення виразу (1) структурні матриці, отримані з ПГА (рис. 1, в) та із тріад (рис. 2, н) співпадають. Отже, запропонований метод дає можливість одразу отримувати структурну матрицю із представлення програми у вигляді тріад без побудови ПГА.

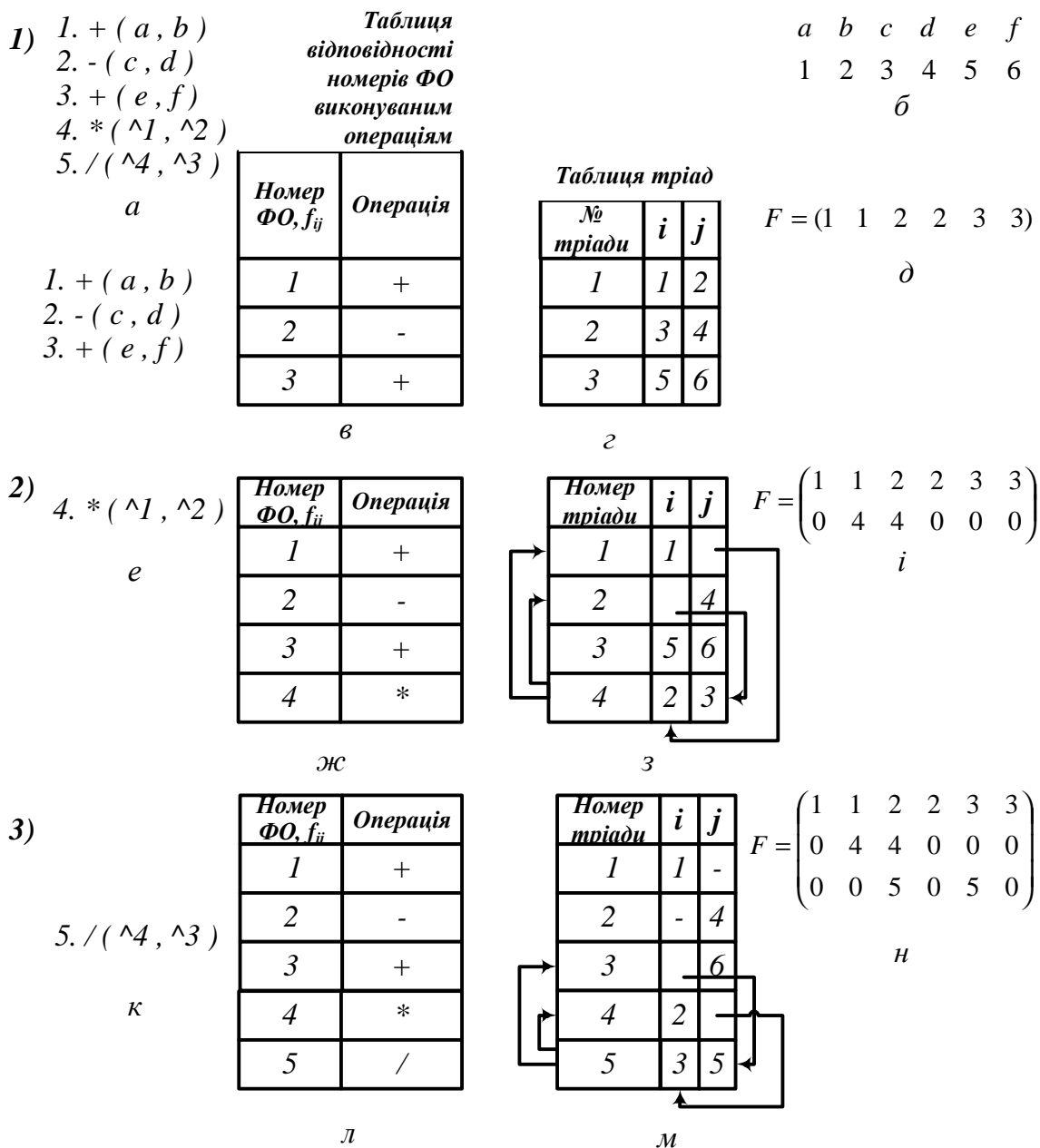


Рис. 2. Отримання структурної матриці та таблиці відповідності номерів ФО виконуваним операціям для виразу $y = (a + b) \times (c - d) / (e + f)$ представленого тріадами: 1) формування першого рядка структурної матриці: а) тріади; б) відповідність натуральних чисел входним операндам; в) таблиця відповідності номерів ФО виконуваним операціям; г) таблиця тріад; д) перший рядок структурної матриці; 2) формування другого рядка структурної матриці: е) тріада, яка містить посилання на інші тріади, що знаходяться в таблиці тріад; ж) таблиця відповідності номерів ФО виконуваним операціям; з) таблиця тріад; і) перші два рядка структурної матриці; 3) формування третього (останнього) рядка структурної матриці: е) тріада, яка містить посилання на інші тріади, що знаходяться в таблиці тріад; ж) таблиця відповідності номерів ФО виконуваним операціям; з) таблиця тріад; і) структурна матриця

Висновки:

1. Запропоновано підхід до формального опису потокових графів інваріантних до зсуву алгоритмів використовуючи структурну матрицю, який не вимагає побудови ПГА в процесі аналізу алгоритму.
2. Запропоновано метод заповнення структурної матриці шляхом занесення номерів тріад за певним алгоритмом. Кількість входних даних, взятих без повторення, визначає ширину структурної матриці, а її висота визначається в процесі виконання алгоритму аналізу тріад.
3. Описані алгоритми виконані як програмний модуль і реалізовані мовою C++.

Література

1. Мельник А.О. Спеціалізовані комп'ютерні системи реального часу. – Львів: НУ „Львівська політехніка”, 2002. – 60 с.
2. Воеводин В.В. Вычислительная математика и структура алгоритмов. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 112 с.

3. Анісімов А.В., Кулябко П.П., Терещенко В.М. Паралельні алгоритми в дослідженнях неперервних систем. – К.: РВЦ Київський університет, 1999. – 55 с.
4. Антонов А.С., Воеводін Вл.В. Новый подход к построению методов межпроцедурного анализа программ // Материалы международной конференции УкрПРОГ-98. – К. – 1998. – С. 77-84.
5. Мельник А.О., Яковлева І.Д. Подання потокового графа алгоритму структурною матрицею // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 4. – С.124-129.
6. Рабкин Е.Л., Фарфоровская Ю.Б. Кафедра высшей математики СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича Дискретная математика. Булевы функции и элементы теории графов // <http://dvo.sut.ru/libr/himath/w163rabk/>
7. Ахо А., Сети Р., Ульман Дж. Д. Компиляторы: принципы, технологии и инструменты. М.: Вильямс, 2001. – 768 с.

Надійшла 8.12.2009 р.

УДК 004.451

С.В. МОСТОВИЙ, О.Л. КОВТУН, І.В. ПРОКОПИШЕН

Хмельницький національний університет

МЕТОД ТА ЗАСОБИ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ ВЗАЄМОБЛОКУВАННЯ ПРОЦЕСІВ В ПЕРСОНАЛЬНОМУ КОМП'ЮТЕРІ

Розроблено метод прогнозування стану процесів в персональних комп'ютерах, який дає можливість передбачати настання ситуації взаємоблокування процесів на основі аналізу взаємодії сигнатур процесів.

The method of forecasting of a status of processes in personal computers is developed. It enables to provide approach of deadlock of processes based on analysis of interaction of their signatures.

Ключові слова: взаємоблокування процесів, прогнозування стану процесів.

Вступ

При паралельному виконанні задач можуть виникати такі ситуації, при яких два і більше процеси весь час знаходяться в стані блокування, очікуючи ресурсів системи, які в даний момент утримує інший процес, що, в свою чергу, теж знаходиться в стані блокування. Про такі процеси говорять, що вони знаходяться в стані взаємного блокування, "дедлока" (deadlock) або "клінчу" (clinch). В даний час розглядаються можливі компромісні рішення з погляду накладних витрат на включення засобів боротьби з взаємоблокуваннями і очікуваних від цього вигод. В деяких випадках ціна, яку доводиться платити за те, щоб зробити систему вільною від взаємоблокувань, дуже висока. В системах реального часу виникнення ситуації взаємоблокування може призвести до катастрофічних наслідків.

Постановка задачі

Для вирішення проблеми взаємоблокування відомо багато методів і алгоритмів [1-4]. Вони поділяються на наступні групи:

- Запобігання взаємоблокуванню, що полягає у забезпеченні невиконання однієї з чотирьох умов для взаємоблокування.
- Уникнення взаємоблокування. Полягає у тому, що б не задовільняти запит на ресурс, якщо його виділення може потенційно спричинити взаємоблокування.
- Виявлення взаємоблокувань. Полягає у тому, що б завжди задовільняти запити на ресурси, коли це можливо, і періодично перевіряти систему на наявність взаємоблокувань. Якщо взаємоблокування має місце, то вирішити проблему.
- Ігнорування взаємоблокувань. Має сенс, коли ймовірність виникнення взаємоблокування дуже низька.

Вагома частка взаємоблокувань припадає на взаємоблокування процесів, що виконуються в операційних системах (ОС) для персональних комп'ютерів (ПК). Проте, методи розв'язання задачі взаємоблокування процесів в ОС ПК мають ряд недоліків [4] (блокування роботи ОС, наявність циклів активного очікування, складність програмної реалізації для багатьох процесів, необхідність використання спеціалізованої команди процесора) і є складними для їх реалізації. Тому більшість сучасних ОС не містять засобів для вирішення проблеми взаємоблокування процесів.

Для усунення виявлених недоліків та розв'язання задачі взаємоблокування процесів в [5] запропонована модель прогнозування стану процесів в персональних комп'ютерах, яка базується на використанні сигнатур процесів.

До складу моделі входять наступні структурні частини (рис. 1):

- підсистема виявлення зміни стану процесу – призначена для контролю за поточними параметрами процесів, що вже присутні на ПК в певній ОС, та запуском нових процесів;
- підсистема визначення характеристик ОС даного ПК – призначена для контролю за зміною основних характеристик, що суттєво впливають на наближення процесів до стану взаємоблокування;
- підсистема побудови сигнатури процесу – призначена для побудови сигнатури процесу, що виконує перехід у стан готовності і ще не має сигнатури, та модифікації сигнатури процесів, що змінили

значення своїх параметрів та мають відповідні їм сигнатури;

- множина сигнатур процесів, що присутні на ПК в певній ОС – призначена для зберігання сигнатур процесів, які в даний момент виконуються на ПК;
- підсистема аналізу та логічного висновку – за допомогою множини правил взаємодії сигнатур процесів виділяє із множини сигнатур всіх процесів підмножину сигнатур процесів, що наближаються до стану взаємоблокування, і робить висновок про можливість продовження роботи цих процесів.

Для здійснення аналізу та логічного висновку використаємо нечітку експертну систему. Згідно з [5,6] включимо до складу підсистеми аналізу та логічного висновку наступні компоненти:

- підсистема фаззифікації вхідних параметрів – визначає ступені впевненості в тому, що вихідні лінгвістичні змінні отримують конкретні значення;
- підсистема висновку – на основі множини правил взаємодії сигнатур процесів та набору вхідних лінгвістичних змінних проводиться оцінка істинності для кожного правила та формується єдина нечітка множина;
- підсистема дефаззифікації вихідного параметру – перетворює нечіткий набір значень вихідної лінгвістичної змінної до точного значення.



Рис. 1. Модель процесу прогнозування стану процесів в персональних комп'ютерах

Прогнозування стану процесів в ПК

Розроблений метод прогнозування стану процесів в ПК включає наступні етапи:

- 1) виявлення змін в системі;
- 2) побудова сигнатури процесів;
- 3) визначення основних характеристик ПК та ОС;
- 4) приведення до нормованого вигляду вхідних параметрів та їх передача на підсистему аналізу та логічного висновку;
- 5) здійснення висновку про настання взаємоблокування процесів

На першому етапі виявляємо зміни, що відбуваються в системі, а саме виявляємо запити на створення нового процесу чи зміну параметрів вже існуючого процесу. Ця робота покладена на підсистему виявлення зміни стану процесу.

На другому етапі здійснюємо побудову (перебудова для вже існуючих процесів) сигнатури для виявленого процесу. Побудову сигнатури здійснимо наступним чином:

- 1) Перевіряємо, чи має процес раніше сформовану сигнатуру. Якщо так, то переходимо до дії 5
- 2) Отримуємо інформацію про процес, яка необхідна для формування його сигнатури.
- 3) Формуємо сигнатуру процесу. На цьому кроці відбувається перетворення значень необхідних параметрів процесу до заданого вигляду і утворення його сигнатури (рис.2). До необхідних параметрів входять наступні: ідентифікатор процесу (x_1 біт); ідентифікатор батьківського процесу (x_2-x_1 біт); ідентифікатор користувача (x_3-x_2 біт); пріоритет процесу (x_4-x_3 біт); кількість дескрипторів файлів, що використовуються процесом (x_5-x_4 біт); обсяг віртуальної пам'яті, що використовує процес (x_6-x_5 біт); час виконання процесу (x_7-x_6 біт); додаткові параметри процесу (x_n-x_7 біт).
- 4) Створену сигнатуру додаємо до множини сигнатур процесів.
- 5) Перевіряємо, чи змінились значення складових сигнатури процесу. Якщо так, то переходимо до дії 6, інакше переходимо до дії 7.
- 6) Модифікуємо сигнатуру процесу згідно з поточними значеннями складових.
- 7) Зберігаємо поточну множини сигнатур процесів.

Ці дії покладені на підсистему побудови сигнатури.

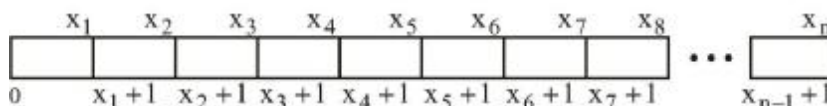


Рис. 2. Представлення сигнатури у машинному форматі

На третьому етапі визначаємо поточні характеристики ПК та ОС. Ці дії проводяться підсистемою визначення характеристик ПК та ОС. Оскільки взаємоблокування настає з причини конкуренції процесів за системні ресурси, то включаємо їх кількісні характеристики до бази знань експертної системи:

- кількість процесів користувача, присутніх на ПК в певній ОС;
- кількість процесів ядра системи, присутніх на ПК в певній ОС;
- обсяг ОП на ПК в певній ОС (загальний та вільної в даний момент);
- обсяг ЗП на ПК в певній ОС (загальний та вільної в даний момент);
- кількість пристроїв вводу-виводу інформації (загальна та вільних у даний момент);
- загальну кількість файлів на ПК в певній ОС.

На четвертому етапі передаємо множину сигнатур процесів та множину характеристик ПК та ОС для проведення аналізу на предмет настання ситуації взаємоблокування в системі. Ці дані подаються на підсистему аналізу та логічного висновку. Оскільки всі вхідні характеристики знаходяться у різних числових межах, що є незручним для опрацювання результатів, то на даному етапі проводиться нормування даних величин. Зведемо усі показники до меж $[0;1]$. Для цього необхідно виконати ділення показника на максимально допустиме значення цього показника в конкретній комп'ютерній системі (КС). Проте такий підхід до нормування показників не буде враховувати ступінь впливу даного показника на результат системи прогнозування стану процесів, оскільки для показників із однаковим нормованим значенням, але з різними поточними та максимально допустимими значеннями, буде різний вплив на КС. Тому необхідно при нормуванні враховувати максимально допустиме значення показника. Для цього нормування показників проведемо за наступною формулою:

$$P_n = 1 - \frac{P_d + P_m}{P_d \cdot P_m}, P_d \neq 0, \quad (1)$$

де P_n – черговий нормований показник;

P_d – поточне значення показника в конкретній КС;

P_m – максимальне значення показника в конкретній КС.

Такий підхід до нормування показників дозволяє врахувати ступінь впливу даного показника на результат системи прогнозування стану процесів.

На п'ятому етапі відбувається аналіз взаємодії процесів на основі аналізу їхніх сигнатур та характеристик ПК та ОС і здійснюється висновок про настання ситуації взаємоблокування процесів. Для здійснення даних дій використовується нечітка експертна система [6]. На рис. 3, 4а, 4б, 4в представлено результати моделювання у системі MatLab 6.1.

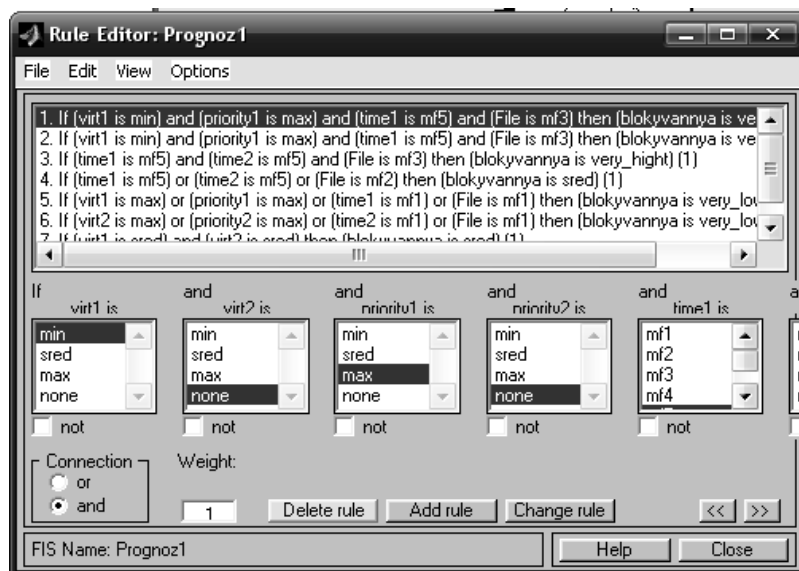


Рис. 3. Множина правил нечіткої підсистеми аналізу та логічного висновку

Позначимо через U множину всіх можливих сигнатур процесів (універсум). Виділимо множину сигнатур процесів, що є активними в даний момент в КС і позначимо її через A ($A \subset U$). Процеси, що є активними в даний момент, можна розділити на 2 підмножини: процеси, запущені користувачем, та процеси, запущені ядром системи. Отже, множину A можна розбити на дві підмножини: K та S ($K \subset U, S \subset U, K \cup S = A$). Всі перераховані множини належать до чітких. Їх характеристична функція приймає 1, якщо елемент належить множині, і 0 в протилежному випадку.

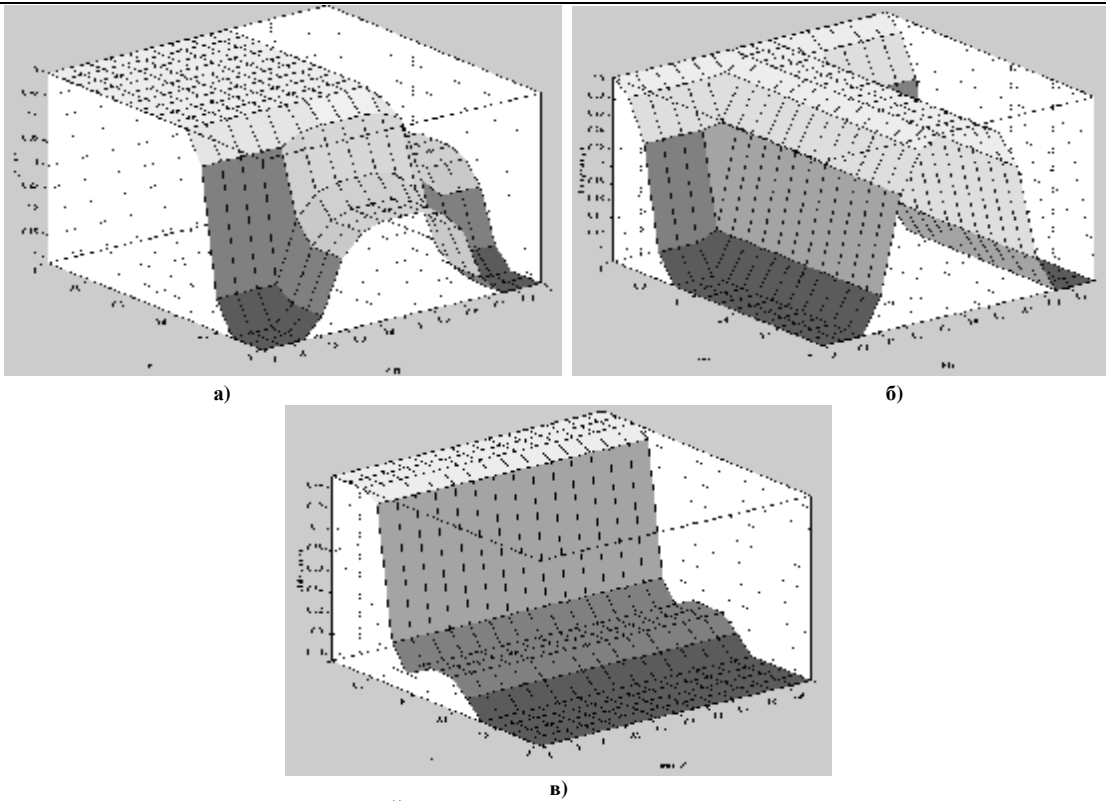


Рис.4. Ймовірність настання взаємоблокування

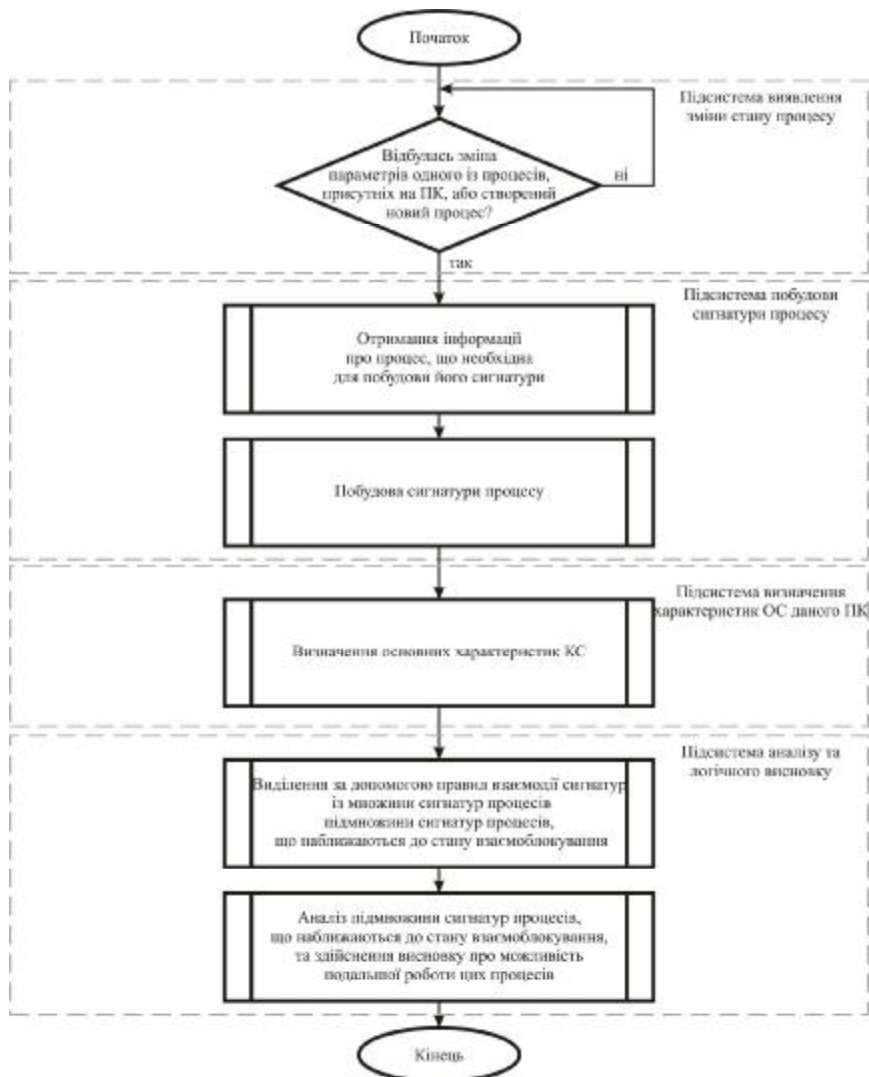


Рис. 5. Алгоритм визначення стану процесу

При наближенні стану блокування процесів в КС із множини А можна виділити підмножину А* сигнатур процесів, які найімовірніше призведуть до цього стану. Відповідно множини А* також можна розділити на 2 підмножини: К* - множина процесів, запущених користувачем, які ймовірно призведуть до стану блокування, та S* - множина процесів, запущених ядром системи, які ймовірно призведуть до блокування ($A^* \subset U, K^* \subset U, S^* \subset U, K^* \cup S^* = A^*$). Множини А*, К*, S* є нечіткими, оскільки сигнатури процесів входять у них з певними ймовірностями.

Якщо новий процес за висновком системи не призводить до взаємоблокування, то йому дозволяється виконання на ПК і його сигнатура додається до бази сигнатур працюючих процесів. В протилежному випадку система виявляє множину процесів, які наближаються до стану взаємоблокування, та приймає рішення, який із процесів зняти із виконання.

Послідовність наведених вище дій можна подати наступним алгоритмом (рис. 5):

Для оцінки ефективності розробленого методу проведено його порівняння з відомими методами уникнення ситуації взаємоблокування процесів. При порівнянні до уваги були взяті основні недоліки існуючих методів. Проведене дослідження показало, що у розробленому методі вирішується частина суттєвих недоліків відомих методів уникнення взаємоблокування. Результати дослідження подані в табл.1. Для оцінки ефективності розробленого методу було реалізовано програмне забезпечення під ОС сімейства Linux за даним методом і за алгоритмом банкіра [7]. Результати дослідження подані в табл.2

Таблиця 1

Результати порівняння розробленого методу та відомих методів

№ п/п	Параметр для порівняння	Назва методу								
		Забора на переривання	Строге чередування	Алгоритм Деккера	Алгоритм Петерсона	Алгоритм банкіра	Семафори	Монітори	М'ютекси	Прогнозування стану процесів
1	Складність реалізації для 2 і більше процесів	ні	ні	так	так	так	ні	ні	ні	ні
2	Прив'язка до кількості та видів ресурсів ПК	ні	ні	ні	ні	так	ні	ні	ні	ні
3	Активне очікування	так	так	так	так	так	так	ні	ні	так
4	Необхідність підтримки на рівні компіляторів	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні	так	ні
5	Наявність спеціалізованої команди процесора	ні	ні	ні	ні	ні	ні	так	ні	ні
6	Зниження продуктивності роботи обчислювальної системи	ні	так	ні	ні	ні	ні	ні	ні	ні
7	Блокування роботи операційної системи	так	ні	ні	ні	ні	так	ні	ні	ні
8	Спосіб реалізації методу	апаратний	програмний	програмний	програмний	програмний	програмний	програмний	програмно-апаратний	програмний

Таблиця 2

Результати порівняння програмного забезпечення за розробленим методом та алгоритмом "банкіра"

№ п/п	Параметр для порівняння	Алгоритм "банкіра"	Розроблені алгоритми
1	Складність реалізації для 2 і більше процесів	так	ні
2	Прив'язка до кількості та видів ресурсів ПК	так	ні
3	Завантаження центрального процесора	12-14%	15-18%
4	Кількість виявлених ситуацій взаємоблокування	5 з 10	9 з 10

Висновок

Розроблений метод прогнозування стану процесів в персональних комп'ютерах дає можливість передбачати взаємоблокування процесів на основі аналізу взаємодії сигнатур процесів та усуває основні

недоліки відомих методів, зокрема не потребує спеціалізованої команди процесора, не допускає блокування роботи ОС, є простим у реалізації для багатьох процесів під різні типи операційних систем.

Літератури

1. Coffman E.G., Elphick M.J., Shoshani A. System deadlocks // Computing Surveys, Vol.3, No.2, June 1971. – Pages: 67 – 78.
2. Nima Kaveh, Wolfgang Emmerich. Deadlock detection in distribution object systems // Software Engineering Notes, Vol.26, No.5, September 2001. – Pages: 44 – 51.
3. Saddek Bensalem, Jean-Claude Fernandez, Klaus Havelund, Laurent Mounier. Confirmation of deadlock potentials detected by runtime analysis // International Symposium on Software Testing and Analysis – Portland, Maine, USA, 2006. – Pages: 41 – 50.
4. Савенко О.С., Кльоц Ю.П., Мостовий С.В. Дослідження та аналіз блокування процесів в комп'ютерній системі // Вісник ХНУ – 2007. – №3. - Т. 1. – С.248-251
5. Савенко О.С., Мостовий С.В. Модель прогнозування стану процесів в комп'ютерній системі // Радіоелектронні і комп'ютерні системи – Харків: ХАІ, 2008. - №5 (32). – С.109-115
6. Мостовий С.В. Система прогнозування стану процесів в персональному комп'ютері // Сборник трудов VIII международной конференции "Интеллектуальный анализ информации" (ИАИ-2008) – Киев: Просвіта, 2008. – С.308-314
7. Мостовий С.В. Алгоритми і програмні засоби прогнозування стану процесів в персональному комп'ютері // Вісник ХНУ – Хмельницький: ХНУ, 2008. – №5. – С.124-130

Надійшла 17.12.2009 р.

УДК 621.515

В.В. СЛАВІН

Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ТУРБОКОМПРЕСОРІВ

В статті розглянуто основні причини виникнення несправностей ротора турбокомпресора та їх вплив на стан робочих поверхонь вала ротора. Проаналізовано сучасні способи відновлення робочих поверхонь вала ротора, їхні переваги та недоліки. Наведено апробований технологічний процес відновлення ротора методом ремонтних розмірів.

In the article principal reasons of origin of disrepairs of rotor of turbo-compressor and their influence are considered on the state of workings surfaces of vala rotor. The modern methods of proceeding in the workings surfaces of vala, their advantages and failings, are analysed. The technological process of proceeding in a rotor is resulted by the method of repair sizes.

Ключові слова: ротор турбокомпресора, робочі поверхні, несправності ротора, умови технічної експлуатації, спрацювання, знос, способи відновлення.

Турбокомпресор є агрегатом, який перетворює кінетичну енергію відпрацьованих газів в обертовий момент коліс ротора (40 – 250 тис. об/хв⁻¹), одне з яких подає стиснуте повітря до циліндрів двигуна, в результаті отримуємо більшу потужність двигуна, меншу витрату пального, а відпрацьовані гази мають меншу кількість шкідливих речовин, які надходять в атмосферу із випускного трубопроводу. В разі порушення роботи систем двигуна та недотримання правил і умов експлуатації турбокомпресорів виникають несправності. Несправності виникають внаслідок збільшення радіальних та осьових зазорів в спряжених деталях (вал ротора – втулка підшипник), якщо їх вчасно не виявити, тоді будуть мати місце граничні пошкодження деталей турбокомпресора, які зменшать ймовірність використання в подальшому переваги турбокомпресора. Граничні зазори виникають через недостатню кількість масла на робочих поверхнях та неякісну його подачу, або масло забруднене абразивними частинками через неперіодичну заміну масла чи погану якість фільтрування. Забруднене масло призводить до абразивного зносу, що є результатом ріжучої або дряпаючої дії на робочі поверхні деталі. В якості абразивних частинок виступають часточки двоокису кремнію (пісок), окисли алюмінію, які мають твердість значно більшу ніж метал пар тертя. Розмір частинок рівний з величиною зазору і коливається в межах 5...120 мкм у вигляді пилу. Забруднення дрібними частинками масла не виявляється візуально, проте викликає підвищений знос підшипників, коли абразивна часточка розташовується між двома поверхнями тертя. Через спрацювання циліндро-поршневої групи двигуна відбувається забруднення масла пальною сумішшю (хімічне забруднення), що викликає перегрів підшипників, зношення вала ротора турбокомпресора. Вся негативна дія вище несправностей внаслідок недотримання умов та правил технічної експлуатації призведе до спрацювання робочих поверхонь основних деталей та вузлів, виникнення необхідності капітального ремонту турбокомпресора. Капітальний ремонт турбокомпресорів, необхідний тому, що це агрегат, в якому не можна замінити лише одну деталь (кільце, втулку, ротор), спрацювання однієї деталі говорить про спрацювання решти деталей [1].

Головною проблемою при ремонті турбокомпресорів є ремонт ротора, із спрацьованими робочими поверхнями; в більшості випадків його замінюють на новий через відсутність спеціального обладнання та ефективного способу відновлення. Щоб вирішити дану проблему, в статті представлені способи ремонту ротора турбокомпресора. Ремонт ротора включає методи та способи відновлення робочих поверхонь вала ротора, які дають змогу повторно використовувати ротор, і зменшити тривалість знаходження турбокомпресора в ремонті. Для ремонту турбокомпресорів нині використовують поширений спосіб ремонту турбокомпресорів із заміною спрацьованих деталей на нові (оригінальні), стандартного розміру. Щодо доцільності ремонту ротора, зазначимо той факт, що новий ротор коштує 1/3 частину вартості нового турбокомпресора, а капітальний ремонт складе 50 – 80 % вартості нового турбокомпресора, а в деяких випадках і більше, тому що ротори в запчастини не надходять. Хоча це швидкий ремонт, але вимагає значних ресурсів для придбання запасних частин. Тому ми скористаємося шляхом використання способів, що відновлюють спрацьовані робочі поверхні вала ротора та корпусних деталей турбокомпресора. Варто зазначити, що турбокомпресор є високотехнологічною конструкцією, прецизійний агрегат, допуски на виготовлення та деформацію деталей знаходяться в межах 5 мкм [2].

На даний час, накопичено значний досвід ремонту роторів турбокомпресорів. Технологічний процес ремонту складається із способів відновлення, які забезпечують необхідний рівень експлуатаційних властивостей відновлених деталей. Відновлюваною частиною ротора є вал. Вал складається з робочих поверхонь під підшипник ковзання та з'єднаний зварюванням тертям колесом турбіни. Якщо колесо турбіни має пошкодження поверхні внаслідок потрапляння твердих сторонніх предметів (рис. 1), ротор одразу бракується.

При ремонті ротора, коли колесо турбіни в задовільному стані, ми можемо відновити вал ротора. Залежно від характеру дефекту, всі способи відновлення вала ротора можна розділити на дві групи: відновлення вала ротора із спрацьованими робочими поверхнями, і механічними пошкодженнями. До способів відновлення вала із спрацьованими поверхнями належить зварювання тертям, гальванічне нарощування покриттів, електроіскровий спосіб нарощування, механічна обробка. Механічні пошкодження вала ротора усуваємо пластичною деформацією (правка) [3].

Спосіб зварювання тертям тепер у світі, а особливо в країнах з високим рівнем розвитку промисловості, є одним із способів, технологічні процеси якого найбільш інтенсивно розвиваються. Суть зварювання тертям полягає в обертанні однієї деталі навколо іншої (рис. 3).

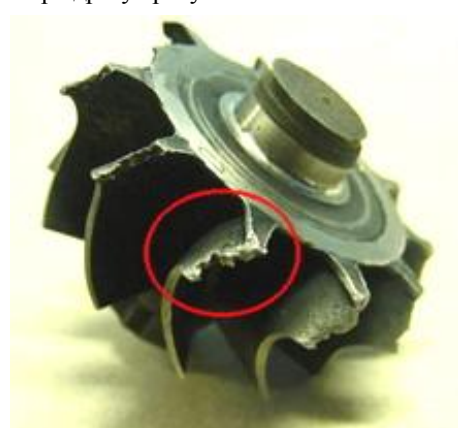


Рис. 2. Колесо турбіни

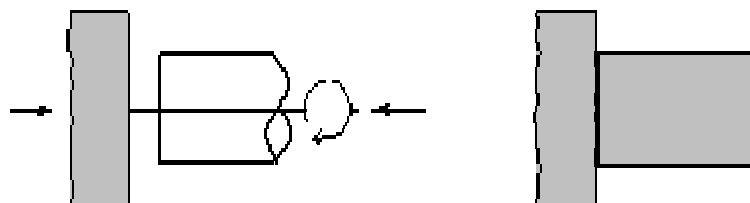


Рис. 3. Зварювання тертям в стик, заготовки та колеса турбіни

З'єднання колеса турбіни і заготовки відбувається в стик, на установці СТ110 (рис. 4). Обертальний та поступальний рух здійснює циліндрична деталь, а заготовка закріплена в рухомій бабці. З протилежної сторони установки, на одній осі із заготовкою в бабці закріплено колесо турбіни, вона закріплена нерухомо. Подача рухомої заготовки може бути як ручна або автоматична. В процесі роботи установки, під дією сил тертя (між поверхнею колеса та заготовки) відбувається нагрівання кромки деталі до температури плавлення (950-1300 °С), розташовані на поверхні півки оксидів руйнуються, та видавлюються із зони контакту в радіальному напрямку. В результаті виникає пластична деформація, очищені від оксидів поверхні деталей зближуються до виникнення міжатомних зв'язків, і металургійних реакцій, що супроводжуються взаємною дифузією атомів. Під дією стискаючого зусилля відбувається витіснення металу із стику, і зближення зварюваних поверхонь (осаджування). Коли виділяється тістоподібний матеріал з зони стику, блокування з нерухомою деталлю припиняється, і продовжується спільне обертання обох деталей. Обертання припиняють, і деталі витримують до повного охолодження [4].

Після зварювання тертям, вал ротора рекомендується перевірити на скручування і на розрив. Перевірку на скручування проводимо на стенді КИ-24605. Момент сили 150...200 Н/м (15...20 кгс/м). Перевірку на розрив проводимо пресом П-6324. Розривне зусилля не менше 180-10³ Н (18-10³ кгс). Перевірку піддається 100 % валів ротора. Далі виконуємо механічну обробку деталі, знімаємо грат з заготовки, що утворився під час зварювання тертям. Надаємо валу необхідні розміри, виконуємо фаски, надаємо робочій поверхні вала шорсткості, згідно з технічною документацією на капітальний ремонт турбокомпресора. Після слюсарно-механічної обробки, робочі поверхні вала ротора гартуємо СВЧ на глибину 1...3 мм, з наданням твердості за шкалою HRC₃ не менше 52. Деталь піддаємо термічній обробці – відпуску, для зняття внутрішніх напружень після зварювання тертям. Перевіряємо якість зварювання,

тріщини що виявляються люмінесцентним контролем або через лупу 6-кратного збільшення, не допускаються. При зварюванні тертям, порівняно з електричним, витрати енергії зменшуються у 5...10 разів. Перевагами цього виду зварювання є екологічність, відсутність газовиділень і випромінювання [5].

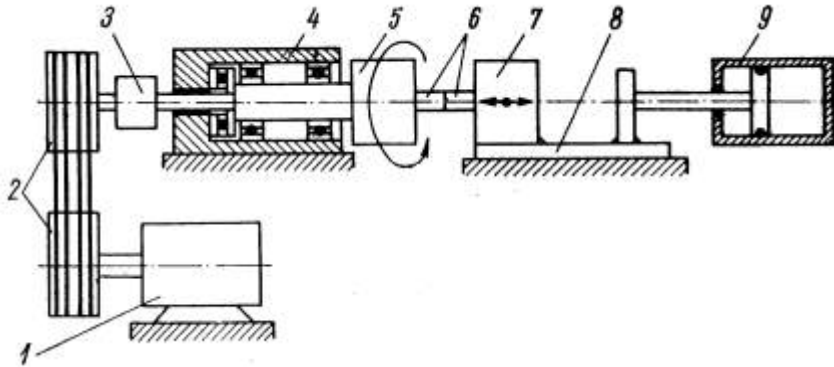


Рис. 4. Принципова конструктивна-кінематична схема установка СТ110 для зварювання тертям:

- 1- привід обертання шпинделя; 2 – пасова передача; 3 – фрикційна муфта для зчеплення шпинделя з приводним пристроєм; 4 – пристрій для гальмування шпинделя; 7 – два затискача для кріплення зварюваних заготовок; 5 – передня бабка з шпинделем що несе на собі обертаючий затискач 6; 8 – задня бабка з нерухомим затиском; 9 – пневматичні або гідравлічні циліндри, що забезпечують створення необхідного робочого (осьового) тиску машини

В ремонтному виробництві, при використанні методу гальванічних покриттів найчастіше використовують залізнення, і рідше – хромування, цинкування та нікелювання. Спосіб залізнення широко використовують при відновленні валів роторів турбокомпресорів. Нанесення гальванічного покриття на зношені поверхні вала ротора турбокомпресора є ефективним способом відновлення посадки. Катодом при цьому служить деталь, а анодом – металічна пластина. В якості анода застосовують заготовки із низько вуглецевої сталі, для отримання рівномірного покриття. Анод (заготовка) має повторювати форму катода (деталі). Відношення між анодною та катодною поверхнею S_a : $S_k = 1-2$. Спосіб залізнення характеризується добрими техніко-економічними показниками: витратні матеріали та аноди дешеві та недефіцитні; високий вихід металу по струму (85-95 %) та продуктивність – швидкість осадження заліза становить 0,2-0,5 мм/год.; товщина твердого покриття – 0,8-1,2 мм; можливість в широких межах регулювати властивості покриттів (мікротвердість – 1600-7800 МПа) залежно від його призначення обумовлює універсальність процесу; достатньо висока зносостійкість твердих покриттів, не поступаючись зносостійкості загартованої сталі. При залізненні застосовують гарячий (60-90 °С) електроліт, що дозволяє проводити залізнення з високою щільністю струму та високою продуктивністю. Перевагами методу гальванічних покриттів є відсутність термічного впливу на деталь, що викликає небажані зміни структури та механічних властивостей; отримання з великою точністю заданої товщини покриття, що призводить до зниження мінімуму припуску на наступну механічну обробку та її трудомісткості або зовсім виключення обробки; осадження покриттів із заданими непостійними по товщині фізико-механічними властивостями; одночасне відновлення великої кількості деталей, що зменшує трудомісткість та собівартість одиниці виробу; можливість автоматизації виробництва [6].

Метод ремонтних розмірів – це механічна обробка (шліфування) робочих поверхонь валів роторів турбокомпресорів. Відновлюють наявні дефекти: геометричну форму (задири, риски, еліпсність) під раніше встановлений розмір. Новий ремонтний розмір буде рівний номінальному розміру деталі, мінус сума величин зносу і припуску на обробку. Ремонтні розміри вала ротора можуть бути вільними або стандартними. Обробка поверхонь деталі під ремонтний розмір ефективна у випадку, якщо механічна обробка при зміні розміру не призведе до ліквідації термічно обробленого поверхневого шару деталі (1...3 мм, для вала ротора). Тоді у відповідальній деталі дефекти поверхні усуваються механічною обробкою до раніше заданого ремонтного розміру (наприклад, робочі поверхні вала ротора), а іншу (простішу і менш дорожчу деталь) замінюємо новою відповідного розміру (втулку). У цьому випадку з'єднання буде повернена первинна посадка (зазор), вал ротора має розміри відмінні від первинних, ремонтні розміри і допуски встановлює технічна документація на капітальний ремонт [7].

Відновлення деталей під ремонтні розміри характеризується простотою і доступністю, низькою трудомісткістю (у 1,5- 2,0 рази менше, ніж при зварюванні) і високою економічною ефективністю, збереженням взаємозамінюваності деталей в межах ремонтного розміру. Недоліки способу, збільшення номенклатури запасних частин і ускладнення організації процесів зберігання деталей на складі, комплектування і складання. У випадку вільних розмірів для досягнення початкового зазору в з'єднанні з поверхнею деталі, зазвичай, обробляють до видалення спотвореної геометричної форми, і виготовляють для з'єднання менш дорожчу деталь під цей розмір. Вал ротора турбокомпресора піддають механічній обробці (шліфування), втулку-підшипник виготовляють під розмір вала, з зазором втулки по валу 0,003...0,005 мм. У разі використання стандартного ремонтного розміру для досягнення початкового зазору в з'єднанні, поверхню більш дорожчої деталі обробляємо тільки до видалення слідів зносу, знімаємо ще деякий шар матеріалу з метою отримати необхідну посадку, із заздалегідь виготовленою менш дорожчою деталлю, яка має стандартний ремонтний розмір (вал ротора шліфують під ремонтний розмір і втулку виготовляють під цей ремонтний розмір). Таким чином, збирання з'єднань із вільними ремонтними розмірами завжди

пов'язана з підгонкою «по місцю», і її застосовують у випадках, коли важливо максимально зберегти деталь (ротор турбокомпресора), а виготовлення втулки не пов'язано з великими технологічними складнощами, та виявляється можливим в умовах індивідуального виробництва. В нашому випадку, ротор турбокомпресора є досить складною деталлю, він відновлюється одним із перелічених способів, а бронзовий підшипник (марки БрОС10-10) ротора виготовляється під ремонтний або вільний розмір, із забезпеченням необхідного зазору [7].

Технологія відновлення вала ротора механічною обробкою під ремонтний розмір складається із наступних операцій: підготовка вала ротора (перевірка та правка центрових отворів, усунення радіального биття ротора), вибір режиму шліфування, процес шліфування, фінішна операція. Даний спосіб та технологічний процес відновлення робочих поверхонь вала ротора, апробований на базі ПП «Громов» м. Хмельницький. Технологічний процес наступний: спочатку перевіряють центри вала ротора, які мають бути без задири, а поверхня має бути блискучою. Якщо центри ротора не задовільняють вимогам, їх нарізають на токарному верстаті. Теж саме роблять із канавками на втулці валу під ущільнюючі кільця, зі сторони колеса турбіни. Ці канавки, які мають спрацювання по ширині більше ніж вказано в технічній документації, проточують різцем під збільшену товщину кільця. Наступним кроком є визначення радіального биття поверхонь вала. Спершу вал ротора встановлюють у відповідні центри пристосування з мікронним індикатором (рис. 5), та визначають биття поверхонь вала ротора в чотирьох точках (в місцях посадки підшипника, в місцях посадки котушки), звіряючи отримані значення з допустимим в нормативно технічній документації на капітальний ремонт турбокомпресора [8]. У випадку коли радіальне биття поверхонь вала ротора в допустимих межах, тоді він надходить на операцію шліфування, а якщо биття поверхонь вала більше 0,007 мм, це вказує на недопустиму деформацію вала ротора. Тоді його необхідно правити із допомогою ручного пресу.



Рис. 5. Прилад ПБ-500М

Правлять вал з невеликим перегином (0,010...0,015 мм) і наступним зняттям напружень перегином в зворотній бік (рис. 6). Якщо вал поправлений, значення радіального биття в межах допустимого, необхідно виконати операцію старіння (нагрівають в муфельній печі до температури 180 °С, витримують 4 години, охолоджують з піччо), після чого знову треба проконтролювати биття, воно має бути не більше 0,005 мм. Радіальне биття поверхонь вала ротора виникає внаслідок несприятливих умов експлуатації турбокомпресорів, коли з'являються залишкові деформації: вигин, скручування, викривлення і вм'ятини вала [8].



Рис. 6. Процес правлення вала ротора ручним пресом

Після усунення биття робочих поверхонь вала відбувається операція шліфування вала ротора на круглошліфувальному верстаті, під ремонтний розмір. Щоб надати робочим поверхням правильної геометричної форми та однакових розмірів, використовуємо відповідні режими: повздовжня подача шліфувального круга 0,0025 мм, швидкість обертання шліфувального круга 35 м/с, швидкість обертання шпинделя 1500 об/хв, (режими процесу шліфування розраховані для ротора ТКР-7н1). Операцію шліфування виконують відповідним шліфувальним кругом марки 24А10ПС27 (карбід кремнія), із застосуванням охолоджуваної рідини (емульсола 5...8 %, кальцинованої соди 0,2 %, решта – вода). Вал ротора турбокомпресора встановлюють в центри круглошліфувального верстата, де відбувається його шліфування під наступний ремонтний розмір або відповідно до чистоти робочих поверхонь (знімають 0,10...0,15 мм) (рис. 7). Під час кругового зовнішнього шліфування з повздовжньою подачею, головний рух з встановленою швидкістю здійснює шліфувальний круг, ротор також обертається з певною швидкістю. Фінішною є операція полірування, яка призначена для кінцевої обробки вала ротора дрібнозернистим абразивом, зі зв'язкою (оливою, сумішшю воску, парафіну, скла з гасом) нанесеного на поверхню круга, диска або стрічки з м'якого еластичного матеріалу [8]. Полірування після шліфування надає робочим поверхням шорсткість 0,32 мкм робочої поверхні вала ротора. Полірування вала ротора виконується на

цьому ж верстаті абразивними шкурками із номером зерен 125...28 мкм, рис. 8. Шорсткість робочих поверхонь має бути не більше 0,32 мкм, а під масловідбивач і кільце ущільнювача – 1,25 мкм. Овальність і конусність поверхні валу під підшипник, не повинні перевищувати 0,005 мм. Після відновлення вала ротора допускається биття робочої поверхні 0,05 мм; биття поверхні під втулку ущільнювача не більше 0,05 мм [8].



Рис. 7. Операція шліфування ротора турбокомпресора ТКР-7 Н1



Рис. 8. Операція полірування вала ротора

До недоліків представлених методів відноситься висока трудомісткість процесів, необхідність складного та дорогого обладнання і оснащення. В зв'язку з тим, що покриття нанесені на вал, випробовують значну напругу від відцентрових сил, спостерігається їх сколювання і відшарування.

Спосіб ремонту турбокомпресорів Чернова В.И. полягає у відновленні вала ротора електроіскровим методом (спосіб нарощування), призначений не тільки для відновлення вала ротора, він може бути використаний при відновленні підшипників ковзання, корпусних деталей турбокомпресора, тобто він є універсальним. Технічний результат досягається тим, що в способі ремонту турбокомпресорів, що включає відновлення вала ротора електроіскровим методом і заміну зношених деталей на нові, вал ротора відновлюють середньо- і високовуглецевими сталями в механізованому режимі, на установках з енергією розряду 1,66-2,0 Дж, частотою обертання електрода 3000-3500 об/хв, подачею електрода 0,15-0,3 мм/об, частотою обертання золотника 8-12,5 об/хв, із зносом робочих поверхонь до 70 мкм на діаметр за один прохід. Вибір наплавочних електродів здійснюють на електроіскровій установці "Елітрон 22БМ", що забезпечує зазначені діапазони режимів. Встановлено, що мікротвердість покриттів, нанесених на вал ротора зі сталі 40Х сталлю 85, становить HV480-504, при вихідній твердості матеріалу вала HV445-452. Таким чином, електроіскровий метод дає змогу підвищити мікротвердість поверхонь пари тертя "вал ротор-втулка підшипника", тим самим створити умови для збільшення їх середнього міжремонтного ресурсу. Триботехнічні випробування відновлених електроіскровим методом пар тертя "вал ротора – втулка підшипника" показали, що їхній коефіцієнт тертя в 1,17-1,20 рази менше, навантаження до заїдання в 1,36-1,42 рази більше, а інтенсивність зношування в 3,82-7,16 рази нижча [9].

В даній роботі ми розглянули методи ремонту ротора турбокомпресора. Перерахували причини та несправності, які впливають на стан робочих поверхонь вала ротора і призводять до передчасного виходу з ладу турбокомпресора. Проаналізовано сучасні способи відновлення робочих поверхонь вала ротора, їхні переваги та недоліки. Описано технологічний процес відновлення вала ротора методом ремонтних розмірів при заміні втулки, даний спосіб є практичним та апробований на ремонтному підприємстві з індивідуальним виробництвом. Серед усіх способів ремонту турбокомпресора відновленням зношених деталей, перспективним можна назвати електроіскровий, який забезпечує 100 % технічний рівень, і підвищення середнього міжремонтного ресурсу турбокомпресорів. Експлуатаційні випробування відремонтованих турбокомпресорів з відновленням зношених деталей електроіскровим методом показали, що нижня границя прогнозованого середнього ресурсу становить 5600 годин, що вже вище за середній ресурс нових турбокомпресорів у два рази.

Література

1. Беднарский В.В. Организация капитального ремонта автомобилей: Учебное пособие – Ростов н/Д.: Феникс, 2005. – 592 с.
2. Карагодин В.И., Митрохин Н.Н. Ремонт автомобилей и двигателей Учеб. для студ. сред. проф. учеб. заведений. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 496 с.
3. Антонов В.И., Разумова Л.Н. Турбокомпрессоры тракторных и комбайновых дизелей: Технические требования на капитальный ремонт. – М.: ГОСНИТИ, 1988. – 54 с.
4. <http://turbotehsnab.ru>.
5. <http://www.oooass.com>.
6. <http://www.turbo-ufo.ru>.
7. www.dvigatel.astrakhan.net.
8. <http://www.rusturbocom.ru>.
9. <http://www.labstend.ru>.

Надійшла 21.12.2009 р.

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЇ МЕТИ ДЛЯ СИСТЕМИ АДАПТИВНОГО ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН ДОЛОТАМИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Стаття присвячена питанням розробки функції мети оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин долотами нового покоління.

The article is devoted the questions of development of goal of optimum process control of the boring drilling of oil and gas mining holes function the chisels of new generation.

Ключові слова: свердловина, адаптивне керування, буріння, моделювання, функція мети.

Вступ

Синтез алгоритмів оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин, побудованих на базі математичної моделі керованого об'єкта, і визначення функціонального зв'язку між критерієм оптимальності та незалежними змінними, тобто функції мети, є актуальною науково-практичною задачею у зв'язку з інтенсивним впровадженням в даний час бурових доліт нового покоління та комп'ютерно-інтегрованих технологій в нафтогазовидобувній галузі промисловості (1-5).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз літературних джерел (наприклад, [1-3]) показує недостатній об'єм проведених досліджень в контексті формування функції мети для системи адаптивного оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин долотами нового покоління.

Виділення невирішених частин

Вибір такого сполучення техніки обумовлений тим, що настала нова ера в процесі будівництва нафтових і газових свердловин, коли стало можливим буріння свердловин долотами нового покоління PDC, SUPER-PDC від першого метра до проектного вибою. Це веде до піднесення технології буріння свердловин на якісно новий рівень при бурінні в твердих абразивних породах, а також м'яких і середніх породах.

Метою даної статті є аналіз функціонального зв'язку між економічним критерієм оптимальності процесу буріння і незалежними змінними та створення функції мети системи оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин роторним способом долотами нового покоління.

Виклад основного матеріалу

Використання доліт нового покоління, які оснащені полікристалевими алмазними різцями PDC (Polycrystalline Diamond Cutter) виробництва провідних світових марок: DDI, Reed Hycalog, DPI, Baker Hughes, Smitk International, King Dream, Security та ін.; має суттєві переваги в порівнянні з шарошковими (4):

- збільшення проходки на долото і механічної швидкості буріння в 4-5 разів;
- зменшення кількості спуско-підймальних операцій;
- суттєве зниження собівартості метра проходки і вартості однієї години роботи бурової установки;
- покращений контроль напрямку буріння;
- значне зменшення вібраційного навантаження на колону бурильних труб;
- економія палива і експлуатаційних витрат до 40÷50 %;
- можливість ефективного поповнення доліт і повторного використання без погіршення експлуатаційних якостей внаслідок відсутності рухомих елементів;
- мінімальний ризик обриву колони бурильних труб;
- високий моторесурс;
- висока зносостійкість різців;
- конструктивна надійність (відсутність руйнувань доліт);
- висока породоруйнівна спроможність;
- можливість реалізації програми буріння свердловини долотами PDC від першого метра до проектного вибою;
- хороша колібруюча спроможність і забезпечення просторового рівного (стабільного) стовбура свердловини.

Використання доліт PDC в комплексі з керованими компоновками для турбінно-роторного буріння за даними підприємства «Газпромнефть-Хантос» дало змогу перейти до схеми буріння двухолонної конструкції свердловин за 2 довбання, що мінімізувало найбільш травмонебезпечний вид робіт – спуско-підймальні операції і дозволило бурити кожний інтервал в одному гідродинамічному режимі. Тому необхідна мінімізація часу будівництва свердловин, що усуває ускладнення, аварії, каверно- і жолобоутворення, забезпечує стійкість стовбура і, як правило, надійний спуск обсадних колон на проекту глибину. Все це дає високу якість кріплення і виключає міжпластові перетоки як під час проведення гідророзриву, так і під час усього періоду експлуатації свердловини.

Ще більші можливості має нове покоління доліт типу SUPER-PDC компанії "Varel International" (5), які розроблені для важких умов буріння в твердих абразивних породах. За рахунок удосконаленої схеми

розміщення різців в долоті, використання спеціальних полікристалевих різців з новою геометрією поверхні з'єднання карбідо-вольфрамового тіла різця з алмазною породоруйнуючою платівкою, а також використання високоефективної гідравліки долота вони можуть забезпечити підвищену механічну швидкість протягом тривалого часу буріння, маючи знижений знос різців.

Порівняння абразивної зносостійкості стандартного різця долота серії PDC і різця долота серії SUPER-PDC за результатами експериментів, проведених компанією "Varel International" в ідентичних умовах, наведено на рис. 1.

Бачимо, що із збільшенням приведенного об'єму стирання алмазу в процесі зношення різця від 1 до 6, приведений об'єм зруйнованої породи зростає від 4 до 22, що набагато більше в порівнянні з долотами PDC (від 2 до 3,5). Проте, і в першому, і в другому випадках спостерігається зростання об'єму зруйнованої породи по мірі зростання об'єму стирання алмазу, що вказує на те, що різці доліт самозаточуються.

Враховуючи сказане, необхідно системне дослідження технологічного процесу буріння свердловини сучасними безопорними долотами нового покоління, зокрема синтез алгоритму оптимального керування, побудованого на базі удосконаленої математичної моделі об'єкта (9).

Відправним пунктом синтезу алгоритму керування процесом буріння є вибір критерію оптимальності і встановлення функціонального зв'язку між критерієм оптимальності і незалежними змінними, тобто формування функції мети.

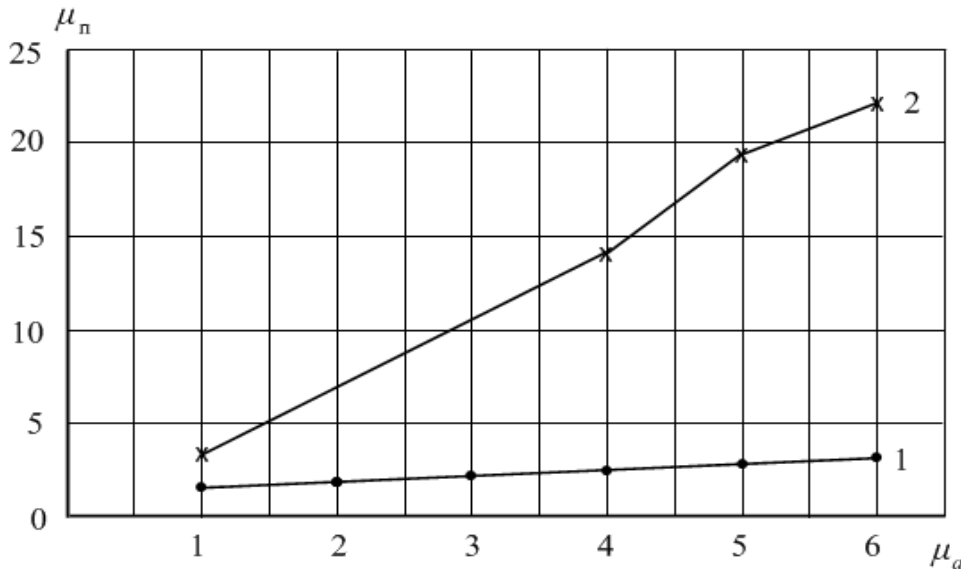


Рис. 1. Порівняння абразивної зносостійкості стандартного різця долота серії PDC (1) і різця долота серії SUPER-PDC (2) за результатами експериментів, проведених компанією "Varel International" в ідентичних умовах (μ_a – приведенний об'єм стирання алмазу в процесі зношення різця, μ_n – приведенний об'єм зруйнованої породи (чим більше, тим краще))

Виходитимемо з того, що буріння нафтових і газових свердловин зв'язане з великими матеріальними, енергетичними, трудовими, транспортними та іншими витратами. Тому в геолого-технічних нарядах (ГТН) на буріння кожної свердловини відображаються проектна глибина, проектний горизонт, мета буріння, швидкість буріння, тривалість будівництва, вид свердловини (наприклад, похило-спрямована), відхилення від вертикалі, азимут буріння, конструкція свердловини, конструкція бурильної колони на кожному з інтервалів, тип долота, режими буріння, параметри бурового розчину та ін. З урахуванням того, що буріння є нелінійним дискретно-неперервним динамічним об'єктом, що функціонує за умов апріорної та поточної невизначеності щодо структури та параметрів, мета керування може бути сформульована для одного рейсу бурового долота. Окрім того, врахуємо і те, що сучасні шарошкові долота нового покоління і долота з полікристалевою вставкою PDC дозволяють бурити свердловини усього протягом одного-двох рейсів долота.

Отже, метою оптимального керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин є досягнення максимально можливого приросту глибини свердловини заданої конструкції і виду з одночасним досягненням найвищої продуктивності, а отже і мінімального часу буріння та найменшої собівартості кожного метра проходки.

Математичний еквівалент цієї мети або критерій оптимальності процесу буріння I являє собою функціонал, який залежить від собівартості кожного метра проходки $c(t_0)$, проходки на долото $h(t_0)$ і рейсової швидкості буріння $V_p(t_0)$, тобто

$$I = I(c(x, t_0), h(x, t_0), V_p(x, t_0)), \quad (1)$$

де t_0 – час механічного буріння.

Проте, оскільки для коректної постановки оптимальної задачі необхідна наявність одного критерію оптимальності, користуються одним із критеріїв:

$$c(x, t_0) \xrightarrow{x \in S} \min, \quad (2)$$

$$h_i(x, t_{\bar{\sigma}}) \xrightarrow{x \in S} \max, \quad (3)$$

$$V_p(x, t_{\bar{\sigma}}) \xrightarrow{x \in S} \max, \quad (4)$$

де $S = (F_i, n_i)_{i=1,2,\dots,N}; F_{\min} \leq F_i \leq F_{\max};$

$$n_{\min} \leq n_i \leq n_{\max}; \sum_{i=1}^N h_i = H; h_i > 0;$$

F_i, n_i – осьова сила на долото і швидкість його обертання в i -му рейсі;

h_i – проходка на долото в i -му рейсі;

H – проектна глибина свердловини, яка може бути розділена на N рівнів.

Порівняльна оцінка критеріїв (2), (3), (4) оптимальності процесу буріння свердловин (1,2,3) дає змогу обґрунтовано вибрати один із цих критеріїв – мінімум собівартості метра проходки $c(x, t_{\bar{\sigma}})$, який є найбільш компромісним та конкурентним і тому визнаний у нафтогазовій галузі промисловості в Україні, Росії, США та ін. країнах:

$$c(x, t_{\bar{\sigma}}) = \frac{(A + B + C_{\Pi})(t_{\bar{\sigma}} + t_{\text{сп}}) + B_{\text{д}}}{t_{\bar{\sigma}} \cdot V_{\text{М}}^i} \rightarrow \min, \quad (5)$$

де $A+B+C_{\Pi}=C_{\Gamma}$ – вартість 1 години роботи бурової установки, грн/год.;

A – витрати на експлуатацію бурової установки, грн/год.;

B – витрати на додаткове обладнання (турбобури, електробури, компресори для буріння з очисткою вибою повітрям та ін.), грн/год.;

C_{Π} – витрати на промивальну рідину, грн/год.;

$t_{\bar{\sigma}}$ – час механічного буріння, год.;

$t_{\text{сп}}$ – час спуско-підймальних і допоміжних операцій (нарощування інструменту, промивання свердловини та ін.), год.;

$$t_{\bar{\sigma}} \cdot V_{\text{М}}^i = h(t_{\bar{\sigma}}) \text{ – проходка на долото, м;}$$

$$V_{\text{М}}^i \text{ – механічна швидкість проходки, м/год.}$$

В сучасних методах оптимізації буріння, заснованих на використанні ЕОМ, значення A, B, C_{Π} вважаються постійними, тобто $C_{\Gamma} = \text{const}$.

Слід зазначити, що статичний регулярний критерій оптимальності (5) містить у собі проходку на долото $h(t_{\bar{\sigma}})$, при максимальному значенні якої забезпечується мінімальне значення собівартості метра проходки $C(t_{\bar{\sigma}})$. Крім того, критерій (5) містить рейсову швидкість буріння

$$V_p(t_{\bar{\sigma}}) = \frac{h(t_{\bar{\sigma}})}{t_{\bar{\sigma}} + t_{\text{сп}}} \quad (6)$$

і механічну швидкість $V_{\text{М}}$.

Поточне значення собівартості 1 м проходки C за час рейсу долота змінюється в межах $\infty \geq C \geq C_{\min}$.

За даними (8) середня величина проходки для традиційних шарошkových доліт на родовищах України складає 38,4 м при бурінні м'яких та м'яких з пропластками середніх за твердістю малоабразивних порід.

Для доліт нового покоління (шарошkových і PDC) величина проходки зросла майже на два порядки (табл. 1).

Висока зносостійкість ріжучих елементів доліт PDC та відсутність підшипникової опори не тільки підвищили проходку інструменту, але й збільшили основний період роботи долота, коли зміну механічної швидкості в часі при бурінні в однорідних за місністю породах можна вважати стаціонарним процесом.

Таблиця 1

Показники роботи доліт нового покоління на родовищах України і СНД

Долото	Середня проходка на долото, м	Середня механічна швидкість буріння, м/год.
11 5/8 DS 66H	4230	2,97
PDC 149,2 FD 353M-A34	110	1,8
PDC 295,3 FD 357M-A27M	1300	2,38
PDC 293,0 FD 388MH-A44	2000	4,35

Проте, технологічний процес буріння нафтових і газових свердловин як об'єкт керування є нестационарним. Це проявляється у зміні міцності гірських порід по глибині свердловини і залежності від часу параметрів математичної моделі, що відповідає.

Для вибору стаціонарного режиму процесу буріння зробимо такі допущення:

- буріння здійснюється безопорними долотами нового покоління, тривалість рейсу буріння якими

обмежена лише терміном служби озброєння долота;

- витрата бурового розчину є достатньою для ефективного виносу шлама з вибою свердловини;
- глибина свердловини розбита на певні інтервали, в середині яких міцність порід вважається відомою;
- керувальні дії – осьова сила на долото і швидкість його обертання.

Дійсно, оскільки при бурінні в i -му шарі однорідної за міцністю породи можна підібрати деяку величину часу $T \mid 0 < T < \infty$, яка суттєво перебільшує тривалість перехідних процесів в об'єкті і для якої виконується векторна рівність (7)

$$t + \frac{T}{2} \int V_M(t) dt = \text{const}, \quad (7)$$

$$t - \frac{T}{2}$$

де $V_M(t)$ – механічна швидкість буріння, тому режим буріння протягом часу T можна вважати стаціонарним.

Проте, у цьому режимі постійна не сама функція часу $V_M(t)$, а оцінка математичного сподівання на інтервалі часу тривалістю T , який відповідає бурінню в породах однакової міцності долотом типу PDC.

У зв'язку з тим, що на даний час собівартість 1 м проходки свердловини можна визначити тільки після закінчення рейсу долота, оцінити ефективність режимів буріння свердловини можна лише на базі прогнозованої оцінки собівартості 1 м проходки свердловини, яка відповідає завершенню рейсу бурового долота t_6 .

Тому важливим є отримання такої функції мети, яка дозволяє розрахувати цей показник через параметри режиму буріння: осьову силу на долото F і швидкість його обертання n , тобто через керувальні впливи.

Взаємозв'язки вихідних показників процесу буріння з керувальними впливами протягом обмеженого часу роботи долота T на вибої свердловини, коли можна знехтувати зносом долота і вважати, що буріння ведеться в однорідних за міцністю породах, можна представити у такому вигляді:

$$\bar{X} = f(\bar{U}, \bar{Z}), \quad (8)$$

де \bar{X} – вектор стану керованого об'єкта;

\bar{U} – вектор керувальних дій;

\bar{Z} – вектор збурень.

До збурень відносяться міцність порід, водопроявлення, градієнт пластового тиску, сила статичного опору тертя колони бурильних труб об стінки свердловини, осипи і обвали гірських порід, заклинювання, затяжки, поглинання бурового розчину, прихоплення, каверноутворення та ін.

Слушно відмітити, що поточні середні значення складових вектору збурень

$$\bar{Z} = T(z_1, z_2, \dots, z_l) \quad (9)$$

не є постійними і змінюються з глибиною свердловини i , отже, в часі.

Зокрема, в умовах Долинського родовища Прикарпатського УБР ВАТ «Укрнафта», під час буріння свердловини № 522ГС спостерігалася зміна міцності порід: до глибини 680 м це були м'які (70 %) і середні (30 %) породи, з глибини 680 м до проектної 2256 м – тверді (100 %). Водопроявлення спостерігалися по всьому розрізу свердловини. Температура до глибини 680 м складала 13⁰С і поступово зростала. На глибині 1620 м до 37⁰С, 1800 м – 38⁰С, 2230 м – 59⁰С, 2180 м – 62⁰С, 2256 м – 69⁰С.

Окрім того, порушення стаціонарності технологічного процесу буріння може бути викликане зміною технічного стану долота, а саме, зносом оснащення та опор шарошкових доліт і зносом полікристалевих різців безопорних доліт PDC, особливо на завершальному етапі роботи долота. Порушення стаціонарності процесу відбувається незалежно від того чи долото затуплюється, чи загострюється, оскільки вихідні параметри керованого об'єкта змінюються.

Враховуючи це, рівняння (8) слід записати у такому вигляді

$$\bar{X}_i(t_l) = f_{oi}(\bar{U}, \bar{Z}) f(\bar{U}, \bar{Z}, t_l), \quad \forall i = 1, 2, \dots, n, j, j \quad (10)$$

де i – номер шару однорідної за міцністю породи, визначений геологотехнічним нарядом на буріння свердловини;

t_l – час, протягом якого спостерігається зношення оснащення долота в однорідному шарі породи;

n – кількість шарів однорідних за міцністю порід по глибині свердловини.

Рівняння (10) є узагальненою математичною моделлю технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин в кожному i -му шарі однорідних за міцністю порід.

Перший співмножник відображає взаємозв'язки показників керованого об'єкта з керувальними впливами, які відповідають початковому технічному стану оснащення долота. Другий – характеризує зміну показників процесу в часі t_l по мірі зношення оснащення долота. Зважаючи на це постає питання формування функції мети, яка повинна зв'язати собівартість 1 м проходки свердловини з керувальними впливами, зовнішніми збуреннями і часом механічного буріння.

Аналіз критерію оптимальності (5) свідчить про те, що він містить лише один показник (проходку на долото h), який функціонально зв'язаний з основними керувальними діями – осьвою силою F на долото, швидкістю його обертання n та витратою бурового розчину Q . Цей зв'язок багатьма авторами розглядається у вигляді рівняння механічної швидкості проходки, яке запишемо в узагальненому вигляді у відповідності з рівнянням (10)

$$\frac{dh(t_6)}{dt} = V_0(\bar{U}, \bar{Z})f(\bar{U}, \bar{Z}, t_6), \quad (11)$$

де $V_0(\bar{U}, \bar{Z})$ – початкове значення механічної швидкості при бурінні незатупленим долотом;

t_6 – час механічного буріння;

$\varphi(\bar{U}, \bar{Z}, t_6)$ – функція зносу, яка характеризує зміну фізичного стану долота.

Розділивши змінні у рівнянні (11) і розв'язавши його, отримаємо вираз для проходки долота в інтегральній формі

$$h(t_6) = V_0(\bar{U}, \bar{Z}) \int_0^{t_6} f(\bar{U}, \bar{Z}, t_6) dt. \quad (12)$$

Отже, проходка на долото пропорційна інтегралу від функції $\varphi(\bar{U}, \bar{Z}, t_6)$, яка характеризує зміну фізичного стану оснащення долота.

З урахуванням (12) функція мети оптимального керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин долотами нового покоління, яка зв'язує собівартість одного метра C проходки (5) з керувальними впливами, збуреннями і часом механічного буріння, може бути представлена у такому вигляді:

$$C(x, t_6) = \frac{C_\Gamma(t_6 + t_{\text{сп}}) + B_d}{V_0(\bar{U}, \bar{Z}) \int_0^{t_6} f(\bar{U}, \bar{Z}, t_6) dt}. \quad (13)$$

Отже задача оптимізації керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин зводиться до пошуку таких керувальних впливів

$$\bar{U}^* = (\bar{u}_1^*, \bar{u}_2^*, \dots, \bar{u}_m^*)$$

і часу механічного буріння t_6^* , для яких виконується умова

$$C(x, t_6) = \frac{C_\Gamma(t_6^* + t_{\text{сп}}) + B_d}{V_0(\bar{U}^*, \bar{Z}) \int_0^{t_6^*} f(\bar{U}^*, \bar{Z}, t_6^*) dt} \xrightarrow{x \in S^*} \min, \quad (14)$$

де S^* – область допустимих значень керувальних впливів U , умов проходки і часу механічного буріння t_6 .

Формула (14) є узагальненим виглядом функції мети, яка зв'язує економічний критерій оптимальності з незалежними змінними керованого об'єкта.

Конкретний вигляд знаменника визначається для кожного родовища. Наприклад, для Прикарпаття при постійній витраті бурового розчину $Q = \text{const}$ рівняння для початкової механічної швидкості буріння має такий вигляд (2):

$$V_0(\bar{U}, \bar{Z}) = k_1 F^{\alpha_1} n^{\beta_1}, \quad (15)$$

а рівняння швидкості зношення оснащення долота таке

$$\frac{de}{dt} = k_2 F^{\alpha_2} n^{\beta_2}, \quad (16)$$

де $k_1, \alpha_1, \beta_1, k_2, \alpha_2, \beta_2$ – параметри моделі, які підлягають ідентифікації в конкретних умовах буріння; ε – оцінка відносного зносу оснащення долота, $\varepsilon = V_0 \cdot V^I$. Цей показник безрозмірний і піддається неперервному контролю.

Множина допустимих рішень визначається обмеженнями на осьову силу на долото

$$F_{\min} \leq F_i \leq F_{\max},$$

обмеженням на швидкість обертання долота

$$n_{\min} \leq n_i \leq n_{\max},$$

та умовами

$$\sum_{i=1}^N h_i = H; \quad h_i > 0.$$

Як бачимо з (14), оптимальні керувальні впливи \bar{U}^* і тривалість основного періоду роботи долота

на вибої свердловини t_6^* залежать від вектора збурень \bar{Z} .

Якщо $\bar{Z} = \text{const}$, то тоді задача мінімізації функції мети (14) розв'язується порівняно просто, оскільки процес буріння відбувається в однорідних за міцністю породах. Ця задача ускладнюється при бурінні одним долотом різномірних за міцністю порід за умов зміни структури об'єкта (довжини колони бурильних труб) та його параметрів, пластового тиску, температури, сили статичного опору та інших збурень. Саме за таких умов здійснюється буріння долотами нового покоління на родовищах України. Зважаючи на це, постає питання ефективного пошуку законів керування таким складним стохастично-хаотичним об'єктом на базі функції мети (14).

Окрім того, дослідженнями багатьох авторів [1-3] доведено, що повну математичну модель технологічного процесу буріння глибоких свердловин, яка б зв'язала вектор стану керованого об'єкта з усіма його керувальними впливами, аналітично отримати неможливо.

Внаслідок нестационарності процесу буріння, великої кількості збурень і обмеження часу на експерименти в процесі буріння, для розробки такої математичної моделі не можуть бути використані й експериментальні методи.

Все це дозволяє вважати, що в повному об'ємі задача оптимізації керування технологічним процесом буріння може бути вирішена лише на базі комплексу різних методів, зокрема, методів нечіткої логіки, штучних нейронних мереж, генетичних алгоритмів тощо. Проте, незалежно від виду використаної інтелектуальної технології керування, для розв'язання задачі оптимального адаптивного керування процесом буріння потрібна функція мети, яка придатна для практичного використання.

Тому формулу (5) собівартості буріння представимо у такому вигляді

$$C = \frac{B_r T}{h} + \frac{B_d}{h}, \quad (17)$$

де C – вартість 1 м проходки, грн/м;

B_r – вартість прокату обладнання протягом 1 години роботи, грн/м;

B_d – вартість долота, грн;

h – проходка на долото, м;

T – час, який витрачено на механічне буріння, спуско-підймальні операції і зміну долота; цей час характеризує роботу долота за рейс.

Тоді перший доданок у формулі (17) можна записати як $\frac{B_r}{V_p}$, де V_p – рейсова швидкість, м/год, яка,

в свою чергу, дорівнює

$$V_p = \frac{V_m}{1 + \frac{T_{сп}}{T_6}}, \quad (18)$$

де V_m – механічна швидкість буріння, м/год.;

T_6 – час механічного буріння, год.;

$T_{сп}$ – час спуско-підймальних операцій з нарощуванням бурильного інструменту, год.

Вираз (18) є рівнянням зсунутої гіперболи і не має екстремума. Слід відзначити, що протягом рейсу долота здійснюється 100÷300 одношпінних з'єднувань і роз'єднувань бурильного інструменту.

Узагальнене рівняння механічної швидкості буріння має вигляд

$$V_m = a \cdot n^{\alpha} \cdot F^{\beta}, \quad (19)$$

де a – коефіцієнт пропорційності;

α, β – показники степеня.

При цьому, як приклад, $a = 0,0024$; $\alpha = 0,7$; $\beta = 1,1$.

Тоді перший доданок формули (17) буде мати такий вигляд

$$\frac{B_r T}{h} = \frac{B_r \left(1 + \frac{T_{сп}}{T_6} \right)}{a \cdot n^{\alpha} \cdot F^{\beta}}, \quad (20)$$

де T_6 – час перебування долота на вибої свердловини.

Для безопорних доліт нового покоління, зокрема, PDC і SUPER-PDC, час T_6 визначається лише геолого-технічним нарядом. Що стосується шарошkových доліт, то для них відносна стійкість опор, коли проходка за рейс лімітується стійкістю опори, визначається (10) для роторного буріння за такою формулою

$$T_6 = \frac{A}{F^{b_1} \cdot n}, \quad (21)$$

де A – сталий коефіцієнт, який залежить від конструкції опори і середовища, в якому вона працює;

b_1 – показник степеня, який залежно від зміни абразивних фракцій змінюється в межах $b_1 = 1,5 \div 3$, для масляного середовища $b_1 = 3,3$; для води $b_1 = 3$; для нормальних бентонітових розчинів $b_1 = 2,5$; для обважених бурових розчинів $b_1 = 1,5$ (10).

З урахуванням (21) перший доданок рівняння (17) матиме наступний вигляд

$$\frac{B_{\Gamma} T}{h} = \frac{B_{\Gamma} \left(1 + \frac{T_{\text{сп}} \cdot F^{b_1} \cdot n}{T_{\text{б}}} \right)}{a \cdot n^a \cdot F^b} = \frac{B_{\Gamma}}{a \cdot n^a \cdot F^b} + \frac{B_{\Gamma} T_{\text{сп}}}{A \cdot a} F^{b_1-b} n^{1-a}, \quad (22)$$

Тепер розглянемо другий доданок формули (17). Знаменник цього доданку є проходкою на долото, яка дорівнює

$$h = V_{\text{м}} T_{\text{б}} \quad (23)$$

Підставивши вираз для другого доданку формули (17) значення $V_{\text{м}}$ і $T_{\text{б}}$ із формул (19) і (21), отримуємо

$$\frac{B_{\text{д}}}{h} = \frac{B_{\text{д}}}{V_{\text{м}} T_{\text{б}}} = \frac{B_{\text{д}} F^{b_1} \cdot n}{a \cdot n^a \cdot F^b \cdot A} = \frac{B_{\text{д}}}{A \cdot a} F^{b_1-b} n^{1-a} \quad (24)$$

і для безпорних доліт

$$\frac{B_{\text{д}}}{h} = \frac{B_{\text{д}}}{V_{\text{м}} T_{\text{б}}} = \frac{B_{\text{д}}}{a \cdot n^a \cdot F^b \cdot T_{\text{б}}} \quad (25)$$

В цілому функція мети для оптимального управління процесом буріння свердловин безпорними долотами нового покоління приймає такий вигляд:

$$C_{\text{PDC}} = \frac{B_{\Gamma} \left(1 + \frac{T_{\text{сп}}}{T_{\text{б}}} \right)}{a \cdot n^a \cdot F^b} = \frac{B_{\Gamma}}{a \cdot n^a \cdot F^b T_{\text{б}}} = \frac{1}{a \cdot n^a \cdot F^b} \left(B_{\Gamma} \left(1 + \frac{T_{\text{сп}}}{T_{\text{б}}} \right) + \frac{B_{\Gamma}}{T_{\text{б}}} \right) \quad (26)$$

Для шарошкових доліт, коли їх стійкість лімітується опорами, функція мети має такий вигляд:

$$C_{\text{шоп}} = \frac{B_{\Gamma}}{a \cdot n^a \cdot F^b} = \frac{B_{\Gamma} T_{\text{сп}}}{A \cdot a} F^{b_1-b} n^{1-a} + \frac{B_{\text{д}}}{a \cdot A} F^{b_1-b} n^{1-a}, \quad (27)$$

або

$$C_{\text{шоп}} = \frac{B_{\Gamma}}{a \cdot n^a \cdot F^b} = \left(\frac{B_{\Gamma} T_{\text{сп}} + B_{\text{д}}}{A \cdot a} \right) F^{b_1-b} n^{1-a} \quad (28)$$

У формулах (26), (27), (28) коефіцієнти показників степеня мають додатні значення.

Розглянемо тепер варіант, коли довговічність шарошкового долота обмежена зносом його оснащення. У цьому випадку можна скористатися формулою стійкості долота, яка запропонована (10) фірмою «Юз»:

$$T_{\text{б}}^* = \frac{A^*}{F^{b_2} \cdot n^{a_2}}, \quad (29)$$

де $T_{\text{б}}^*$ – довговічність оснащення шарошкового долота, год.;

A^* – постійний коефіцієнт, який залежить від типу і конструкції оснащення долота;

β_2, α_2 – показники степеня, які залежать від абразивності гірських порід, абразивності бурового розчину і швидкості обертання долота, і можуть досягати значення 1,5.

З урахуванням (29) формула (17) буде мати такий вигляд:

$$C_{\text{ш}}^* = \frac{B_{\Gamma}}{a \cdot n^a \cdot F^b} = \left(\frac{B_{\Gamma} T_{\text{сп}} + B_{\text{д}}}{A^* \cdot a} \right) F^{b_2-b} n^{a_2-a} \quad (30)$$

Коефіцієнти $a, \beta, \alpha_2, \beta_2$ у формулі (30) додатні

Користуючись рівняннями функції мети для шарошкових доліт нового покоління (27) і традиційних моделей (30), а також функцією мети для оптимального керування долотами PDC (26), можна за допомогою різних методів, в тому числі інтелектуальних технологій керування, визначити оптимальні швидкість обертання і осьову силу на долото, при яких забезпечується мінімальна собівартість метра проходки.

Висновок

Сформульовано функцію мети оптимального керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин і математичний еквівалент цієї функції мети, як функціональний зв'язок економічного критерію оптимальності з незалежними керувальними діями, що дає змогу синтезувати ефективний алгоритм оптимального керування процесом буріння свердловин долотами нового покоління на базі узагальненої математичної моделі об'єкта з урахуванням технологічних обмежень.

Література

1. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенов. – Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2003. – 493 с.
2. Семенов Г.Н. Основные принципы оптимизации режимов при бурении скважин роторным

способом / Г.Н.Семенов // Изв. вузов. Горный журнал. – 1984. – № 11. – С. 46-49.

3. Ситников Н.Б. Исследование критериев оптимальности процесса вращательного бурения скважин / Н.Б. Ситников, И.А. Бердов, В.А. Савельев // Изв. вузов. Горный журнал. – 1977. – № 3. – С. 131-135.

4. Продаем PDC долота. Компания ЮНИТУЛЗРус. 02.03.2009. [http // www.unitools.ru](http://www.unitools.ru) – 61 с.

5. Новое поколение долот PDC компании "Varel International". – М.: Филиал компании Varel International, 2009. – 2 с.

6. Тимофеев В.А. О некоторых проблемах синтеза критических систем управления / В.А. Тимофеев // Радиоэлектроника. Информатика. Управление. – 2004. – № 1 (11). – С. 160-162.

7. Балакирев В.С. Оптимальное управление процессом химической технологии (Экстремальной задачи в АСУ) / В.С. Балакирев, В.М. Володин, А.М. Цирлин. М.: Химия. – 1978. – 383 с.

8. Драганчук О.Т. Аналіз відпрацювання доліт PDC на родовищах України і світу / О.Т. Драганчук, Т.О. Пригоровська // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 4. – С. 11-15.

9. Фадеева О.В. Удосконалення математичної моделі технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин / О.В. Фадеева // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. Технічні науки. – 2008. – № 6. – С. 55-61.

10. Александров А.А. Экономика бурения скважин долотами уменьшенного диаметра / А.А. Александров – М.: Недра. – 1968. – 192 с.

Надійшла 15.12.2009 р.

УДК 389: 638.011.54

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины

ТЕОРИЯ ИЗБЫТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ: ОСНОВНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Настоящая статья является второй статьёй после статьи об универсальном уравнении измерений, посвященной теории и методам избыточных измерений. В ней рассмотрены современные определения функции преобразования измерительного канала, операции измерительного восприятия, операциям первичного, вторичного и третичного преобразования физических величин, операциям сравнения и т.д. Настоящая статья направлена на расширение и углубление наших представлений и знаний о теории избыточных измерений.

The current article is the second in chain article about universal equalization of measurings, to the devoted theory and methods of the surplus measurings. Modern determinations of function of transformation of measuring channel are considered in it, to the operation of measuring perception, operations of primary, second and tertiary transformation of physical sizes, to the operations of comparison et cetera The real article is directed on expansion and deepening of our presentations and knowledges about the theory of the surplus measurings.

Ключевые слова: избыточные измерения, измерительные операции

Введение

В связи с созданием и развитием теории избыточных измерений (ТИИ) возникла необходимость в пересмотре существующих определений понятий «функция преобразования», «измерительное преобразование» и их частные виды, «измерительное восприятие», «сравнение» и т.д. с позиции общенаучной методологии системного подхода, по-новому подойти к существующим определениям, критически их осмыслить и предложить новые определения, свойственные не только данной теории, но и теории прямых измерений. Это расширит и углубит наши представления и знания о теории прямых и избыточных измерений.

Объект и предмет исследований

Объектом исследований являются основные измерительные операции.

Предметом исследований являются как операции измерительного преобразования ФВ, так и операции измерительного восприятия и сравнения ФВ.

Постановка задачи (цель статьи)

Целью настоящей статьи является ознакомление ученых и специалистов в области метрологии и измерительной техники с новым подходом к раскрытию сущности измерительных операций.

Полученные результаты

1. *Функции преобразования и их структуры*

Функция преобразования (ФП) является основной метрологической характеристикой измерительного канала (ИК). Она описывает процесс измерительного преобразования ФВ.

Формализовано ФП описывается уравнением связи между ФВ, т.е. уравнением величин. Запись ФП в виде уравнения числовых значений используется для проведения соответствующих расчетов, построения графиков и таблиц. В метрологии чаще оперируют с понятием «функция преобразования ИП или ИК».

Определение 1 (с математической точки зрения)

ФП ИП – функциональная зависимость выходной величины от входной, описываемая аналитическим выражением или графиком [1].

Определение 2 (с метрологической точки зрения)

ФП ИП – уравнение связи входной и выходной ФВ, формализовано описывающее их причинно-следственную связь.

ФП указывает «что» во «что» и через «что» должно преобразовываться.

2. Функция преобразования измерительного канала

Определение 1

ФП ИК – функция, отображающая совокупность операций установления выходной ФВ по результатам измерительного преобразования одной или ряда однородных входных ФВ, закономерно связанных между собой по размерам, включающих искомую и образцовую ФВ в явном или неявном виде.

ФП ИК (вместе с ФП сенсора) состоит из ряда подфункций, которые, в свою очередь, состоят из элементарных функций. ФП ИК, подфункции и элементарные функции имеют соответствующие структурные модели, т.е. определенную структуру их графического представления (см. рис. 1). Каждая элементарная функция описывает соответствующую основную физическую операцию (см. табл. 1) [2].

Определение (элементарная функция преобразования)

Под элементарной ФП понимают наименьшую практически неделимую функцию, которая описывает элементарную операцию преобразования качественной и количественной определенности свойства (или сигнала) одной физической природы в качественную и количественную определенность свойства (или сигнала) той же или иной физической природы с учетом заданных условий и ограничений.

Определение (подфункция преобразования)

Подфункция измерительного преобразования – это определенным образом связанные между собой две и более элементарных ФП, описывающие конечную совокупность элементарных операций преобразования свойства (сигнала) одной физической природы в качественную и количественную определенность свойства той же

или иной физической природы с учетом заданных условий и ограничений.

Несколько подфункций образуют ФП ИК с присущими им условиями и ограничениями и с учетом заданных целей преобразования.

Все ФП технических систем можно вывести из перечисленных в табл. 1 основных физических операций. Для каждой основной операции можно указать соответствующие физические, химические или биологические эффекты. Зная их не сложно теоретически описать все существующие решения для поставленной измерительной или технической задачи.

ФП ИК обеспечивает достижение поставленной цели преобразования в соответствие с заданной совокупностью элементарных операций, объединенных в соответствующую структуру с установленными условиями и ограничениями. В качестве последних рассматриваются пространственно-временные и спектрально-полевые ограничения.

Таблица 1

Основные физические операции

№ п/п	Используемая операция	Противоположная операция	№ п/п	Используемая операция	Противоположная операция
1	Излучение	Поглощение	7	Изменение направления	Изменение направления
2	Проводимость	Изолирование	8	Выравнивание	Колебание
3	Сбор (сведение, фокусирование ¹)	Рассеивание (разведение, дефокусиров.)	9	Связь	Прерывание (коммутация)
4	Проведение (доставка, передача)	Непроведение	10	Соединение	Разъединение
5	Преобразование	Обратное преобразование	11	Сборка	Разделение
6	Увеличение (усиление)	Уменьшение (ослабление)	12	Накопление (вещества, энергии ли информации)	Выдача (вещества, энергии ли информации)

ФП ИК отображает процесс измерительного преобразования рядов ФВ во времени и в пространстве. Для их различия используются соответствующие индексы (например «s» – space (пространство), «t» – time (время) или «st» – пространственно-временное преобразование).

Определение 2

ФП ИК – функция, описывающая процесс достижения априори заданной цели измерительного преобразования ФВ посредством конечной совокупности закономерно связанных во времени и в пространстве элементарных функций и с учетом заданных условий и ограничений.

ФП ИК описывается конечной совокупностью структурированных функциональных (причинно-

¹ Информация в скобках добавлена автором

следственных) связей между входными и выходными величинами.

Определение 3

ФП ИК – функция, характеризующая процесс качественного и количественного преобразования ряда входных однородных свойств в выходные в дискретные моменты времени при установленных условиях и ограничениях.

Поскольку все процессы в ИК могут быть сведены к конечному числу элементарных функций, то, с целью отображения тонкой структуры ФП, представляется целесообразным при проектировании СИ представлять ФП ИП или ИК также и через структуру элементарных функций [2]. Обычно разрабатываются несколько альтернативных структур ФП величин одной физической природы в величины той же или иной физической природы. Затем, по признаку оптимальной пригодности, отбирается одна из них. Процесс повторяется до тех пор, пока разрабатываемая структура ФП не будет соответствовать заданной ФП или желаемой связи «причина-следствие» проектируемого ИП или ИК. На сегодня методология и методы разработки структур ФП ИП или ИК на основе физических, химических и биологических элементарных функций до сих пор находятся в начальных стадиях своего развития. На рис. 1 приведены разные виды структур функций измерительного преобразования ФВ.

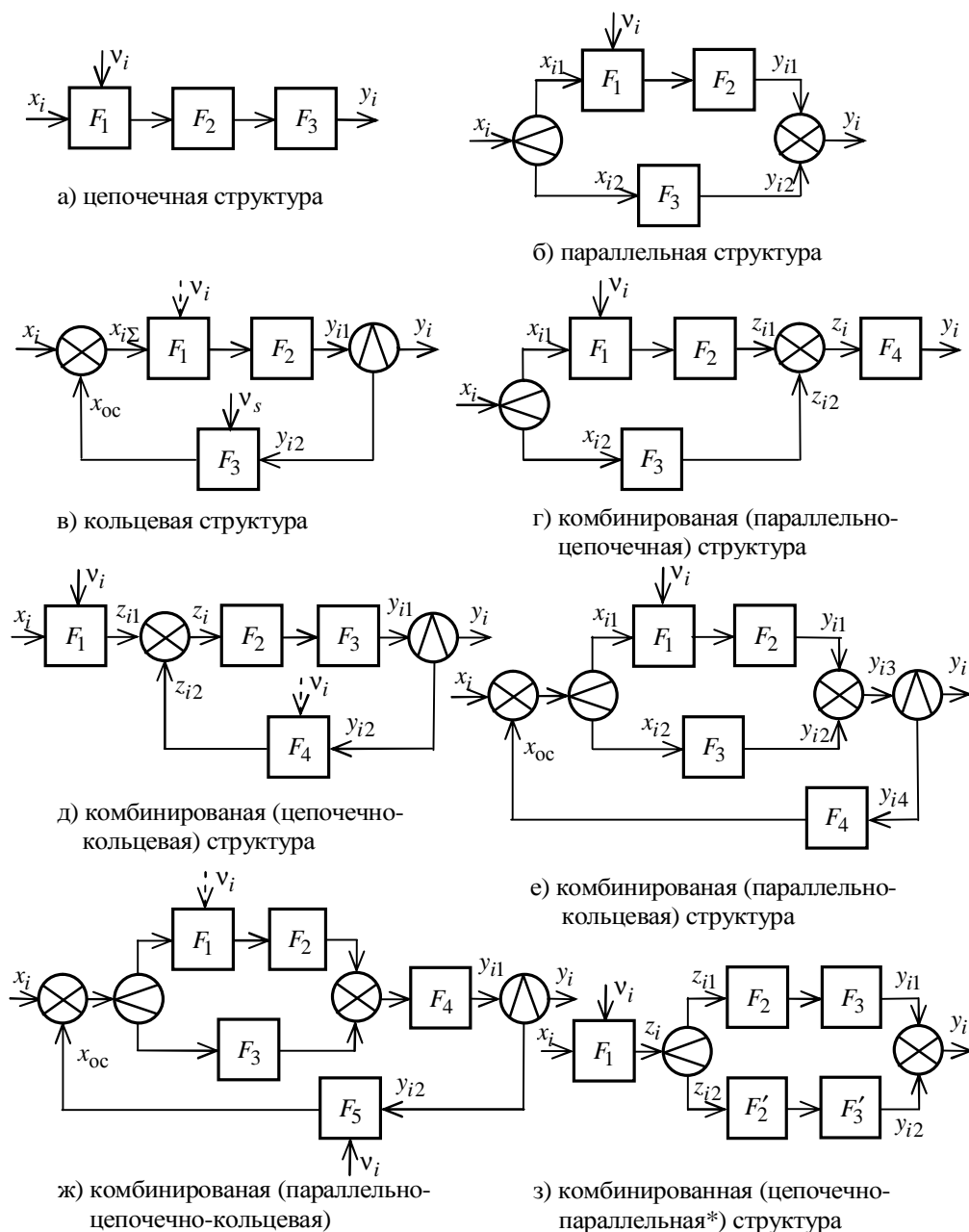


Рис. 1. Виды структур функций измерительного преобразования физических величин

* Для параллельно соединенных идентичных подфункций

В технике выделяются три основные вида базовых структур ФП [2]: цепочечная, параллельная и кольцевая. Цепочечная структура ФП описывает процессы измерительного преобразования свойств, происходящие последовательно один за другим (рис. 1, а). Параллельная структура ФП описывает процессы измерительного преобразования свойств, которые протекают одновременно и параллельно, обеспечивая, в

конечном счете, получение требуемого свойства при заданном входном (рис. 1, б). На входе приведенной структуры в виде графических символов показана операция разветвления действия входного свойства (сигнала), а на выходе – операция суммирования результатов параллельного преобразования.

Кольцевая структура ФП описывает процесс измерительного преобразования свойств с обратными связями (рис. 1, в).

На основе базовых структур ФП могут быть синтезированы и другие структуры (рис. 1, г-ж): параллельно-цепочечная, цепочно-кольцевая, параллельно-кольцевая, параллельно-цепочно-кольцевая и другие. Изменение вида элементарной функции (операции) приводит и к изменению вида подфункции при сохранении вида базовой структуры (рис. 1, з).

Это дает возможность получения множества вариантов структур функций преобразования, описывающих те или иные физические операции или процессы в ИК СИ.

В настоящее время возрос интерес к «гибким» ФП ИК, особенно в связи с развитием ТИИ. ФП должна быть дискретно управляемой по одному или нескольким параметрам. Управление осуществляется путем изменения параметра преимущественно первой из цепочки элементарных функций. На рис. 1 сплошными стрелками показаны предпочтительные воздействия на элементарные функции, а пунктиром – дополнительные.

Для информативности представления цепочечных структур, на рис. 1 указаны входные, выходные и промежуточные величины (или сигналы), участвующие в процессе преобразования.

3. Основные измерительные операции

Согласно приведенным в [3] определениям понятия «измерение», можно выделить следующие измерительные операции: измерительное восприятие, измерительное преобразование ФВ, сравнение ФВ (непосредственное и опосредованное в реальном и виртуальном мирах) с одновременным представлением результата измерений в удобной для восприятия форме. Причем сравнение включает в себя (под)операцию подготовки к сравнению, само сравнение и (под)операцию отображения результата сравнения в виде, удобном для восприятия и дальнейших преобразований.

3.1. Восприятие – первичная операция измерительного преобразования ФВ

Определение 1 (философское)

Восприятие (или перцепция, – от лат. Percipio) – это один из уровней познания окружающих предметов и явлений [4].

Определение 2 (философское)

Восприятие – процесс отражения предметов и явлений действительности в совокупности их различных свойств и частей, связанный с пониманием целостности отражаемого [5].

Определение 3 (классическое, обобщенное [6])

Восприятие – это способность обнаруживать, понимать, различать и усваивать явления внешнего мира и формировать из них образ действительности.

В этом проявляется его активность. Восприятие не терпит однообразия, ему нужны изменения и приносимая ими информация. От качества восприятия зависит воспринимаемый образ действительности.

Определение 1 (измерительное восприятие)

Измерительное восприятие¹ – это отражение действующего в данный момент на вход сенсора, биосенсора или ИП свойства той или иной физической природы во всех его проявлениях.

Определение 2 (измерительное восприятие)

Измерительное восприятие – процесс обнаружения и согласованного приема (или перцепции) количественной и качественной определенности свойств (или сигналов) в пространственно-временной и спектральных областях через окружающую (полевую) среду² или линии связи разной физической природы.

Данное понятие закрывает пробел в существующем определении понятия «измерение». Известно, что достоверное преобразование свойств не возможно без согласования метрологических характеристик функциональных блоков ИК (вместе с сенсором или биосенсором) в пространственно-временной и спектральных областях с характеристиками преобразуемых свойств (сигналов). Измерительное восприятие предполагает приведение в соответствие метрологических характеристик функциональных блоков или ИК в целом поставленной измерительной задаче, т.е. обеспечение заданного качества преобразования свойств. Прежде всего это касается согласованию областей значений преобразуемого свойства, характера и видов используемых элементарных ФП, а также стабильности их параметров. В этой связи данная операция должна быть первичной (неотъемлемой) операцией любого измерительного преобразования ФВ. Измерительное восприятие, выполняемое до преобразования свойств (сигналов), направлено на исключение или сведения к минимуму субъективной погрешности измерения, а между элементарными процессами преобразования – на согласование характеристик с целью уменьшения методической погрешности.

Операции (фазы) восприятия

Согласно [5], процесс восприятия состоит из четырех фаз:

1) обнаружение – исходная фаза восприятия, на которой по воспринятому образу можно лишь определить, есть ли воздействие;

¹ понятие «измерительное восприятие» предложено автором

² или электромагнитный эфир Лоренца

2) различие – выделение из совокупности свойств (сигналов) той или иной физической природы интересующих признаков (временных, спектральных или полевых).

При измерениях в наномире измерительное восприятие включает в себя и субъективное восприятие исследуемых объектов (предметов или явлений) действительности человеком. В этой связи к процессу восприятия добавляется еще две операции, –

3) идентификация (зрительная¹) – сопоставление свойства с выделенными признаками с одним из известных свойств;

4) опознание аналогичных (знакомых) объектов.

Большее теоретическое и практическое значение имеет классификация восприятий по видам явлений и видам отображения в них объектов окружающего мира.

Классификация восприятий по видам явлений

По видам явлений выделяют ФВ вещественной, энергетической и информационной групп [7]. В этой связи различают:

восприятие физических и физико-химических свойств веществ и их состава, т.е. восприятие свойств «вещественной группы»;

восприятие свойств, отражающих энергетические характеристики процессов, т.е. восприятие свойств «энергетической группы»;

восприятие свойств, отражающих динамические и статические характеристик процессов, т.е. восприятие свойств «информационной группы».

Классификация восприятий по видам отображения

в них объектов окружающего мира

По видам отображения объектов окружающего мира восприятия делятся на следующие группы [8]:

восприятие предметов окружающего мира, отображающее особенности их вещного, телесного бытия;

восприятие пространства, пространственных отношений между вещами;

восприятие времени, временных отношений между вещами и явлениями окружающего нас мира;

восприятие движений совершаемых вне нас находящимися предметами и наших собственных;

восприятие свойств биологических и других объектов.

Восприятие предметов происходит, в основном, за счет восприятия форм², так как она является наиболее надежным признаком, остающимся неизменным при изменениях цвета, размеров или положения предмета.

Количественные свойства измерительного восприятия: порог восприятия и объем восприятия.

Определение

Порог восприятия – минимальный уровень чувствительности технического средства (сенсора, биосенсора или ИП), необходимый и достаточный для регистрации наличия воздействия.

Определение

Объем восприятия – это максимально возможная количественная определенность свойств или событий, воспринимаемых в единицу времени.

Зависит от быстродействия или полосы пропускания сенсора, биосенсора или ИП.

Основные свойства измерительного восприятия

Основными свойствами измерительного восприятия являются: предметность, целостность, константность, категориальность и избирательность [9].

1. Предметность

Предметы и явления воспринимаются как единое целое, в котором его отдельные компоненты предстают в единстве. Отсутствие в предмете какого-либо одного его стороны или детали не мешает целостному восприятию. Только в процессе анализа предмет расчленяется на составляющие, выделяются те или иные его характеристики [8].

Измерительное восприятие всегда связано с природой свойства объекта измерения (предмета или явления), с его количественной и качественной определенностью и вызвано проявлением его физической сущности. Вся информация, получаемая с помощью СИ, относится к искомому свойству объекта измерения и характеризует его.

Определение 1

Предметность измерительного восприятия – свойство восприятия представлять мир в форме целостных образов, относящихся к воспринимаемым объектам измерений.

Измерительное восприятие, как и восприятие вообще, целостно и предметно. Результат измерительного восприятия – это образ того или иного свойства предмета или явления, получаемый в виде, удобном для его дальнейшего преобразования или измерения.

Определение 2

Предметность измерительного восприятия – свойство, заключающееся в возможности представления искомого свойства (сигнала) в форме целостных образов, относящихся к воспринимаемым объектам измерений.

Предметность восприятия проявляется в соотношении сведений о свойствах объекта измерения с самими объектами как носителями определенной информации.

¹ характерна для нанометрии, где широко используется зрительное восприятие объекта

² Формой называются характерные очертания и взаимное расположение деталей предмета.

2. Целостность

Целостность восприятия – это отражение целостности, объективно присущей воспринимаемому объекту измерения. С учетом [5], дадим определение целостности измерительного восприятия.

Определение 1

Целостность – свойство измерительного восприятия, состоящее в том, что искомое свойство или совокупность искомых свойств одного или пространственно распределенных объектов измерений воспринимаются как устойчивое системное целое (при разных проявлениях свойств), даже если некоторые части этого целого в данный момент не могут быть наблюдаемы.

Измерительное восприятие отражает отношения между свойствами (сигналами) и их характеристиками (совокупностью различных проявлений свойств (сигналов)), стремится объединить их в какой-то целостно воспринимаемый образ, чтобы определить что это за свойство (сигнал) и обеспечить его дальнейшее преобразование или измерение.

3. Константность (постоянство)

Условия, в которых осуществляется измерительное восприятие, чрезвычайно многообразны и изменчивы. Но свойство (сигнал) воспринимается достаточно постоянным, независимо от условий его восприятия. Относительная независимость характеристик свойства от его отображения (на входе чувствительного элемента сенсора, биосенсора или ИП) и обеспечивает его узнаваемость.

Определение [10].

Константность – это относительное постоянство некоторых воспринимаемых свойств предметов при изменении условий восприятия.

4. Категориальность

Определение

Категориальность восприятия – способность к выделению в перцептивном пространстве определенных областей, имеющих более или менее очерченные и устойчивые границы.

При этом четкость данных границ тесно связана с решаемыми при создании СИ задачами разрешающей способности сенсоров, биосенсоров или ИП, воспринимающих образы материального мира непосредственно или опосредованно.

5. Избирательность восприятия (селективность)

Избирательность восприятия заключается в преимущественном выделении одних объектов (или одних свойств, признаков, качеств предметов) по сравнению с другими [8].

Определение

Избирательность (селективность) восприятия – свойство измерительного восприятия, состоящее в выделении из «сенсорного поля» объекта измерения каких-либо определенных свойств, подлежащих преобразованию или измерению.

Избирательность осуществляется посредством использования сенсора, биосенсора или ИП с заданными селективными свойствами. Выделяемое и поэтому более отчетливо воспринимаемое свойство выступает как «преобразуемое» или «измеряемое», а остальные – как «фон» или артефакт¹.

3.2. Триалектика² измерительного преобразования: основные понятия и определения первичного, вторичного и третичного преобразований

Измерительное преобразование, как нечто целостное, состоит из трех составных частей (первичного, промежуточного и завершающего). Взаимосвязь между тремя частями единого целого изучает триалектика [11], – новое направление в теории познания.

Триалектика – это учение о триединых явлениях (например, о первичном, вторичном и третичном преобразованиях свойств без или с обратными связями между составными функциями преобразования ИК), находящихся в непрерывном движении и изменении, причина которых во внутренних связях (положительных и отрицательных), противоречиях и в столкновении противоположностей (нестабильностей разного знака), присущих любому явлению природы.

Прежде, чем дать определение частным разновидностям измерительного преобразования ФВ, приведем общее определение понятию «измерительное преобразование».

Определение 1 [1].

Измерительное преобразование – это отражение размера одной ФВ размером другой ФВ, функционально с ней связанной.

Определение 2

Измерительное преобразование – это операция преобразования того или иного свойства объекта или процесса в функционально связанное с ним свойство или в информативный параметр выходного сигнала, обычно электрической природы, не предназначенное или предназначенное для непосредственного восприятия.

Как отмечалось выше, уравнение связи между входной и выходной ФВ называется ФП ИК и является его основной метрологической характеристикой.

Измерительное преобразование – единственный способ построения любых измерительных

¹ Здесь артефакт – это воспроизводимый при определенных условиях дефект, шум в сигнале, изображении, звукозаписи, причиной которого являются систематические помехи или особенности используемых технических средств.

² Понятие «триалектика» более глубоко отражает сущность процесса преобразования, как единого целого.

устройств. Оно осуществляется в заданном диапазоне значений измеряемых ФВ, амплитуд или уровней сигналов в соответствии с установленной структурой элементарных функций и при допустимом значении погрешности (неопределенности), не превышающей пределы установленных значений верхней и нижней доверительных границ.

Измерительные преобразования осуществляются, в конечном счете, с целью получения информации об измеряемой ФВ в форме, удобной для обработки, хранения, дальнейших преобразованиях и передачи на расстояние или в показывающее устройство.

Измерительное преобразование, осуществляемое, как правило в ИК СИ, обеспечивает формирование электрического сигнала, поступающего непосредственно на устройств отображения измерительной информации или передаваемого в микропроцессор для его дальнейшего преобразования (цифровой фильтрации, цифрового спектрального анализа, цифрового детектирования, физического или виртуального сравнения со значением образцовой ФВ или с опорным сигналом и т.д.) или в интеллектуальный интерфейс, базу знаний или в экспертное устройство в соответствующей форме и виде.

Различают первичное (основное или родовое), вторичное (промежуточное) линейное или нелинейное (функциональное) измерительное преобразование ФВ, а также третичное (завершающее) преобразование. Первичное преобразование направлено преимущественно на преобразование рода ФВ, а вторичное – на линейное или нелинейное измерительное преобразование ФВ практически одной физической природы – электрической. Не исключены и дополнительные преобразования через третью величину иной физической природы, например, вторичные измерительные преобразования вида: «электрический сигнал \Rightarrow электрическая мощность \Rightarrow тепловая мощность \Rightarrow термо-э.д.с».

И, наконец, третичное (завершающее) преобразование направлено на получение с заданной точностью конечного результата преобразования в цифровой форме с заданной разрядностью (точностью), направленное для сравнения в виртуальном пространстве с другим числом, характеризующим значение ФВ, воспроизводимое мерой или стандартным образцом, для индикации или передачи в базу данных, экспертную систему и/или интеллектуальный интерфейс.

Дадим определения измерительным преобразованиям ФВ.

Определение 1

Первичное измерительное преобразование – это процесс восприятия свойства (или сигнала) той или иной физической природы, управляемого или неуправляемого преобразование его на основе тех или иных физических эффектов и явлений в однородное, но количественно иное свойство, или в свойство иной физической природы, характеризующееся качественной и количественной определенностью при установленных условиях и ограничениях.

Полагается, что процесс восприятия является адекватным (достоверным) поставленной задаче. Вопрос о степени адекватности первичного измерительного преобразования ФВ связан с вопросами избирательности, точности, полноты и глубины отражения объекта измерения с помощью математических моделей.

Следовательно, первичные измерительные преобразования используются для непосредственного (первого) восприятия величин разной физической природы и преобразования их в величину той же или иной физической природы.

Определение 2

Вторичное (промежуточное) измерительное преобразование – это процесс восприятия первично преобразованного свойства и его однократное, чаще неуправляемое преобразование в количественно (линейно или функционально) измененное свойство той же природы или одно-, двух- и многократное преобразование через свойства разной физической природы в свойство электрической природы, характеризующееся качественной и количественной определенностью, и обеспечивающее дальнейшую обработку, сравнение, хранение или передачу на расстояние при установленных условиях и ограничениях.

При этом процессы измерительных преобразований могут быть линейными и нелинейными, непрерывным и дискретным во времени, осуществляться во временной области или в спектральной.

Определение 3

Третичное (завершающее) измерительное преобразование – это процесс восприятия вторично (или троично) преобразованного свойства (в частотно-временной области), преобразования его в код числа заданной системы счисления и разрядности непосредственно или через дополнительные операции аналого-цифровой фильтрации, цифрового усреднения, цифрового интегрирования и статистической обработки¹, получения или формирования конечного результата в виде, удобном для сравнения в виртуальном пространстве, дальнейших преобразований, хранения или передачи на расстояние при заданных условиях и ограничениях.

Таким образом, основными операциями измерений являются: операция формирования нескольких рядов ФВ, размеры которых связаны определенной закономерностью²; операция восприятия; операция измерительного преобразования искомой ФВ, состоящая из операций первичного, вторичного и третичного измерительных преобразований; операция воспроизведения образцовой ФВ одного или нескольких фиксированных размеров; операция непосредственного или опосредованного сравнения не преобразованных или преобразованных ФВ неизвестного и установленного (фиксированного) размеров или операция нахождения соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой ФВ с образцовой.

¹ последовательности результатов многократных измерительных преобразований

² характерна только для ИИ

3.3. Методы измерительного преобразования качественной и количественной определенности свойств: основные определения

Определение [12].

Метод (способ) – систематизированная совокупность шагов, действий, которые необходимо предпринять, чтобы решить определенную задачу или достичь определенной цели.

Метод измерительного преобразования

Метод измерительного преобразования (МИП) – это совокупность операций восприятия и преобразования свойств той или иной физической природы в свойства преимущественно электрической природы. Природа исследуемого свойства чаще всего оценивается природой свойства, воспроизводимого мерой или стандартным образцом. Они должны быть одной и той же (единой) физической природы.

Определение 1 (общее определение)

Метод (линейного или нелинейного) измерительного преобразования – это конечная совокупность элементарных (физических, химических и биологических) операций управляемого или неуправляемого восприятия и преобразования количественной определенности свойств одной физической природы в количественную определенность свойства другой физической природы, обычно электромагнитной¹, непосредственно или через свойство третьей природы, осуществляемых (или проводимых) в соответствии с цепочечной, параллельной, кольцевой или комбинированной структурой функции измерительного преобразования и обеспечивающая получение количественной информации о преобразуемом свойстве или о его функционально измененном значении и представление ее в виде, удобном для обработки, хранения, сравнения, дальнейших преобразований, индикации или передачи на расстояние при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 2

МИП – это конечная совокупность операций восприятия и преобразования свойства одной физической природы в свойство электромагнитной природы непосредственно или через свойство третьей природы, обеспечивающая получение количественной информации об измеряемом свойстве и/или о его функционально измененном значении в виде, удобном для обработки, хранения, сравнения, дальнейших преобразований, индикации или передачи на расстояние при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 3

МИП свойства любой физической природы – это конечная совокупность элементарных (физических) операций восприятия и преобразования природы искомого свойства на основе известных эффектов и явлений, выполняемая в пространстве и во времени в определенной последовательности при определенных условиях и ограничениях с целью получения количественной информации в заданном виде.

Метод первичного преобразования свойств

Определение 1

Метод первичного измерительного преобразования – это конечная совокупность операций восприятия и управляемого² или неуправляемого преобразования количественной неопределенности свойства одной физической природы в количественную неопределенность свойства той же или иной физической природы, выполняемых в пространстве и во времени в определенной последовательности с целью получения достоверной информации о преобразуемом свойстве в виде, удобном для дальнейшего преобразования, обработки, хранения или даже для сравнения при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 2

Метод первичного измерительного преобразования – это конечная совокупность элементарных операций восприятия и преобразования свойства одной физической природы в свойство определенной физической природы, содержащее достоверную информацию о преобразуемом свойстве в виде, обеспечивающем его дальнейшее преобразование или сравнение с однородным образцовым свойством при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 3

Метод первичного измерительного преобразования свойства любой физической природы – это конечная совокупность элементарных операций восприятия и преобразования³ природы измеряемого свойства, выполняемая в определенной последовательности в пространстве и во времени при определенных условиях и ограничениях и используемая для получения свойства, удобного для дальнейших преобразований или сравнений.

Метод вторичного (промежуточного) преобразования свойств

Методы промежуточного преобразования отличаются от методов первичного преобразования тем, что они используют, преимущественно, преобразования ФВ на правленного действия: электрических, оптических (световых) и механических величин.

Определение 1

Метод вторичного линейного или нелинейного, управляемого или неуправляемого измерительного

¹ обычно в электрический или оптический сигнал

² предпочтительно при избыточных измерениях

³ преимущественно однократного, управляемого или неуправляемого преобразования

преобразования – это конечная совокупность элементарных операций преобразования свойств направленного действия, выполняемых во времени и в пространстве в соответствии с цепочечной, параллельной, кольцевой или комбинированной структурой заданной функций преобразования свойств с целью получения свойства, содержащего достоверной информации об измеряемом свойстве или о его функционально измененном значении, в виде, удобном для хранения, сравнения с однородным образцовым свойством, дальнейших преобразований, индикации или передачи на расстояние при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 2

Метод вторичного измерительного преобразования – это конечная совокупность элементарных операций (преимущественно неуправляемого) восприятия и преобразования свойств одной физической природы (электрической, оптической или механической) непосредственно или через двойное, реже тройное, промежуточное преобразование в свойство иной физической природы (чаще электрической), содержащего достоверную информацию о преобразуемом свойстве или о его функционально измененном значении в виде, удобном для хранения, сравнения и дальнейших преобразований при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 3

Метод вторичного измерительного преобразования – это конечная совокупность операций восприятия и измерительного преобразования свойств электрической, оптической или механической природы в свойство той же или иной физической природы, содержащее достоверную информацию в форме, удобной для хранения, сравнения и дальнейших преобразований при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Метод третичного (завершающего) преобразования свойств

Определение 1

(при преобразованиях типа «(не)электрическая величина – неэлектрическая величина»)

Метод третичного измерительного преобразования – это конечная совокупность операций восприятия и преобразования свойства (не)электрической природы, направленная на получение достоверной информации об искомом или функционально измененном свойстве в значения линейного или углового перемещений (угла поворота) или в число оборотов, т.е. в виде механического сигнала, удобного для сравнения, дальнейших преобразований, индикации¹ или передачи на расстояние при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 2

(при преобразованиях типа «(не)электрическая величина – электрическая величина»)

Метод третичного измерительного преобразования свойства (не)электрической природы – это конечная совокупность операций восприятия и преобразования промежуточной неэлектрической величины (сигнала), направленная на получение достоверной информации о преобразуемом свойстве или о его функционально измененном значении в виде электрического сигнала, удобного для сравнения в реальном и виртуальном прост-ранстве, дальнейших преобразований, индикации или передачи на расстояние при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 3

(при преобразованиях типа «(не)электрическая величина – электрическая величина»)

Метод троичного измерительного преобразования свойства (не)электрической природы – это конечная совокупность операций восприятия и преобразования, направленная на получение достоверной информации об искомом свойстве или о его функционально измененном значений в виде цифрового (дискретного) электрического сигнала в определенной системе счисления и заданной разрядности, например, в виде двоичного кода, удобного к использованию в виртуальном пространстве для сравнения, дальнейших преобразований, хранения, индикации или передачи на расстояние при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Определение 4

(при преобразованиях типа «электрическая величина – электрическая величина»)

Метод третичного измерительного преобразования свойства электрической природы – это конечная совокупность операций восприятия и аналого-цифрового преобразования свойства, выполняемая для получения его значения в виде дискретного электрического сигнала, удобного для сравнения его со значением образцовой величины в виртуальном пространстве, цифровой обработки, передачи на расстояние и индикации при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях.

Как видно из приведенных определений, операция сравнения может проводиться после первичного, вторичного или третичного преобразования свойств. Данный аспект в теории прямых измерениях не рассматривался.

3.4. Классификация методы измерительного преобразования физических величин

В основу данной классификации положены следующие существенные классификационные признаки: активность преобразуемых свойств; способ выражения связи искомого свойства с неинформативными свойствами; первичность (или род) преобразований; тип структур ФП; способ

¹ путем установки указателя на соответствующей отметке оцифрованной шкалы или изменения показания механического счетчика импульсов

преобразования рядов ФВ; характер измерительного преобразования; управление процессом; природа измерительного преобразования; число используемых эффектов или явлений; способ преобразования; вид преобразования.

По активности преобразуемых свойств различают методы восприятия и измерительного преобразования свойств активных и пассивных ФВ. Эти два вида методов принципиально отличаются друг от друга методологическими подходами, совокупностью и набором выполняемых операций.

По способу выражения связи искомого свойства с неинформативными свойствами иной физической природы различают методы измерительного преобразования ФВ с приписанной математической моделью (ММ) и без приписанной объекту измерения ММ (рис. 2).

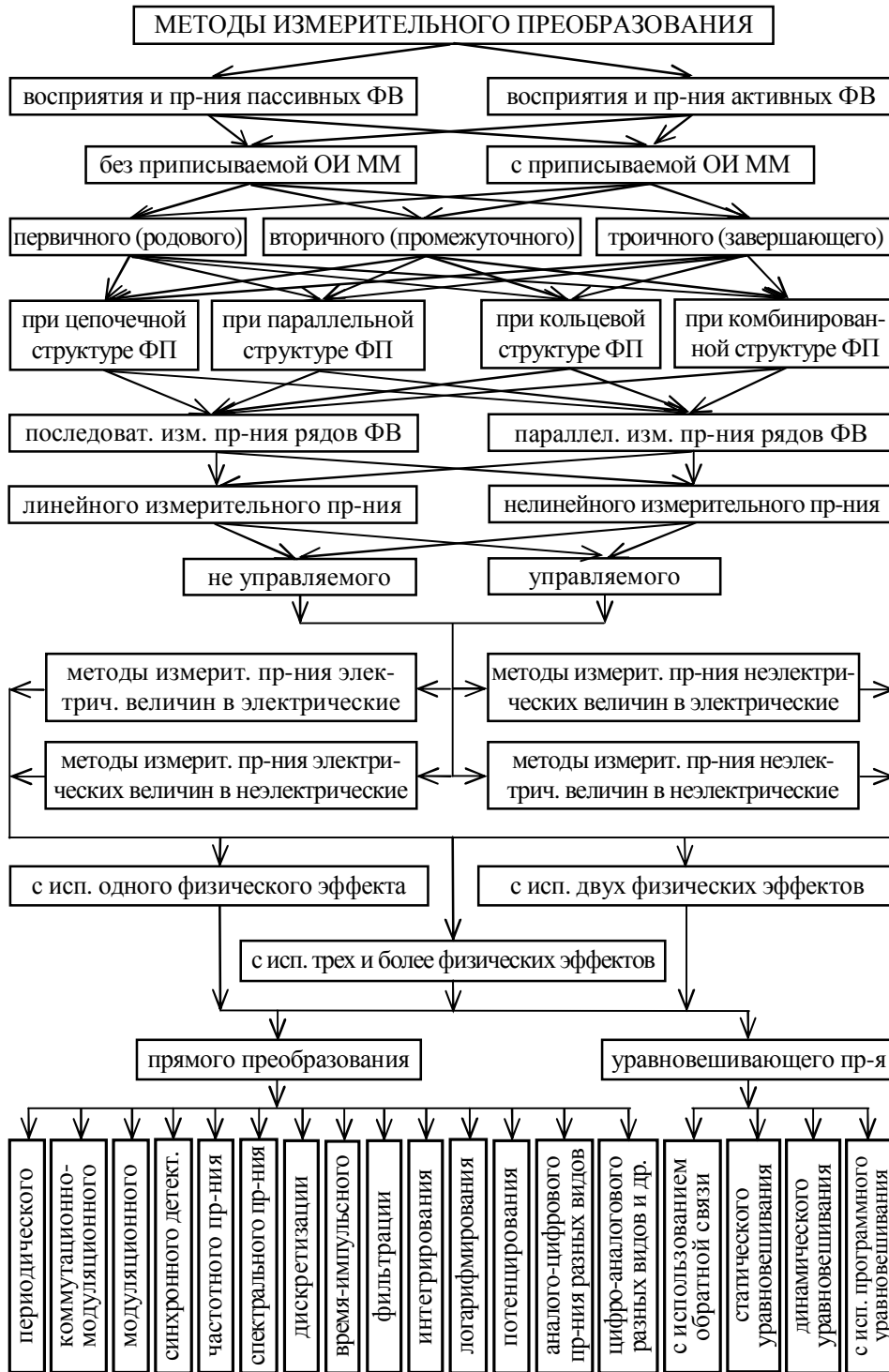


Рис. 2. Измерительное преобразование физических величин

По первичности преобразований все методы измерительного преобразования свойств делятся на три подвида: первичного (разнородовые), вторичного (промежуточного или внутриродовые) и третичного (выходного или завершающего) преобразования.

Методы первичного измерительного преобразования обеспечивают восприятие и преобразование

качественной и количественной определенности искомого свойства в качественную и количественную определенность свойства априори заданной физической природы при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектах и явлениях. В тех случаях, когда природа свойств входной ФВ (или сигнала) не меняется, то такое преобразование называется масштабированием и направлено на усиление или ослабление размера искомой ФВ с целью обеспечения условий для его дальнейших преобразований.

Методы вторичного измерительного преобразования направлены на линейное или нелинейное функциональное преобразование¹ первично преобразованной ФВ с использованием одного или цепочки согласованных эффектов и/или явлений, обеспечивающих получение ФВ (или сигнала), необходимой для осуществления завершающего преобразования при установленных условиях и ограничениях.

Методы третичного (завершающего) измерительного преобразования² обеспечивают преобразование полученной промежуточной ФВ в ФВ (или в параметр сигнала) заданной природы³, удобную для дальнейшей передачи на расстояние, сравнения и обработки, при установленных условиях и ограничениях, используемых эффектов и явлений. Данное преобразование связано также с получением измерительной информации в форме чисел, отсчетов, сигналов, кодов путем аналого-цифрового, цифроаналогового, цифрового и других преобразований. Для интеграции такой распределенной во времени и в пространстве информации естественно должны обеспечиваться соответствующие условия для её хранения, передачи, обработки, отображения, регистрации, документирования и дальнейшего распространения.

Методы третичное преобразование включают в себя и завершающее цифровое преобразование.

Под цифровым преобразованием мы понимаем во-первых, вычислительные преобразования кодов чисел с фиксированной или плавающей запятой, обеспечивающие, с метрологической точки зрения, разную точность вычислений; во-вторых, преобразование одной системы счисления кодов в другую, например, позиционной в непозиционную, с целью обеспечения заданной формы отображения информации; в-третьих, преобразование двоичной системы счисления в десятичную, в троичную (позиционную систему счисления с целочисленным основанием «3»), в Фибоначчиеву систему (– смешанная система счисления для целых чисел), в другие комбинированные системы счисления и т.д.), в-четвертых, преобразования самих кодов (в ЭВМ применяется прямой, обратный и дополнительный коды) с целью повышения быстродействия выполнения не только простых, но и сложных операций (логарифмирования, потенцирования, возведения в дробную степень и т.д.) и т.п.

По типу структур функций преобразования различают методы, обеспечивающие измерительные преобразования ФВ по цепочечной, параллельной, кольцевой или смешанной структуре ФП ИК (рис. 2). Теория создания измерительных преобразователей неэлектрических величин, особенно преобразователей типа «неэлектрическая величина – неэлектрическая величина» находится, к сожалению, на начальном этапе своего развития. Вопросам синтеза и реализации структур ИП по структурам ФП, элементарные функции которых соответствуют элементарным физическим операциям, ученые не уделяют пока должного внимания.

По способу преобразования рядов ФВ различают методы последовательного и параллельного во времени измерительного преобразования рядов ФВ. Существуют измерительные задачи, которые, без ущерба для точности измерений, позволяют, при избыточных измерениях, осуществлять параллельное измерительное преобразование сразу нескольких однородных ФВ. Например, при избыточных измерениях полной, активной и реактивной мощности, а также эквивалентного коэффициента мощности суммарным методом используются методы измерительного преобразования суммарного и разностного сигналов по неидентичным ИК. Благодаря введенной избыточности и соответствующей обработке результатов промежуточных преобразований по уравнениям избыточных измерений обеспечивается автоматическое исключение погрешностей преобразования суммарного и разностного сигналов. С использованием трех неидентичных ИК возможно высокоточное измерение, например, влажности оптически-прозрачных листовых материалов при измерительном преобразовании трех ослабленных потоков оптического излучения (с тремя независимыми длинами волн), прошедших через листовые материалы с неизвестной и заданной (образцовой) влажностью.

По характеру преобразования или по целевой функции имеют место методы линейного и нелинейного измерительного преобразования ФВ. В отличие от прямых, избыточные измерения обеспечивают не только линейные, но и нелинейные измерительные преобразования ФВ при нелинейной ФП ИК. Это достигается благодаря использованию ИК с нелинейной функцией преобразования известного вида и решения системы нелинейных уравнений величин относительно нелинейно преобразованной (по значению) ФВ.

По наличию управления различают методы измерительного преобразования без управления процессом преобразования и методы измерительного преобразования с управлением процессом преобразования. Последние обеспечивают возможность получения информативной избыточности путем воздействия на вход ИК ФВ с нормировано измененным размером, – за счет изменения параметра, например, S_d ФП ИК, а не с первоначальным размером), – в случаях преобразования неэлектрических величин, когда отсутствует возможность высокоточного изменения размеров этих величин.

¹ обычно одной природы, но разного вида

² обычно аналого-цифрового, импульсно-цифрового или дискретно-цифрового

³ электрической или оптической (световой)

По природе преобразуемых ФВ выделяют методы измерительные преобразования:

1) электрических величин в электрические. Формализовано их можно записать следующим образом – $i_1(t) \Rightarrow i_2(t), i(t) \Rightarrow u(t), u(t) \Rightarrow i(t), I_x \Rightarrow U_x, I_x \Rightarrow f_x, U_x \Rightarrow f_x, R \Rightarrow f_x, u(t, \Delta f_1) \Rightarrow u(t, \Delta f_2),$

$\left. \begin{matrix} u_1(\omega, t, \varphi_1) \\ u_2(\omega, t, \varphi_2) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \Phi_x, \left. \begin{matrix} u_x(\omega, t, \varphi_1) \\ i_x(\omega, t, \varphi_2) \end{matrix} \right\} \Rightarrow P_x(i, u, \Phi_x, t), \left. \begin{matrix} U_m \sin \omega t \\ U_m \cos \omega t \end{matrix} \right\} \Rightarrow U_m, U_{m1} \sin \omega t \Rightarrow U_{m2} \cos \omega t$ и т.д. В ряде

измерительных задач формализованное описание операций измерительного преобразования ФВ может нести дополнительную информацию о наложенных ограничениях или условиях преобразования, об

используемом эффекте или явлении, например, $i(t) \Rightarrow U_x$ – операция измерительного преобразования

токового сигнала в напряжение без модуляции, где *wm* – аббревиатура слов «without modulation» (без

модуляции); $U_x \xrightarrow[\text{АЦП}]{12} N_x$ – операция аналого-цифрового преобразования ФВ U_x в код двенадцатирядного

числа N_x ;

2) электрических величин в неэлектрические – $i(t) \Rightarrow \alpha(t), u(t) \Rightarrow \beta(t), I_x \Rightarrow T_x,$

$I_x \Rightarrow \Phi_x, U_x \Rightarrow \omega_x$ и т.д.;

3) неэлектрических величин в электрические – $(\alpha(t) \Rightarrow i(t), \beta(t) \Rightarrow u(t), T_x \Rightarrow U_x, \Phi(t) \Rightarrow I(t), \omega(t) \Rightarrow u(t).$

В общем виде измерительное преобразование ФВ можно записать и таким образом: $x_i \xrightarrow[\text{wm}]{P} y_{ni}$ –

операции измерительного преобразования ФВ x_i , например давления, в выходной сигнал y_{ni} (электрической природы). Здесь индекс «*wm*» означает «без модуляции»;

4) неэлектрических величин в неэлектрические – $(\alpha(t) \Rightarrow l(t), \beta(t) \Rightarrow P(t), T_x \Rightarrow l_x, T_x \Rightarrow V_x, \Phi_x \Rightarrow T_x$ и т.д.).

По числу используемых физических эффектов различают методы измерительного преобразования с использованием одного, двух и более физических эффектов и явлений. В методических материалах "Комплексный метод поиска новых технических решений" [13] Горьковского народного университета описано 127 физических эффектов и явлений с указанием вида используемой энергии. Каждый физический эффект снабжен ссылками на литературные источники. Указанное многообразие физических эффектов и обуславливает многообразие методов измерительного преобразования ФВ.

По способу преобразования различают методы прямого и уравнивающего измерительных преобразований.

К первым относятся методы: периодического преобразования; коммутационно-модуляционные; модуляционные (амплитудная, частотная и фазовая модуляция); синхронного детектирования (на одной, реже на двух частотах – двойное синхронное детектирование); частотного и спектрального преобразования сигналов; преобразования с использованием разных видов дискретизации (с синхронизацией или без синхронизации); времяимпульсного преобразования (амплитудно-импульсного, широтно-импульсного); фильтрации, в том числе и цифровой; интегрирования (за заданный интервал времени, за период гармонического сигнала, с использованием синхронизации, скользящего усреднения и т.д.); логарифмирования (натурального и десятичного) и потенцирования; возведения в квадрат; выпрямления (однополупериодного и двухполупериодного); корреляционного преобразования, аналого-цифрового преобразования разных видов, в том числе аналого-цифрового преобразования в симметричной трюичной системе счисления и неэлектронного аналого-цифрового преобразования; цифроаналогового преобразования разных видов, в том числе и неэлектронного цифроаналогового преобразования и другие методы нелинейных преобразований (рис. 2).

К вторым относится методы: уравнивающего преобразования с обратными связями, статического уравнивания, динамического уравнивания, уравнивания по заданной программе. Все они в достаточно полном виде описаны в работах Гутникова В.С., Новицкого П.В., Орнатского П.П., Островского Л.А., Спектора С.А., Туричина А.М. и других ученых.

Для полноты формализованного описания некоторых операций измерительного преобразования той или иной ФВ могут использоваться следующие символы, например:

символ усреднения – $\int_{t_i}^{t_i+T_{yc}}$ с указанием начального (t_i) и конечного ($t_i + T_{yc}$) времени усреднения)

результата измерительного преобразования ФВ; символ «Н» – от английского слова «homogenizing» или «homogenization» – усреднение;

символы фильтрации (ограничения по частоте сверху, снизу и полосовая фильтрация) – \bar{F}, \underline{F} и \bar{F} ; f_0, f_n, f_1

символ $\sum_{j=1}^{m=5} y_j$ суммирования ФВ, например, $x_i \xrightarrow[m]{l} y_{ni} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{m=5} y_{nj} = y_{n1} + \dots + y_{n5}$ –

формализованное описание операции измерительного преобразования ФВ x_i (в частности, электрического тока) по пяти (квази)идентичным ИК с последующим суммированием выходных сигналов с помощью, например, аналогового сумматора-делителя напряжения. В данном случае также показано (см. индекс «m»), что дополнительно используются операции модуляции входного сигнала («modulation» (модуляции);

символ аналого-цифрового преобразования ФВ x_i в код шестнадцатиразрядного числа N_x –

$x_i \xrightarrow[16]{\text{АЦП}} N_x$ и др.

Например, операция интегрирования и аналого-цифрового преобразования, усреднения и аналого-цифрового преобразования, формализовано описываются следующим образом:

1) операции интегрирования за заданный промежуток времени (или за период помехи) и аналого-

цифрового преобразования в код числа заданной разрядности – $y_n \Rightarrow \int_{\tau_1}^{\tau_2} y_n dt \xrightarrow[16]{\text{АЦП}} N_n$ или 2)

$y_n \Rightarrow \int_{t_i}^{t_i+T_{yc}} y_{ni} \xrightarrow[16]{\text{АЦП}} N_n$;

3) аналоговой фильтрации (с использованием ФНЧ) и аналого-цифрового преобразования в код

числа заданной разрядности – $y'_n \Rightarrow \int_{\text{афнч}}^{f_0 \pm \Delta f} y_n \xrightarrow[16]{\text{АЦП}} N_n$;

4) аналоговой фильтрации (с использованием ФВЧ) и аналого-цифрового преобразования в код

числа заданной разрядности – $y'_n \Rightarrow \int_{\text{афвч}}^{f_0 \pm \Delta f} y_n \xrightarrow[16]{\text{АЦП}} N_n$;

5) аналоговой полосовой фильтрации (с использованием ПФ) и аналого-цифрового преобразования

в код числа заданной разрядности – $y'_n \Rightarrow \int_{\text{апф}}^{f_0 \pm \Delta f} y_n \xrightarrow[16]{\text{АЦП}} N_n$;

6) аналого-цифровой фильтрации и преобразования в код числа заданной разрядности –

$y_n \Rightarrow \int_{\text{фнч}}^{f_0 \text{ ацф}} y_n \xrightarrow[16]{\text{АЦП}} N_n$, 7) $y_n \Rightarrow \int_{\text{фвч}}^{f_0 \text{ ацф}} y_n \xrightarrow[16]{\text{АЦП}} N_{\text{нф}}$, 8) $y_n \Rightarrow \int_{\text{пф}}^{f_0 \pm \Delta f \text{ ацф}} y_n \xrightarrow[16]{\text{АЦП}} N_n^\Phi$;

9) цифровой фильтрации и преобразования в код (цифрового потока информации) числа с заданной разрядностью –

$N_n \Rightarrow \int_{\text{18 фнч}}^{f_n \text{ цф}} y_n \xrightarrow[16]{\text{АЦП}} N_{\text{нф}}$, 10) $N_n \Rightarrow \int_{\text{24 фвч}}^{f_n \text{ цф}} y_n \xrightarrow[16]{\text{АЦП}} N_{\text{нф}}$, 11) $N_n \Rightarrow \int_{\text{20 пф}}^{f_n \text{ цф}} y_n \xrightarrow[16]{\text{АЦП}} N_{\text{нф}}$.

Таким образом, существует большое многообразие методов измерительного преобразования ФВ, отличающихся между собой по заданной совокупности отличительных признаков.

3.5. Операции сравнения

Операция сравнения играет важную роль в прямых и избыточных измерениях ФВ. Это обуславливает определенный интерес к ней с методологической и гносеологической точек зрения. Рассмотрим сущность данной операции.

Определение (с философской точки зрения)

Сравнение – это отражение сходства или различия объектов по их свойствам соответствующим логическим заключением.

Определение (в технических науках [14])

Сравнение – это процесс установления отношения интенсивностей однородных отражаемых свойств эмпирических объектов, в целях получения логического заключения «больше», «меньше» или «равны».

С метрологической точки зрения, сравнение – процесс, при котором достигается равенство числовых значений сравниваемых ФВ в физическом или виртуальном пространстве в соответствии с уравнением измерений. Операции сравнения необходимы как для получения результата измерений, так и для проверки выполнения установленных условий (и команд) в зависимости от того истинно или ложно условие.

Операция сравнения формализовано (математически) описывается посредством знаков равенства: равенства между собой двух однородных ФВ, равенства нулю разности их значений или равенства единице отношения числовых значений двух ФВ непосредственно связанных между собой или через коэффициент связи. Для случая, когда образцовая ФВ воспроизводится многозначной мерой, выполнение операций сравнения упрощается.

Определение 1 (общее)

Операция сравнения – это последовательный во времени процесс достижения: равенства значений сравниваемых однородных ФВ направленного действия; равенства нулю разности этих величин; равенства единице частного от деления числовых значений однородных ФВ, одна из которых воспроизводится мерой¹ (с нормированными по значению дискретными ступеньками), путем закономерного (равномерно- или неравномерно-ступенчатого) изменения значений последней.

Необходимо отметить, что данное определение не распространяется на неэлектрические величины, для сравнения которых используются стандартные образцы свойства и состава используемого вещества и материала фиксированного размера.

Для случаев, когда нормированная по значению ФВ воспроизводится однозначной мерой или стандартным образцом, операции сравнения имеет свои особенности выполнения. Дадим им соответствующие определения.

Определение 2 (частное 1 – операция «равенство»)

Операция сравнения – это последовательный во времени процесс достижения равенства числовых значений двух однородных ФВ, одна из которых является образцовой (однозначной и нормированной по значению), путем установления, с заданной погрешностью, соответствующего значения коэффициента связи (пропорциональности) между их числовыми значениями в соответствии с уравнением измерений.

Определение 3 (частное 2 – операция «разность»)

Операция сравнения – это последовательный во времени процесс достижения с заданной погрешностью (точностью) равенства нулю разности числовых значений двух ФВ, одна из которых является образцовой, однозначной и нормированной по значению, путем закономерного изменения значений коэффициента связи искомой ФВ с образцовой в соответствии с уравнением измерений.

Определение 4

(частное 3 – операция «отношение» при образцовой ФВ фиксированного размера)

Операция сравнения – это последовательный во времени процесс достижения с заданной погрешностью (точностью) равенства числовых значений двух ФВ, одна из которых является образцовой и фиксированного размера, путем закономерного изменения коэффициента связи искомой ФВ с образцовой в соответствии с уравнением измерений.

Определение 5

(частное 4 – операция «отношение» при образцовой ФВ изменяемого размера)

Операция сравнения – это последовательный во времени процесс достижения с заданной погрешностью (точностью) равенства единице отношения размеров двух ФВ, одна из которых является образцовой и изменяемого закономерным образом размера.

Известны следующие виды операций сравнения [15]: 1) больше/меньше/равно; 2) больше, меньше, не меньше, не больше; 3) равенство, неравенство; 4) эквивалентность, неэквивалентность; 5) строковые операции сравнения; 6) специальные операции языка SQL.

В метрологии используют операции сравнения первых трех видов. Причем нас интересует не только выполнение той или иной операции, а пути достижения равенства сравниваемых по значению однородных ФВ. Операции «больше», «меньше», «не меньше», «не больше» в метрологии являются необходимыми, но не достаточными операциями. Из всех операций сравнения только операция «равенства» является необходимой и достаточной, поскольку дает возможность судить о моменте равенства числовых значений ФВ. Операций сравнения, как и операция преобразования, является измерительной операцией.

Ограничительные операции «больше или равно», «меньше или равно», «не меньше» и «не больше» в процессе измерений используются для установления тех или иных условий и ограничений, например, при проведении операции сравнения размеров однородных ФВ, изменении, со временем, нормированных значений погрешностей результатов измерений ФВ, при выборе размера ФВ, воспроизводимой мерой или стандартным образцом, и т.д.

Существует несколько методов сравнения однородных ФВ. Поскольку операцию сравнения можно осуществлять на любом этапе измерительного преобразования ФВ, то различают методы сравнения однородных ФВ до их первичного измерительного преобразования (непосредственно размеров искомой ФВ и ФВ, воспроизводимой регулируемой мерой), сравнение на этапе вторичного (промежуточного) измерительного преобразования сравниваемых по значению ФВ и сравнение на этапе завершающего (третичного) преобразования в код значений промежуточных ФВ (сравнение кодов чисел или кодов значений промежуточных ФВ в виртуальном пространстве) (рис. 3).

Как отмечалось выше, сравнение ФВ возможно на любом этапе их преобразования. При сравнении однородных ФВ до их первичного измерительного преобразования используются метод непосредственного совпадения размеров однородных входных ФВ; метод противопоставления; метод замещения и дифференциальный или нулевой метод.

При сравнении первично преобразованных ФВ, т.е. на этапе вторичного измерительного преобразования, используются те же методы, но для преобразованных ФВ.

Наибольший интерес представляют методы сравнения на этапе завершающего (третичного) преобразования ФВ – это методы виртуального сравнения кодов чисел. Преимущественно они используются

¹ Однозначной или регулируемой многозначной мерой или стандартными образцами состава и свойств веществ и материалов

при избыточных измерениях ФВ. Среди них можно выделить: метод непосредственного совпадения кодов значений преобразованных ФВ; метод параллельного или поразрядного уравнивания кодов; дифференциальный (или нулевой) метод, т.е. метод сравнения посредством вычитания кодов результатов преобразования сравниваемых ФВ; реляционный метод или метод сравнения путем определения равенства единице отношения кодов числовых значений сравниваемых ФВ в результате изменения размера образцовой ФВ по тому или иному закону; дифференциально-реляционный метод сравнения результатов преобразований однородных ФВ и метод перебора значений кодов коэффициента связи между сравниваемыми значениям преобразованных ФВ до обеспечения их равенства (рис. 3).

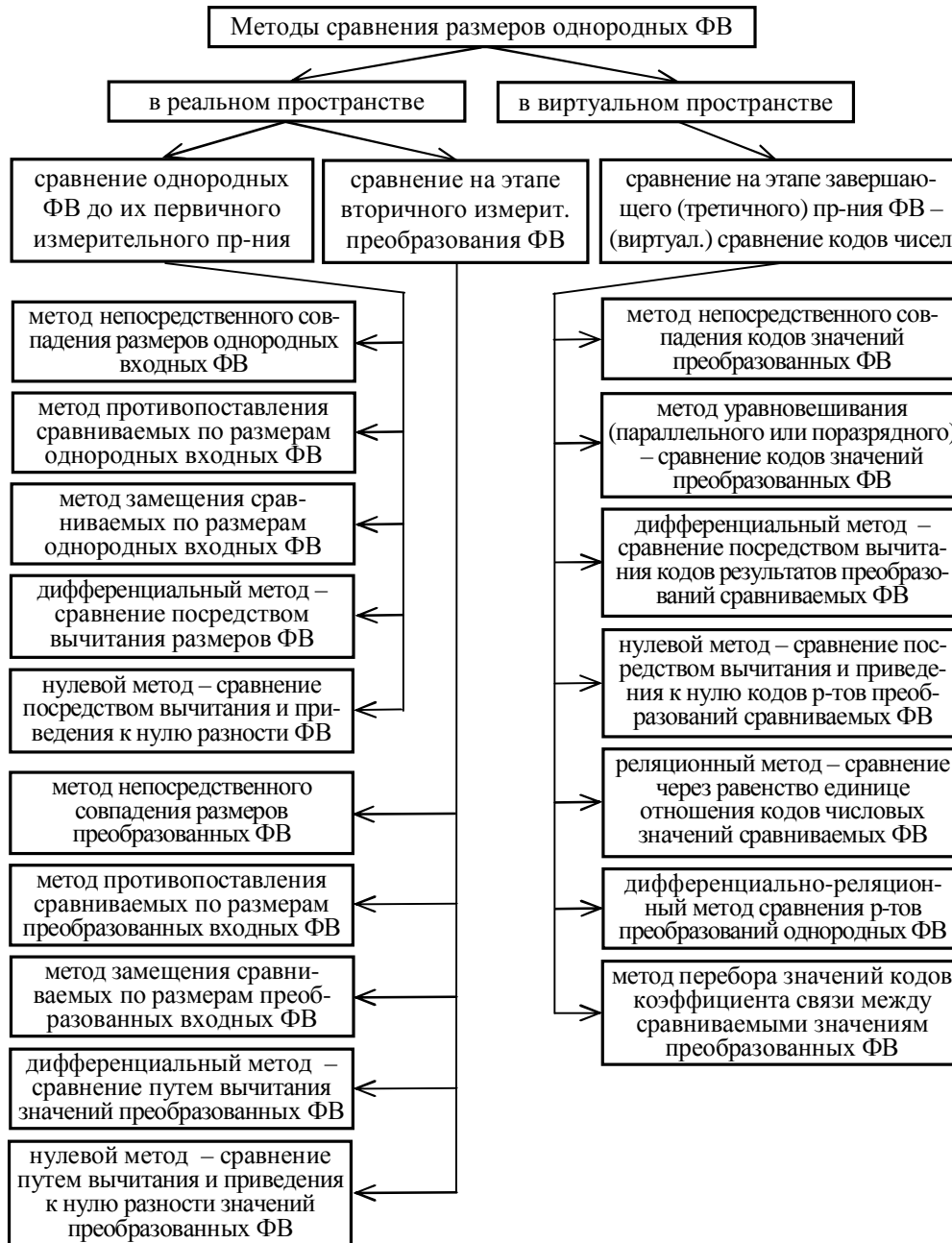


Рис. 3. Методы сравнения физических величин

Таким образом, существует достаточное количество методов сравнения не преобразованных и преобразованных ФВ, в основу которых положены общие подходы к реализации операции равенства, т.е. к получению логического заключения «равны».

Выводы

В работе рассмотрены функции преобразования измерительного канала, операция измерительного восприятия и ее свойства, операции первичного, вторичного и третичного преобразования физических величин, методы измерительного преобразования и их классификация, а также операции и методы сравнения, что расширяет и углубляет наши знания о теории измерений и основных измерительных операциях.

Показано, что функция преобразования измерительного канала состоит из подфункций, которые, в свою очередь, состоят из элементарных функций, описывающих ту или иную основную физическую

операцию. Причем, для каждой основной операции можно указать соответствующие физические, химические или биологические эффекты. Даны научные определения данным функциям.

Подчеркивается, что функции преобразования измерительного канала имеют определенные структуры (цепочечную, параллельную, кольцевую и комбинированную) и им присущи соответствующие графические представления, что расширяет наши представления о тонкой структуре этих функций.

Подчеркивается необходимость развития методологии и методов разработки структур функций преобразования электрических и неэлектрических величин с учетом основных физических, химических и биологических эффектов.

Впервые в теорию измерений введено понятие «измерительное восприятие», даны его определения. Раскрыта сущность процесса восприятия и его основных свойств (предметности, целостности, константности и избирательности).

Приведена классификация восприятия во видам явлений и объектов, которая дает возможность на новом семантическом уровне воспринимать процесс измерений. Утверждается, что измерительное восприятие является первичной операцией измерительного преобразования физических величин и обеспечивает согласованный прием и передачу информации о преобразуемом свойстве.

Согласование количественной определенности входных и выходных свойств и параметров элементарных функций и подфункций, описывающих процессы преобразования, при различных хронометрическом, статистическом, спектральном, корреляционном или полевом проявлениях того или иного искомого свойства, является составной частью процесса измерительного преобразования, без которого невозможно достичь высокого качества измерений.

Раскрыта сущность измерительного преобразования физических величин, как некоторого единого целого, состоящего из трех частей: первичного, вторичного и третичного преобразования. Приводятся соответствующие определения данным понятиям с позиции системного подхода. Утверждается, что взаимосвязь между тремя частями единого целого изучает триалектика, являющаяся новым научным направлением в теории познания.

Все процессы первичного, вторичного и третичного (завершающего) преобразований, естественно, подлежат оптимизации по выбранным критериям (по энергии или мощности, по стабильности параметров функции преобразования, по чувствительности к влияющим факторам и т.д. Функционально это осуществляется за счет введения обратных связей. Изучение триединства измерительных преобразований является важнейшей научной задачей.

Раскрыта сущность методов первичного, вторичного и третичного измерительных преобразований физических величин с указанием достигаемой цели. Это расширяет наши представления о данных преобразованиях и упорядочивает существующую систему знаний об этих методах.

Впервые разработана стройная классификация методов измерительного преобразования физических величин, характеризующая их различия по активности преобразуемых свойств, по способу выражения связи искомого свойства с неинформативными свойствами, по первичности преобразований, по типам структур функций преобразования; по способу преобразования рядов физических величин; по характеру измерительного преобразования; по управляемости процессом; по природе измерительного преобразования; по числу используемых эффектов или явлений; по способу и виду преобразований.

Приведены варианты формализованного описания ряда операций измерительного преобразования физических величин и соответствующие символы. Это обеспечивает полноту отображения информации о всех процессах преобразования, о существующих условиях и ограничениях.

Раскрыта сущность измерительной операции «сравнение». С философской и технической точек зрения даны общее и частные определения данной операции.

Утверждается, что из всех операций сравнения только операция «равенства» является необходимой и достаточной, поскольку дает возможность судить о моменте равенства числовых значений физических величин. Операции «больше», «меньше», «не меньше», «не больше» в метрологии являются необходимыми, но не достаточными операциями. Ограничительные операции используются только для установления тех или иных условий и ограничений на процесс измерительного преобразования физических величин.

Установлено, что существует три группы методов сравнения: до измерительного преобразования физических величин, после первичного или на всех этапах их вторичного измерительного преобразования, а также на этапе завершающего (третичного) преобразования. В их основу положены общие подходы к реализации операции равенства, т.е. к получению логического заключения «равны».

Работа представляет интерес для ученых-метрологов, аспирантов и студентов, изучающих метрологию и теорию измерений.

Литература

1. Левшина – Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи (1983) // <http://www.zodchii.ws/books/info-454.html>.
2. Кёллер Р. Метод конструирования машин, приборов и аппаратов, Германия, 1976 // <http://metodolog.ru/00356/00356.html>.
3. Кондратов В.Т. Теория избыточных измерений: универсальное уравнение измерений // Вісник

Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 5. – С. 116-130.

4. Восприятие и его свойства. Виды восприятия (часть 1) // <http://psylesson.ru/node/33>, <http://coma.su/content/view/99/30/>.
5. Восприятие // <http://add.net.ru/dictionary/vospriyatie.html>
6. Сознание. Восприятие. Бесплатное обучение // <http://www.ai-trening.ru/soznanie.htm>.
7. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. – К.: Вища шк., 1976. – 432 с.
8. Свойства восприятия // <http://psyznaiyka.net/view-vospriyatie.html?id=svoistva-vospriyatija>.
9. Мир словарей // http://mirslovari.com/content_psy/VOSPRIJATIE-1218.html].
10. Восприятие и его свойства. Виды восприятия (часть 2) // <http://psylesson.ru/node/58>.
11. Татур В.Ю. О Диалектике и Триалектике // <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0216/002a/02160000.htm>.
12. Метод // <http://ru.wikipedia.org/wiki/Метод>.
13. Массивы информации. Физические эффекты // <http://www.metodolog.ru/00751/00751.html>.
14. Орнатский П.П. Общенаучные методы познания. – К.: О-во «Знание», 1984. – 35 с.
15. Операции в языках программирования. Операции сравнения. <http://prg.vede-nin.ru/4.php>.

Надійшла 7.12.2009 р.

УДК 004.492.3

Р.П. ГРАФОВ, Р.О. ЛАДУНЕЦ, С.О. ШЕПАРСКИЙ
Хмельницький національний університет

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА И ЗНАНИЙ ЭКСПЕРТА

У роботі запропоновано новий підхід до проблеми прийняття рішень в системах, які характеризуються не чіткою інформацією про протікання процесів і методів реалізації на основі механізму нечіткого логічно-го виводу і знань експертів, наведено методіку використання на прикладі пошуку шкідливого програмного забезпечення в обчислювальних системах. Отримані результати можуть бути використані розробниками антивірусного діагностування.

In work new approach is offered to the problem of decision-making in the systems, characterized not-clear information about flowings processes and method of realization on basis mechanism of unclear logichesko-go conclusion and knowledges of experts, the method of the use is resulted on the example of search of the vredonosnogo programm-nogo providing in the computer systems. Can be drawn on got results razrobot-chikami of the anti-virus diagnosing.

Ключевые слова: Нечеткая логика; нечёткие множества; нечеткий вывод; лингвистическая переменная; фаззификация; дефаззификация; база знаний.

Введение

Известно, что при построении различных систем, характеризующихся нечеткой информацией о протекающих процессах, возникает ряд проблем, связанных с трудностью формализации решаемых задач. В связи с этим существует ряд задач, решение которых довольно проблематично. Например проведения быстрого моделирования сложных динамических систем и их сравнительный анализ с заданной степенью точности; проведение нечеткой формализации критериев оценки и сравнения; оперирование критериями "большинство", "возможно", "преимущественно" и т.д.; проведение качественных оценок как входных данных, так и выходных результатов. Перечисленные задачи относятся к классу fuzzy (нечетких) систем и решаются методами нечеткой логики [1]. Для решения задач нечеткими методами разработано в настоящее время ряд программных и аппаратных средств.

Рассмотрим некоторые из них:

- CubiCalc 2.0 RTC – одна из мощных коммерческих экспертных систем на основе нечеткой логики, позволяющая создавать собственные прикладные экспертные системы;
- RuleMaker – программа автоматического извлечения нечетких правил из входных данных;
- FuziCalc – электронная таблица с нечеткими полями, позволяющая делать быстрые оценки при неточных данных без накопления погрешности;
- OWL – пакет, содержащий исходные тексты всех известных видов нейронных сетей, нечеткой ассоциативной памяти и т.д.

Основными потребителями нечеткой логики являются банкиры и финансисты, а также специалисты в области политического и экономического анализа. Без применения нечеткой логики немислимы современные ситуационные центры руководителей, где принимаются ключевые политические решения и моделируются разные кризисные ситуации.

Сегодня элементы нечеткой логики можно найти в десятках промышленных изделий – от систем управления электропоездами и боевыми вертолетами до пылесосов и стиральных машин. В качестве примера известных микроконтроллеров, использующих нечеткую логику, можно назвать 68HC11, 68HC12 фирмы "Motorola", MCS-96 фирмы "Intel", а также некоторые другие.

Постановка задачі и ее решение

В данной работе рассматривается задача принятия решения о наличии вредоносных программных продуктов (ВП) в информационных системах. Анализ современных существующих средств принятия решения относительно ВП содержит в себе зачатки искусственного интеллекта и формирует решение относительно ВП на основе тонкого анализа данных или системы не по жестко заданному набору параметров, а по результатам многосторонней оценки всей совокупности параметров в целом, с присвоением каждому из событий веса “потенциальной вредоносности” и расчетом общего результата. Однако им присущи ряд недостатков [2].

В отличие от существующих методов поиска и идентификации неизвестных ВП, разработан подход, который сочетает элементы технологии поиска аномалий и экспертных систем. Для его реализации использован математический аппарат нечеткой логики (НЛ), который в последнее время эффективно используется для решения ряда задач со слабоструктурированными данными.

Механизмы нечеткой логики позволяют строить модели предметной области, адекватные реальным, на основе семантического описания объекта исследования и знаний экспертов, что на много проще разработки сложных математических моделей. При этом, с помощью специализированных методов обработки нечисловой информации обеспечиваются достаточно точные решения.

Рассмотрим некоторые понятия теории нечетких множеств, необходимые для дальнейшего изложения. Нечеткое множество A определяется как множество упорядоченных пар (кортежей) вида: $(\mu_A(u), u)$, где $\mu_A(u)$ – степень принадлежности элемента множества $u \in U$ нечеткому множеству A , u – является элементом универсального множества U . Следовательно,

$$A = \{(\mu_A(u_i), u_i); i=1, \dots, k\}. \quad (1)$$

Степень принадлежности определяется некоторым действительным числом из интервала $[0,1]$. Функция принадлежности позволяет для произвольного элемента универсального множества вычислить степень принадлежности его нечеткому множеству.

Нечеткое множество связано с лингвистической переменной и их нечеткими переменными, которые позволяют определить ее значение с помощью функции принадлежности.

Например, лингвистическая переменная: “Категория программы“. Ее значениями могут быть нечеткие переменные, образуемые с помощью модификаторов (или, не, очень и др) в виде: не опасная, немного опасная, очень опасная и т.д. Функция принадлежности, если она задана, позволяет оценить далее лингвистическую переменную. Применительно к высказываниям в нечеткой логике применимы функции алгебры логики, которые имеют не численные, а лингвистические значения истинности, которые адекватны степени принадлежности.

Основной семантического описания исследуемой модели является выбор и анализ входных и выходных лингвистических переменных, а также их значений, которые получаются с помощью мониторинга и экспертных оценок. Лингвистическая переменная считается заданной, если для нее определены наименование N , универсальное множество A (область рассуждений), базовое терм-множество T (нечеткие переменные- значения лингвистической переменной), функция принадлежности μ и семантические процедуры преобразования (модификации) переменных термов лингвистической переменной.

Основой исследования нечетких моделей является механизм нечеткого логического вывода, который содержит следующие этапы [3, 4]:

- фаззификация;
- нечеткий логический вывод;
- дефаззификация.

Фаззификация – процесс перевода входных четких величин, полученных на основе экспертного анализа исследуемого объекта, в нечеткие переменные. На этапе логического вывода используются нечеткие продукционные (if – then) правила, заложенные в базу знаний, для преобразования нечетких входных данных после фаззификации в выходные, которые также носят нечеткий характер.

Дефаззификация – композиция и приведение к четкости нечетких множеств логического вывода для принятия решения.

Механизм нечеткого вывода в данной работе реализуется с помощью нечеткой модели, которая основана на семантическом описании и анализе множества возможных состояний ВП в течении жизненного цикла.

$$NM \rightarrow \{ (X, Y, V, Z) \}, \quad (2)$$

где X – универсальное множество входных состояний $x \in X$, принимающих ВП в системе пользователя (функции и действия, используемые ВП для проникновения в систему); Y – универсальное множество выходных состояний $y \in Y$ (компоненты, которые потенциально могут быть подвержены действию ВП); V – множество нечетких отношений (x_i, y_j) , характеризующие связи между элементами множеств X и Y ; Z – характеристические параметры отношений.

Так как любая ВП представляет собой некоторый файл, реализующий в операционной системе множество различных функций и действий, то для удобства анализа множество состояний ВП представлено в виде трех основных этапов идентификации ВП, которые образуют один трехуровневый жизненный цикл (ЖЦ): проникновение в систему, активизация и деструктивные действия [5].

В связи с этим на множествах X , Y определены нечеткие множества (X^n, X^a, X^b) и (Y^n, Y^a, Y^b)

входных и выходных состояний ВП, соответствующие этапам ЖЦ. В соответствии с (1) множества X^n, X^a, X^d определяются, как множества упорядоченных пар: $X^n = \{ \mu_{X^n}(x), x \}$; $X^a = \{ \mu_{X^a}(x), x \}$; $X^d = \{ \mu_{X^d}(x), x \}$, где $\mu_{X^n}(x)$, $\mu_{X^a}(x)$ и $\mu_{X^d}(x)$ – функции принадлежности, указывающие на степень принадлежности элемента x множества X множествам X^n, X^a, X^d соответственно. Значения функции принадлежности определяются на интервале $[0,1]$. Область значений элементов множеств X, Y выбирается экспертом.

Множества (Y^n, Y^a, Y^d) представляются в виде множеств отношений (x_i, y_j) :

$Y^n = \{ (x_i, y_j, \mu_{Y^n}(x_i, y_j)) \}$; $Y^a = \{ (x_i, y_j, \mu_{Y^a}(x_i, y_j)) \}$; $Y^d = \{ (x_i, y_j, \mu_{Y^d}(x_i, y_j)) \}$, где выражения $\mu_{Y^n}(x_i, y_j)$, $\mu_{Y^a}(x_i, y_j)$ и $\mu_{Y^d}(x_i, y_j)$ являются функциями принадлежности нечетких отношений (x_i, y_j) множествам Y^n, Y^a, Y^d соответственно, которые определяют степень уверенности в существовании причинно-следственной связи (x_i, y_j) . Нечеткие отношения множеств Y^n, Y^a, Y^d представляются соответствующими матрицами: $V_n = |x_i, y_j|$, $V_a = |x_i, y_j|$, $V_d = |x_i, y_j|$, в которых на пересечении x_i, y_j находятся значения функции принадлежности $\mu_{Y^n}(x_i, y_j)$, $\mu_{Y^a}(x_i, y_j)$ и $\mu_{Y^d}(x_i, y_j)$ соответственно.

В качестве входной лингвистической переменной на множестве X принята “Степень подозрительности”. Ее характеристикой является терм-множество T , которое содержит три нечетких переменных (значения лингвистической переменной): “Малая подозрительность $M(x)$ ”, “Средняя подозрительность $C(x)$ ” и “Высокая подозрительность $B(x)$ ”, с областью определения $[0,1]$. На практике число переменных термина не превышает семи. Для физической реализации лингвистической переменной необходимо определить значения переменных термина T при заданных входных переменных x . Для этого должны быть найдены функции принадлежности: $\mu_{x_1}(M)$, $\mu_{x_1}(C)$, $\mu_{x_1}(B)$; $\mu_{x_2}(M)$, $\mu_{x_2}(C)$, $\mu_{x_2}(B)$, а также $\mu_{x_3}(M)$, $\mu_{x_3}(C)$, $\mu_{x_3}(B)$. На практике с этой целью часто используется ряд типовых форм кривых: треугольная, трапецидальная и гауссова функция принадлежности [4]. Так, на рис. 2 (а) для нечетких переменных $M(x)$, $C(x)$, $B(x)$ на множествах X^n, X^a, X^d их функции принадлежности определены при входных значениях $x_1=2$, $x_2=5$, $x_3=9$: (0,62, 0,78, 0,37); (0,9, 0,5, 0,75) и (0,42, 0,28, 0,5) соответственно. Входные значения определяются и приводятся к определенному формату экспертом по результату мониторинга.

Таким образом, в результате фазификации определены лингвистическая переменная, ее нечеткие переменные и степень их принадлежности. При этом использованы треугольные функции принадлежности.

Выходную лингвистическую переменную зададим на множестве Y .

В качестве такой переменной принята: “Опасность поражения”, значение которой будет определяться на этапах ЖЦ нечеткой переменной: “Степень поражения” с функциями принадлежности: $\mu_{Y^n}(x_i, y_j)$, $\mu_{Y^a}(x_i, y_j)$ и $\mu_{Y^d}(x_i, y_j)$. В данной постановке задачи, для оценки лингвистической переменной также учитывается вид поражения: зависание системы, потеря и искажение файлов, нарушение реестра и т.д., что учитывается вектором $Z = \{z_k\}$, в котором компонентам z_k , $k = 1, \dots, r$, (виды поражения) присваиваются нормированные приоритетные веса $P = \{p_k\}$, ($\sum p_k = 1$), учитывающие уровень их опасности для системы пользователя.

Рассмотрим содержательную часть матриц отношений построенных с учетом [5, 6]. Так, в матрице отношений $V_n = |x_i, y_j|$ элементы x_i – функции (механизмы) и способы проникновения ВП в систему пользователя, $i = 1, \dots, k$; элементы y_j – возможные входы проникновения в систему порты сетевых протоколов прикладного уровня, $j = 1, \dots, h$ (индексы не совпадают с истинными номерами портов).

Например: x_1 – набор функций работы с электронной почтой; x_2 – набор функций работы с системами передачи файлов; x_3 – набор функций удаленного доступа (через консоль и командные интерпретаторы); x_4 – набор функций работы с web-браузером и т.д. Порт p_{20} – FTP (FileTransferProtocol) – сетевой протокол, предназначенный для передачи файлов в компьютерных сетях; p_{22} – SSH (Secure Shell) – сетевой протокол, который позволяет осуществлять удаленное управление компьютером и передачу файлов и т.д.

На этапе деструктивных действий используется матрица отношений исследуемого объекта и структурных единиц ОС: $V_d = |x_i, y_j|$, в которой x_i – действия ВП, направленные на структурные компоненты ОС пользователя; $i = 1, \dots, \sigma$; y_j – структурные компоненты ОС пользователя, $j = 1, \dots, \tau$. Например, x_1 – прием и отправление файлов; x_2 – создание и уничтожение файлов; x_3 – создание, запуск и уничтожение процессов и т.д. К структурным компонентам ОС относятся: y_1 – файловая система; y_2 – планировщик процессов (как составляющая ядра операционной системы); y_3 – системные службы (ключи реестра – Windows XP, конфигурационные файлы управления демонами в Unix, Linux-системах); y_4 – функции работы с сетью и т.д.

Из приведенных примеров видно, что поведение ВП на этапах ЖЦ многовариантно, имеет нечеткий характер и, в принципе, не может быть просто прогнозировано. Кроме того, их функции принадлежности не определены, что делает невозможным оценки выходной лингвистической переменной. В работе данные функции определяются, в отличие от типовых подходов, косвенным путем на основе анализа и оптимизации матриц нечетких отношений V_n, V_a, V_d с привлечением оценок экспертов.

Покажем на примере принцип формирования функции принадлежности $\mu_{Y^n}(x_i, y_j)$ на этапе проникновения. Рассматриваемая задача представляется как нахождение для каждого x_i матрицы $V_n = |x_i, y_j|$ наиболее вероятного порта проникновения y_j при заданных признаках опасности z_k . Данная задача сводится к задаче ранжирования [7], в которой в отличие от [4], попарное сравнение экспертов производится с учетом

оценочных признаков, позволяющих учесть особенности сравниваемых объектов.

Исходным для решения задачи является построение матрицы превосходства $S = |s_{ij}|$, элементы которой s_{ij} выражаются любым положительным числом ($s_{ij} = s_i/s_j$; $0 < s_{ij} < \infty$; $s_{ji} = 1/s_{ij}$; $s_{ii} = 1$; $i, j = 1, \dots, m$, где m - число возможных исходов). Элементы s_{ij} матрицы S определяются вычислением значений парных предпочтений по каждому признаку отдельно с учетом их весов $P = \{p_k\}$; $k=1, \dots, r$, с использованием выражения:

$$s_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^r s_{ij}^k \cdot p_k}{\sum_{k=1}^r s_{jk}^k \cdot p_k}; \quad s_{ji} = \frac{1}{s_{ij}}; \quad s_{ii} = 1; \quad i, j = \overline{1, m}$$

С помощью матрицы S определяется собственный вектор $\Pi = (\pi_1, \dots, \pi_m)$, который соответствует максимальному положительному корню 1 характеристического полинома $|S - I \cdot E| = 0$; $S \cdot \Pi = I \cdot \Pi$, где E - единичная матрица. Компоненты вектора Π ($\sum \pi_i = 1$) отождествляются с оценкой $\mu_Y^n(x_i, y_j)$, учитывающей принятые признаки опасности. Подобная процедура производится для всей матрицы $V_n = |x_i, y_j|$.

В итоге получаем оптимизированную матрицу отношений $V_n = |x_i, y_j|$, в которой используются лишь отношения x_i, y_j с наиболее выраженным уровнем опасности, определяемым значением, равным π_{\max} , ($0 \leq \pi_{\max} \leq 1$). С использованием данной матрицы строится нормированная кривая функции принадлежности $\mu_Y^n(x_i, y_j)$ выходной переменной y , а также таблица, в которой каждому значению $\mu_Y^n(x_i, y_j)$ ставится в соответствие пара (x_i, y_j) , позволяющая идентифицировать, в том числе, ресурсы, которые были использованы вредоносной программой на рассматриваемом этапе, рис. 1. Для компактности отношения (x_i, y_j) заменены символом R .

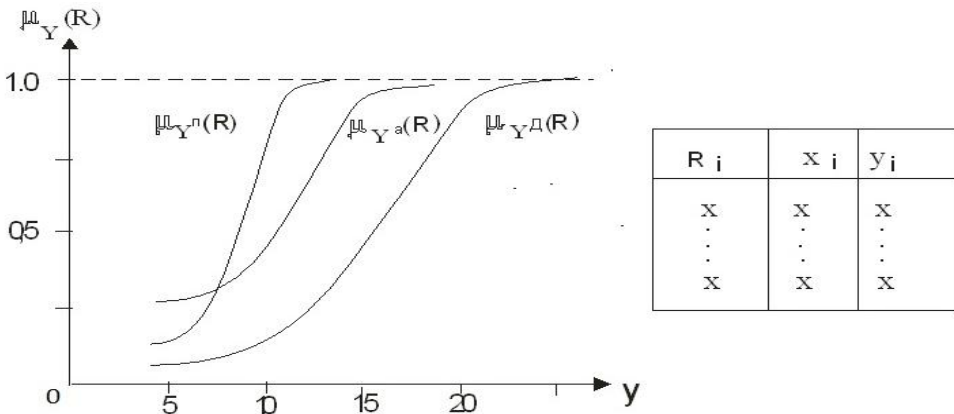


Рис. 1. Примерный вид функций принадлежности выходной переменной

Основой для нечеткого вывода служит база знаний, которая содержит множество нечетких продукционных правил (НПП), определяющих стратегию решения задачи. Типичное продукционное правило базы правил состоит из посылки (антецедента): нечеткие высказывания в форме «если...» и заключения (консеквента) – в форме «то...». Антецедент может содержать несколько посылок, которые объединяются в зависимости от стратегии посредством логических связок «и» или «или».

Каждое из правил нечетких продукций может иметь некоторый вес $F_i = [0, 1]$, который определяет значимость правила или уверенность в степени истинности заключения, получаемого по отдельному нечеткому правилу. В общем виде база, содержащая m правил, имеет вид:

Π_1 : если x_1 это A_{11} ... и (или) ... x_n это A_{1n} , то y это R_1 ;

Π_j : если x_1 это A_{j1} ... и (или) ... x_n это A_{jn} , то y это R_j ;

Π_m : если x_1 это A_{m1} ... и (или) ... x_n это A_{mn} , то y это R_m .

где: x_k – входные переменные, $k=1, \dots, n$; y – выходная переменная;

A_{ik} – заданные нечеткие множества с функциями принадлежности ($i=1, \dots, m$; $k=1, \dots, n$).

На основе нечетких высказываний, истинность которых установлена в результате фаззификации, оценивается степень истинности нечетких высказываний, являющихся заключением соответствующих НПП. Далее выполняется процедура (агрегирование) определения степени истинности левых частей (уровней отсечения – a_i) по каждому из правил системы нечеткого вывода. Так, дизъюнкцией нечетких высказываний является логическая операция, результатом которой является нечеткое высказывание, определяемое как:

$$a_i = \max_i (A_{ik}(X_k))$$

В рассматриваемой задаче приведем для примера фрагмент базы правил (три переменные и три правила), в которой для каждого правила использованы связки «или» и значения F_i равны единице:

П1: если $x_1 = M$, или $x_2 = C$, или $x_3 = B$, то $y = R^n$;

П2: если $x_1 = M$, или $x_2 = C$, или $x_3 = B$, то $y = R^a$;

П3: если $x_1 = M$, или $x_2 = C$, или $x_3 = B$, то $y = R^d$.

Возможны и другие стратегии базы правил.

В работе используется стратегия на основе правила max-min композиции и нечеткой операции max – дизъюнкции для оценки одинаковых заключений.

В рассматриваемом фрагменте при заданных x_1, x_2, x_3 правила 1-3 позволяют получить нечеткое заключение о степени истинности подозрительности на исследуемых этапах:

$$\mu_1 = \max\{\mu_{x_1}^n(M); \mu_{x_2}^n(C); \mu_{x_3}^n(B)\} = \max\{0,62; 0,78; 0,37\} = 0,78.$$

$$\mu_2 = \max\{\mu_{x_1}^a(M); \mu_{x_2}^a(C); \mu_{x_3}^a(B)\} = \max\{0,9; 0,5; 0,25\} = 0,90.$$

$$\mu_3 = \max\{\mu_{x_1}^d(M); \mu_{x_2}^d(C); \mu_{x_3}^d(B)\} = \max\{0,42; 0,28; 0,5\} = 0,5.$$

Далее для нечеткого вывода выполняется процесс активизации: процесс нахождения степени истинности каждого из заключений нечетких продукционных правил, который осуществляется усечением функций принадлежности выходной переменной на уровнях μ_1, μ_2, μ_3 , рис. 2, (б):

$$\mu_{y^n}(R) = 0,78; \mu_{y^a}(R) = 0,90; \mu_{y^d}(R) = 0,5.$$

Для композиции (объединения) полученных усеченных функций используется максимальная композиция нечетких множеств

$$M_y(R) = \max_i (\mu_{y_i}(R))$$

где $M_y(R)$ – функция принадлежности итогового нечеткого множества.

На рис.2 показана графическая интерпретация нечеткого вывода для трех входных переменных и трех нечетких правил.

Заключительным является этап дефаззификация- приведение к четкости (получение численного значения для принятия решения), рис. 2, (в). Существует ряд методов дефаззификации. В нашем случае используется метод центра тяжести. При дефаззификации методом центра тяжести значение выходной переменной равно абсциссе центра тяжести площади, ограниченной графиком функции принадлежности итогового нечеткого множества $M_y(R)$.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n y_i M_y(R)_i}{\sum_{i=1}^n M_y(R)_i} = \frac{9,0 \cdot 0,9 + 7,5 \cdot 0,78 + 4,2 \cdot 0,5}{0,90 + 0,78 + 0,5} = 7,36$$

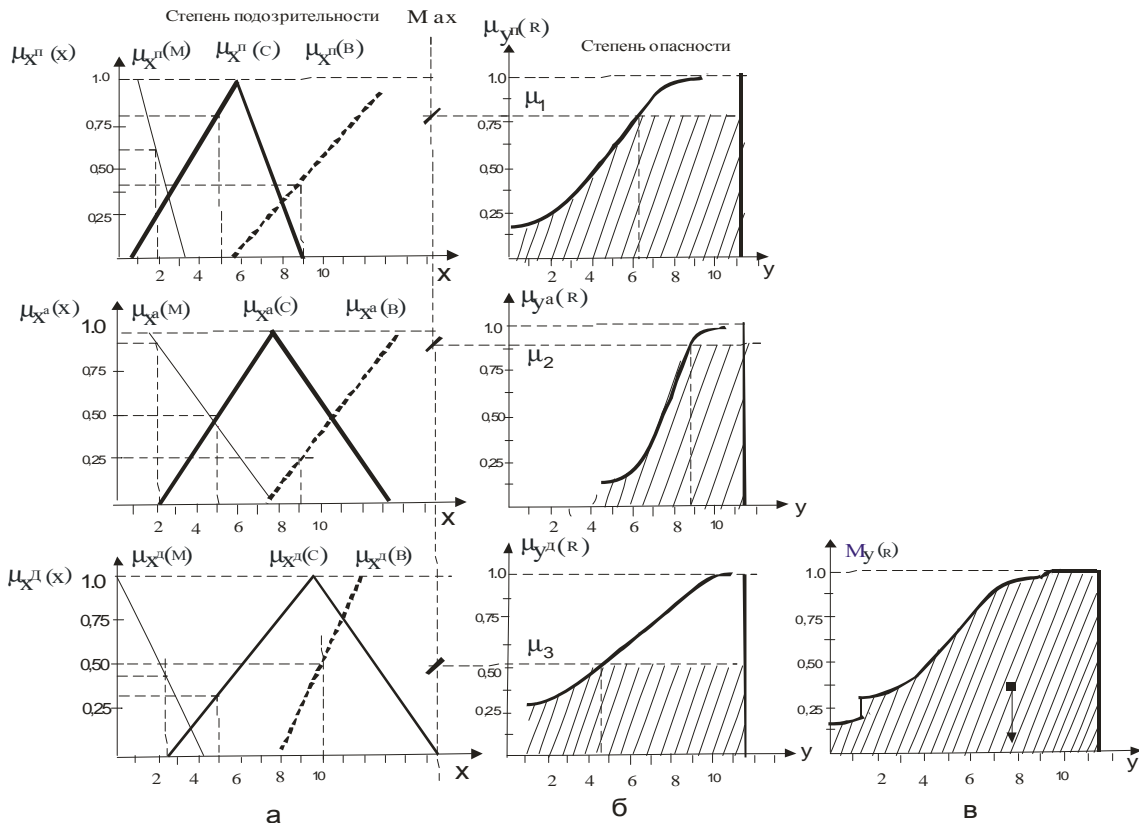


Рис. 2. Графическая интерпретация нечеткого вывода

Полученный результат интерпретируется как коэффициент опасности поражения системы со стороны ВП, который сравнивается с некоторым нормированным коэффициентом, определяемым принятой стратегией безопасности. Окончательное решение (предупредить, в карантин, удалить) принимается в зависимости от соотношения этих коэффициентов.

Обобщенная схема реализации методологии приведена на рис. 3. Подсистема мониторинга отслеживает текущие события в системе, реагирует на программы, действия которых отвечают жизненному циклу ВП, выполняет мониторинг выполнения системных функций, которые могут реализовать проникновение ВП, выполняет блокирование подозрительных функций. Результаты мониторинга передаются на вход аналитической системы, реализующей нечеткий логический вывод и принимающей решение относительно присутствия в системе ВП.

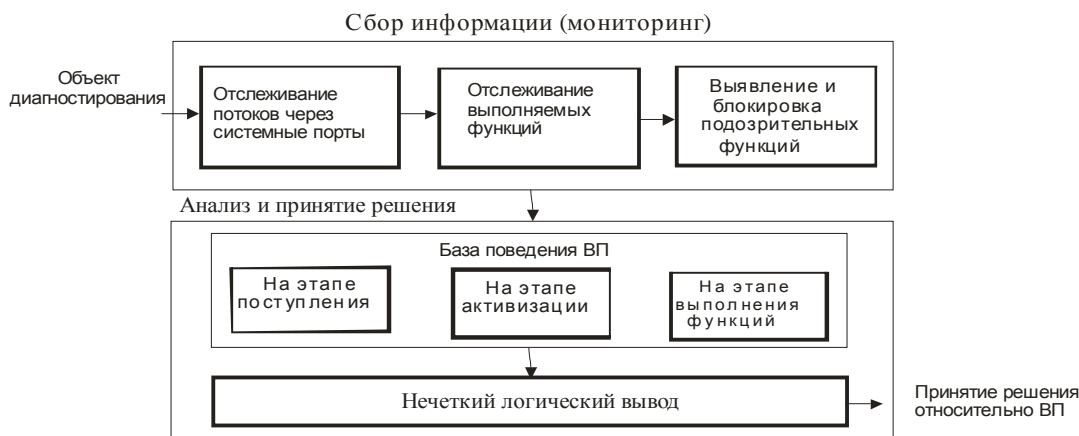


Рис. 3. Обобщенная схема поиска вредоносных программ

Выводы

Анализ существующих методов поиска ВП показал, что им присущи следующие недостатки: невысокое быстродействие, низкая вероятность идентификации новых ВП, высокие требования отдельных методов к аппаратному обеспечению, сложность модели и ее реализации.

В работе предложен новый подход и метод поиска и идентификации ВП на основе нечеткой логики, позволяющей получать достаточно точные решения на основе семантического описания задачи и нечетких продукционных правил, что упрощает решение задачи поиска ВП по сравнению с существующими методами.

Установлено, что применение нечеткой логики открывает большие возможности для адаптации к любым моделям ВП а также принятия оптимального решения путем проектирования соответствующей базы продукционных правил и стратегии их обработки.

Результаты исследования показали возможность идентификации ВП при невысоких требованиях к аппаратным и программным средствам. При этом обеспечивается повышение быстродействия за счет исключения из алгоритмов поиска достаточно сложных компонент и процедур (баз сигнатур, эвристических анализаторов, использование контрольных сумм и т.д.), свойственных существующим методам, а также достаточно высокая реакция и незначительная вероятность пропуска неизвестных ВП. Результаты работы могут быть использованы разработчиками антивирусного диагностирования, эксплуатирующих распределенные информационные системы. Рабочей средой для разработки и исследования предложенной методологии является программная оболочка FUZZY EXPERT.

Литература

1. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
2. Шевченко Алиса. Технологии обнаружения вредоносного кода
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB в fuzzyTECH. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 736 с.
4. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия-телеком, 2007. – 290 с.
5. Савенко О.С., Лысенко С.М. Модель процесса поиска троянских программ в персональном компьютере // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – Харьков: НАУ "ХАИ", 2008. – № 7. – С. 87-92.
6. X-релиз: исходники трояна / Информационный портал Хакер.Ру. – Режим доступа: <http://www.xakep.ru/post/17223/>
7. Берников А.Р., Графов Р.П. Согласование экспертных оценок для формирования модели деятельности оператора в тренажерах. – М., Сб.: Информационные технологии, 2003. – № 6.

Надійшла 23.12.2009 р.

ПРИНЯТИЕ ГРУППОВОГО РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ МЕРЫ СОГЛАСИЯ ЭКСПЕРТОВ

У даній роботі запропоновано метод групового прийняття рішення в інформаційних системах на основі ймовірнісної оцінки міри згоди експертів. Розроблена модель прийняття рішення на основі приватних рішень експертів, визначено ймовірнісні критерії заходів згоди експертів, визначено суміжна область застосування отриманих результатів.

In the given work the method of group decision-making in information systems on the basis of a likelihood estimation of a measure of the consent of experts is offered. It is developed model decision-making on the basis of private decisions of experts, likelihood criteria of measures of the consent of experts are defined, the adjacent scope of the received results is defined.

Ключевые слова: Нечетная логика; база знаний; модели деятельности оператора; автоматизированная обучающая система; блок оценки действий;

Введение

Известно, что при создании сложных информационных систем множество решений принимается группой исполнителей. Ясно, что при этом улучшается процесс решения задачи за счет интеграции знаний, опыта, более углубленного понимания стоящих задач.

В то же время, при групповом проектировании и принятии решения может возникнуть ряд проблем за счет несогласованности подходов, видения проблем и т.д. При этом принимаемое решение может оказаться не наилучшим. Следует отметить, что многие традиционные СППР не поддерживают методы коллективного принятия решения.

В данной работе поставлена задача и предложен подход для решения трудноформализуемых задач в автоматизированных обучающих системах (АОС) в составе тренажеров на базе высокопроизводительных ЭВМ и пакетов интеллектуальных программ. Решение задач осуществляется группой экспертов (проектировщиков), имеющих большой опыт и навыки работы в заданной области.

Постановка задачи и метод ее решения

Для понимания роли экспертов в обучающих системах, рассмотрим обобщенную структурную схему автоматизированного процесса обучения, которая представлена на рис. 1.

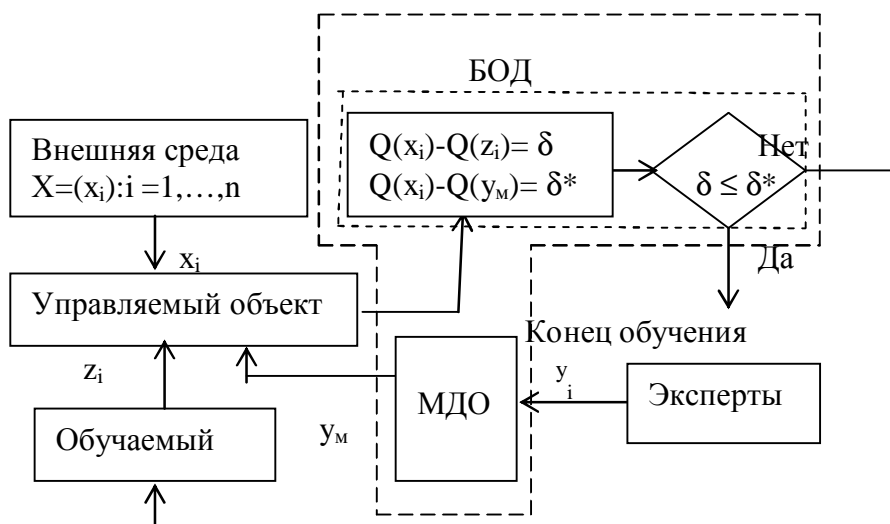


Рис. 1. Обобщенная структурная схема автоматизированного обучения (АОС)

Центральное место в АОС занимает блок оценки действий обучаемого (оператора) (БОД). Последний, в свою очередь, формируется на основе модели деятельности оператора (МДО). Как видно из рисунка, на управляемый объект воздействует внешняя среда, представленная множеством X воздействий x_i , которое может исказить нормальное функционирование объекта и тем самым вызывать негативные последствия в виде потерь некоторого параметра $Q(x_i)$. Под объектом понимаются различные корабельные системы: вождения, навигации, энергоснабжения и другие. Для компенсации потерь оператор принимает ответные действия z_i , снижающие потери на величину $Q(z_i)$. Условием достаточной обученности оператора является $\delta \leq \delta^*$, где δ – потери от неверно принятого решения, которые не должны превышать некоторое допустимое значение δ^* , вырабатываемое с помощью МДО. Значение $Q(y_m)$ обозначает снижение потерь

при использовании эталонных действий u_m МДО. При не выполнении данного условия обучаемый корректирует свои действия.

Функционирование МДО основано на использовании модели деятельности «опытного специалиста» и определении эталонного квалификационного уровня, представляющего собой количественную характеристику профессиональной подготовки специалиста. В процессе обучения в БОД происходит сравнение эталонных действий, вырабатываемых МДО и действий оператора, направленных на поддержание управляемого объекта в состоянии, при котором минимизируются возможные нежелательные последствия из-за воздействия на объект различных случайных факторов. На основании этого сравнения оценивается результат обучения.

Основой МДО являются база данных БД, которая включает всю необходимую информацию: данные о конкретной предметной области, инструкции, стандарты, техническую и эксплуатационную документацию, результат решения многочисленных систем дифференциальных уравнений, описывающих поведение рассматриваемого объекта управления при различных возмущающих факторах, а также экспертные оценки правильности предпринимаемых оператором действий и различных неформальных параметров, дополняющих базу данных. Как видно, экспертам отводится значительная роль в формировании БД.

Чем полнее информация экспертов u_i отражает происходящие в системе процессы и дополняет МДО, тем выше эффективность действий u_m МДО.

Актуальность

Задача согласования экспертных оценок с целью выработки наиболее приемлемого дополнения для включения в БД является достаточно сложной многокритериальной задачей.

В [1] данная задача решена на основе согласования и упорядочения попарных экспертных оценок по множеству признаков анализируемых параметров с учетом степени их важности.

Дальнейшим развитием подходов к доопределению базы данных МДО в рассматриваемых тренажерах является принятие решений группой экспертов. На практике, как правило, эксперты имеют различный уровень профессиональной подготовки и различные способности к работе в коллективе. Это при определенных условиях может породить неоднозначность во взаимоотношениях между ними и в принятии конечного результата. Таким образом, задача согласования мер согласия экспертов в системах подобного типа является актуальной, требующей своего решения.

Обобщенная постановка задачи.

Как указывалось, для формирования БД экспертам отводится значительная роль. Эксперты обладают различным уровнем знаний в заданной предметной области и индивидуальными психологическими особенностями, определяющими способность их к коллективному анализу и принятию решений. В качестве критерия достоверности принимаемого решения в данных условиях будем использовать меру согласия между экспертами.

Мера согласия (МС), ввиду индивидуальности каждого эксперта, имеет вероятностный характер и может быть выражена количественно некоторым значением. В процессе взаимодействия между собой эксперты, достигнув определенного уровня МС, вырабатывают окончательное решение. Доопределение считается принятым, если достигнутая при этом мера согласия между экспертами оценивается вероятностью, значение которой не менее допустимого значения.

Математическая модель задачи и мер согласия.

Обозначим множество экспертов коллектива, принимающего решение, через $X = \{x_i\}$, ($i=1, \dots, n$). Доопределение БД в общем виде представляется композицией множества решений в рассматриваемой предметной области, принимаемых определенными экспертами множества X . Каждый эксперт $x_i \in X$ при решении своей задачи привлекает в качестве консультантов определенное число любых других экспертов, образующих подмножество $X_j \subset X$, ($j=1, \dots, m$). При этом, попарное пересечение подмножеств X_j может быть не пустым. Таким образом, моделью частного решения задачи (принятия решения) x_i – м экспертом является граф (дерево) взаимодействия экспертов, содержащий корневую вершину x_i (ведущий эксперт), которая логически связана со своими вершинами $x_j \in X_j$ (подчиненными экспертами). Ведущий эксперт одновременно может быть подчиненным при решении других задач.

Модель принятия решения группой экспертов образуется композицией множества частных решений и представляется в виде распределенного ориентированного графа взаимодействия экспертов $G(X, U)$ (в дальнейшем G) с множеством вершин (экспертов) $X = \{x_i\}$, ($i=1, \dots, n$) и множеством связывающих их ребер (логических связей) $U = \{u_{ij}\}$; ($i=1, \dots, n$), ($j=1, \dots, n$). Процедура построения модели принятия решения G показана на рис. 2, где рассмотрен простейший случай при $n = 6$ и схемы взаимодействия экспертов x_i и x_j , образующих частные решения: $1 \rightarrow (2,3)$; $2 \rightarrow (3,4,5)$; $3 \rightarrow (1,2,4,6)$; $4 \rightarrow (2,3,5,6)$; $5 \rightarrow (2,4,6)$; $6 \rightarrow (3,4,5)$; $\cup x_j = X$.

Исходный граф G приведен на рис. 2, (7). Как видно из построения, исходный граф принятия решения G синтезируется из частных решений с помощью шести шагов. При этом подчиненные (висячие) вершины на каждом шаге являются корневыми для последующих шагов.

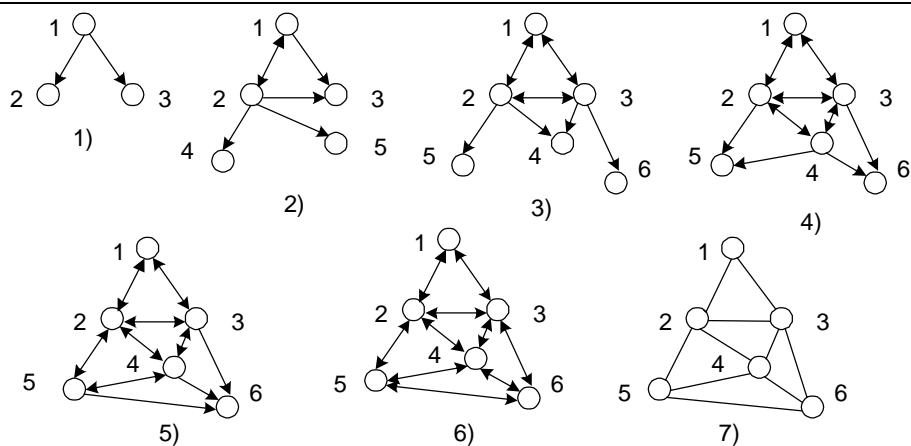


Рис. 2. Процедура построения модели принятия решения

Представим структуру графа G в виде матрицы связности (логических связей между экспертами) $V = |b_{ij}|$, в которой элементы $b_{ij} = 1$, если эксперты x_i и x_j непосредственно логически связаны и взаимодействуют между собой и $b_{ij} = 0$, в противном случае. Логическим связям поставлена в соответствие матрица вероятностей $P = |p_{ij}|$, элементы которой являются количественной оценкой МС экспертов, определяемой значениями p_{ij} , ($0 \leq p_{ij} \leq 1$).

Как видно, эксперты взаимодействуют в первую очередь с непосредственно подчиненными экспертами и, при необходимости, могут обращаться к другим экспертам. При таком взаимодействии экспертов набор возможных логических связей (прямых и посреднических) между каждой парой экспертов x_i и x_j графа G определяется числом μ^r_{ij} , где r – число экспертов в цепочке посреднических связей, которое ограничивается некоторым разумным допустимым значением $k_{доп}$, ($r = 1, \dots, k_{доп}$). При $r = 1$ эксперты взаимодействуют только непосредственно.

Таким образом, взаимодействие всех экспертов в соответствии с постановкой задачи можно представить матрицами V , P и ограничением в виде значения $k_{доп}$. В этом случае приемлемость результата решения задачи будем определять уровнем доверия к полученному результату, зависящему от согласованной деятельности экспертов, которую будем оценивать вероятностью связности графа G , с учетом ограничения $k_{доп}$.

Под вероятностью связности графа G , являющейся оценкой меры согласия экспертов с учетом $k_{доп}$, будем понимать вероятность существования между рассматриваемыми вершинами (экспертами) в рассматриваемый момент времени не менее одной любой логической связи.

В работе рассматриваются следующие имеющие практический интерес варианты взаимодействия экспертов принимающих решение доопределения БД.

1. Решение принимается выбранной парой экспертов x_i, x_j из множества X . Рекомендованное решение будет приемлемо, если вероятностью парной связности вершин R_{ij} графа G будет не менее допустимого значения ($R_{ij} \geq R_{доп}$).

2. Решение принимается группой экспертов, состоящей из m определенных пар экспертов. Решение приемлемо, если на графе G между заданными вершинами одновременно существует не менее одной логической связи с вероятностью $R_{ij}^m \geq R_{доп}$.

3. В принятии решения принимают участие все эксперты. В этом случае между всеми экспертами одновременно должно существовать не менее одной логической связи с вероятностью $R \geq R_{доп}$.

Основой для определения мер согласия является моделирование и анализ взаимодействия экспертов, в результате чего определяются R_{ij}, R_{ij}^m, R при заданных V, P и $k_{доп}$, характеризующих приемлемость принятого решения.

Метод решения задачи.

Основой для решения поставленной задачи является определение вероятности связности графа G , построенного на множестве вершин X и ветвей U при заданных матрицах V и P . При абсолютно надежных вершинах X для этого можно использовать выражение:

$$R(G) = \sum_{i=1}^Q P(G_i) \cdot h(G_i),$$

где G_i – все возможные подграфы, каждый из которых определяется подматрицей V_{ξ_i} , образуемой модификацией графа G ; $h(G_i)$ – функция связности, принимающая значения 1 или 0, в зависимости от того, связан подграф G_i или нет; $P(G_i)$ – вероятность появления подграфа G_i ; Q – число всех возможных G_i .

Подматрица V_{ξ_i} каждого G_i образуется удалением j -го числа ребер из матрицы V графа G . Тогда

число возможных $G_i \in G$ равно: $Q = \sum_{i=0}^m C_m^i$, где C_m^j – биномиальный коэффициент; m – число ребер графа

G. При G большой размерности значение Q может быть достаточно велико. В соответствии с биномиальным законом вероятности $P(G_i)$ определяется выражением: $P(G_i) = C_m^j q^j p^{m-j}$, где: $q=1-p$.

Как видно, задача определения R(G) по существу сводится к перебору всего множества G_i и суммированию вероятностей $P(G_i)$, для которых $h(G_i) = 1$. Очевидно, что прямой перебор всех G_i графа G большой размерности довольно трудоёмок. Кроме того, оценка связности $h(G_i)$ сама по себе является трудоёмкой самостоятельной задачей, требующей выполнения множества различных логических и арифметических операций над V_{ξ_i} .

Поэтому, на практике чаще всего используются инженерные методы, дающие приближенные оценки R(G), в которых вместо всех G_i используется ограниченная выборка n_g , обеспечивающая допустимую погрешность. Выборка оптимального n_g , также является самостоятельной задачей [2].

В этом случае для приближенной оценки вероятности связности может служить выражение:

$$R(G) = \frac{1}{n_g} \sum_{n_g} h(G_i) = n_c/n_g$$

где n_g – случайная выборка (число используемых G_i); n_c – число G_i в выборке n_g , для которых $h(G_i)=1$.

Методы для определения R(G) в основном включают такие этапы как моделирование подграфов G_i графа G, анализ и оценку их связности $h(G_i)$, а также статистическую обработку полученных данных и определение требуемого параметра. Упрощенный алгоритм имеет следующий вид:

- формирование очередного G_i ;
- оценка связности G_i ;
- проверка условия $i \leq n_g$ на завершение формирования G_i ;
- накопление данных о связности G_i и расчет вероятности R(G).

Как видно, несмотря на простоту данного алгоритма, оценка вероятности R(G) требует многократного анализа на связность всех реализаций G_i , полученных в ходе их моделирования, что не эффективно, так как увеличивает трудоёмкость и время выполнения программы. Кроме того, при этом затруднительно учесть различные варианты взаимодействия между отдельными вершинами согласно постановке задачи (п.п.1-3) и ограничение $k_{доп.}$.

С учетом сказанного, в работе использован метод, отличающийся от прямых методов, рассмотренных выше, тем, что процедура получения значения R(G) на основе многократного генерирования и анализа на связность каждого G_i заменяется на механизм комплексной одновременной оценки всех параметров R_{ij} , R_{ij}^m , R с учетом ограничения $k_{доп.}$ с помощью одного сформированного массива G_i . Это обеспечивает более высокое быстродействие алгоритма и возможность анализа различных вариантов связности рассматриваемого графа (см.п.п.1 – 3) [3].

Для реализации данного метода матрица связности В графа G рассматривается как структурная булева матрица, к которой применим аппарат алгебры логики, в частности аппарат преобразования булевых матриц и булевых определителей [4].

Основной операцией структурных преобразований над матрицами, используемых в работе, является произведение двух булевых квадратных матриц порядка n, что приводит к квадратной матрице того же порядка, элементы которой представляют дизъюнкции поэлементных конъюнкций i-ой строки первой матрицы и j-го столбца второй. Так, для матрицы $C = AB$ элементы

$$c_{ij} = (a_{i1} \wedge b_{1j}) \vee (a_{i2} \wedge b_{2j}) \vee \dots \vee (a_{in} \wedge b_{nj}) \quad (1)$$

В результате возведения структурной матрицы В в квадрат получаем новую структурную матрицу B^2 с единицами в диагонали и с элементами γ_{ij}^2 , включающими в виде суммы непосредственное ребро b_{ij} (если оно было) и все пути ранга 2 от узла i к узлу j вида $b_{ik}b_{kj}$ (если они существуют). Возведение структурной матрицы В в k-ю степень приводит к новой матрице, в которой каждый элемент будет содержать все пути между узлами i, j ранга g не более k, т.е. $B^k = \bigcup_{i,j}^{r \leq k}$. Выполняя данную операцию над В при $k \leq k_{доп.}$, можно определить все связи между вершинами с учетом ограничения $k_{доп.}$, что собственно и требуется при решении поставленной задачи.

Для определения показателей R_{ij} , R_{ij}^m , R на основе матрицы В, построим структурную матрицу $A = |a_{ijx}|$ (рис. 3), отличающуюся от матрицы В способом получения элементов a_{ijx} . На практике матрица А формируется следующим образом.

Каждому сформированному в ходе моделирования $G_i \in G$ присваивается свой порядковый номер $\xi_i = 1, \dots, n_g$. Подграфы G_i образуются случайным образом удалением с возвратом из матрицы В j-го числа ребер ($j=1, 2, 3, \dots$).

В подматрице V_{ξ_i} соответствующего G_i проверяется состояние всех ребер b_{ij} . На месте единичных b_{ij} вписывается порядковый номер ξ_i рассматриваемого G_i , а на месте нулевых ставится символ \emptyset . Данная процедура выполняется для всех G_i . Например, если ребро $b_{ij}=1$ присутствует в подграфах G_i с номерами ξ_2, ξ_5, ξ_9 , тогда элементу $a_{ij\xi}$ присваивается множество номеров: $\xi_i = \{2, 5, 9\}$, число которых равно $|\xi_i| = 3$.

Таким образом, каждый элемент $a_{ij\xi}$ матрицы А представляют собой множество номеров ξ_i тех подграфов $G_i \in G$, в которых вершины i и j непосредственно связаны между собой, т.е. $b_{ij}=1$. Если в рассматриваемом множестве G_i не существует ни одного G_i , содержащего единичное ребро b_{ij} , то $a_{ij\xi} = \emptyset$.

Геометрической моделью матрицы А служит куб, в котором, как и в случае матрицы В индексам i, j

соответствуют вершины графа G , а на пересечении вместо единичных b_{ij} указывается множество соответствующих номеров $G_i \in G$.

Сформированная матрица A является исходной для определения значений R_{ij} , R_{ij}^m , R (см. пп.1-3). Дальнейшие структурные преобразования (возведения в степень r , которая определяется значением $k_{доп}$) осуществляются над матрицей B . При этом используется правило умножения числовых матриц (1) с той особенностью, что умножение элементов \wedge заменяется их пересечением \cap , а суммирование \vee заменяется объединением \cup . Таким образом, нахождение элемента a_{ijx} каждой новой матрицы A^r осуществляется с помощью выражения:

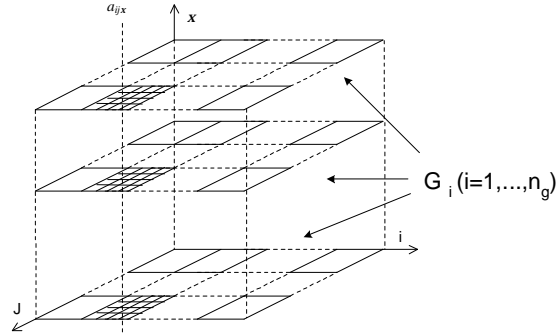


Рис. 3. Структурная матрица A

$$a_{ij} = (a_{i1} \wedge a_{1j}) \vee (a_{i2} \wedge a_{2j}) \vee \dots \vee (a_{in} \wedge a_{nj}) = a_{ij\xi} = \bigcup_{s=1}^n (a_{is\xi} \cap a_{sj\xi}) \quad (2)$$

Матрица $A^{k_{доп}}$ является окончательной для определения параметров (см. п.1-3). Любой элемент a_{ijx} матрицы $A^{k_{доп}}$ содержит множество номеров x_j подграфов G_i , каждый из которых содержит хотя бы один путь (связь) μ_{ij}^r из вершины i в вершину j , удовлетворяющий условию $r \leq k_{доп}$. Таким образом, используя матрицу $A^{k_{доп}}$, определим все необходимые параметры:

$$R_{ij} = |\xi_{ij}| / n_g - \text{вероятность связности одной любой пары узлов графа } G; \quad (3)$$

$$R_{ij}^m = \left| \bigcap_{ij}^m \xi_{ij} \right| / n_g - \text{вероятность связности } m \text{ любых пар узлов } (m = 2, 3, \dots); \quad (4)$$

$$R = \left| \bigcap_{ij}^n \xi_{ij} \right| / n_g - \text{вероятность связности всех вершин графа } G. \quad (5)$$

Для неориентированных графов матрица A симметрична и определение показателей существенно упрощается. Обобщенный алгоритм реализации метода содержит следующие основные этапы:

- формирование массива подграфов G_i ;
- формирование и преобразование структурной матрицы A ;
- определение требуемых параметров R_{ij} , R^m , R .

Как видно, в данном алгоритме отсутствует процедура многократной оценки связности G_i , за счет определения всех требуемых параметров R_{ij} , R^m , R по одному массиву реализаций G_i с помощью выражений (3), (4), (5), что повышает эффективность данного алгоритма.

Исследование критериев оценки мер согласия экспертов позволили сформировать подобные критерии, которые могут быть использованы для оценки структурной надежности распределенных информационных сетей $G=(X, U)$ с множествами узлов X , каналов связи U и системой управления обменом данными [3]. Основным понятием, используемым для оценки надежности сетей связи является связность сети. Под отказом сети понимается событие, при котором происходит нарушение одного или некоторого числа каналов и, как следствие, потеря связности сети в соответствии с принятым критерием.

С учетом терминологии принятой в [3], в качестве наиболее важных критериев надежности, которые могут быть использованы при проектировании и исследовании сетей связи, предложено использовать следующие.

1-1. Вероятность парной связности узлов R_{ij} графа $G=(X, U)$. Данный показатель используется для анализа двухполюсных сетей, в которых осуществляется соединение любых пар узлов, но в различные моменты времени. Считается, что два данных узла связаны, если из множества возможных путей между ними с вероятностью R_{ij} удовлетворяющей условию $R_{ij} \geq R_{доп}$, существует не менее одного пути.

2-2. Вероятность связности определенного числа m любых пар узлов R_{ij}^m . Используется для исследования отдельных фрагментов сети. Между числом m парой узлов осуществляется многополюсное (одновременное) взаимодействие. Сеть функционирует нормально, если на графе $G=(X, U)$ между каждой заданной парой узлов есть не менее одного канала. Вероятность данного состояния R_{ij}^m должна быть не менее допустимого значения, $R_{ij}^m \geq R_{доп}$.

3-3. Вероятность безотказной работы сети в целом R . Данный показатель используется для исследования многополюсных сетей, в которых обмен информации происходит между всеми элементами сети одновременно. Вероятность R должна быть также не менее заданного значения, $R \geq R_{доп}$.

При использовании данных критериев считается: узлы абсолютно надежны; пропускная способность каналов и узлов не ограничена; сообщения между узлами передаются по любым исправным каналам и направлениям через любой узел.

Выводы.

В работе поставлена и решена задача принятия решения группой экспертов. В качестве критерия

приемлемости принятого решения используется мера согласия между экспертами, принимающих решение.

Определены вероятностные характеристики мер согласия, характеризующих специфику взаимодействия экспертов. В качестве модели взаимодействия экспертов предложен распределенный вероятностный граф, построенный на базе частных решений экспертов. Разработан метод оценки мер согласия с учетом вариантов и особенностей взаимодействия экспертов.

В результате анализа мер согласия и взаимодействия экспертов в сетевой модели принятия решения предложены также аналогичные критерии для исследования структурной надежности информационных сетей.

Литература

1. Берников А.Р., Графов Р.П. Согласование экспертных оценок для формирования модели деятельности оператора в тренажерах // Научно-технический и научно производственный журнал «Информационные технологии». – М. – 2003. – № 6. – С. 44-47.
2. Уильям Кокрен. Методы выборочного исследования. – М.: Статистика, 1976. – С. 440.
3. Берников А.Р., Графов Р.П., Савенко О.С. Доопределение специализированной базы данных коллективом экспертов на основе вероятностной оценки меры их согласия // Информационные технологии. – 2007. – № 7
4. Теория сетей связи / Под ред. В.Н. Рогинского. – М.: Радио и связь, 1981. – С. 191.

Надійшла 10.12.2009 р.

УДК 519.832.3

В.В. РОМАНЮК

Хмельницький національний університет

ПРОГРАМНА МАТЛАВ-ФУНКЦІЯ НА ОСНОВІ ТРЬОХ ПРОГРАМНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ АДАПТАЦІЇ ДИСКРЕТНОЇ БЕЗШУМНОЇ ДУЕЛІ З КОСОСИМЕТРИЧНИМ ЯДРОМ НА ПРАВИЛЬНІЙ РЕШІТЦІ ОДИНИЧНОГО КВАДРАТА З НЕЛІНІЙНИМИ ФУНКЦІЯМИ ВЛУЧНОСТІ

Дано означення дискретної безшумної дуелі з кососиметричним ядром на правильній решітці одиничного квадрата з нелінійними функціями влучності гравців. Побудовано програмну MATLAB-функцію для регуляризації оптимальної поведінки дуелянта у симетричній дискретній безшумній дуелі протягом заданого числа її повторів.

There has been given the definition of the discrete noiseless duel with the skewsymmetric kernel on the regular grid of the unit square with the nonlinear accuracy functions of the players. There has been built the program MATLAB-function for regularizing the optimal behavior of the duelist in the symmetric discrete noiseless duel during the being assigned number of its repeats.

Ключові слова: дискретна безшумна дуель, ядро на одиничному квадраті, MATLAB-функція.

Вступ та постановка проблеми у загальному виді

Стрімке зростання та модифікація потреб сучасного суспільства залишають небагато часу для пошуку нових шляхів задоволення цих потреб. При цьому екстенсивний розвиток не завжди гарантуватиме якісні результати, адже цей спосіб задоволення потреб рано чи пізно досягає свої межі. Утворені нерівномірним співвідношенням потреб та їх задоволень конфліктні системи мають бути оптимізовані з використанням сучасних прикладних математичних гілок, серед яких центральне місце посідає теорія бескоаліційних ігор. Це відповідає інтенсивному шляху задоволення потреб, які безперервно виникають, зокрема, у соціально-економічних та біо-екологічних системах.

Однією з найпростіших моделей вирішення бескоаліційних конфліктів є антагоністична безшумна дуель, про яку достатньо написано у багатьох джерелах [1 — 7]. Рішення, прийняті на основі розв'язку цієї моделі, дозволяють оптимальним чином скоригувати активність у мікроекономічних процесах, у мікросоціумах, у системах регулювання і контролю екологічної безпеки. Проте відома модель безшумної дуелі, у якій множинами чистих стратегій гравців є сегменти з континуумом точок, не зовсім підходить до опису можливих активних станів у виділених конфліктних системах, де доводиться приймати рішення лише на окремих етапах, як правило, однакової тривалості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В абсолютній більшості праць, у яких розглядаються ігрові безшумні дуелі [5 — 7], у якості множини чистих стратегій гравця береться одиничний сегмент $[0; 1]$ числової прямої \mathbb{R} . А про практично обґрунтовану дискретизацію цього сегмента не згадується. У роботі [8], яка тут є виключенням, розглядається модель однократного виходу на ринок двох конкуруючих підприємств у рамках ігрової безшумної дуелі, де, як приклад, зображується задача про моделювання виходу цих підприємств на ринок при заданій кількості повторень гри. Результатом згаданої роботи є програмне забезпечення для демонстраційного проведення такого моделювання.

Формулювання мети статті та постановка завдань

Розглянемо безшумну дуель, що задається на одиничному квадраті

$$X \times Y = [0; 1] \times [0; 1] \quad (1)$$

своїм ядром

$$K(x, y) = h_1(x) - h_2(y) + h_1(x)h_2(y)\text{sign}[h_2(y) - h_1(x)], \quad x \in X, \quad y \in Y, \quad (2)$$

де $h_1(x)$ є функцією влучності першого гравця, а $h_2(y)$ є функцією влучності другого гравця. Ця гра описує чимало антагоністично-конфліктних процесів лише у граничному переході, коли гравець володіє безліччю варіантів своїх можливих дій. Розв'язок гри з ядром (2) на одиничному квадраті (1) є добре відомим [6, 7]: при $h_1(x) = h_2(x)$ завдяки симетричності цієї гри або косиметричності її ядра тут $K(x, y) = -K(y, x)$, з чого випливає оптимальне значення гри $v_{\text{opt}} = 0$, а також однакові оптимальні стратегії $p_{\text{opt}}(x)$ і $q_{\text{opt}}(y)$ першого та другого гравців відповідно. При лінійності функцій влучності $h_1(x) = x$ та $h_2(y) = y$ оптимальні стратегії гравців [6, 7]

$$p_{\text{opt}}(x) = \frac{1}{4x^3} \frac{\text{sign}\left(x - \frac{1}{3}\right) + 1}{2} \text{sign}\left|x - \frac{1}{3}\right| + \frac{1}{4x^3} \left(1 - \left|\text{sign}\left(x - \frac{1}{3}\right)\right|\right) \quad (3)$$

та

$$q_{\text{opt}}(y) = \frac{1}{4y^3} \frac{\text{sign}\left(y - \frac{1}{3}\right) + 1}{2} \text{sign}\left|y - \frac{1}{3}\right| + \frac{1}{4y^3} \left(1 - \left|\text{sign}\left(y - \frac{1}{3}\right)\right|\right). \quad (4)$$

Взагалі кажучи, функції влучності мають задовольняти крайовим умовам

$$h_1(0) = 0, \quad h_1(1) = 1 \quad (5)$$

та

$$h_2(0) = 0, \quad h_2(1) = 1. \quad (6)$$

Тому, враховуючи очевидну монотонну неспадність кожної з них, узагальнено треба брати

$$h_1(x) = x^\alpha, \quad \alpha > 0 \quad (7)$$

та

$$h_2(y) = y^\alpha, \quad \alpha > 0. \quad (8)$$

Зрозуміло, встановити аналітично розв'язок безшумної дуелі з ядром (2) на одиничному квадраті (1) при нелінійних функціях влучності (7) і (8) дуже важко. Крім того, як уже було зауважено, таке встановлення є не завжди доцільним, зважаючи на практично обумовлену фінітність множини чистих стратегій дуелянта (гравця).

Метою даної статті є формалізація (симетричної) дискретної безшумної дуелі з ядром (2) на одиничному квадраті (1) при нелінійних функціях влучності (7) і (8), де множиною чистих стратегій гравця є ізольовані точки одиничного сегмента $[0; 1]$, а відстань між двома сусідніми точками є незмінною. Також необхідно побудувати програмну функцію у математично-орієнтованому середовищі MATLAB, яка б дозволила повністю вирішити питання оптимальної поведінки дуелянта у симетричній дискретній безшумній дуелі за відоме заздалегідь число її розігрувань.

**Дискретна безшумна дуель з ядром на кінцевій підмножині
одиничного квадрата $[0; 1] \times [0; 1]$ з нелінійними функціями влучності**

Означимо дискретну безшумну дуель з ядром (2), яке задається на деякій підмножині одиничного квадрата (1), наступним чином. Нехай n є кількістю чистих стратегій гравця, причому $n \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$, де кожні дві сусідні стратегії є рівновіддаленими, і в їх число входять кінці одиничного сегмента $[0; 1]$. Тоді множиною чистих стратегій кожного з гравців є n -елементний набір чисел

$$\left\{0, \frac{1}{n-1}, \frac{2}{n-1}, \dots, \frac{n-2}{n-1}, 1\right\} = \left\{\frac{k}{n-1}\right\}_{k=0}^{n-1} \subset [0; 1] \quad (9)$$

одиничного сегмента $[0; 1]$. Тому підмножиною одиничного квадрата (1), на якій задаватимемо дискретну

безшумну дуель, буде набір

$$\left\{ \frac{k}{n-1} \right\}_{k=0}^{n-1} \times \left\{ \frac{j}{n-1} \right\}_{j=0}^{n-1} = \{x_{k+1}\}_{k=0}^{n-1} \times \{y_{j+1}\}_{j=0}^{n-1} = \left\{ \left[\frac{k}{n-1} \quad \frac{j}{n-1} \right] \right\}_{k=0, j=0}^{n-1} \subset X \times Y = [0; 1] \times [0; 1] \quad (10)$$

з n^2 точок одиничного квадрата (1). Кінцеву підмножину (10) одиничного квадрата (1) можна називати правильною решіткою цього квадрата. Ядро (2) даної гри, задане на правильній решітці (10), набуває усього n^2 значень, тобто його можна представляти як матрицю гри розміром $n \times n$. Позначимо її через $\mathbf{D} = (d_{kj})_{n \times n}$, де

$$d_{kj} = K\left(\frac{k-1}{n-1}, \frac{j-1}{n-1}\right), \quad k = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (11)$$

Отже,

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} K(0, 0) & K\left(0, \frac{1}{n-1}\right) & K\left(0, \frac{2}{n-1}\right) & \mathbf{K} & K\left(0, \frac{n-2}{n-1}\right) & K(0, 1) \\ K\left(\frac{1}{n-1}, 0\right) & K\left(\frac{1}{n-1}, \frac{1}{n-1}\right) & K\left(\frac{1}{n-1}, \frac{2}{n-1}\right) & \mathbf{K} & K\left(\frac{1}{n-1}, \frac{n-2}{n-1}\right) & K\left(\frac{1}{n-1}, 1\right) \\ K\left(\frac{2}{n-1}, 0\right) & K\left(\frac{2}{n-1}, \frac{1}{n-1}\right) & K\left(\frac{2}{n-1}, \frac{2}{n-1}\right) & \mathbf{K} & K\left(\frac{2}{n-1}, \frac{n-2}{n-1}\right) & K\left(\frac{2}{n-1}, 1\right) \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ K\left(\frac{n-2}{n-1}, 0\right) & K\left(\frac{n-2}{n-1}, \frac{1}{n-1}\right) & K\left(\frac{n-2}{n-1}, \frac{2}{n-1}\right) & \mathbf{K} & K\left(\frac{n-2}{n-1}, \frac{n-2}{n-1}\right) & K\left(\frac{n-2}{n-1}, 1\right) \\ K(1, 0) & K\left(1, \frac{1}{n-1}\right) & K\left(1, \frac{2}{n-1}\right) & \mathbf{K} & K\left(1, \frac{n-2}{n-1}\right) & K(1, 1) \end{pmatrix}, \quad (12)$$

де, очевидно, матриця (12) є косиметричною: $\mathbf{D} = -\mathbf{D}^T$. Тому замість (12) можна писати

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} 0 & K\left(0, \frac{1}{n-1}\right) & K\left(0, \frac{2}{n-1}\right) & \mathbf{K} & K\left(0, \frac{n-2}{n-1}\right) & K(0, 1) \\ -K\left(0, \frac{1}{n-1}\right) & 0 & K\left(\frac{1}{n-1}, \frac{2}{n-1}\right) & \mathbf{K} & K\left(\frac{1}{n-1}, \frac{n-2}{n-1}\right) & K\left(\frac{1}{n-1}, 1\right) \\ -K\left(0, \frac{2}{n-1}\right) & -K\left(\frac{1}{n-1}, \frac{2}{n-1}\right) & 0 & \mathbf{K} & K\left(\frac{2}{n-1}, \frac{n-2}{n-1}\right) & K\left(\frac{2}{n-1}, 1\right) \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} & \mathbf{M} \\ -K\left(0, \frac{n-2}{n-1}\right) & -K\left(\frac{1}{n-1}, \frac{n-2}{n-1}\right) & -K\left(\frac{2}{n-1}, \frac{n-2}{n-1}\right) & \mathbf{K} & 0 & K\left(\frac{n-2}{n-1}, 1\right) \\ -K(0, 1) & -K\left(\frac{1}{n-1}, 1\right) & -K\left(\frac{2}{n-1}, 1\right) & \mathbf{K} & -K\left(\frac{n-2}{n-1}, 1\right) & 0 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Отже, дискретною безшумною дуеллю, де множиною чистих стратегій кожного з гравців є (9), називатимемо антагоністичну гру з ядром (2) у формі матриці (13), елементи якої (11) визначені на правильній решітці (10) одиничного квадрата (1), а функціями влучності гравців є (7) та (8). У дискретній безшумній дуелі оптимальні стратегії $p_{\text{opt}}(x)$ і $q_{\text{opt}}(y)$ першого та другого гравців треба позначати як вектори імовірностей

$$\mathbf{P}_{\text{opt}} = [P_{\text{opt}}(x_1) \quad P_{\text{opt}}(x_2) \quad P_{\text{opt}}(x_3) \quad \mathbf{K} \quad P_{\text{opt}}(x_{n-1}) \quad P_{\text{opt}}(x_n)] \quad (14)$$

та

$$\mathbf{Q}_{\text{opt}} = [Q_{\text{opt}}(y_1) \quad Q_{\text{opt}}(y_2) \quad Q_{\text{opt}}(y_3) \quad \mathbf{K} \quad Q_{\text{opt}}(y_{n-1}) \quad Q_{\text{opt}}(y_n)] \quad (15)$$

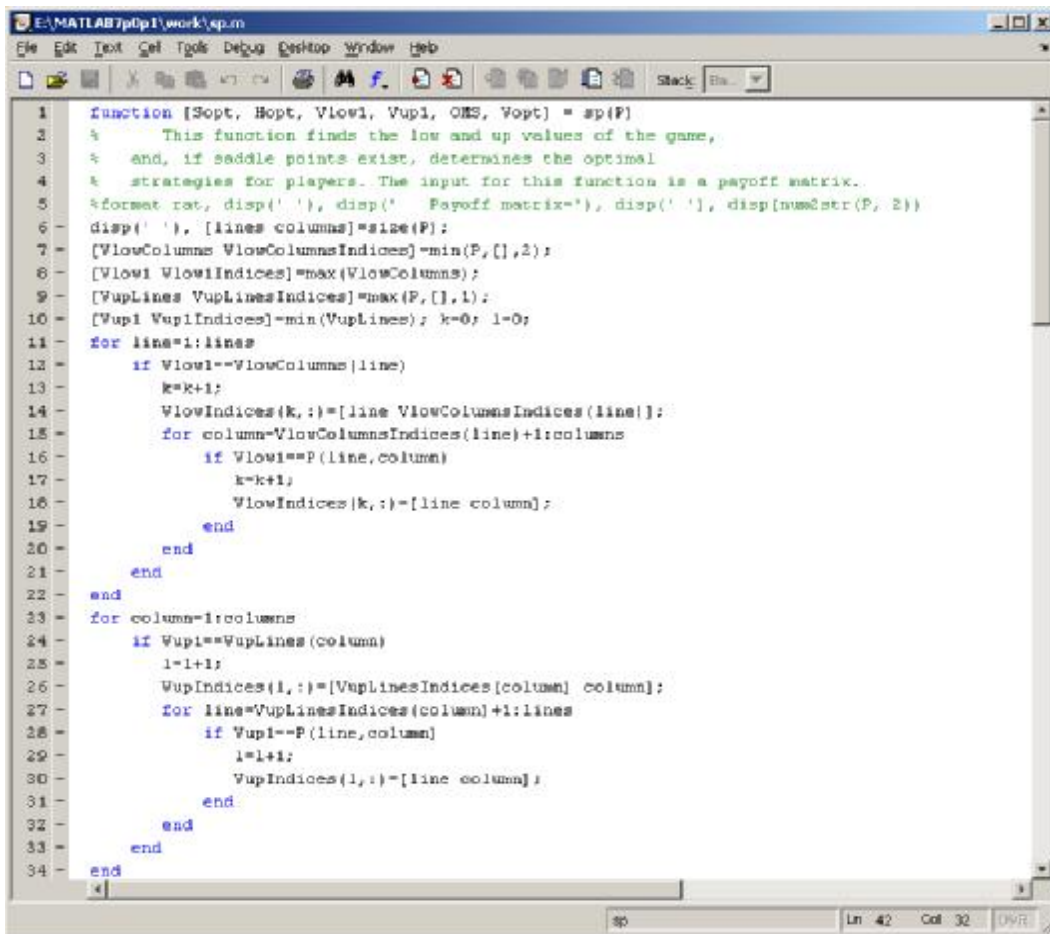
відповідно, де $P_{\text{opt}}(x_k)$ є імовірністю обирання першим гравцем його чистої стратегії $x_k = \frac{k-1}{n-1}$, $k = \overline{1, n}$, а

$Q_{\text{opt}}(y_j)$ є імовірністю обирання другим гравцем його чистої стратегії $y_j = \frac{j-1}{n-1}$, $j = \overline{1, n}$.

Представлення програмної MATLAB-функції dndna на основі трьох програмних модулів

Для побудови у MATLAB програми, яка б дозволила повністю вирішити питання оптимальної

поведінки дуелянта у симетричній дискретній безшумній дуелі за відоме заздалегідь число r її розігрувань, використаємо відомі, розроблені та опрацьовані автором програмні засоби [9 — 15]. Спочатку нам необхідно, власне, розв'язати $n \times n$ -гру з матрицею (13), приймаючи певне n та параметр α . Для цього можна застосувати програмний модуль **sp** (рис. 1), представлення якого проходило у роботах [9 — 12].



```

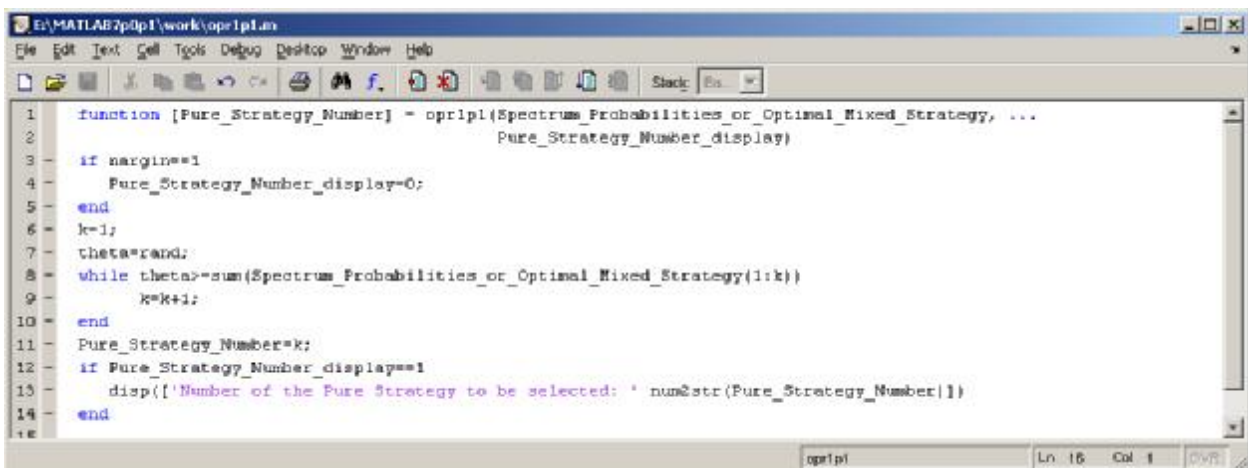
1 function [Sopt, Hopt, Vlow1, Vup1, OMS, Vopt] = sp(P)
2 % This function finds the low and up values of the game,
3 % and, if saddle points exist, determines the optimal
4 % strategies for players. The input for this function is a payoff matrix.
5 %format rat, disp(' '), disp(' Payoff matrix='), disp(' '), disp(num2str(P, 2))
6 disp(' '), [lines columns]=size(P);
7 [VlowColumns VlowColumnsIndices]=min(P, [], 2);
8 [Vlow1 Vlow1Indices]=max(VlowColumns);
9 [VupLines VupLinesIndices]=max(P, [], 1);
10 [Vup1 Vup1Indices]=min(VupLines); k=0; l=0;
11 for line=1:lines
12     if Vlow1==VlowColumns(line)
13         k=k+1;
14         VlowIndices(k,:)=[line VlowColumnsIndices(line)];
15         for column=VlowColumnsIndices(line)+1:columns
16             if Vlow1==P(line, column)
17                 k=k+1;
18                 VlowIndices(k,:)=[line column];
19             end
20         end
21     end
22 end
23 for column=1:columns
24     if Vup1==VupLines(column)
25         l=l+1;
26         VupIndices(1,:)=[VupLinesIndices(column) column];
27         for line=VupLinesIndices(column)+1:lines
28             if Vup1==P(line, column)
29                 l=l+1;
30                 VupIndices(l,:)=[line column];
31             end
32         end
33     end
34 end

```

Рис. 1. MATLAB-код програмного модуля **sp** для знаходження розв'язку матричної гри

Вхідним аргументом цього модуля є матриця гри, а у перелік з шести параметрів гри, які повертаються, входять оптимальні змішані стратегії гравців (оптимальне значення гри і так відоме — воно дорівнює, звичайно, нулю).

Програмний модуль **sp** є умовно субмодулем для програмного модуля **opr1p1** (рис. 2), який, приймаючи на вході оптимальну змішану стратегію гравця у формі вектора імовірностей, видає гравцю номер чистої стратегії, яку у поточному розігруванні йому слід обирати [9]. Але програмний модуль **opr1p1** самостійно застосовний тільки тоді, коли кількість розігрувань або повторів гри є необмежено великою або просто невідомою, тобто гравці не мають інформації про період закінчення розігрувань.



```

1 function [Pure_Strategy_Number] = opr1p1(Spectrum Probabilities or Optimal Mixed Strategy, ...
2     Pure_Strategy_Number_display)
3 if nargin==1
4     Pure_Strategy_Number_display=0;
5 end
6 k=1;
7 theta=rand;
8 while theta>sum(Spectrum Probabilities or Optimal Mixed Strategy(1:k))
9     k=k+1;
10 end
11 Pure_Strategy_Number=k;
12 if Pure_Strategy_Number_display==1
13     disp(['Number of the Pure Strategy to be selected: ' num2str(Pure_Strategy_Number)])
14 end

```

Рис. 2. MATLAB-код програмного модуля **opr1p1** для реалізації змішаної стратегії гравця у формі вектора імовірностей при невідомому горизонті повторень матричної гри

Якщо кількість r повторів гри відома, то для якомога кращої практичної реалізації своєї оптимальної змішаної стратегії гравець може використати програмний модуль **opr2** [16], у якому програмні модулі **sp** та **opr1p1** є субмодулями (рис. 3). Задаючи в модулі **opr2** кількість r , а також спосіб коригування граничних втрат, обидва гравці на кожному з r повторів матричної гри отримують підказку про номер чистої стратегії до обрання. Після останнього, r -го розігрування, перший гравець визнає відносно відхилення свого середнього за r повторів гри виграшу від значення гри v_{opt} (для другого гравця це число є відносним відхиленням від його середнього програшу).

```

1 function [Payoff_1] = opr2(PayoffMatrix, G, Soft_Correction, g_Display, g_Pause, PureStrategy_Display)
2
3     g_Display=C;
4     g_Pause=0;
5     PureStrategy_Display=0;
6 end
7
8 if g_Display==0
9     g_Pause=0;
10 end
11
12 [S1opt, S2opt, View1, Vup1, OMS] = sp(PayoffMatrix);
13 Payoff_1=score(1,G);d1total=score(1,G);d2total=score(1,G);First_Player_Pure_Strategy_Number=score(1,G);Second_Player_Pure_Strategy_Number=score(1,G);
14 if OMS==0
15     disp(' This matrix game is solved in pure strategies,')
16     return
17 end
18
19 Vopt=S1opt*PayoffMatrix*S2opt'; format long
20
21 % g=1 the first player behavior
22 if g_Display==1
23     disp([' Now is the / num2str(1) ' play'])
24     if g_Pause==1
25         pause
26     end
27 end
28
29 beta=1/(Vopt-View1);
30 al=1;
31 for g=1:G
32     d1total(g)=1/(g*beta+g^(1/(al)))
33 end
34
35 First_Player_Pure_Strategy_Number(1)=optpr1(S1opt); % Initially selecting the pure strategy
36 V1(1)=sum(PayoffMatrix(First_Player_Pure_Strategy_Number(1), :).*S2opt);

```

Рис. 3. Matlab-код програмного модуля **opr2** для реалізації змішаної стратегії гравця у формі вектора імовірностей за фіксовану кількість повторень матричної гри

Описані три програмних модуля використаємо у програмній MATLAB-функції **dndna** (рис. 4), у якій формуватиметься матриця (13). Вхідними аргументами цієї функції є числа n , α та r , а повертає вона, окрім оптимальних змішаних стратегій (14) та (15) обох гравців, номер i значення чистої стратегії даного гравця для її обрання у кожному з r повторів заданої дискретної безшумної дуелі.

```

1 function [P] = dndna(n, alpha, r)
2 % Discrete Noiseless Duel Fast Solution (with nonlinear accuracy functions)
3 if (n < 2) | (rem(n, 1) ~= 0)
4     error(' The number of pure strategies n must be integer, which is not less than 2. ')
5 end
6 format rat
7 for k=1:n
8     x(k) = (k-1)/(n-1);
9     h1(k) = x(k)^alpha;
10    for j=1:n
11        y(j) = |j-1|/(n-1);
12        h2(j) = y(j)^alpha;
13        D(k, j) = h1(k) - h2(j) + h1(k)*h2(j)*sign(h2(j) - h1(k));
14    end
15 end
16 disp(' Discrete Noiseless Duel Payoff matrix: ')
17 disp(D)
18 [Sopt, Hopt, View1, Vup1, OMS, Vopt] = sp(D);
19 if OMS==1
20     P=Sopt;
21     disp(' The optimal probabilities vector: ')
22     disp(P)
23     [Payoff_1] = opr2(D, 1, 1, G, 1);
24 else
25     disp(' This duel is solved in the pure strategies. ')
26     if length(Sopt) == 1
27         disp([' The optimal pure strategy number: x_opt=y_opt*x' num2str(Sopt) ' *y' num2str(Sopt)])
28     else
29         for i=1:length(Sopt)
30             disp([' The optimal pure strategy number: x_opt=y_opt*x' num2str(Sopt(i)) ' *y' num2str(Sopt(i))])
31         end
32     end
33 end

```

Рис. 4. MATLAB-код програмної функції **dndna** для визначення розв'язку заданої дискретної безшумної дуелі та реалізації змішаної стратегії гравця у формі вектора імовірностей за фіксовану кількість повторень цієї дуелі

На рис. 5 — 8 зображено скріншоти прикладів використання MATLAB-функції **dndna**, серед яких виділені і ті випадки, коли дискретна безшумна дуель з матрицею (13) розв'язується у чистих стратегіях.

```

MATLAB
File Edit Desktop Workspace Window Help
Current Directory: E:\MATLAB\sp\itwork

>> dndna(9, 1, 4);
Discrete Noiseless Duel Payoff Matrix:
0      -1/64      -1/16      -9/64      -1/4      -25/64      -9/16      -49/64      -1
1/64      0      -47/1024      -503/4096      -59/256      -1511/4096      -551/1024      -910/1280      -31/32
1/16      47/1024      0      -71/1024      -11/64      -311/1024      -119/256      -671/1024      -7/8
9/64      503/4096      71/1024      0      -19/256      -443/2271      -351/1024      -2119/4096      -23/32
1/4      59/256      11/64      19/256      0      -11/256      -11/64      -83/256      -1/2
25/64      1511/4096      311/1024      443/2271      11/256      0      49/1024      -311/4096      -7/32
9/16      351/1024      119/256      351/1024      11/64      -49/1024      0      233/1024      1/8
49/64      910/1280      671/1024      2119/4096      83/256      311/4096      -233/1024      0      17/32
1      31/32      7/8      23/32      1/2      7/32      -1/8      -17/32      0

The optimal probabilities vector:
0      0      0      0      0      128/401      224/401      0      49/401

Now is the 1 play
Now the first player has selected the pure strategy x7
Now the second player has selected the pure strategy y9
Now is the 2 play
Now the first player real payoff is 0.125
Now the first player has selected the pure strategy x6
Now the second player has selected the pure strategy y9
Now is the 3 play
Now the first player real payoff is -0.21875
Now the first player has selected the pure strategy x6
Now the second player has selected the pure strategy y7
Now is the 4 play
Now the first player real payoff is 0.047852
Now the first player has selected the pure strategy x6
Now the second player has selected the pure strategy y6
At last, the first player real payoff is 0
The relative deviation of the averaged payoff of the first player is -0.011475
>>
    
```

Рис. 5. Оптимальні змішані стратегії (14) та (15) у дискретній безшумній дуелі з $n = 9$ при $\alpha = 2$ та хід реалізації гравцями їх оптимальних поведінок за $r = 4$ повторів дуелі

```

MATLAB
File Edit Desktop Workspace Window Help
Current Directory: E:\MATLAB\sp\itwork

>> dndna(6, 1, 0);
Discrete Noiseless Duel Payoff Matrix:
0      -1/5      -2/5      -3/5      -4/5      -1
1/5      0      -3/25      -7/25      -11/25      -3/5
2/5      3/25      0      1/25      -2/25      -1/5
3/5      7/25      -1/25      0      7/25      1/5
4/5      11/25      2/25      -7/25      0      3/5
1      3/5      1/5      -1/5      -3/5      0

The optimal probabilities vector:
0      0      5/11      5/11      0      1/11

Now is the 1 play
Now the first player has selected the pure strategy x4
Now the second player has selected the pure strategy y5
Now is the 2 play
Now the first player real payoff is -0.04
Now the first player has selected the pure strategy x4
Now the second player has selected the pure strategy y4
Now is the 3 play
Now the first player real payoff is 0
Now the first player has selected the pure strategy x4
Now the second player has selected the pure strategy y4
Now is the 4 play
Now the first player real payoff is 0
Now the first player has selected the pure strategy x6
Now the second player has selected the pure strategy y4
Now is the 5 play
Now the first player real payoff is 0
Now the first player has selected the pure strategy x6
Now the second player has selected the pure strategy y5
Now is the 6 play
Now the first player real payoff is 0
Now the first player has selected the pure strategy x6
Now the second player has selected the pure strategy y5
At last, the first player real payoff is 0.2
The relative deviation of the averaged payoff of the first player is -1.04
    
```

Рис. 6. Оптимальні змішані стратегії (14) та (15) у дискретній безшумній дуелі з $n = 6$ при $\alpha = 1$ та хід реалізації гравцями їх оптимальних поведінок за $r = 8$ повторів дуелі

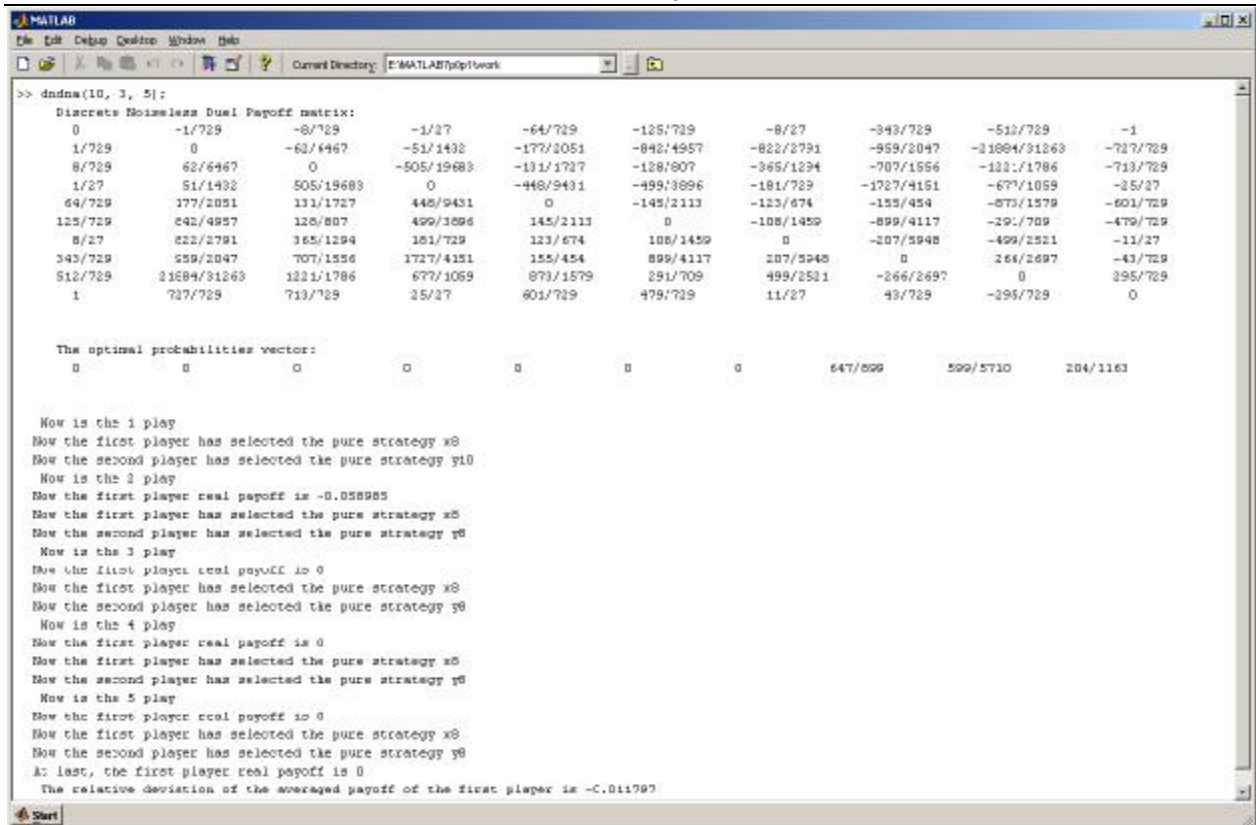


Рис. 7. Оптимальні змішані стратегії (14) та (15) у дискретній безшумній дуелі з $n = 10$ при $\alpha = 3$ та хід реалізації гравцями їх оптимальних поведінок за $r = 5$ повторів дуелі

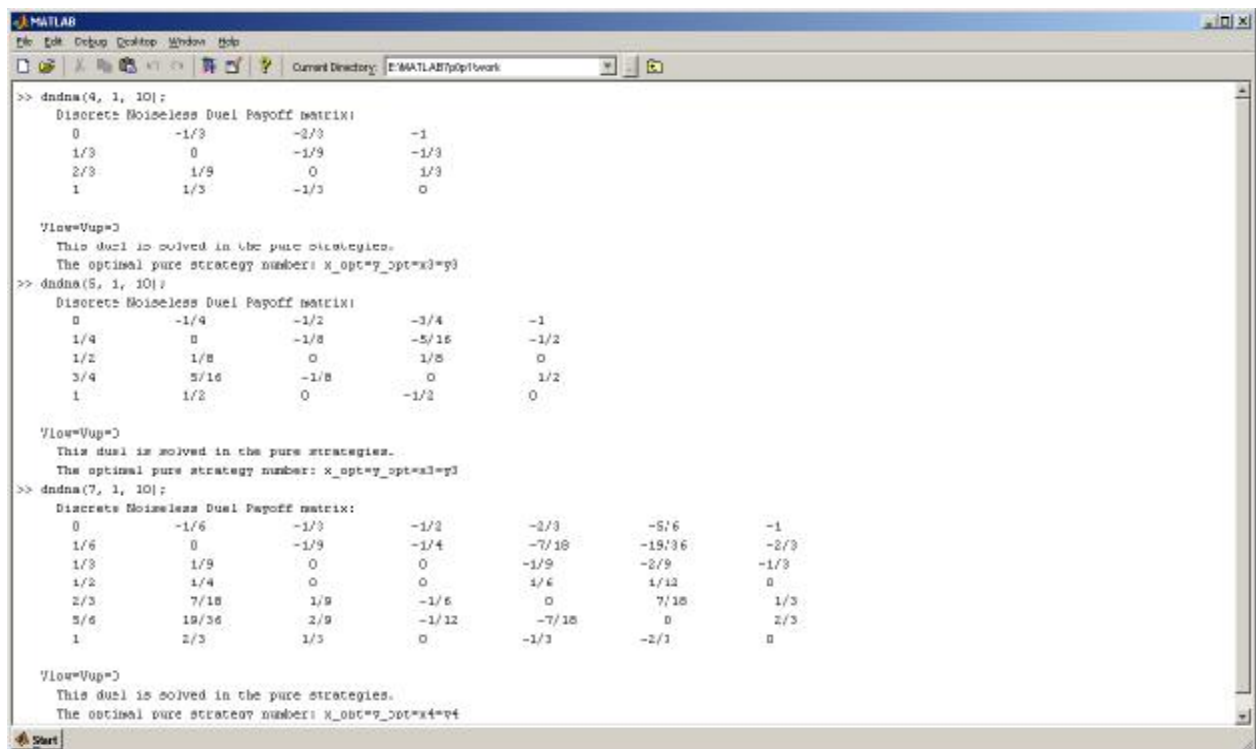


Рис. 8. Сідлові точки у чистих стратегіях у дискретній безшумній дуелі з $n \in \{4, 5, 7\}$ при $\alpha = 1$

Висновки та перспективи подальших досліджень в обраному напрямку

Розроблена програмна MATLAB-функція **dndna** дозволяє гравцю отримувати не тільки розв’язок дискретної безшумної дуелі з матрицею (13) на множині ситуацій у формі правильної решітки (10), але й отримувати у розгорнутому виді схему обирання ним його чистих стратегій для якомога кращої реалізації свої оптимальної змішаної стратегії протягом r повторень гри. Щоправда, у деяких досліджених і

візуалізованих на рис. 8 випадках дискретна безшумна дуель з матрицею (13) розв'язується у чистих стратегіях. Саме під такі моделі слід підлаштовувати активність у релевантних соціально-економічних та біо-екологічних системах, де тоді проблема безумовного дотримання принципу оптимальності [17, 18] вирішується за одне повторення дуелі. Перспективи подальших досліджень вбачаються у розгляді тих дискретних безшумних дуелей, у яких чисті стратегії гравця на одиничному сегменті $[0; 1]$ розміщуються нееквідистантно. Таке їх розміщення є більш правдоподібним (вірогідним), адже наявність деякого варіанта дії у даній точці, яку ми ототожнюємо з чистою стратегією, не завжди може лінеаризовано (власне, стрибкоподібно) залежати від відстані між цією точкою і моментом завершення дуелі.

Література

1. Teraoka Y. A single bullet duel with uncertain information available to the duelists / Bull. Math. Statist. – 1979. – N. 18. – P. 69– 80.
2. Teraoka Y. A two-person game of timing with random arrival time of the object / Math. Japonica. – 1979. – N. 24. – P. 427– 438.
3. Baston V. J., Garnaeв A. Y. A non-zero-sum war of attrition / ZOR-Mathematical Methods and Models of Operation Research. – 1997. – N. 45. – P. 197– 211.
4. Namers H. A silent duel over a cake / ZOR-Mathematical Methods and Models of Operation Research. – 1993. – N. 37. – P. 119– 127.
5. Воробьёв Н. Н. Теория игр для экономистов-кибернетиков. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 272 с.
6. Теория игр: Учеб. пособие для ун-тов / Л. А. Петросян, Н. А. Зенкевич, Е. А. Семина. – М.: Высшая школа, Книжный дом “Университет”, 1998. – 304 с.: ил.
7. Оуэн Г. Теория игр: Пер. с англ. Изд. 2-е. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 216 с.
8. Романюк В. В. Моделирование выхода на рынок двух конкурирующих предприятий с помощью игровой бесшумной дуэли в MATLAB 7.0.1 // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2009. – № 3. – Т. 2. – С. 233– 238.
9. Романюк В. В. Метод реалізації оптимальних змішаних стратегій у матричній грі з пустою множиною сідлових точок у чистих стратегіях з невідомою кількістю партій гри // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 2. – С. 224– 229.
10. Romanuke V. V. Determination of the optimal pure strategies subset as the latent predominance set in some matrix games // Scientific Papers of Donetsk National Technical University. “Informatics, Cybernetics and Computer Science”. – 2009. – Vol. 10 (153). – P. 46– 53.
11. Романюк В. В. Разрешение системы преследователь– добыча для экспоненциальной вероятности поражения добычи преследователем // Вестник НТУ “ХПИ”. Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2009. – № 13. – С. 138– 149.
12. Романюк В. В. Оптимізація кількості варіантів відповіді у закритих тестах з фіксованим часом за допомогою матричної гри // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 3. – С. 187– 192.
13. Романюк В. В. Комплексне програмне забезпечення для визначення оптимальної поведінки у конкурентних процесах з визначеними на одиничному гіперкубі простору \mathbb{R}^1 експоненціальними платіжними функціями // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2009. – № 2. – Т. 2. – С. 188– 193.
14. Романюк В. В. Про рівнозначність оптимальних змішаних стратегій другого гравця у вгнутий антагоністичній грі з експоненціальним ядром на одиничному гіперкубі чотиривимірного евклідового простору // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2009. – № 2. – Т. 1. – С. 113– 121.
15. Романюк В. В. Нерівнозначні оптимальні змішані стратегії другого гравця у вгнутий антагоністичній грі з експоненціальним ядром, що задається на декартовому добутку двох одиничних кубів // Наука й економіка. – 2009. – № 3 (15). – Том 2. – С. 206– 234.
16. Романюк В. В. Адаптація методу реалізації оптимальних змішаних стратегій у матричній грі з порожньою множиною ситуацій рівноваги з відомою наперед кількістю раундів гри у програмному середовищі MATLAB // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 4. – С. 57– 67.
17. Романюк В. В. Формулювання одного з принципів оптимальності в елементарній антагоністичній грі без сідлової точки при неповній реалізації оптимальних змішаних стратегій // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2007. – № 2. – Т. 2. – С. 218– 222.
18. Романюк В. В. Про раціоналізований принцип оптимальності у деяких матричних іграх // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 1. – С. 156– 161.

Надійшла 11.12.2009 р.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЗАДАЧІ РОЗПІЗНАВАННЯ СИТУАЦІЙ ВЕЛИКИХ РОЗМІРНОСТЕЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНО-ЧЕРГОВИХ СЛУЖБ ОРГАНІВ ВНУТРІШНІХ СПРАВ

У статті проаналізовано математичну модель задачі розпізнавання ситуації та прийняття первинних рішень, яка являє собою набір правил. Визначено, що вона є недосконалою для задач розпізнавання ситуацій великої розмірності. Тому у статті запропоновано альтернативну математичну модель, яка дозволяє уникнути обмежень, що накладаються специфікою правил.

The article discusses a mathematical model of problem recognition and acceptance of the situation of primary solutions, which is a set of rules. Determined that it is imperfect for recognition problems of large dimension situations. Therefore, this article proposed an alternative mathematical model, which avoids the restrictions imposed by specific rules.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, розпізнавання ситуацій, математична модель.

Вступ

У своїй повсякденній професійній діяльності спеціалісти державних служб часто мають справу з задачею прийняття рішень, а саме вибором того чи іншого варіанту вирішення поставлених перед ними задач. Різні рішення відрізняються складністю прийняття і характером можливих наслідків. Чим складнішою є керована система, тим більша кількість факторів впливає на остаточний вибір рішення особи, що приймає рішення (ОПР), відповідно тим більш масштабними будуть наслідки правильного або помилкового рішення.

Характеристика предметної області

Одним зі структурних підрозділів в системі управління Міністерства внутрішніх справ (УМВС), який виконує задачі по охороні суспільного порядку та боротьбі зі злочинністю, є оперативна чергова служба (ОЧС). Основною діючою особою ОЧС, яка приймає інформацію про виникнення ситуації, попередньо її оцінює та визначає на основі цього рішення для її розв'язання, є оперативний черговий (ОЧ).

Однією з основних задач, що постає перед ОЧ після надходження повідомлення про виникнення ситуації є розпізнавання ситуації та визначення деякого набору первинних рішень для її вирішення [1].

В системі підтримки прийняття рішень для оперативно-чергових служб (СППР ОЧС) дана задача вирішувалася підсистемою прийняття первинних рішень, яка базувалася на нечіткій нейронній мережі [2].

Використання зазначеної мережі мало ряд суттєвих переваг [2]:

- навчання здійснювалося за допомогою алгоритмів навчання нейромереж, які мають переваги при обробці недостовірних даних, джерелом яких є людина;
- усі висновки робилися на основі нечіткої логіки, у функції та вирази якої було перетворено набір правил математичної моделі задачі розпізнавання ситуації та прийняття первинних рішень [3].

Однак, в результаті тестових досліджень був виявлений один суттєвий недолік даного підходу. А саме, зі збільшенням кількості правил – якість результатів роботи мережі знижується.

В ході досліджень було виявлено, що кількість правил z залежить від кількості загонів патрульно-постової служби (ППС) h та дорожньо-патрульної служби (ДПС) g на дільниці, та розраховується за формулою $z = h * (3 * g + 3) + 2$.

Постановка задачі

Отже, використання СППР ОЧС у центральних відділеннях міських та обласних УМВС, де кількість правил буде становити десятки тисяч, може призвести до зниження якості розпізнавання ситуацій системою, що в подальшому вплине на правильність остаточного рішення.

Тому у математичну модель на основі набору правил недоцільно використовувати для задач розпізнавання ситуацій великої розмірності.

Для усунення зазначеного недоліку необхідно розробити математичну модель, яка б не використовувала набору правил.

Огляд відомих рішень

Як вже зазначалося у [3] під задачею розпізнавання ситуації та прийняття первинних рішень розуміють віднесення поточної ситуації до одного з відомих типів та визначення на основі цього певних дій для вирішення ситуації. Найперше, ОЧ має визначити статус ситуації: штатний чи надзвичайний. Якщо ситуація є надзвичайною – ОЧ повинен повідомити про неї відповідні органи, своє керівництво та чергову частину вищого органу і надалі виконувати їх накази. Якщо ж ситуація є штатною – необхідно визначити, чи потребує її вирішення термінового залучення конкретних сил та засобів. Якщо так, ОЧ повинен, залежно від обставин та місця ситуації, вжити заходів із залученням найближчих до місця ситуації загонів ППС (при необхідності ДПС) для припинення ситуації, забезпечення охорони місця ситуації, перекриття можливих шляхів відступу осіб, що спричинили ситуацію, блокування місць їхнього переховування та затримки,

встановлення свідків та організувати виїзд на місце груп негайного реагування (ГНР) або слідчо-оперативної групи (СОГ). В іншому випадку, ОЧ повинен зареєструвати повідомлення про ситуацію у журналі обліку інформації та повідомити про нього відповідного дільничного інспектора.

Характеристиками, на основі яких вирішується задача розпізнавання ситуації та прийняття первинних рішень, є статус ситуації, тип та місце ситуації. В свою чергу, статус ситуації залежить від обставин (конкретних подій, осіб, що приймали в них участь або були свідками, кількості свідків, часу, що минув від початку ситуації до моменту надходження повідомлення про неї). Кількість свідків може залежати від часу доби, дня, пори року, місця ситуації тощо. На рис. 1 зображено схему взаємозв'язків та залежностей між характеристиками ситуації та її можливими рішеннями [3].

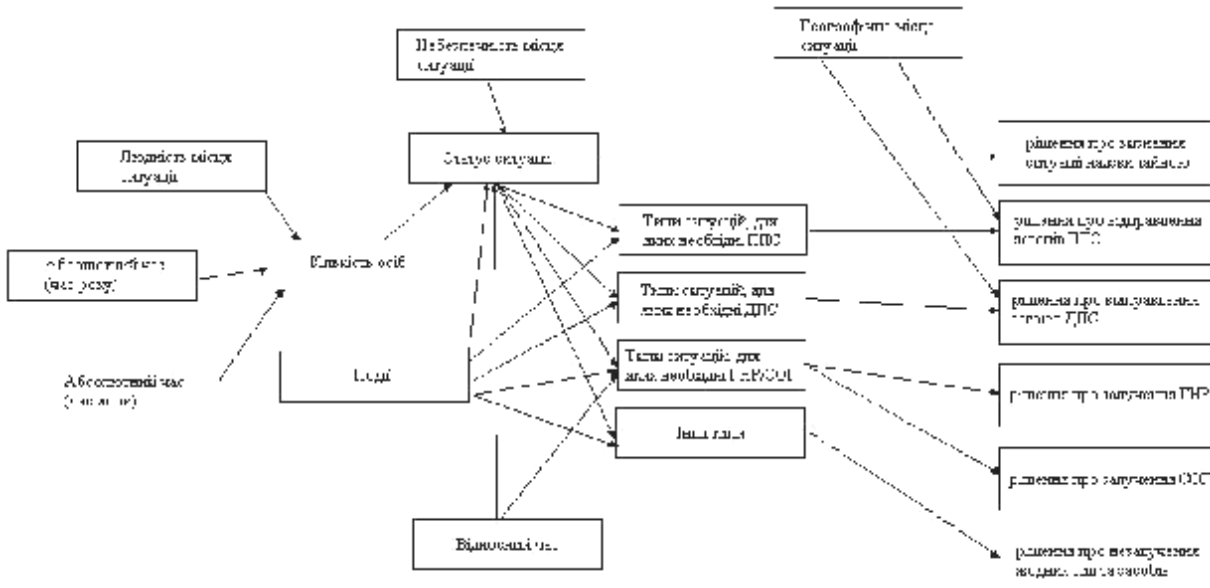


Рис. 1. Взаємозв'язки та залежності між характеристиками ситуації та її можливими рішеннями

Виділимо основні характеристики ситуації [3].

Місце ситуації V характеризується такими параметрами, як:

- показник людності v_1 – визначає наскільки людним є місце, де виникла ситуація, чи наявні там місця масового збору людей (бари, парки тощо). Чим більш людним є місце ситуації, тим більше значення має v_1 ;
- показник небезпечності v_2 – визначає наявність на місці ситуації будівель, споруд, установ підвищеного рівня небезпеки (тюрем, міліцейських відділків, заводів, що працюють з небезпечними речовинами, складів, які зберігають подібні речовини, банків тощо). Значення v_2 залежить від рівня небезпеки споруд та їх кількості;
- географічне розташування місця ситуації у населеному пункті v_3 , визначається множиною вулиць, які наявні на території, що підконтрольна дільниці, де працює ОЧ, $v_3 = \{v_{3,1}, \dots, v_{3,i}\}, i = \overline{1, m}$, де $v_{3,i}$ – окрема вулиця, провулок або ділянка вулиці (яка відрізняється власними значеннями показників людності та небезпечності); m – максимальна кількість вулиць на зазначеній дільниці. Отже, місце ситуації $V = \{v_1, v_2, v_3\}$.

Множину подій, що описують ситуацію позначимо p : $p = \{p_1, \dots, p_a\}, a = \overline{1, o}$, де p_a - окрема подія, яка характеризує ситуацію, o – загальна можлива кількість подій.

Час виникнення ситуації C складається з двох величин $C = \{c_1, c_2\}$, c_1 – абсолютний час ситуації, визначається датою та часом початку ситуації, c_2 – відносний час ситуації, який пройшов від початку ситуації до моменту надходження повідомлення про неї. Абсолютний час ситуації має відношення до кількості осіб, що можуть бути учасниками або свідками ситуації та описується двома параметрами: пора року ($c_{1,1}$) та час доби ($c_{1,2}$). Таким чином $c_1 = \{c_{1,1}, c_{1,2}\}$.

Кількість осіб, яка може бути свідками ситуації або приймати у ній участь характеризується показником K , який залежить від показника людності місця ситуації та абсолютного часу ситуації, і його значення зростає зі збільшенням можливої кількості осіб. Статус ситуації характеризується показником S , який залежить від подій ситуації, $S \rightarrow \min$, якщо ситуація є штатною, та $S \rightarrow \max$, якщо ситуація є надзвичайною.

Множину типів ситуації позначимо T , $T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$, де t_1 – показник ситуації, який визначає

необхідність залучення загонів ППС, t_2 – загонів ДПС, t_3 – ГНР або СОГ, t_4 – застосування інших дій, непов'язаних з залученням вищезгаданих сил та засобів. У випадку необхідності залучення певного виду сил, значення відповідного показника збільшується, у протилежному випадку – зменшується.

Множину можливих рішень ситуацій позначимо $R, R = \{r_j\}, j = \overline{1, q}$, де r_j – одне з можливих рішень конкретної ситуації, q - загальна можлива кількість рішень.

Згідно своїх службових повноважень ОЧ може прийняти такі рішення по вирішенню ситуації, а саме визнати ситуацію [3]:

- надзвичайною;
- штатною і такою, що потребує залучення відповідних загонів ППС;
- штатною і такою, що потребує залучення відповідних загонів ППС та ДПС;
- штатною і такою, що потребує залучення відповідних загонів ППС та ГНР;
- штатною і такою, що потребує залучення відповідних загонів ППС та СОГ;
- штатною і такою, що потребує залучення відповідних загонів ППС, ДПС та ГНР;
- штатною і такою, що потребує залучення відповідних загонів ППС, ДПС та СОГ;
- штатною і такою, що не потребує залучення вищезгаданих сил та засобів.

Отже:

$$\begin{aligned}
 r_j \in R_1, \text{ якщо } R_{НАДЗ} &\rightarrow \max \\
 r_j \in R_2, \text{ якщо } R_{ППС} &\rightarrow \max, R_{НАДЗ}, R_{ДПС}, R_{ГНР/СОГ}, R_{НЕЗ} \rightarrow \min \\
 r_j \in R_2 \cup R_3, \text{ якщо } R_{ППС}, R_{ДПС} &\rightarrow \max, R_{НАДЗ}, R_{ГНР/СОГ}, R_{НЕЗ} \rightarrow \min \\
 r_j \in R_2 \cup R_4, \text{ якщо } R_{ППС}, R_{ГНР/СОГ} &\rightarrow \max, R_{НАДЗ}, R_{ДПС}, R_{НЕЗ} \rightarrow \min \\
 r_j \in R_2 \cup R_3 \cup R_4, \text{ якщо } R_{ППС}, R_{ДПС}, R_{ГНР/СОГ} &\rightarrow \max, R_{НАДЗ}, R_{НЕЗ} \rightarrow \min \\
 r_j \in R_5, \text{ якщо } R_{НЕЗ} &\rightarrow \max
 \end{aligned} \tag{1}$$

де R_1 – множина рішень про визнання ситуацію надзвичайною, $R_1 = \{r_1\}$, $R_{НАДЗ}$ - визначає, чи є ситуація штатною ($R_{НАДЗ} \rightarrow \min$) або надзвичайною ($R_{НАДЗ} \rightarrow \max$); R_2 – множина рішень про залучення загону (групи загонів) ППС, $R_2 = \{r_{2,1}, \dots, r_{2,f}\}, f = \overline{1, h}$, де $r_{2,f}$ - рішення про залучення відповідного загону (групи загонів) ППС, h - максимальна кількість загонів ППС на дільниці, де працює ОЧ, $R_{ППС}$ - визначає, чи потребує ситуація залучення загонів ППС ($R_{ППС} \rightarrow \max$) або не потребує ($R_{ППС} \rightarrow \min$); R_3 – множина рішень про залучення загону (групи загонів) ДПС, $R_3 = \{r_{3,1}, \dots, r_{3,e}\}, e = \overline{1, g}$, де $r_{3,e}$ - рішення про залучення відповідного загону (групи загонів) ДПС, g - максимальна кількість загонів ДПС на дільниці, де працює ОЧ, $R_{ДПС}$ - визначає, чи потребує ситуація залучення загонів ДПС ($R_{ДПС} \rightarrow \max$) або не потребує ($R_{ДПС} \rightarrow \min$); R_4 – рішення про залучення ГНР або СОГ, $R_4 = \{r_{4,1}, r_{4,2}\}$, де $r_{4,1}$ - рішення про залучення ГНР, $r_{4,2}$ – рішення про залучення СОГ, $R_{ГНР/СОГ}$ - визначає, чи потребує ситуація залучення ГНР/СОГ ($R_{ГНР/СОГ} \rightarrow \max$) або не потребує ($R_{ГНР/СОГ} \rightarrow \min$); R_5 – множина рішень про визнання ситуацію такою, що не потребує залучення додаткових сил та засобів, $R_5 = \{r_5\}$, $R_{НЕЗ}$ - визначає, чи потребує ситуація залучення певних сил та засобів ($R_{НЕЗ} \rightarrow \max$) або навпаки ($R_{НЕЗ} \rightarrow \max$).

Як зазначалось у [3] $R_{НАДЗ} = S$, враховуючи, що $S \rightarrow \max$, якщо $v_2, K \rightarrow \max, p_{sw} \neq 0$ та $K \rightarrow \max$, якщо $v_1, c_{1,1}, c_{1,2} \rightarrow \max$, де p_{sw} – множина подій, що можуть призвести до появи надзвичайного стану, $p_{sw} \subset p$, отримуємо.

$$r_1 = (p_{sw}, v_1, v_2, c_{1,1}, c_{1,2}, c_2) \tag{2}$$

Множина R_2 залежить від типу ситуації, який визначає необхідність застосування ППС – t_1 , $R_{ППС} = t_1$ [3]. В свою чергу, t_1 залежить від подій та статусу ситуації. При чому $t_1 \rightarrow \max$, якщо $p_{t_1w} \neq 0$ та $S \rightarrow \min$, де p_{t_1w} – множина подій, що потребують залучення ППС, $p_{t_1w} \subset p$, а рішення $r_{2,f}$ залежить від географічного місця ситуації $v_3, v_3 = \{v_{3,1}, \dots, v_{3,i}\}, i = \overline{1, m}$. Отже:

$$r_2 = (((p_{t_1w} \setminus p_{t_1u}) \setminus p_{sw}), (v_3 r_{2,fw} \setminus v_3 r_{2,fu}), v_1, v_2, c_{1,1}, c_{1,2}, c_2), \tag{3}$$

де p_{t_1u} – множина подій, що не потребують залучення ППС, $p_{t_1u} \subset p$, $v_3 r_{2,fw}$ - множина вулиць,

що потребують залучення загону, відповідного для $r_{2,f}, v_{3r_{2,f}w} \subset v_3 v_{3r_{2,f}u}$ – множина вулиць, що не потребують залучення загону, відповідного для $r_{2,f}, v_{3r_{2,f}u} \subset v_3$.

Множина R_3 залежить від типу ситуації, який визначає необхідність застосування ППС – t_2 , $R_{ДПС} = t_2$ [3]. В свою чергу, t_2 залежить від подій та статусу ситуації. При чому $t_2 \rightarrow \max$, якщо $p_{t_2w} \neq 0$ та $S \rightarrow \min$, де p_{t_2w} – множина подій, що потребують залучення ППС, $p_{t_2w} \subset p$, а рішення $r_{3,e}$ залежить від географічного місця ситуації $v_3, v_3 = \{v_{3,1}, \dots, v_{3,i}\}, i = \overline{1, m}$. Отже:

$$r_3 = (((p_{t_2w} \setminus p_{t_2u}) \setminus p_{sw}), (v_{3r_{3,e}w} \setminus v_{3r_{3,e}u}), v_1, v_2, c_{1,1}, c_{1,2}, c_2), \quad (4)$$

де p_{t_2u} – множина подій, що не потребують залучення ДПС, $p_{t_2u} \subset p$, $v_{3r_{3,e}w}$ – множина вулиць, що потребують залучення загону, відповідного для $r_{3,e}, v_{3r_{3,e}w} \subset v_3 v_{3r_{3,e}u}$ – множина вулиць, що не потребують залучення загону, відповідного для $r_{3,e}, v_{3r_{3,e}u} \subset v_3$.

Множина R_4 залежить від показника ситуації, який визначає необхідність застосування ГНР/СОГ – t_3 , $R_{ГНР/СОГ} = t_3$. Показник t_3 залежить від подій та статусу ситуації, $t_3 \rightarrow \max$, якщо $p_{t_3w} \neq 0$ та $S \rightarrow \min$, де p_{t_3w} – множина подій, що потребують залучення ГНР/СОГ, $p_{t_3w} \subset p$ [3]. Прийmemo, що $p_{t_3w}^{\setminus}$ – множина подій, що сприяє залученню СОГ, $p_{t_3w}^{\setminus} \subset p_{t_3w}$, а $p_{t_3w}^{\set\setminus}$ – множина подій, що сприяє залученню ГНР, $p_{t_3w}^{\set\setminus} = p_{t_3w} \setminus p_{t_3w}^{\set}$, де " \set " – різниця множин [4], p_{t_3u} – множина подій, що не потребують залучення СОГ/ГНР, $p_{t_3u} \subset p$. Отже:

$$r_{4,1} = ((p_{t_3w}^{\set} \setminus (p_{t_3w} \setminus p_{t_3u})) \setminus p_{sw}), v_1, v_2, c_{1,1}, c_{1,2}, c_2) \quad (5)$$

$$r_{4,2} = ((p_{t_3w}^{\set\setminus} \setminus (p_{t_3w} \setminus p_{t_3u})) \setminus p_{sw}), v_1, v_2, c_{1,1}, c_{1,2}, c_2) \quad (6)$$

Множина R_5 залежить від показника ситуації, який визначає, чи потрібно залучити будь-які з вищезазначених сил та засобів – t_4 , $R_{HEZ} = t_4$ [3]. Показник t_4 залежить від подій та статусу ситуації, $t_4 \rightarrow \max$, якщо $p_{t_4w} \neq 0$ та $S \rightarrow \min$, де p_{t_4w} – множина подій, що не потребують залучення будь-яких додаткових сил та засобів, $p_{t_4w} \subset p$. Отже:

$$r_5 = (((p_{t_4w} \setminus p_{t_4u}) \setminus p_{sw}), v_1, v_2, c_{1,1}, c_{1,2}, c_2), \quad (7)$$

де p_{t_4u} – множина подій, що потребують залучення будь-яких додаткових сил та засобів, $p_{t_4u} \subset p$.

Виходячи з (1) можна зробити висновок, що множина можливих рішень задачі розпізнавання ситуації характеризується набором елементів:

$$R = \{r_1, r_{2,f}, r_{3,g}, r_{4,1}, r_{4,2}, r_5, r_{2,f} + r_{3,g}, r_{2,f} + r_{4,1}, r_{2,f} + r_{4,2}, r_{3,g} + r_{4,1}, r_{2,f} + r_{3,g} + r_{4,2}\} \quad (8)$$

Множина R є альтернативною представленою у [3].

Як вже зазначалося у [3] дана задача є важкоформалізованою, а тому для її вирішення є сенс застосувати інтелектуальні методи, зокрема штучну нейронну мережу (ШНМ) побудовану у відповідності до альтернативної математичної моделі.

Висновок

У роботі проаналізовано ШНМ, яка вирішує задачу розпізнавання ситуації та прийняття первинних рішень. Визначено, що зі збільшенням розмірності бази правил, якість розпізнавання ситуації зменшується. Для усунення цього недоліку розроблено альтернативну математичну модель, яка дозволяє уникнути обмежень, що накладаються специфікою правил. Розроблена модель є основою для створення підсистеми прийняття первинних рішень СППР ОЧС, яка буде вирішувати задачі по розпізнаванню ситуації великої розмірності.

Література

1. Тітова В.Ю. Інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень для оперативно-чергових служб // Искусственный интеллект – Донецьк: Інститут проблем штучного інтелекту, 2006. – № 4 – С. 504-509.
2. Тітова В. Інтелектуальні методи для створення підсистеми прийняття первинних рішень системи підтримки прийняття рішень для оперативно-чергових служб // Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – Львів: "Львівська політехніка", 2007. – № 598 – С. 78-85.

3. Тітова В.Ю. Модель процесу розпізнавання ситуації та прийняття первинних рішень оперативним черговим оперативно-черговою служби // Радіоелектронні і комп'ютерні системи – Харків: ХАІ, 2007 – № 7 – С.99-104.

4. Верещагин Н.К. Начала теории множеств. / Верещагин Н.К., Шень А. – Москва: МЦНМО, 1999. – 128 с.

Надійшла 9.12.2009 р.

УДК 004.832.2

В.М. ЛОКАЗЮК, В.Ю. ТІТОВА, О.А. КОЗЛЮК

Хмельницький національний університет

НЕЙРОМЕРЕЖНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІШЕНЬ В СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ОПЕРАТИВНО-ЧЕРГОВИХ СЛУЖБ

В статті проаналізовано метод оцінювання ефективності рішень у системи підтримки прийняття рішень для оперативно-чергової служби, визначено його недоліки, та запропоновано вдосконалений метод, який базується на штучних нейронних мережах.

The article analyzed a method of evaluating the effectiveness of solutions in decision support system for operational duty service, identified its shortcomings, and propose an improved method based on artificial neural networks.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, наслідки рішення, оцінювання ефективності рішень.

Вступ

У своїй повсякденній професійній діяльності спеціалістам державних служб та силових відомств, в тому числі і оперативно-чергових служб (ОЧС), часто доводиться приймати рішення по вирішенню тієї чи іншої ситуації, а також визначати наслідки кожного з можливих рішень.

Різні рішення відрізняються характером можливих наслідків, і чим складнішою є конкретна ситуація, тим більш масштабними будуть наслідки кожного конкретного прийнятого рішення.

Оперативний черговий (ОЧ) ОЧС органів внутрішніх справ (ОВС) за своїми функційними обов'язками є особою, що приймає рішення по охороні суспільного порядку і боротьбі зі злочинністю [1].

Після надходження інформації про ситуацію та її первинної обробки на предмет вірогідності, значущості та корисності, ОЧ визначає необхідні для подальшої роботи дані. Після цього, він виконує задачу розпізнавання ситуації, визначає її статус та приймає на основі цього певний набір первинних рішень для її вирішення. Наступними задачами, що постають перед ОЧ, є прогнозування розвитку ситуації та визначення наслідків виконання кожного з первинних рішень. На основі визначених наслідків ОЧ має прийняти остаточне рішення для вирішення ситуації [1].

Щоб прийняти рішення для вирішення конкретної ситуації ОЧ має проаналізувати його наслідки для кожного обраного критерію, та визначити для кожного рішення його ефективність [2].

Для цього було розроблено метод оцінювання ефективності рішень, який базується на організації пошуку рішення за відібраними критеріями. [2].

Застосування даного методу в системі підтримки прийняття рішень для оперативно-чергових служб (СППР ОЧС) дозволило підвищити відсоток визначених системою правильних рішень до 96 % [2].

Однак, не дивлячись на це, даний метод має ряд недоліків:

- визначення ефективності рішення зводиться до звичайних математичних розрахунків, а тому враховує лише числові значення наслідків, без врахування їхніх взаємовпливів;
- не зважаючи на усунення обмежень, що накладаються градацією шкали переваг Сааті та усунення можливості компенсації значень часткових критеріїв, при формуванні матриці відношень критеріїв, використовуються попарні порівняння типу: "критерій К1 важливіший за критерій К2 у стільки-то разів", що містить певну долю суб'єктивізму та негативно впливає на якість оцінювання.

Постановка задачі

Рішення, які приймаються ОЧ стосуються життя людей, їх морального та матеріального стану, метою роботи є вдосконалення методу оцінювання ефективності рішень для СППР ОЧС шляхом використання штучних нейронних мереж.

Огляд відомих рішень

Множина наслідків прийнятого рішення N має такий вигляд: $N = \{n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6\}$, де n_1 – успішне завершення ситуації ($n_1 \rightarrow \max$) або навпаки ($n_1 \rightarrow \min$); n_2 – перехід ситуації у надзвичайний стан ($n_2 \rightarrow \max$) або навпаки ($n_2 \rightarrow \min$); n_3 – достатність задіяних сил та засобів, якщо задіяних сил та засобів достатньо, то $n_3 \rightarrow \max$, якщо необхідно залучити ще додаткові сили $n_3 \rightarrow \min$, n_4 – кількість можливих втрат серед населення та збитки муніципального господарства, $n_4 = [n_{4,1}, n_{4,2}, n_{4,3}]$, де $n_{4,1}$ –

кількість фізичних втрат (людські жертви), $n_{4,2}$ – кількість матеріальних збитків муніципальному господарству населеного пункту, $n_{4,3}$ – кількість моральних збитків (падіння рівня довіри до правоохоронних органів), зі зростанням кількості відповідних втрат $n_{4,1}, n_{4,2}, n_{4,3} \rightarrow \max$, зі зменшенням – $n_{4,1}, n_{4,2}, n_{4,3} \rightarrow \min$; n_5 – можлива кількість втрат для ОВС, $n_5 = [n_{5,1}, n_{5,2}]$, де $n_{5,1}$ – кількість фізичних втрат серед особового складу ОВС, $n_{5,2}$ – кількість матеріальних збитків ОВС, зі зростанням кількості відповідних втрат $n_{5,1}, n_{5,2} \rightarrow \max$, зі зменшенням – $n_{5,1}, n_{5,2} \rightarrow \min$; n_6 – час, за який ситуація може бути вирішена; чим швидше буде вирішена ситуація, тим менше значення має n_6 ; у випадку якщо ситуація не може бути вирішена успішно або вона переходить у надзвичайний стан $n_6 \rightarrow \max$ [3].

Фактично ефективність кожного рішення залежить від його успішності U ($U \rightarrow \max$, якщо рішення є успішним, та $U \rightarrow \min$, якщо рішення є неуспішним) та від кількості можливих втрат, які принесе його реалізація (V).

В свою чергу успішність рішення залежить від достатності задіяних сил та засобів, від того, успішно вирішиться ситуація чи перейде в надзвичайний стан, від часу, який необхідно витратити на вирішення ситуації тощо. Кількість можливих втрат залежить від кількості втрат серед населення та працівників внутрішніх справ, збитків матеріального та морального характеру, від достатності задіяних сил та засобів, часу вирішення ситуації тощо.

На рис. 1 наведено схему взаємозв'язків та залежностей між наслідками кожного можливого рішення та його ефективністю.

При врахуванні лише значень наслідків кожного рішення задача оцінювання ефективності рішень ОЧ належить до задач багатокритеріальної оптимізації і потребує для свого вирішення відповідних методів [2]. Однак, при врахуванні взаємозв'язків та залежностей між наслідками ця задача набула також рис важкоформалізованої, оскільки їй стали притаманні наступні особливості:

- її вхідні та вихідні дані можуть бути суперечливими або змінюватись в процесі розв'язку;
- її вирішення не може бути зведене до звичайних числових розрахунків;
- процедура розв'язку добре невідома.

А отже, вона потребує для свого вирішення інтелектуальних методів.

Структура нейронної мережі для вирішення задачі оцінювання ефективності рішень

Як вже зазначалось вище задача оцінювання ефективності рішень з врахуванням взаємозв'язків та залежностей між їх наслідками є важкоформалізованою.

На сьогоднішній день, для вирішення подібних задач широко використовуються штучні нейронні мережі (ШНМ) [4,5,6]. Для вирішення вищевказаної задачі використаємо нейромережний підхід.

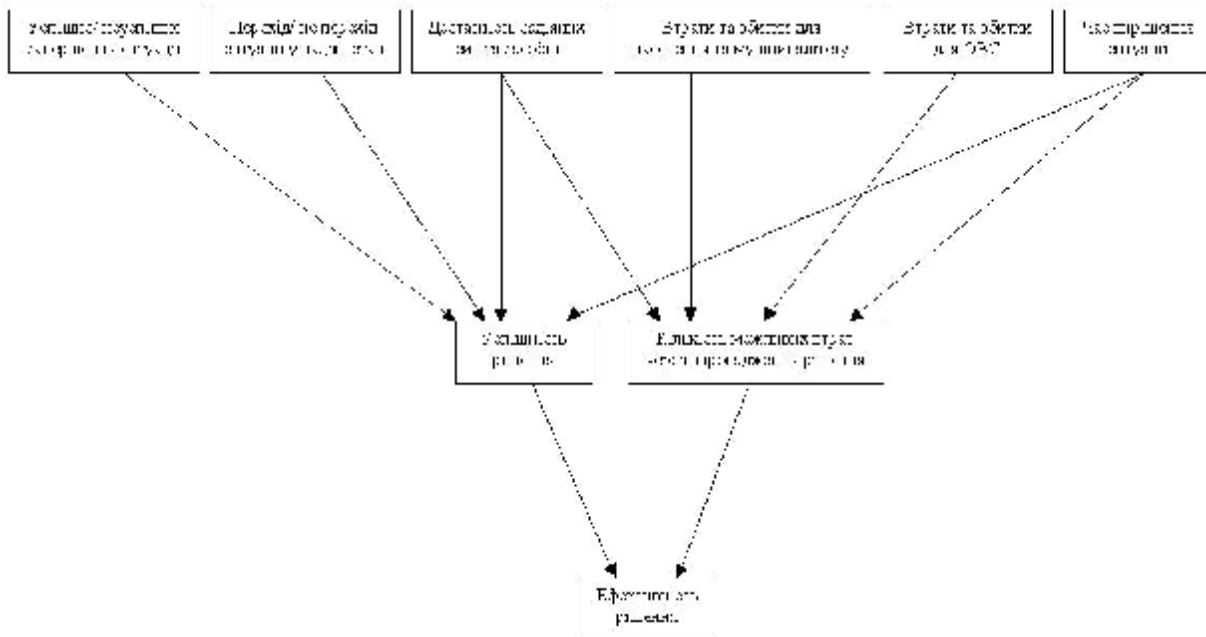


Рис. 1. Схема взаємозв'язків між наслідками рішення та його ефективністю

Зі схеми взаємозв'язків і залежностей між наслідками рішення та його ефективністю слідує, що не між усіма вхідними даними та рішеннями задачі оцінювання ефективності рішень існують зв'язки та залежності.

Тому для вирішення поставленої задачі було використано неповнозв'язну прямонаправлену

нейромережу. Розглянемо структуру нейромережі, графічна модель якої зображена на рис. 2.

Вона складається з трьох шарів нейронів.

Нейрони усіх шарів виконують зважене додавання. В якості активаційної функції обрано функції гіперболічного тангенсу 'tansig'.

Шар 1. На нейрони цього шару надходять значення наслідків для кожного рішення.

Шар 2. Нейрони цього шару визначають показники успішності рішення та кількості можливих втрат.

Шар 3. Нейрони даного шару визначають ефективність для кожного рішення.

Кількість входів нейромережі дорівнює 9, за кількістю наслідків.

З єдиного виходу нейромережі зчитується значення ефективності для кожного можливого рішення.

Неповнозв'язну прямонапрявлену нейронну мережу для підсистеми оцінювання ефективності рішень СППР ОЧС побудовано у пакеті Matlab та навчено за допомогою алгоритмів градієнтного спуску 'traingd', градієнтного спуску з параметром швидкості настроювання 'traingda', градієнтного спуску зі збуренням 'traingdm', градієнтного спуску Полака-Рибейри 'traingcp', градієнтного спуску Моллера 'traingcg', оберненого поширення помилки 'trainrp', Флетчера_Рівса 'traingcf', методу січної OSS 'trainoss' та Левенберга-Марквардта 'trainlm'. Результати навчання мережі у таблиці 1.

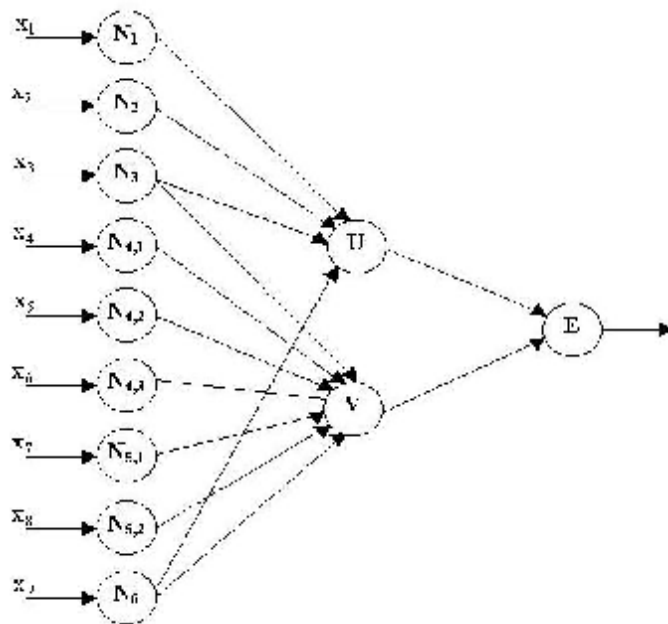


Рис. 2. Структура нейромережі для вирішення задачі оцінювання ефективності рішень

Таблиця 1

Результати навчання нейромережі за відповідними алгоритмами.

Алгоритм	К-сть епох	Час навчання, с	Досягнута точність
Градієнтного спуску	1000	1 хв. 50 сек	0,007
Градієнтного спуску з парам. швидкості настроювання	1000	1 хв. 40 сек	0,011
Градієнтного спуску зі збуренням	1000	2 хв. 30 сек	0,2
Градієнтного спуску Полака-Рибейри	1000	6 хв. 35 сек.	0,008
Градієнтного спуску Моллера	1000	3 хв. 50 сек.	0,004
Флетчера_Рівса	1000	5 хв. 10 сек.	0,008
Методу січної OSS	1000	3 хв. 40 сек.	0,003
Оберненого поширення помилки	1000	1 хв. 15 сек	0,001
Левенберга-Марквардта	1000	29 хв.	0,001

З аналізу результатів навчання нейромережі слідує, що найкращу точність було досягнуто при використанні алгоритмів оберненого поширення помилки та Левенберга-Марквардта. Найшвидше мережа навчалася за алгоритмами градієнтного спуску, градієнтного спуску з параметром швидкості настроювання та оберненого поширення помилки.

Отже, навчання нейромережі за алгоритмом оберненого поширення помилки дозволяє досягнути найкращої точності за найменший час.

У якості тестування серед однакової кількості можливих рішень ситуації було обрано найбільш ефективне за допомогою двох методів: методу оцінювання ефективності рішень для СППР ОЧС [2] та методу, запропонованого у статті. Правильність остаточного рішення залежно від його відповідності існуючим планам дій оцінював начальник чергової зміни.

Результати пошуку найбільш ефективного рішення без та із застосуванням запропонованого методу наведені у таблиці 2.

На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що використання запропонованого у статті методу оцінювання ефективності рішень дозволяє підвищити відсоток правильних прийнятих рішень до 97-98 %.

Висновки

Аналіз методу оцінювання ефективності рішень для СППР ОЧС [2] показав, що він не є досконалим, та має ряд недоліків.

Тому було запропоновано вдосконалений метод, який базується на врахуванні взаємозалежностей

між наслідками кожного можливого рішення.

Використання цього методу в СППР ОЧС дозволило:

- уникнути суб'єктивізму, що виникає при попарних порівняннях критеріїв;
- підвищити ефективність прийнятих системою правильних рішень з 96 % до 98 %.

Таблиця 2

Результати пошуку найбільш ефективного рішення.

	Правильність рішення при використанні методу оцінювання ефективності рішень для СППР ОЧС, %	Правильність рішення при використанні запропонованого у статті методу, %
Ситуація № 1	100 %	100 %
Ситуація № 2	90 %	95 %
Ситуація № 3	95 %	100 %
Ситуація № 4	95 %	95 %
Ситуація № 5	100 %	100 %
Ситуація № 6	100 %	100 %
Ситуація № 7	95 %	95 %
Ситуація № 8	95 %	95 %
Ситуація № 9	90 %	100 %
Ситуація № 10	100 %	100 %
Ситуація № 11	95 %	100 %
Ситуація № 12	95 %	95 %
Сумарний відсоток правильних рішень	96 %	98 %

Література

1. Тітова В.Ю. Інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень для оперативно-чергових служб // Искусственный интеллект – Донецьк: Інститут проблем штучного інтелекту, 2006. – № 4 – С. 504-509.
2. Тітова В.Ю. Оцінювання ефективності рішень в системі підтримки прийняття рішень для оперативно-чергових служб // Искусственный интеллект – Донецьк: Інститут проблем штучного інтелекту, 2009. – № 4 – С. 180-187.
3. Тітова В.Ю. Математична модель опису процесу прогнозування розвитку ситуації при охороні суспільного порядку органами внутрішніх справ // Вісник Хмельницького національного університету – Хмельницький: ХНУ, 2007 – № 2, т.1 – С. 140-145.
4. Барский Б.А. Нейронные сети: распознавание, управление и принятие решений. – Москва: “Финансы и статистика”. – 2004. – 176 с.
5. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – Москва: “Горячая линия-Телеком”. – 2001. – 382 с.
6. Локазюк В.М., Поморова О.В., Домінов А.О. Інтелектуальне діагностування мікропроцесорних пристроїв та систем: Навч. посібник. – Київ: “Такі справи”. – 2001. – 286 с.

Надійшла 13.12.2009 р.

УДК 004.41: 616.12-073.96/97

Я.В. ЛИТВИНЕНКО, С.А. ЛУПЕНКО

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

А.С. СВЕРСТЮК

Тернопільський державний медичний університет ім. І.Я. Горбачевського

**ДІАГНОСТИЧНІ ОЗНАКИ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ДІАГНОСТИКИ
ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ЛЮДИНИ**

У даній роботі запропоновано нові діагностичні ознаки для потреб автоматизованої кардіодіагностики у вигляді коефіцієнтів розкладу статистичних оцінок синхронно зареєстрованих кардіосигналів в базисі тригонометричних функцій

The new diagnostic criteria for the automatized cardiodynamics as the coefficients of the statistic assessment of synchronously registered cardiosignals in terms of trigonometric functions are analysed and suggested in the paper

Ключові слова: синхронно зареєстрованих кардіосигнали, статистична обробка, діагностичні ознаки

Вступ. При розробці систем автоматизованої кардіодіагностики, важливим етапом є обґрунтування діагностичних (прогностичних) ознак, за якими буде здійснюватись діагностика (прогноз) функціонального стану серцево-судинної системи людини. У роботах [1 та 2], обґрунтовано та верифіковано математичну

модель широкого класу кардіосигналів у вигляді циклічного випадкового процесу, а також модель сукупності синхронно зареєстрованих кардіосигналів (СЗКС) у вигляді вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів. У роботах [3-6] розроблені методи статистичного аналізу, зокрема сумісного статистичного аналізу, кардіосигналів в автоматизованих комп'ютерних діагностичних системах. В результаті застосування цих методів статистичної обробки кардіосигналів, отримуються статистичні оцінки їх ймовірнісних характеристик, зокрема, математичного сподівання, дисперсії, автокореляційної функції, взаємної кореляційної функції, функції розподілу і т.д. Однак така значна множина характеристик досліджуваних кардіосигналів, не може бути використана для автоматизованої кардіодіагностики, оскільки це вимагає значних затрат обчислювальної продуктивності комп'ютерної діагностичної системи. Дана робота присвячена обґрунтуванню необхідної мінімальної сукупності діагностичних ознак, які є чутливими до зміни стану серцево-судинної системи людини.

Основний розділ. У багатьох експериментах по статистичній обробці широкого класу кардіосигналів, підтверджено факт несуперечності нормальному закону розподілу сукупності синхронно зареєстрованих кардіосигналів, а саме, шляхом застосування χ^2 -тесту, встановлено, що реалізації кардіосигналів із довірчою ймовірністю 0,95 (рівень значимості дорівнює 0,05) не суперечать гіпотезі про нормальність їх розподілу. Як приклад, на рис. 1, подано графіки перерізів реалізації оцінки одновимірної функції щільності розподілу (гістограми) та їх апроксиманти для електрокардіосигналу.

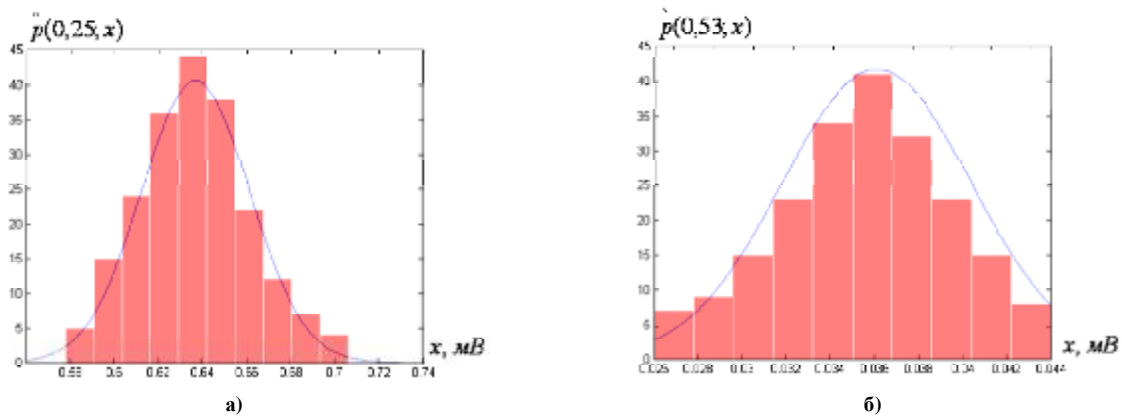


Рис. 1. Графіки перерізів реалізації оцінки одновимірної функції щільності розподілу (гістограми) та їх апроксиманти: амплітуда зубця R (а) та амплітуда зубця T (б)

Факт нормальності розподілу кардіосигналів, вказує на достатність використання статистичних оцінок перших двох моментних функцій досліджуваних кардіосигналів, а саме, їх математичних сподівань та кореляційних функцій.

З метою зменшення розмірності простору діагностичних ознак як діагностичні ознаки пропонується використовувати коефіцієнти ортогональних розкладів статистичних оцінок математичного сподівання у

ряд Фур'є. Так, реалізацію статистичної оцінки $\hat{m}_x(t), t \in [0, T)$ математичного сподівання досліджуваного кардіосигналу, можна розкласти в ряд Фур'є у комплексній формі, а саме:

$$\hat{m}_x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n \cdot e^{i \frac{2\pi}{T} t \cdot n}, t \in [0, T), \quad (1)$$

де $\left\{ e^{i \frac{2\pi}{T} t \cdot n}, n \in \mathbf{Z} \right\}$ – ортогональний базис на області $[0, T)$; множина $\{c_n, n \in \mathbf{Z}\}$ є множиною

спектральних коефіцієнтів, які визначаються згідно із формулою:

$$c_n = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{m}_x(t) \cdot e^{-i \frac{2\pi}{T} t \cdot n} dt, n \in \mathbf{Z}. \quad (2)$$

Коефіцієнти $\{c_n, n \in \mathbf{Z}\}$ загалом є комплексними, а саме, мають таке зображення:

$$c_n = a_n - i \cdot b_n, n \in \mathbf{Z}, \quad (3)$$

де множини коефіцієнтів $\{a_n, n \in \mathbf{Z}\}$ та $\{b_n, n \in \mathbf{Z}\}$ є відповідно косинусним та синусним спектрами

реалізації статистичної оцінки $\hat{m}_x(t)$ математичного сподівання, які визначаються так:

$$a_n = \text{Re}\{c_n\} = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{m}_x(t) \cdot \cos\left(\frac{2p}{T}t \cdot n\right) dt, n \in \mathbf{Z}, \quad (4)$$

$$b_n = \text{Im}\{c_n\} = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{m}_x(t) \cdot \sin\left(\frac{2p}{T}t \cdot n\right) dt, n \in \mathbf{Z}. \quad (5)$$

Як приклад, на рис. 2 та 3, подано результати розкладу у ряд Фур'є реалізації оцінок математичних сподівань електрокардіосигналу в II відведенні, які відповідають умовній нормі та патології.

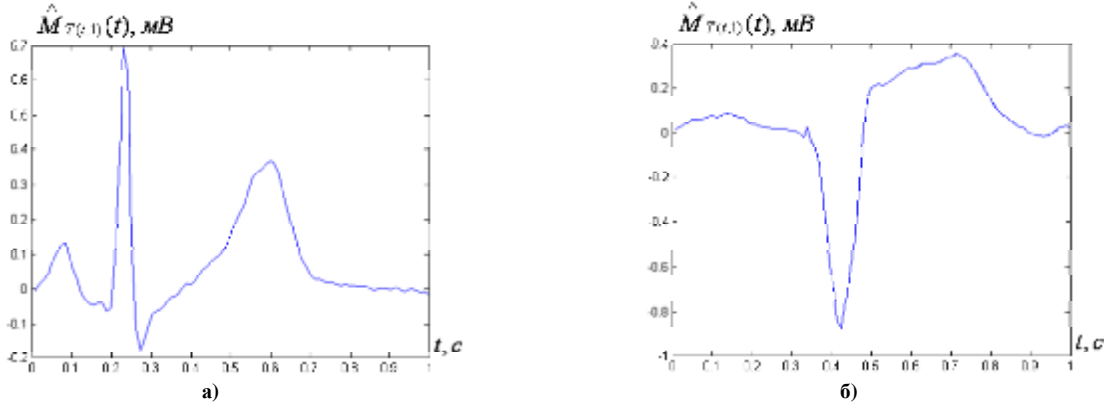


Рис. 2. Графіки реалізації оцінок математичних сподівань електрокардіосигналів в II відведенні: а) діагноз: умовна норма; б) діагноз: нижній інфаркт міокарда

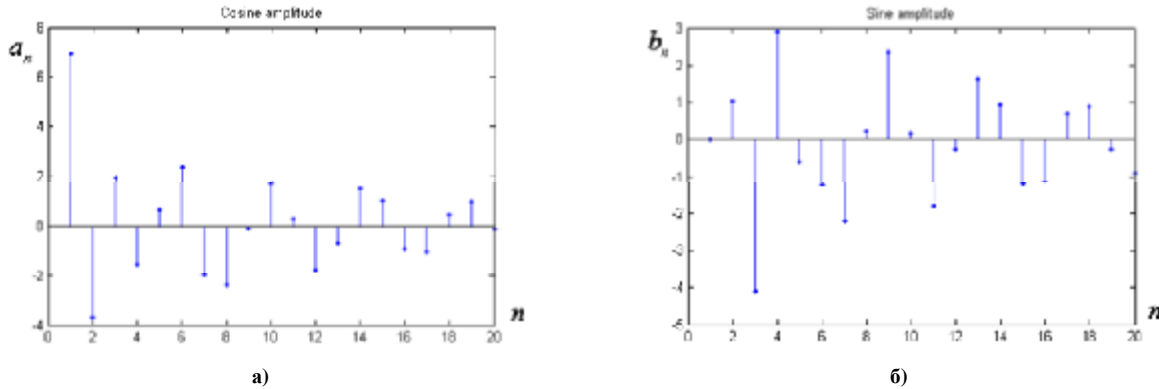


Рис. 3 Косинусний (а) та синусний (б) спектри реалізації оцінки математичного сподівання електрокардіосигналу в II відведенні (діагноз: умовна норма)

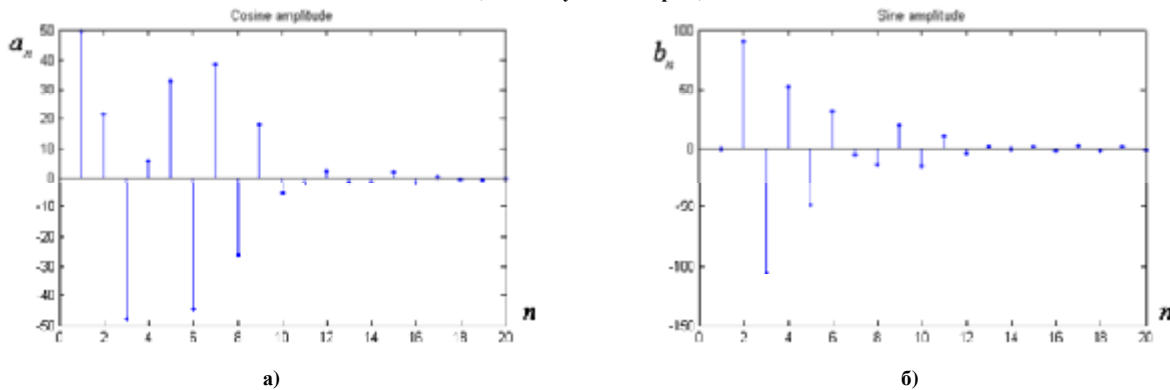


Рис. 4 Косинусний (а) та синусний (б) спектри реалізації оцінки математичного сподівання електрокардіосигналу в II відведенні (діагноз: нижній інфаркт міокарда)

Як видно із рис. 2-4, а також це підтверджується багатьма експериментами, має місце факт значної чутливості оцінки математичного сподівання та коефіцієнтів її розкладу у ряд Фур'є, до зміни стану серцево-судинної системи людини, що вказує на можливість їх використання як діагностичних ознак в автоматизованих системах кардіодіагностики.

З метою зменшення розмірності простору діагностичних ознак, при проведенні сумісного статистичного аналізу синхронно зареєстрованих кардіосигналів, як діагностичні ознаки пропонується використовувати коефіцієнти ортогональних розкладів статистичних оцінок взаємних кореляційних функцій компонент СЗКС у двовимірний тригонометричний ряд Фур'є. Так, реалізацію статистичної оцінки $\hat{R}_{x_1x_2}(t_1, t_2), t_1 \in [0, T_1), t_2 \in [0, T_2)$ взаємної кореляційної функції, можна розкласти у двовимірний ряд

Фур'є у комплексній формі, а саме:

$$\hat{R}_{X_1 X_2}(t_1, t_2) = \sum_{n_1=-\infty}^{\infty} \sum_{n_2=-\infty}^{\infty} c_{n_1, n_2} \cdot e^{i[\frac{2p}{T_1} t_1 \cdot n_1 + \frac{2p}{T_2} t_2 \cdot n_2]}, \quad t_1 \in [0, T_1), t_2 \in [0, T_2), \quad (6)$$

де $\left\{ e^{i[\frac{2p}{T_1} t_1 \cdot n_1 + \frac{2p}{T_2} t_2 \cdot n_2]}, n_1, n_2 \in \mathbf{Z} \right\}$ – двовимірний тригонометричний ортогональний базис на області

$[0, T_1) \times [0, T_2)$; множина $\{c_{n_1, n_2}, n_1, n_2 \in \mathbf{Z}\}$ є множиною спектральних коефіцієнтів, які визначаються згідно із формулою:

$$c_{n_1, n_2} = \frac{1}{T_1 \cdot T_2} \int_0^{T_1} \int_0^{T_2} \hat{R}_{X_1 X_2}(t_1, t_2) \cdot e^{-i[\frac{2p}{T_1} t_1 \cdot n_1 + \frac{2p}{T_2} t_2 \cdot n_2]} dt_1 dt_2, \quad n_1, n_2 \in \mathbf{Z}. \quad (7)$$

Коефіцієнти $\{c_{n_1, n_2}, n_1, n_2 \in \mathbf{Z}\}$ загалом є комплексними, а саме, мають таке зображення:

$$c_{n_1, n_2} = a_{n_1, n_2} - i \cdot b_{n_1, n_2}, \quad n_1, n_2 \in \mathbf{Z}, \quad (8)$$

де множини коефіцієнтів $\{a_{n_1, n_2}, n_1, n_2 \in \mathbf{Z}\}$ та $\{b_{n_1, n_2}, n_1, n_2 \in \mathbf{Z}\}$ є відповідно косинусним та синусним

спектрами реалізації оцінки взаємної кореляційної функції $\hat{R}_{X_1 X_2}(t_1, t_2)$, які визначаються так:

$$a_{n_1, n_2} = \text{Re}\{c_{n_1, n_2}\} = \frac{1}{T_1 \cdot T_2} \int_0^{T_1} \int_0^{T_2} \hat{R}_{X_1 X_2}(t_1, t_2) \cdot \cos\left(\frac{2p}{T_1} t_1 \cdot n_1 + \frac{2p}{T_2} t_2 \cdot n_2\right) dt_1 dt_2, \quad n_1, n_2 \in \mathbf{Z}, \quad (9)$$

$$b_{n_1, n_2} = \text{Im}\{c_{n_1, n_2}\} = \frac{1}{T_1 \cdot T_2} \int_0^{T_1} \int_0^{T_2} \hat{R}_{X_1 X_2}(t_1, t_2) \cdot \sin\left(\frac{2p}{T_1} t_1 \cdot n_1 + \frac{2p}{T_2} t_2 \cdot n_2\right) dt_1 dt_2, \quad n_1, n_2 \in \mathbf{Z}. \quad (10)$$

На рис. 5-13, подано результати таких розкладів реалізації статистичних оцінок взаємних кореляційних функцій компонент СЗКС, зокрема синхронно зареєстрованих електрокардіосигналів (СЗЕКС) в II та V відведеннях, які відповідають умовній нормі та деяким патологіям.

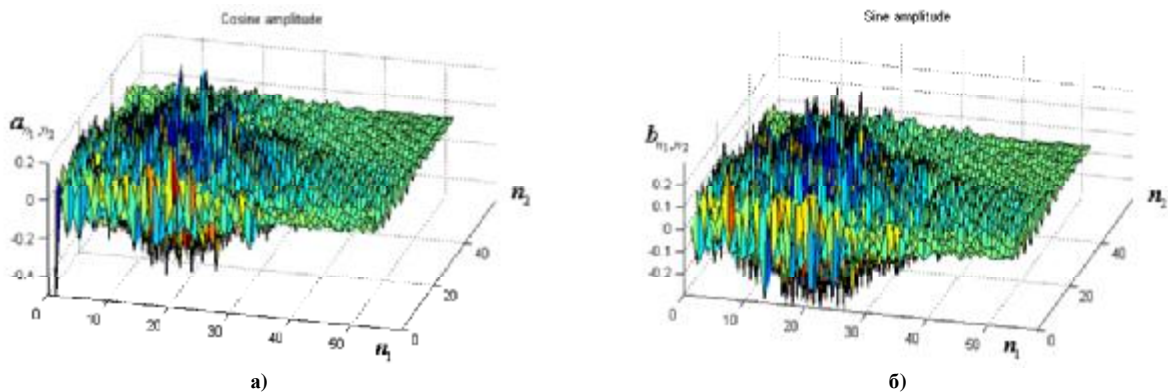


Рис. 5 Косинусний (а) та синусний (б) спектри реалізації оцінки взаємної кореляційної функції СЗЕКС в II та V відведеннях (діагноз: умовна норма)

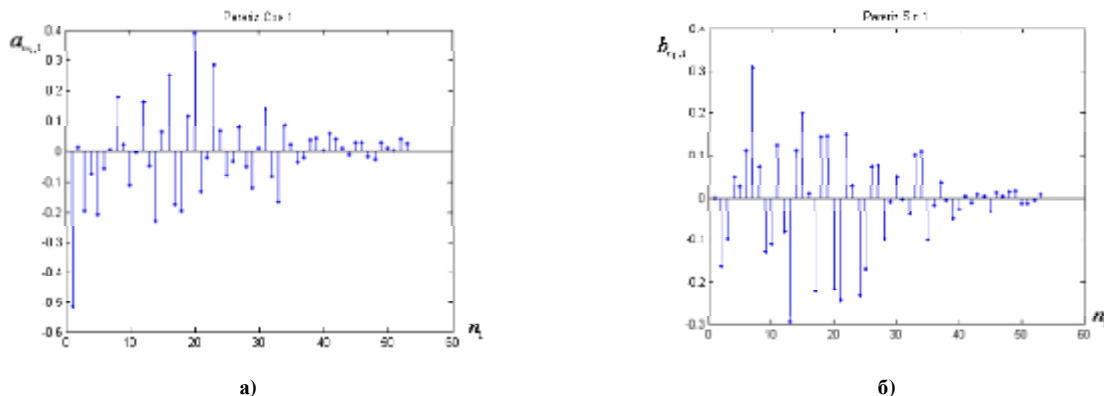


Рис. 6 Перерізи косинусного (а) та синусного (б) спектрів реалізації оцінки взаємної кореляційної функції СЗЕКС в II та V відведеннях (діагноз: умовна норма)

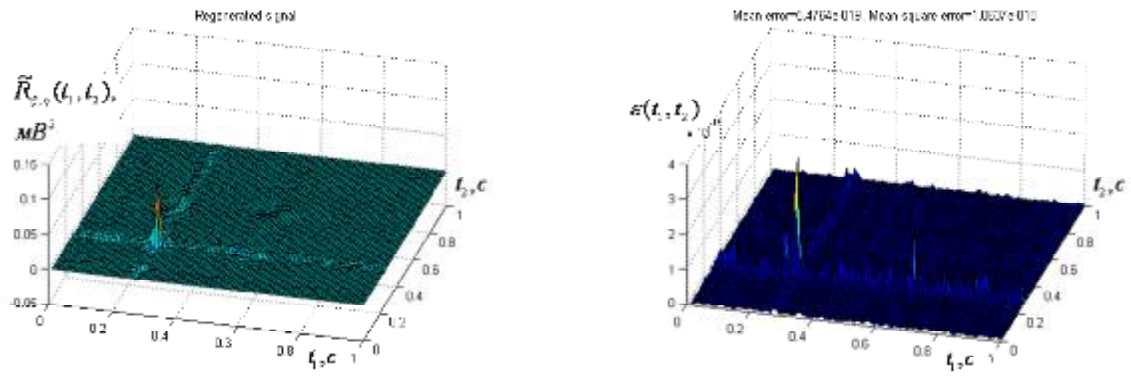


Рис. 7 Апроксимація (а) та похибка апроксимації (б) реалізації оцінки взаємної кореляційної функції СЗЕКС в II та V відведеннях (діагноз: умовна норма)

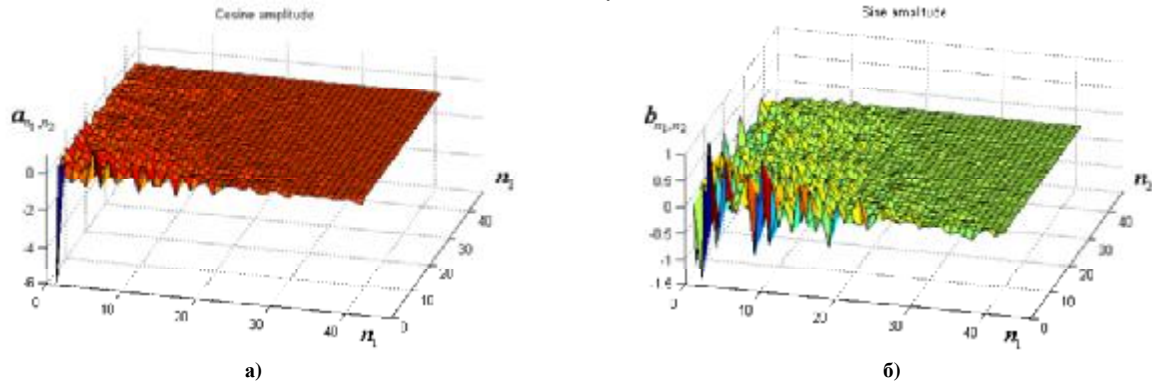


Рис. 8 Косинусний (а) та синусний (б) спектри реалізації оцінки взаємної кореляційної функції СЗЕКС в II та V відведеннях (діагноз: гіпертрофія правого шлуночка та правого передсердя)

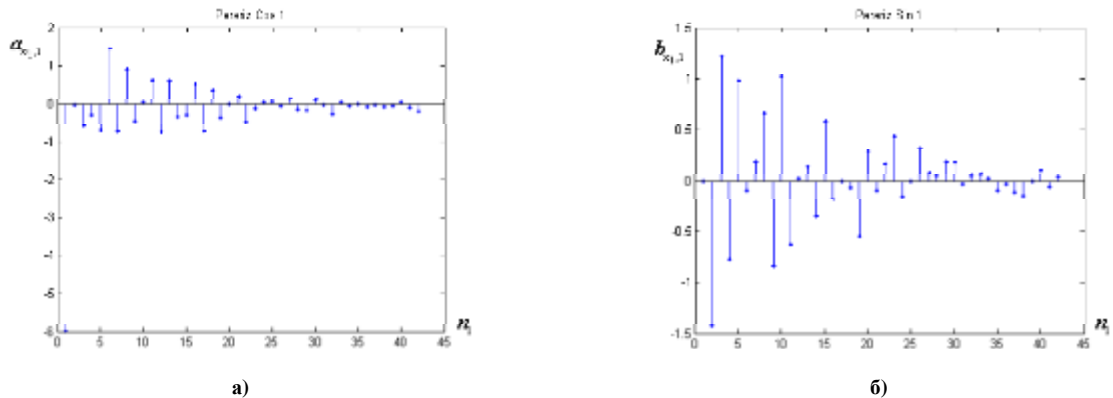


Рис. 9 Перерізи косинусного (а) та синусного (б) спектрів реалізації оцінки взаємної кореляційної функції СЗЕКС в II та V відведеннях (діагноз: гіпертрофія правого шлуночка та правого передсердя)

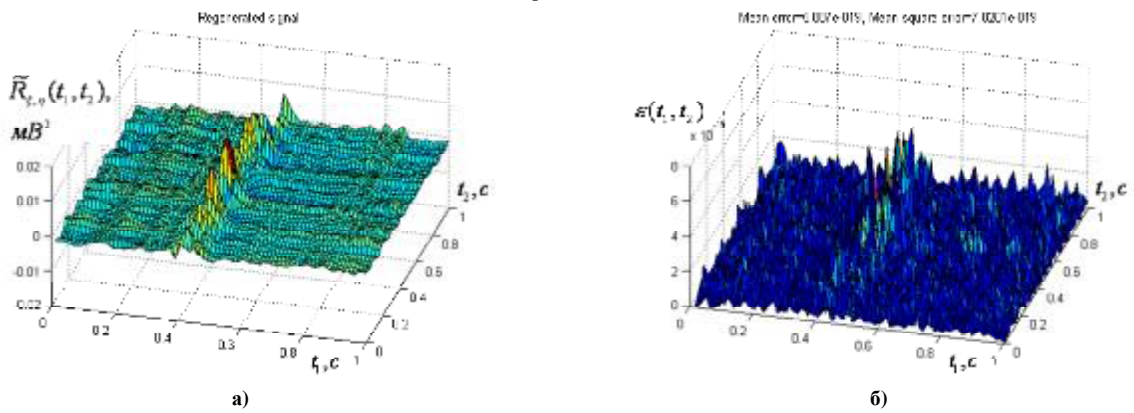


Рис. 10 Апроксимація (а) та похибка апроксимації (б) реалізації оцінки взаємної кореляційної функції СЗЕКС в II та V відведеннях (діагноз: гіпертрофія правого шлуночка та правого передсердя)

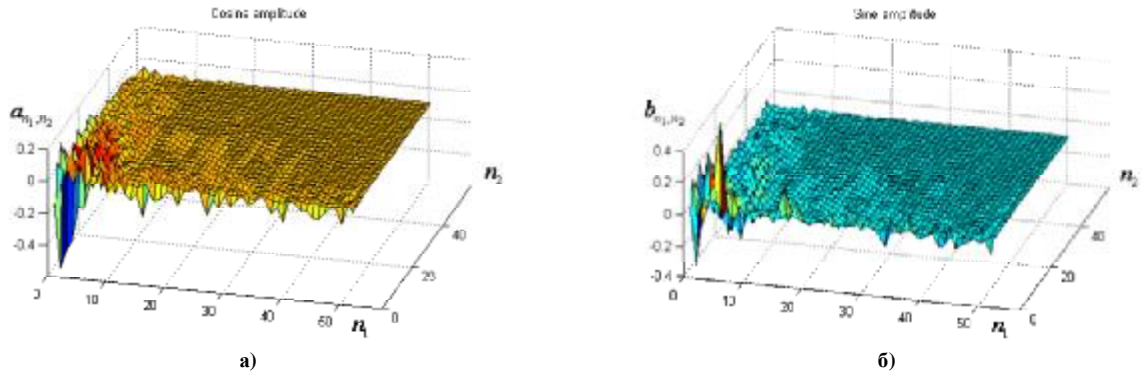


Рис. 11 Косинусний (а) та синусний (б) спектри реалізації оцінки взаємної кореляційної функції СЗЕКС в II та V відведеннях

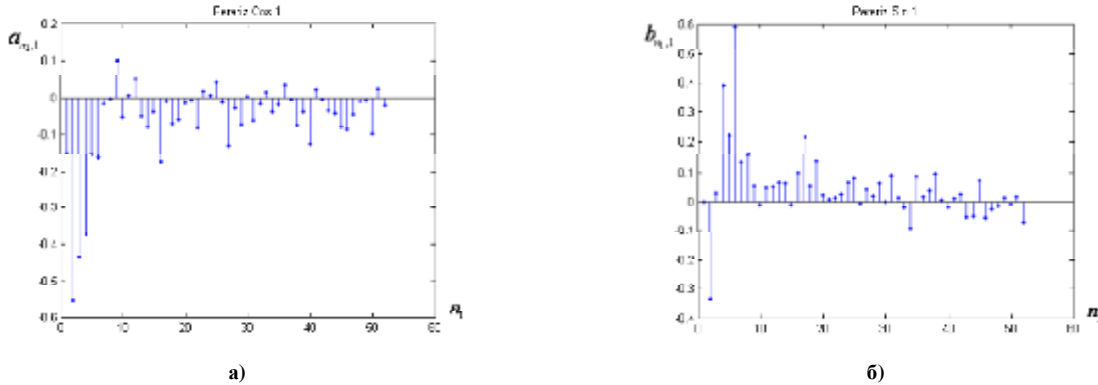


Рис. 12 Перерізи косинусного (а) та синусного (б) спектрів реалізації оцінки взаємної кореляційної функції СЗЕКС в II та V відведеннях (діагноз: нижній інфаркт міокарда)

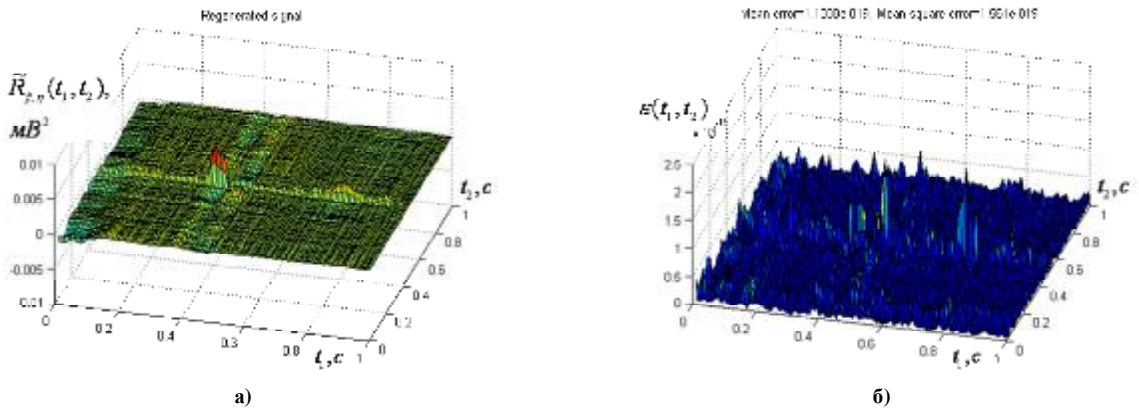


Рис. 13 Апроксимація (а) та похибка апроксимації (б) реалізації оцінки взаємної кореляційної функції СЗЕКС в II та V відведеннях (діагноз: нижній інфаркт міокарда)

Як видно з рис. 5-13, а також це підтверджується багатьма експериментами, має місце факт значної чутливості оцінки взаємної кореляційної функції та коефіцієнтів її розкладу у двовимірний ряд Фур'є, до зміни стану серцево-судинної системи людини, що вказує на можливість їх використання як діагностичних ознак в автоматизованих системах комплексної кардіодіагностики.

За критерій вибору необхідних спектральних коефіцієнтів розкладу реалізації оцінки математичного сподівання досліджуваного кардіосигналу у ряд Фур'є та реалізації оцінки взаємної кореляційної функції компонент СЗКС у двовимірний ряд Фур'є, вибрано енергетичний критерій, а саме, як діагностичні ознаки

використовуються ті спектральні коефіцієнти $\left\{ a_n, b_n, n = \overline{1, N} \right\}$ та

$\left\{ a_{n_1, n_2}, b_{n_1, n_2}, n_1 = \overline{1, N_1}, n_2 = \overline{1, N_2} \right\}$, які згідно із нерівністю Бесселя, вносять вклад у енергію реалізації

статистичної оцінки математичного сподівання кардіосигналу та у енергію реалізації статистичної оцінки взаємної кореляційної функції компонент СЗКС не менше ніж 95 %.

Висновки

У роботі обґрунтовано спектральні коефіцієнти розкладу реалізацій статистичних оцінок математичних сподівань кардіосигналів та взаємних кореляційних функцій синхронно зареєстрованих

кардіосигналів у ряди Фур'є, як діагностичних ознак в комп'ютерних системах автоматизованої кардіодіагностики, що суттєво зменшує вимоги до обчислювальної продуктивності комп'ютерних кардіодіагностичних систем.

Література

1. Лупенко С. Математичне моделювання сигналів серця в задачах технічної кардіометрії на базі їх моделі у вигляді циклічного випадкового процесу / Лупенко С., Студена Ю // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2006. – Т. 11, № 1. – С.134-142.
2. Сверстюк А.С. Обґрунтування та верифікація математичної моделі синхронно зареєстрованих кардіосигналів з використанням вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів / А.С. Сверстюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. – № 1. – С.143-147
3. Литвиненко Я. Методи статистичної обробки сигналів серця на базі їх моделі у вигляді у вигляді циклічного випадкового процесу із зонною часовою структурою / Литвиненко Я., Лупенко С., Студена Ю // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2006. – Т. 11, № 4. – С.189-200.
4. Лупенко С. А. Статистичний сумісний аналіз кардіосигналів на основі вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів / С. А. Лупенко, Я. В. Литвиненко, А. С. Сверстюк // Електроніка та системи управління. Національний авіаційний університет. – 2008. – № 4 (18). – С. 22– 29.
5. Лупенко С. Сумісна статистична обробка синхронно зареєстрованих кардіосигналів на базі їх моделі у вигляді циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів / С. Лупенко, Я. Литвиненко, А. Сверстюк // Тези доповідей дванадцятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. Тернопіль. – 2008. – С. 111.
6. Лупенко С. Статистичне оцінювання взаємної кореляційної функції синхронно зареєстрованих кардіосигналів у системах автоматизованої кардіодіагностики / С. Лупенко, Я. Литвиненко, А. Сверстюк // Матеріали всеукраїнської наукової конференції ТДТУ. Тернопіль. – 2009. – С. 98.

Надійшла 11.12.2009 р.

УДК 004.932: 616-006.6

О.М. БЕРЕЗЬКИЙ, Г.М. МЕЛЬНИК, Ю.М. БАТЬКО

Тернопільський національний економічний університет

МЕТОДИ СЕГМЕНТАЦІЇ БІОМЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

У даній статті проведено порівняльний аналіз методів сегментації біомедичних зображень. Запропоновано методи сегментації на основі попередніх розміток та просторових моментів. Проведені експериментальні дослідження показали, що розроблені методи за співвідношенням сигнал – шум володіють вищою точністю (до 40 відсотків) порівняно з відомими методами сегментації.

The comparative analysis of methods of segmentation of biomedical images is presented in this paper. The methods of segmentation on the basis of previous labeling and spatial moments are offered. The experimental results show that the developed methods have higher accuracy by signal-noise ratio (up to 40 percents) compared to the known methods.

Ключові слова: сегментація, біомедичні зображення, текстура, просторові моменти, розмітка.

Вступ

Біомедичні зображення використовуються під час встановлення діагнозу та подальшого лікування. В сучасній медицині відомі такі біомедичні зображення: зображення цифрової мікроскопії (цитологічних, гістологічних зразків), рентгенограми, ультразвукові зображення, зображення магнітно-резонансної томографії та ін. Об'єктами дослідження сучасної гістології і цитології є нормальні і патологічні клітини і тканини, та їх зображення, отримані в світлових та електронних мікроскопах. Задачу автоматизації аналізу мікроскопічних зображень покликані розв'язати системи автоматизованої мікроскопії (САМ). САМ є програмно-апаратним комплексом для цифрової обробки мікроскопічних зображень. Автоматизований аналіз є об'єктивнішим і дає можливість отримувати не лише якісні, але і кількісні оцінки структурних змін елементів тканини. Одним із важливих етапів автоматизації вимірювань оптичних і геометричних параметрів є виділення об'єктів на гістологічних препаратах. Основними труднощами при аналізі біомедичних зображень є висока варіабельність параметрів і слабкий контраст більшості об'єктів.

Об'єктами на гістологічних зображеннях є зрізи тканин певних органів [1]. Тканина складається із клітин округлої форми розміщених шарами (рис. 3,а та 4,а), розміри яких становлять декілька мікрометрів; найменші з них – від 0,5 до 1,2 мкм. Об'єктами на цитологічних зображеннях є окремі клітини розміщені випадковим чином.

Аналіз гістологічного зображення, що виконується засобами САМ, можна розділити на наступні етапи [2, 3]: отримання зображення, ручне і автоматичне виділення об'єктів (клітин, ядер, ділянок різного забарвлення або яскравості і т.п.), вимірювання розмірів, форми, положення, оптичних параметрів виділених об'єктів або їх частин, класифікація об'єктів і статистична обробка результатів вимірювань.

Гістологічні зображення володіють наступними особливостями:

- слабкий контраст, що зумовлений використанням камер малої роздільної здатності;
 - містять об'єкти, оточені складним за геометричними і оптичними характеристиками фоном;
 нерівномірність фону зумовлена неправильним налаштуванням модуля освітлення мікроскопа при створенні зображення;

- перепади рівнів яскравості об'єктів такі ж, як і у фону, що їх оточує;
 - залежно від міри оптичного збільшення зображень одні об'єкти виділяються краще, а інші втрачаються;

- містять області з повторюваною структурою;
 - стабільність кольорової палітри для зображень зразків, виготовлених при застосуванні відомих фарбників. Використання спеціалізованої системи координат опису кольору дає можливість поліпшити якість морфологічних операцій і збільшити швидкість в порівнянні з обробкою в традиційних системах координат.

Сегментація зображення призводить до поділу зображення на області із подібними характеристиками. Одні з основних ознак для проведення сегментації – це яскравість для монохромного зображення та кольорова компонента для кольорового зображення. Також, для процесу сегментації використовуються границі зображення та текстура. Процес сегментації тільки розділяє зображення, а не визначає індивідуальні сегменти та їх взаємозв'язок [4 – 7].

На сьогоднішній день не існує універсальних методів сегментації. Найчастіше використовують набір спеціалізованих методів, що є найпоширенішим для даного класу задач. У своїй роботі Харлік Р. та Шапіто Л [8] запропонували наступні характеристики, якими повинні володіти області, отримані в результаті сегментації:

- області сегментованого зображення повинні бути однорідними щодо деякої характеристики, наприклад, яскравості або текстури;
 - середина області повинна бути суцільною та без багатьох “дірок”;
 - сусідні області повинні суттєво відрізнятися одна від одної відносно обраної характеристики;
 - границі кожного сегменту повинні бути простими, неперервними та просторово точними.

Відомо декілька підходів до класифікації алгоритмів сегментації: Фу [9], Пала [10], Скарбека і Кошана [11], Лючеса та Мітра [12]. Вони базуються на наступних критеріях: властивості точок, областей, границь областей, апріорні знання про об'єкти тощо. Іншими критеріями, на основі яких проводиться поділ алгоритмів сегментації, є такі: тип зображення (кольорові, напівтонові, бінарні), характер проходження процесу сегментації (паралельна або послідовна обробка) [13]. Проте дані характеристики не є однозначними. Наприклад, порогова сегментація може відбуватися як в паралельному так і в послідовному режимах, обробляти як бінарні, так і напівтонові зображення. Це приводить до неоднозначності в класифікації алгоритмів сегментації. На наш погляд, наступні критерії дозволяють більш повно класифікувати алгоритми сегментації (рис. 1):

- на основі властивостей точок;
- на основі властивостей взаємозв'язків між точками;
- на основі властивостей областей;
- на основі властивостей текстури;
- на основі підкреслення границь.



Рис. 1. Класифікація алгоритмів сегментації

Алгоритми на основі властивостей точок. Рішення про віднесення точки до однорідної області приймається на основі аналізу характеристик самої точки (яскравість, характеристики кольорової компоненти). Даний тип алгоритмів рекомендується використовувати для зображень в яких наперед відома апріорна інформація про характеристики однорідних областей. Перевагою даного класу алгоритмів є

швидкодія, оскільки прийняття рішення про віднесення точки до однорідної області приймається для кожної точки окремо. До недоліків слід віднести складність вибору (обчислення) апріорної інформації на зображеннях з великою кількістю однорідних областей із подібними характеристиками.

Алгоритми на основі властивостей взаємозв'язків між точками. Рішення про віднесення точки до однорідної області приймається на основі аналізу рівня взаємозв'язків між сусідніми точками. Дані алгоритми доцільно використовувати для зображень, в яких важко обчислити характеристики однорідних областей. Перевагою даного класу алгоритмів є точність, оскільки прийняття рішення про віднесення точки до однорідної області приймається на основі рівня взаємозв'язків, який отримується на основі різних характеристик. До недоліків можна віднести складність алгоритмів сегментації.

Алгоритми на основі властивостей областей. Рішення про віднесення точки до однорідної області приймається на основі аналізу характеристик групи точок (яскравість, характеристики кольорової компоненти, положення точки на зображенні). Даний тип алгоритмів в основному використовують для зображень, на яких однорідні області суттєво відрізняються одна від одної. Перевагою цих алгоритмів є універсальність та автоматизація процесу сегментації. Недоліками даних алгоритмів є незадовільні результати на зображеннях з великою кількістю однорідних областей із подібними характеристиками.

Алгоритми на основі властивостей текстури. Рішення про віднесення точки до області приймається на основі подібності текстурної ознаки в цій точці. Даний тип алгоритмів рекомендують використовувати для зображень, на яких присутні повторювані області.

Процес текстурної сегментації [6, 5] можна розділити на 3 етапи:

- 1) формування з вихідного зображення набору особливостей (характерних ознак), що утворюють багатовимірний простір ознак зображення, кожен вектор якого характеризує особливості певної текстури;
- 2) етап класифікації, на якому кожна точка зображення співвідноситься з певним класом на основі оцінки вектора ознак відповідного цій точці в просторі ознак;
- 3) етап сегментації вихідного зображення ґрунтується на інформації отриманій після класифікації.

Перевагою даного класу алгоритмів є виділення областей з однаковою текстурою, недоліком є складність алгоритмів сегментації.

Алгоритми на основі підкреслення границь. Рішення про віднесення точки до однорідної області приймається на основі аналізу характеристик самої точки (яскравість, характеристики кольорової компоненти). Даний тип алгоритмів рекомендують використовувати для зображень, на яких характерні перепади яскравості на границях областей. Перевагою даного класу алгоритмів є швидкодія, оскільки прийняття рішення про віднесення точки до однорідної області приймається для кожної точки окремо. Недоліками є присутність розривів границь (для алгоритмів на основі фільтрації) і складність визначення вхідної апріорної інформації (для алгоритмів активних контурів).

Запропонована класифікація базується на основних типах характеристик, на основі яких приймається рішення про віднесення точки до відповідної однорідної області. Розглянувши властивості біомедичних зображень приходимо до висновку, що для сегментації слід використовувати алгоритми на основі взаємозв'язків та на основі текстурного підходу.

Постановка задачі

Приведений аналіз алгоритмів сегментації і особливостей біомедичних зображень показав, що актуальною задачею є розробка методів сегментації на основі зв'язків між точками та текстурних ознак областей.

Метод сегментації на основі попередніх розміток зображення

Як видно з наведеного огляду, не існує універсального методу сегментації і кожний алгоритм має свої переваги та недоліки. Тому пропонується для процесу сегментації використовувати не характеристики окремих точок зображення, а взаємозв'язки між ними [14].

Введемо позначення:

I – вхідне зображення;

I_{s_i} – вхідне зображення розмічене за допомогою i -го типу розмітки;

V_{ij} – j -а однорідна область на вхідному зображенні розмічена за допомогою i -го типу розмітки;

$M_k(x, y, z), x = 1..l, y = 1..m, z = 1..8$ – масив коефіцієнтів взаємозв'язків для k -ї розмітки. l – ширина вхідного зображення, m – довжина вхідного зображення, z – кількість сусідніх пікселів.

M_{sum} – масив сумарних коефіцієнтів взаємозв'язків.

$$M_{sum} = \sum_{k=1}^n M_k,$$

n – кількість попередніх розміток, що використовується в процесі сегментації.

Визначення 1. Розміткою назовемо процес розбиття вхідного зображення I на масив однорідних областей V_j на основі критерію однорідності KO . Критерій однорідності визначається попередньо на основі аналізу вхідного зображення I

$$I \xrightarrow{KO} \{V_j\}$$

Визначення 2. Якщо дві сусідні точки $I(x_1, y_1)$ та $I(x_2, y_2)$ знаходяться в однорідній області, то взаємозв'язок між ними рівний 1:

$$R = 1, P(I(x_1, y_1)) = P(I(x_2, y_2)),$$

де $I(x_1, y_1)$ та $I(x_2, y_2)$ – два сусідніх піксела;

$P(I(x_1, y_1))$ – ідентифікатор однорідної області, до якої належить піксел $I(x_1, y_1)$;

$P(I(x_2, y_2))$ – ідентифікатор однорідної області, до якої належить піксел $I(x_2, y_2)$;

R – коефіцієнт зв'язку між двома сусідніми пікселами.

Визначення 3. Якщо дві сусідні точки $I(x_1, y_1)$ та $I(x_2, y_2)$ знаходяться в різних однорідних областях, то взаємозв'язок між ними рівний 0:

$$R = 0, P(I(x_1, y_1)) \neq P(I(x_2, y_2)).$$

Визначення 4. Сумарний коефіцієнт зв'язку між двома сусідніми пікселами $I(x_1, y_1)$ та $I(x_2, y_2)$ визначається як сума зв'язків при n розмітках:

$$R_{sum} = \sum R_i, i = 1..n,$$

де R – коефіцієнт зв'язку між двома сусідніми пікселами $I(x_1, y_1)$ та $I(x_2, y_2)$;

Даний підхід полягає в аналізі попередньо розміченого зображення та встановлення прив'язки точок не до певної області, а до сусідніх точок. Алгоритми розмітки можуть обиратись залежно від типу вхідного зображення. Область зображення з стабільними зв'язками буде визнаватись однорідною.

Алгоритм сегментації:

- 1) проводимо розмітку вхідного зображення I за допомогою n розміток;
- 2) формуємо масив коефіцієнтів взаємозв'язків M_k між сусідніми точками для кожної з n розміток вхідного зображення;
- 3) формуємо масив сумарних коефіцієнтів взаємозв'язків M_{sum} між сусідніми точками для кожної з n розміток вхідного зображення;
- 4) проводимо групування точок вхідного зображення I в однорідні області на основі масиву сумарних коефіцієнтів зв'язків M_{sum} .

Попередня розмітка може проводитись трьома способами.

Ручний. Розмітку зображення проводять n користувачів незалежно один від одного шляхом ручного виділення однорідних областей. Даний підхід трудомісткий та носить суб'єктивний характер, оскільки попередня розмітка проходить під впливом людського фактору. Перевагою даного підходу є те, що кількість попередніх розміток може бути мінімальною.

Автоматизований. Розмітка проводиться з використанням відомих методів сегментації, проте користувач самостійно задає вхідні параметри. Перевагою даного підходу є: висока точність та швидкодія, збільшення об'єктивізму попередньої розмітки.

Автоматичний. Попередня розмітка проходить на основі автоматичного аналізу вхідного зображення, наприклад аналізу гістограми розподілу яскравостей та визначення порогів для проведення розмітки.

Оскільки даний алгоритм розроблявся для сегментації кольорових зображень, то під час автоматичної попередньої розмітки зображення пропонується перехід від тривимірного представлення кольору до одновимірному. Представлення зображення в одновимірному просторі дозволяє проводити автоматичний аналіз гістограм розподілу кольорів відомими алгоритмами визначення порогів.

Попередню розмітку можна проводити і в інших кольорових базисах.

Для завершення процесу сегментації необхідно згрупувати точки вхідного зображення в однорідні області на основі взаємозв'язків між сусідніми точками. Для цього використовуються наступні правила:

- 1) якщо взаємозв'язок між двома сусідніми точками $I(x_1, y_1)$ та $I(x_2, y_2)$ є максимальний $M_{sum} \rightarrow \max$ для вхідного зображення, то дані точки об'єднуються в однорідну область V_j (рис. 2,а).
- 2) якщо взаємозв'язок точки $I(x_1, y_1)$ з сусідньою точкою $I(x_2, y_2)$ більший за взаємозв'язки з іншими сусідніми точками, то такі точки об'єднуються в однорідну область V_j ;
- 3) якщо точка $I(x_1, y_1)$ має однакові зв'язки з двома (чи більше) сусідніми точками $M_{sum}(x_1, y_1, z) = M_{sum}(x_2, y_2, z) = M_{sum}(x_3, y_3, z)$, які об'єднані в однорідну область $I(x_2, y_2) \in V_j, I(x_3, y_3) \in V_j$, то дана точка приєднується до відповідної однорідної області $I(x_1, y_1) \in V_j$ (рис. 2,б);
- 4) якщо точка $I(x_1, y_1)$ має однакові зв'язки з двома (чи більше) сусідніми точками $M_{sum}(x_1, y_1, z) = M_{sum}(x_2, y_2, z) = M_{sum}(x_3, y_3, z)$, які не належить до одної однорідної області $I(x_2, y_2) \in V_i, I(x_3, y_3) \in V_j, i \neq j$, то точка приєднується до області з якою є більше сусідів (рис. 2,в).

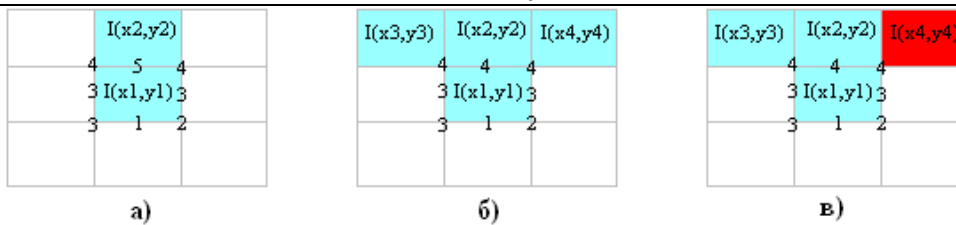


Рис. 2. Приклад об'єднання точок

Результатом роботи алгоритму є набір однорідних областей. Оскільки об'єкти на зображенні як правило складаються з групи однорідних областей, то для виділення об'єктів на зображенні слід провести процедуру додаткового об'єднання однорідних областей.

Алгоритм текстурної сегментації

Алгоритм текстурної сегментації складається з наступних кроків [15]: (а) обчислення текстурних ознак для кожної точки зображення в межах ковзаючого вікна розміром $W \times W$, (б) сегментація створеного текстурного поля. Ми використовуємо текстурні ознаки на основі просторових моментів області та матриць розподілу рівнів сірого.

Текстуру зображення можна кількісно описувати за допомогою простих статистичних характеристик, таких як, математичне сподівання, дисперсія і моменти вищого порядку [6]. Термін просторові моменти (ПМ) походить з механіки. ПМ, застосовуючи їх до зображень, відображають розподіл рівнів сірого зображення вздовж його осей. На їх основі можна обчислити ознаки області інваріантні до повороту, переносу та масштабу [4]. Просторові моменти області в точці з координатами (x, y) і значенням функції рівнів сірого $f(x, y)$ обчислюються як:

$$m_{p,q} = \iint x^p y^q f(x, y) dx dy$$

Ми розглядаємо зображення як функцію двох змінних $f(x, y)$ і обчислюємо ряд моментів нижчого порядку для кожного пікселя в зображенні $(p + q) \leq 2$. Моменти обчислюються в межах локальних вікон розміром $W \times W$ навколо кожного пікселя.

В дискретному варіанті ПМ в межах вікна, із центром в пікселі (i, j) , обчислюються як сума при нормалізованих координатах (x_m, y_n) :

$$m_{p,q} = \sum_{-W/2}^{W/2} \sum_{-W/2}^{W/2} f(m,n) x_m^p y_n^q, \quad (1)$$

де m, n – координати точки відносно вікна.

В нашому алгоритмі ми використовуємо рядок-стовпчик момент інерції $m_{1,1}$.

У матриці розподілу рівнів сірого (МРПС) [4] P_d для вектора зміщення $\mathbf{d} = (dx, dy)$ значення елемента $P_{i,j}$ є кількістю входжень пари значень рівнів сірого i та j , які розміщені на відстані \mathbf{d} . Отже, кожній точці зображення $f(x, y)$ можна поставити у відповідність матрицю P_d , яка характеризує розподіл яскравості у вікні розміром $W \times W$ з центром в точці з координатами (x, y) . Елементи матриці P_d визначаються таким чином:

$$P_d(i, j) = \sum_{(m,n) \in D} f_{i,j}(x_{m,n}; x_{m+d,n+d}),$$

де D – квадрат розміром $W \times W$ (W – непарне), $i, j = 0..255$ – значення яскравості точок, $x_{m,n}$ – яскравість точки з координатами (m, n) .

Функція $f_{i,j}(x_{m,n}; x_{m+d,n+d})$ визначається так:

$$f_{i,j}(x_{m,n}; x_{m+d,n+d}) = \begin{cases} 1, & (x_{m,n} = i \text{ та } x_{m+d,n+d} = j) \\ & \text{або } (x_{m,n} = j \text{ та } x_{m+d,n+d} = i) \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}$$

Вона є індикатором того, що точки, які знаходяться на заданій відстані, мають певні рівні яскравості. Параметр d визначає відстань, на якій проводиться аналіз сусідніх точок. На основі МРПС визначаються такі текстурні ознаки як енергія, ентропія, контраст, однорідність, кореляція та ін.

По матриці $P_d(i, j)$, що описує розподіл яскравості всередині області з центром в точці (x, y) , обчислюються ознаки текстур. Після оброблення всього зображення для кожної ознаки формується матриця, що зберігає значення ознаки у всіх оброблюваних точках – поле текстурних ознак. Для опису ознак використовуємо допоміжні величини: $m_j = \sum_j j P(i, j)$, $p_j = \sum_j P(i, j)$, математичне сподівання

$Mx = \sum_i ip_i$; Нижче наведені формули для обчислення ознак.

1. Сумарне середнє значення:

$$F_1 = \sum_i m_i p_i. \quad (2)$$

2. Інерція:

$$F_2 = \sum_i \sum_j (i-j)^2 P(i, j). \quad (3)$$

3. Другий кутовий момент:

$$F_3 = \sum_i \sum_j P^2(i, j). \quad (4)$$

4. Сумарна кореляція:

$$F_4 = \sum_i \sum_j m_i m_j. \quad (5)$$

Запропонований алгоритм для сегментації текстурного зображення складається з наступних кроків:

1. Побудова текстурного поля G , кожна точка якого $g \in G$ відповідно до (1)

$$g(i, j) = m_{1,1} = \sum_{-W/2}^{W/2} \sum_{-W/2}^{W/2} f(m, n) x_m y_n.$$

2. Нормалізація G , $g \in [0, 255]$.

3. Пошук порогів t_1, t_2, \dots, t_n з допомогою наступних кроків:

а) встановлення інтервалу $R = [a, b]$; $a=0$ і $b=255$.

б) знаходження математичного сподівання μ і середнього квадратичного відхилення S всіх пікселів на інтервалі R .

в) обчислення порогів t_1 і t_2 як $t_1 = m - kS$ і $t_2 = m + kS$;

г) обчислення нових інтервалів $a = t_1 + 1$, $b = t_2 - 1$;

д) повторювати кроки а-г, $n/2$ разів (n – число порогів) встановлюючи нові межі інтервалів $a = t_1 + 1$, $b = m$ і $a = m + 1$, $b = t_2 - 1$.

4. Сегментація текстурного поля G в результаті чого отримаємо $n+1$ бінарних масок $s_i, i=\{1, \dots, n+1\}$:

$$s_i(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{якщо } t_{i-1} \leq g(x, y) \leq t_i \\ 0 & \text{інакше} \end{cases},$$

де $t_0 = 0, t_{n+1} = 255$.

5. Сегментація вхідного зображення з метою отримати $n+1$ зображень $\hat{s}_i, i=\{1, \dots, n+1\}$

$$\hat{s}_i(x, y) = \begin{cases} f(x, y) & \text{якщо } s_i(x, y) = 1 \\ 0 & \text{інакше} \end{cases}$$

Для тестування МРРС (5) як текстурної ознаки виконати даний алгоритм, побудувавши на 1 кроці $g(i, j) = F_5$. Параметр k служить для керування інтервалом між найменшим і найбільшим порогом.

Оптимальне число порогів n (відповідно число ітерацій алгоритму) можна задавати апіорно, виходячи із застосування або обирати на основі зміни значення відношення сигнал/шум r . Значення r можна обчислювати між вихідним зображенням та сегментованим з усередненими значеннями пікселів в середині сегментів

Результати експериментальних досліджень

Для написання програмного засобу використано програмне середовище Borland Delphi 7.0. Розроблена комп'ютерна система призначена для аналізу та дослідження цитологічних зображень багаточарового плоского незроговілого епітелію за різних видів дисплазії шийки матки у жінок репродуктивного віку, та гістологічних зрізів тканини молочної залози.

Як показали результати досліджень (рис. 3), алгоритм на основі попередніх розміток чітко виділяє однорідні області, проте для отримання об'єктів на зображенні слід провести додаткову обробку.

На рис. 4,а наведено фрагмент зображення гістологічного зрізу тканини молочної залози. На рис. 4,б наведено поле текстурних ознак побудоване на основі обчислення значень МРРС, на рис. 4,в – на основі ПМ.

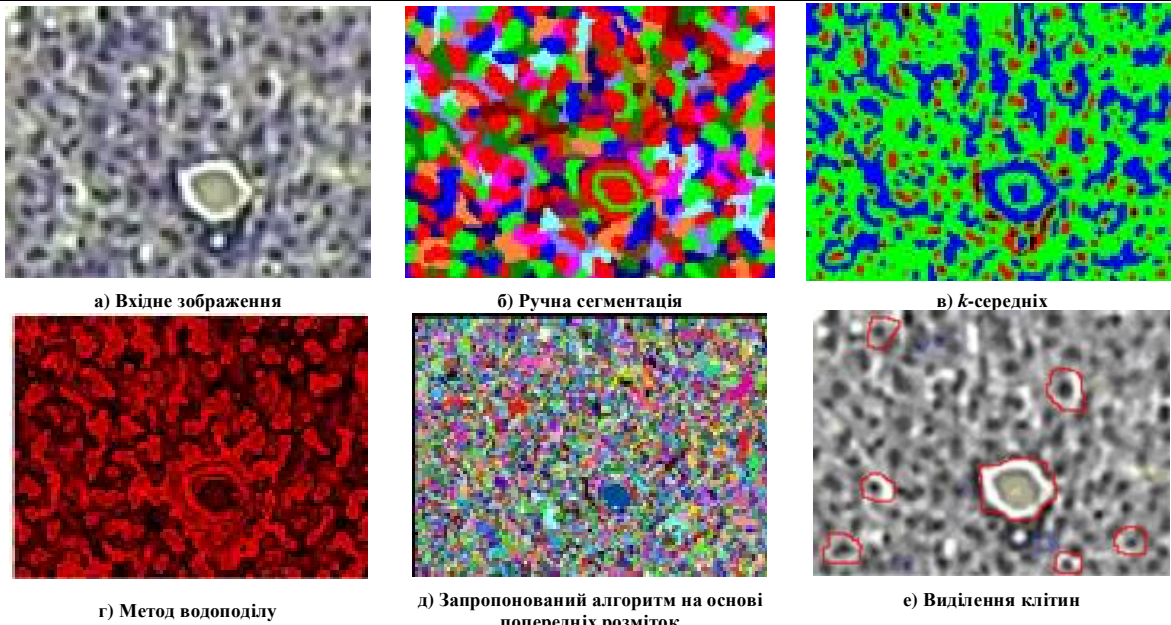


Рис. 3. Попередня розмітка зображень різними методами

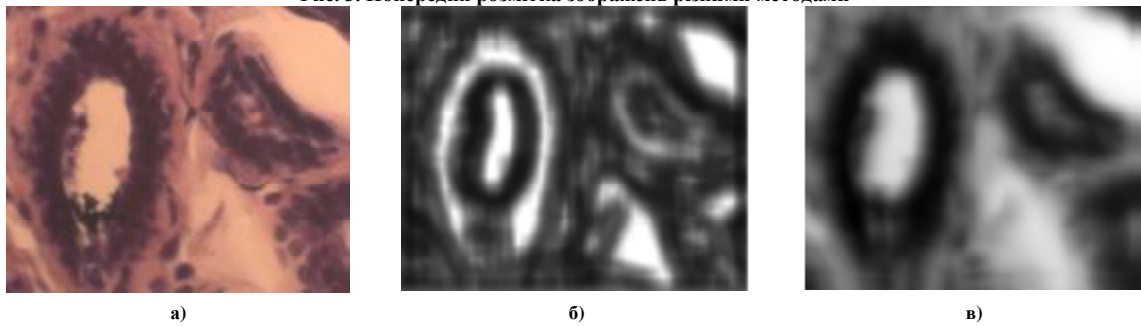


Рис. 4. Простір ознак при текстурній сегментації

Приклади сегментації зображень і виділення дольок молочної залози наведені на рис. 5.

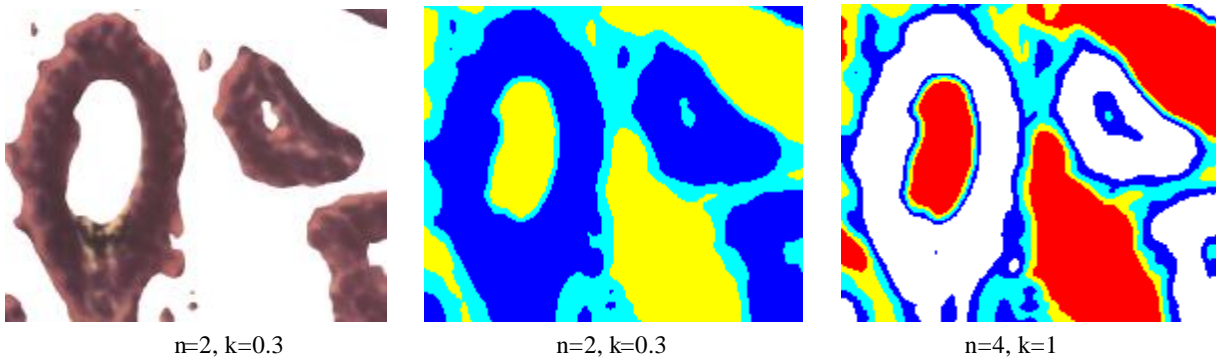


Рис. 5. Побудова розмітки при сегментації на основі ПМ

Зміна r при зміні параметру k при сталій кількості ітерацій наведена на рис. 6.

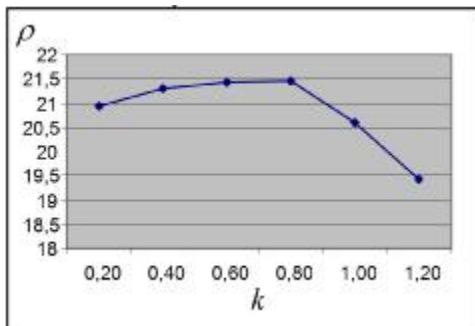


Рис. 6. Зміна значення відношення сигнал-шум при зміні параметру k

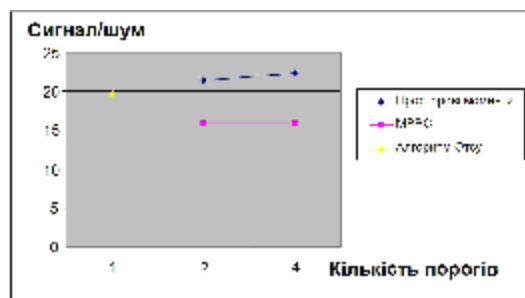


Рис. 7. Відношення сигнал-шум при різній кількості порогів

Зміна r при різній кількості порогів наведена на рис. 7. Для порівняння наведено значення

глобального порогу обчислене за алгоритмом Отсу. Алгоритм демонструє вище значення відношення сигнал-шум при заданій кількості порогів і використанні текстурних ознак на основі ПМ.

При підвищенні кількості порогів якість сегментації зростає, але їх вибір залежить також від застосування алгоритму. При сегментації гістологічних зображень кількість порогів вибирається залежно від кількості типів тканин які потрібно виділити.

Висновки

Використання взаємозв'язків точок в деякому околі має ряд переваг в порівнянні з використанням характеристик окремих точок:

- можливість використання для зображень довільного типу;
- збільшена стійкість до сегментації зображень, об'єкти на яких знаходяться в безпосередній близькості один від одного; дана перевага дозволяє використовувати даний алгоритм для сегментації гістологічних зображень;
- зменшення впливу шумів та спотворень вхідного зображення на загальний результат сегментації за рахунок аналізу зображення декількома алгоритмами сегментації;
- зменшення кількості „невизначених” точок, точок, які знаходяться на границях областей і з однаковою вірогідністю можуть належати двом областям.

Література

1. Автандилов Г. Г. Медицинская морфометрия. Руководство. – М.: Медицина, 1990. – 384 с.
2. Bieri M. Wethmar A. Wey N. Quantitative analysis of Alzheimer plaques in mice using virtual microscopy // First European Workshop on Tissue Imaging and Analysis – Germany, 2009 – P.31-38
3. Егорова О. В., Клыккова Е. И., Пантелеев В. Г. Компьютерная микроскопия. – М.: Техносфера, 2005. – 304 с.
4. Pratt W. K. Digital Image Processing: PIKS Inside, Third Edition. – NY, USA.: John Wiley & Sons, Inc., 2001 – 758 p.
5. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный поход /. Понс Дж – СПб.: Вильямс, 2004. – 928 с.
6. Гонсалес Р., Вудс Р.. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
7. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / Я.А.Фурман, А.В Кривецкий, А.К. Передреев, А.А. Роженцов, Р.Г. Хафизов, И.Л. Егошина, А.Н. Леухин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
8. Haralick R.M and. Shapiro L.G. Image Segmentation Techniques // Computer Vision, Graphics and Image Processing, – 1985. – Vol.29 – P.100-132
9. Fu K. Mui J. A survey on image segmentation // Pattern Recognition – 1981- Vol.13 – P.3–16
10. Pal N. Pal S. A survey on image segmentation techniques // Pattern Recognition – 1993- Vol. 26- P.1277–1294.
11. Skarbek W. Koschan A. Color Image Segmentation – A Survey // Technischer Bericht, Technical University of Berlin – Berlin, 1994 – P.94-32.
12. Lucchese L. Mitra S. Color Image Segmentation: A State-of-the-Art Survey, Image Processing, Vision, and Pattern Recognition // Proc. of the Indian National Science Academy (INSA-A) – New Delhi, India: CRC, 2001 – P. 207–221.
13. Zhang Y. Advances in Image And Video Segmentation. – USA: IRM Press, 2006 – 457 p.
14. Березький О.М., Батько Ю.М., Мельник Г.М. Метод сегментації зображень на основі попередніх розміток зображення // Матеріали 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Комп'ютерні науки та інформаційні технології 2009", 15-17 жовтня, 2009, Україна, Львів – Львів. ПП "Вежа і Ко", 2009 – С. 48-52
15. Березький О.М., Батько Ю.М., Мельник Г.М. Текстурна сегментація біомедичних зображень на основі просторових моментів // Матеріали 4-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Комп'ютерні науки та інформаційні технології 2009", 15-17 жовтня, 2009, Україна, Львів. – Львів: ПП "Вежа і Ко", 2009. – С. 42-45

Надійшла 20.12.2009 р.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ВІДЦЕНТРОВИХ НАГНІТАЧІВ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

Розроблена комп'ютерна система оптимального керування роботою відцентрових нагнітачів. Програмне забезпечення системи оптимального керування оформлене у вигляді прикладного програмного модуля, інтегрованого у Citect HMI верхнього рівня системи керування.

The system of optimal control for natural gas compressor's operating has been designed. Software of optimal control system has been designed as the applied program module integrated in Citect HMI SCADA-system of control of natural gas compression process.

Ключові слова: компресорна станція, нагнітачі, оптимізація, система керування.

Вступ

Сьогодні питанням енергозбереження приділяється багато уваги. В зв'язку з цим задачі оптимізації роботи компресорних станцій є актуальними, оскільки від їх роботи залежить ефективне функціонування всієї газотранспортної системи України.

Задачу оптимізації управління роботою компресорної станції необхідно вирішувати, якщо:

1. змінюються умови транспортування газу;
2. змінюється конфігурація агрегатів компресорної станції;
3. змінюються режими транспортування газу на компресорній станції або в магістральному газопроводі.

Як критерій оптимальності розглядається мінімізація енергетичних витрат на компримування природного газу [1].

Постановка завдання

Для забезпечення реальної і ефективної оптимізації технологічного процесу необхідне створення єдиної системи, яка б пронизувала всі підрозділи підприємства і пов'язувала їх в єдиний механізм, що дозволяє отримувати точну, достовірну інформацію про технологічні параметри. Одним з основних компонентів АСУ ТП, здатним надавати технологічну інформацію, є додаток SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). SCADA-системи є одним з провідних програмних продуктів для збору даних, систем моніторингу і керування.

В статті описується комп'ютерна система оптимального керування роботою відцентрових нагнітачів природного газу (рис. 1), сервер якої розроблений на основі SCADA-системи Citect фірми «Si Technologies», яка призначена для оптимального керування компресорним цехом [2] з урахуванням реального технічного стану газоперекачувального обладнання [1, 3, 4].

Основний розділ

За логікою роботи система розділена на три рівні (рис. 1). Перший рівень містить контролери, які виконують функції локального керування компресорними агрегатами (САК ГПА).

Другий рівень – рівень функціонально-орієнтованих АРМ для реалізації оперативного керування агрегатами КС, зокрема на цьому рівні знаходиться АРМ змінного інженера (АРМ ЗІ).

Третій рівень керування відноситься до рівня диспетчера ЛВУ. На цьому рівні розв'язуються задачі оптимізації та розрахунку техніко-економічних показників роботи КС на рівні ЛВУ.

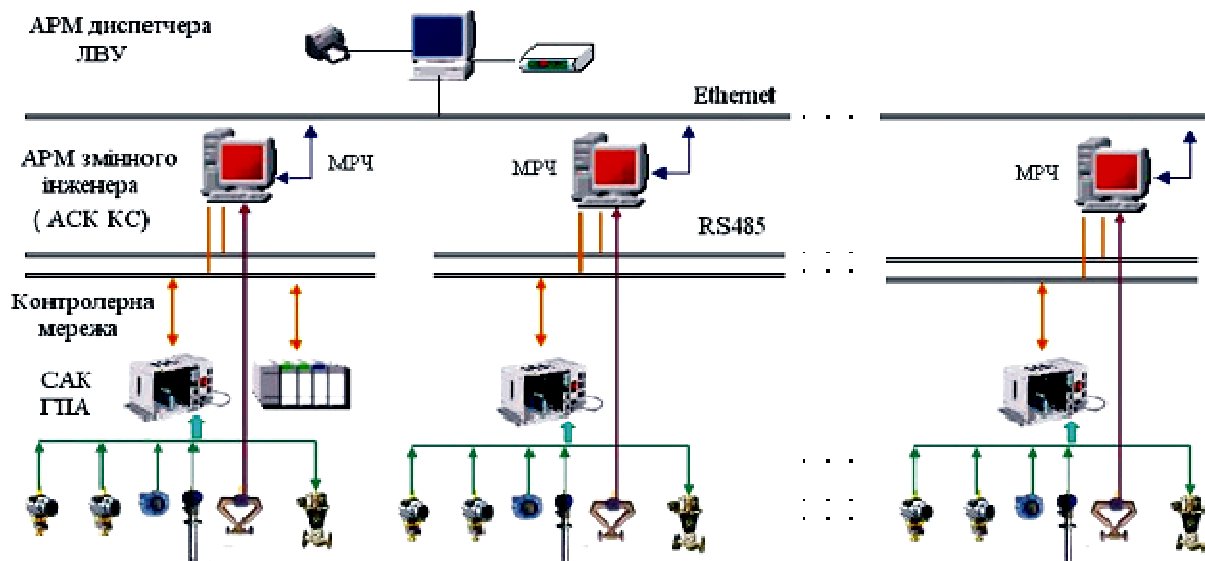


Рис. 1. Структура системи керування роботою компресорного цеху

За основу САК ГПА прийняті системи керування серії САТ фірми НВП «Нова техніка», які реалізовані на програмно-технічних засобах компанії «GE FANUC Automation» і є позитивний досвід їх роботи на багатьох КС Укртрансгаз. Апаратна частина цього рівня керування складається з програмованих логічних контролерів PLC 90-70 і PLC 90-30 фірми «GE FANUC», блоків вводу-виводу сигналів FIELD CONTROL, які зв'язані між собою по мережі Genius у межах компресорного цеху. Локальна мережа Genius забезпечує обмін інформацією послідовним каналом між PLC, блоками FIELD CONTROL, дисплейною станцією змінного інженера та іншими АРМ і блоками, які мають відповідні канали або контролери зв'язку.

PLC 90-70 та 90-30, що входять до складу системи, призначені для збору та попередньої обробки інформації, яка надходить від первинних давачів об'єкта керування (ГПА), та видачі керуючих сигналів на виконавчі механізми ГПА. Обробка та видача сигналів відбуваються згідно з пакетом прикладних програм, що реалізують вимоги по контролю та управлінню САК ГПА.

Програмовані логічні контролери GE FANUC виконують в системі керування такі функції:

- збір дискретних сигналів по локальній мережі GENIUS;
- вимірювання частотних сигналів;
- збір аналогових сигналів через модулі зв'язку з мережею GENIUS;
- обробка зібраних сигналів в процесорі (CPU);
- реалізація основних режимів керування ГПА;
- видача сигналів керування;
- обмін даними між ПЛК та блоком FIELD CONTROL по мережі GENIUS;

Дані можуть передаватись у двох режимах:

- режим «широкомовлення» (broadcasting – глобальні дані), коли один з контролерів передає інформацію, а всі інші можуть одночасно приймати інформацію; у цьому режимі один контролер може передавати до 128 байт інформації в одній послідовності;

- режим «дейтаграм» (datagrams) – коли один з контролерів посилає дані іншому контролеру.

Кожен контролер передає до 128 байт.

Базова корзина контролерів 90-70 виконана в стандарті VME, контролер підтримує VME-пристрої виробництва третіх фірм. Для підключення PLC GE Fanuc до шини Profibus використовуються відповідні комунікаційні пристрої. Можливий зв'язок контролерів GE Fanuc з іншими контролерами і комп'ютерами по протоколу Modbus. Можуть бути використані також модулі співпроцесора, для яких програмується будь-який протокол обміну по послідовному порту RS-232 або RS-485 як стандартний, так і нестандартний. Це дає можливість підключати до контролера будь-які пристрої, що мають в своєму складі послідовний порт, та інтегрувати PLC Fanuc в неоднорідні системи. Для побудови розподілених систем з великою відстанню між контролерами можуть застосовуватися модеми. При підключенні контролерів до мережі Ethernet можливий обмін даними між PLC і комп'ютерами із застосуванням DDE і ACTIVEX, що дозволяє користувачеві створювати власне програмне забезпечення для комп'ютерів, які працюють спільно з устаткуванням GE Fanuc.

Для обміну даними з контролерами нижнього рівня використовується пакет програм SIMPLICITY HMI, розроблений фірмою «GE Fanuc Automation» для оперативних розрахунків, протоколювання, візуалізації процесу (рис. 2). Пакет працює під управлінням операційної систем Windows XP. До складу пакету входять програми, що дозволяють створювати робочі місця технологічного і обслуговуючого технічного персоналу на всіх рівнях керування. Програмне забезпечення SIMPLICITY має структуру Server/Viewer.

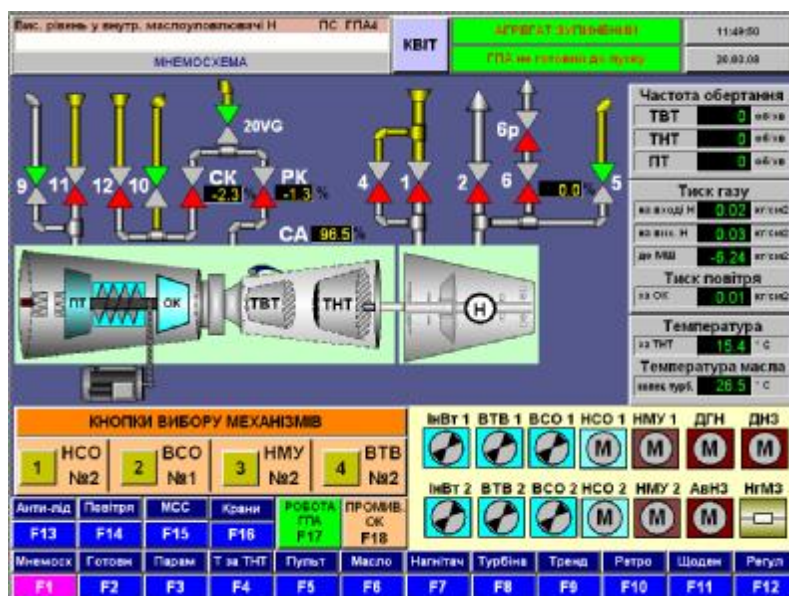


Рис. 2. SCADA-система SIMPLICITY HMI

Автоматизовані робочі місця інженерно-технічного персоналу КЦ та АРМ диспетчера ЛВУ об'єднані у мережу Ethernet при допомозі відповідного інтерфейсного обладнання та програмного забезпечення.

Функціональні можливості системи дозволяють здійснювати як звичайний моніторинг технологічних процесів, так і управління устаткуванням (крани, засувки). У системі реалізовані алгоритми автоматичного запуску і зупинки цеху. При цьому ядром великого набору функцій є обов'язкові для аналогічних систем можливості:

- прийом, обробка і передача інформації з/в контролери нижнього рівня;
- вирішення всіх завдань людина-машинного інтерфейсу;
- ведення і аналіз архівів;
- ведення і аналіз аварійних трендів;
- обмін інформацією між рівнями;
- створення всіх необхідних експлуатаційному персоналу звітних документів;
- вирішення розрахункових завдань.

Розширення стандартних для галузі функцій САК КЦ здійснене за рахунок реалізації різних алгоритмів управління, виконання розрахункових завдань в оперативному режимі.

АРМ ЗІ (АРМ змінного інженера) – це IBM-PC – сумісний персональний комп'ютер, причому системний блок і клавіатура промислового виконання. На цьому рівні здійснюється:

- збір оперативної інформації від всіх компонентів системи;
- обробка оперативної інформації;
- створення і зберігання архівів;
- забезпечення передачі оперативної інформації;
- створення і підтримка графічного інтерфейсу "людина-машина";
- вирішення розрахункових завдань оптимального керування в оперативному режимі.

Програмне забезпечення (ПЗ) системи складається з ПЗ вузлів системи і мережевого ПЗ.

Контролери програмується через інтерфейсний канал з персональної ЕОМ, спеціального програматора чи з Simplicity-Server. Для програмування використовується мова LD (Ladder Diagram) – графічна мова програмування, яка є стандартизованим варіантом класу мов релейно-контактних схем (стандарт IEC 1131-3) (рис. 3).

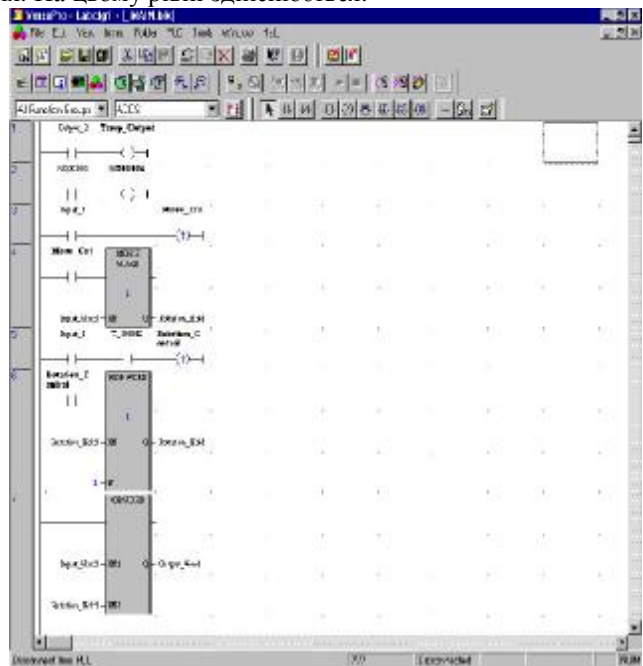


Рис. 3. Середовище Fanuc VersaPro для програмування PLC

Розширення функціональних можливостей досягається засобами у вигляді функціональних блоків, що згруповані в функціональні групи. Базовими є такі функціональні розділи: таймери, лічильники, комутатори, математичні, алгебраїчні, бітова обробка даних, пересилки даних, конверсія, контроль (в т.ч. ПІД-регулятори), розгалуження та передачі даних. Таким чином, програмні можливості по обробці інформації є достатніми для автоматизації складних технологічних об'єктів, якими є КС.

ПЗ АРМ ЗІ працює в середовищі Windows, будучи прикладною програмою SCADA-системи Citect (рис. 4). ПЗ АРМ ЗІ виконує функції візуалізації оперативних і архівних даних, архівації даних і повідомлень (у тому числі і тривоги), обробки і управління даними, ведення звітної документації, аналізу аварійних трендів, обробки аварійних ситуацій, проведення розрахункових завдань. Тобто ПЗ АРМ ЗІ виконує не лише завдання моніторингу системи, але і її управління. Крім того, розроблене спеціальне програмне забезпечення оптимального керування відцентровими нагнітачами [1-2].

Взаємодія програмного забезпечення та потоки даних між рівнями системи керування пояснюються структурною схемою, наведеною на рис. 5.

Контролери формують масиви даних про хід технологічного процесу, які передаються по інтерфейсу RS-485 на пристрій реєстрації інформації (Simplicity), в якому отримана інформація реєструється і архівується для збереження вимірних технологічних параметрів кожного із нагнітачів. Для розв'язку задач оптимального керування як вхідні параметри вибираються набори значень технологічних параметрів пристроєм обробки інформації (Citect). Він здійснює перерахунок та приведення значень параметрів в одні часові рамки та формує базу даних. На основі значень діагностичних параметрів в блоці експертної оцінки (Citect) для кожного із нагнітачів обчислювач (Citect) обраховує значення коефіцієнту технічного стану. Потім блок оптимізації визначає оптимальні значення кількості обертів нагнітачів, які забезпечують задану продуктивність КС при мінімальному споживанні паливного газу із врахуванням технічного стану кожного із ГПА [3-4], і подає керуючі впливи контролерам САК ГПА (Simplicity).

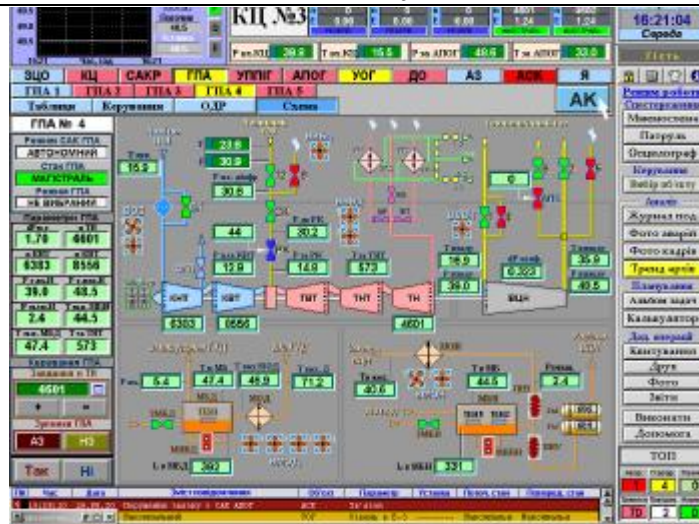
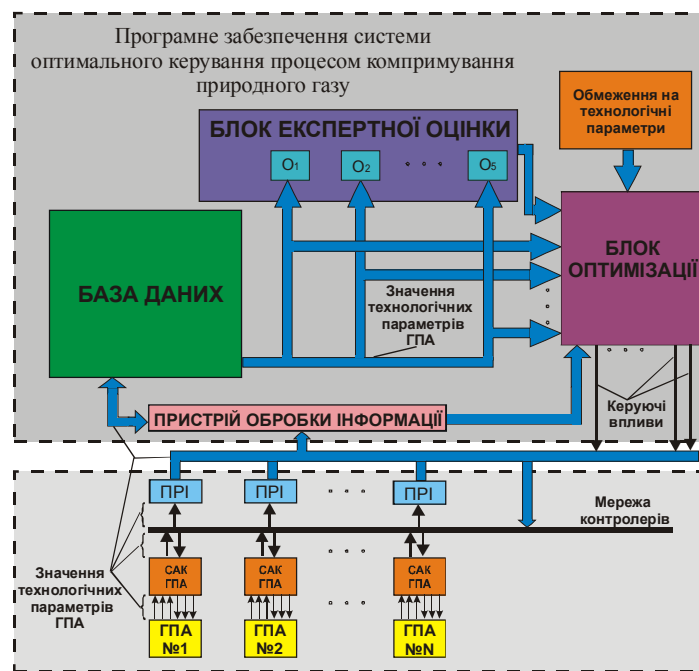


Рис. 4. АРМ змінного інженера



ПРІ – пристрій реєстрації інформації; О – обчислювач;

Рис. 5. Структурна схема програмного забезпечення комп'ютерної системи

Для обміну даними SCADA-системи Citect із контролерами використовуються вбудовані в системі драйвери Fanuc (рис. 6).

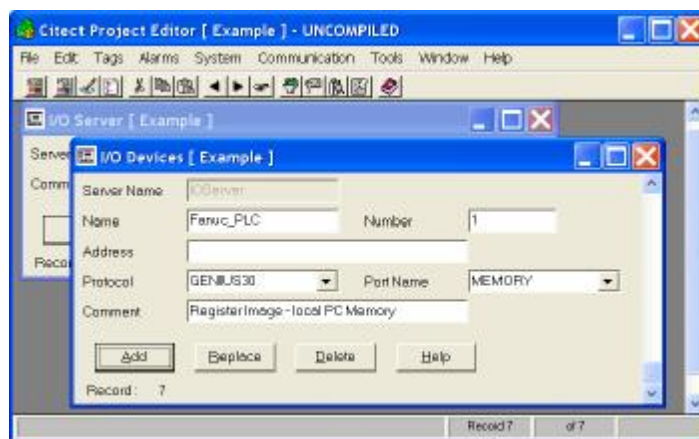


Рис. 6. Налаштування з'єднання із контролерами

Для отримання даних із SCADA Simplicity використовується зв'язок через OPC: Citect (OPC-Client)

– Cimplicity (OPC-Server) (рис. 7). З'єднання з віддаленими OPC джерелами і сервером SCADA Cimplicity, а також архівами PI System виконується за допомогою додатку Remote Interface Server (RIF), розташованого локально по відношенню до цих джерел. RIF виконується як Windows служба. OPC сервер реалізує стандартний інтерфейс доступу до даних OPC Data Access 2.0 відповідно до специфікації OPC Data Access Custom Interface Specification 2.0.

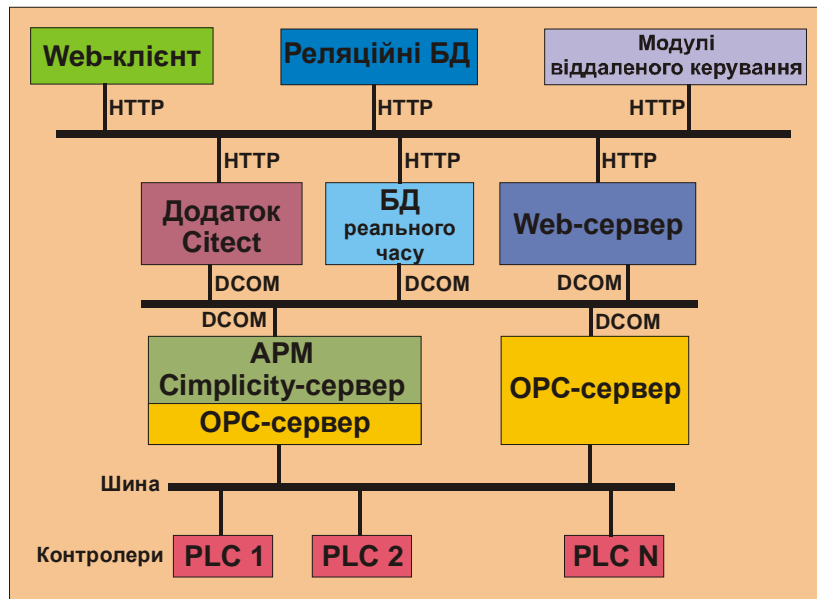


Рис. 7. Структурна схема використання OPC-серверів

Програмна модель, яка виконує основні функції оптимального керування, створена в програмному середовищі MatLab. Зв'язок між програмною моделлю і базою даних залежить від конкретної реалізації БД і здійснюється за допомогою спеціального драйвера, який усі дані записує в БД, або ж за допомогою основної програми, яка всі зчитані дані зберігає в БД [5]. Зв'язок головної програми із БД здійснюється залежно від реалізації БД і мови програмування: в найпростішому випадку БД може бути звичайним текстовим файлом, в більш складніших випадках БД може являти собою складну структуру, зв'язок з якою здійснюється за допомогою запитів SQL або COM-інтерфейсів. При цьому використовується стандартний механізм з'єднання ODBC (open database connectivity – відкритий зв'язок з базами даних). Однією із головних переваг даного механізму є можливість використання єдиного уніфікованого інтерфейсу доступу до даних незалежно від типу джерела, з яким здійснюється взаємодія. Реалізація ODBC в MFC (Microsoft Foundation Class) передбачає використання класів бази даних (CDatabase), наборів записів (CRecordset) і представлення записів (CRecordView).

Найскладнішою ланкою є зв'язок між апаратною частиною та головною програмою. Розглянуто два способи такого зв'язку: за допомогою MatLab SDK і за допомогою технології COM. Перший спосіб є стандартним. MatLab SDK – це набір бібліотек і функцій мови C, які входять в пакет MatLab і дозволяють реалізувати в програмах мовою C більшість можливостей MatLab. Проте такий підхід має ряд недоліків: по-перше, використання MatLab SDK можливе тільки в C – програмах, по-друге, бібліотеки SDK суттєво збільшують розмір головної програми, по-третє, використання даного способу змушує фактично переписати комп'ютерну модель на мову C (з використанням спеціальних функцій), що ускладнить програму без будь-якого виграшу по швидкості роботи. Використання технології COM може вирішити ці проблеми. Як відомо, більшість програм ОС Windows дають можливість використовувати їх COM-сервери – об'єкти, які інкапсулюють певні функції програми і можуть використовуватися без явного її запуску. Ці об'єкти інколи називають інтерфейсами. MatLab також дає можливість використовувати свої функції через COM-сервер, який називається matlab.application. Даний об'єкт можна створити у всіх сучасних мовах програмування високого рівня (за допомогою функцій CreateOleObject або CreateComObject), але особливо зручним його використання є у мовах Delphi, Visual Basic і C#. Після створення COM-сервера для запуску MatLab-команди потрібно використати всього одну функцію сервера (Execute). Параметром даної функції є довільна команда MatLab.

Висновки

Запропонована технічна і програмна реалізація комп'ютерної системи оптимального керування відцентровими нагнітачами природного газу дає можливість знаходити оптимальні значення навантаження нагнітачів на основі їх реального технічного стану. Через відкритість і гнучкість використовуваної технології розробки, система легко і швидко адаптується до будь-яких об'єктів (цехів газокompresорних станцій), що існують на сьогоднішній день.

Розроблений варіант системи може бути використаним для керування роботою компресорних

Література

1. Горбійчук М. І. Оптимальне керування роботою нагнітачів природного газу із врахуванням технічного стану ГПА / М. І. Горбійчук, Я. І. Заячук // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – № 4 /3 (34). – С. 22 – 24.
2. Заячук Я.І. Система адаптивного управління процесом компримування природного газу / Я. І. Заячук // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 3 (8). – С. 76 – 81.
3. Горбійчук М.І. Метод ранжування газоперекачувальних агрегатів природного газу за їх технічним станом / М.І. Горбійчук, М.І. Когутяк, Я.І. Заячук // Нафтогазова енергетика. – 2008. – № 1 (6). – С. 131 – 136.
4. Горбійчук М.І. Оптимальний розподіл навантаження між відцентровими нагнітачами природного газу з врахуванням їх технічного стану / М. І. Горбійчук, М. І. Когутяк, Я. І. Заячук // Наукові вісті ІМЕ "Галицька академія". – 2007. – № 1 (11). – С. 131 – 136.
5. Когутяк М.І. Комп'ютерна система поетапного діагностування роботи відцентрових нагнітачів природного газу / М.І. Когутяк, О.А. Скріпка // Нафтогазова енергетика. – 2007. – № 1 (2). – С. 67-71.

Надійшла 11.12.2009 р.

УДК 681.142.2; 622.02.658.284; 621.325

Д.Д. ПЕЛЕСКО, Н.О. КУСТРА, З.Я. ШПАК
Національний університет «Львівська політехніка»

МАЙЖЕ ФАКТОРИЗАЦІЯ ГІЛЬБЕРТОВОГО ПРОСТОРУ НА ОСНОВІ МЕТРИКИ ФРОБЕНІУСА ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ДЕЯКИХ ЗАДАЧ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

На основі метрики Фробеніуса для набору однотипних зображень побудовано гільбертовий сепарабельний простір вектор-функцій кольору. Майже факторизацією цього простору в сукупності із розв'язком задачі пошуку кореляційного максимуму координат вектор-функції розв'язана задача суміщення зображень в наборі. Майже факторизація здійснюється засобами побудови напівметрики отриманої із метрики Фробеніуса. Запропоновано автоматизацію методу через формулювання задачі пошуку максимуму за метрикою Фробеніуса. Приводяться результати порівняльного аналізу швидкості роботи різних алгоритмів суміщення зображень в наборах.

Based on Frobenius metric for a similar images set a separable Hilbert space of vector color functions is created/ An automated method in the formulation of the maximum search problem using metric Frobenius is proposed The results of comparative analysis of the different algorithms speed of combining images in sets are presented.

Ключові слова: факторизація, Гільбертовий простір, метрика Фробеніуса.

Вступ

Задача суміщення зображень набору фактично є початковою задачею обробки наборів зображень. Її практичний результат є вхідними даними для методів подальшої обробки. А тому якість роботи побудованих алгоритмів безпосередньо впливає на результати подальшої обробки.

Іншим важливим чинником, який визначає переваги методів суміщення, є швидкість роботи практичних алгоритмів. Зважаючи, що метод суміщення є початковим етапом обробки, то, очевидно, що час обробки набору в цілому в дуже значній мірі буде визначатись витратами часу на суміщення. Основним недоліком класичного методу кореляційної прив'язки є незадовільна швидкість, яка обумовлена великими обчислювальними затратами. Іншим недоліком методу кореляційної прив'язки є погані результати при роботі у складі динамічних систем. Це зумовлено багатьма причинами, основна з яких це розмитість зображень набору.

Тому актуальним завданням є розробка методів, які б при високій швидкості роботи давали безпомилкові результати суміщення зображень в наборах.

1. Постановка задачі

Метою даної роботи є розробка швидкого методу суміщення засобами поєднання майже факторизації гільбертового простору на основі метрики Фробеніуса та задачі пошуку кореляційного максимуму.

Для вирішення цього завдання необхідно:

- на основі метрики Фробеніуса над координатами вектор-функції кольору визначити сепарабельний гільбертовий простір;
- на топологіях зображень набору визначити адитивні групи функціоналів;
- введенням напівметрики майже факторизувати побудований гільбертів сепарабельний простір;
- звузити майже фактор простір гільбертового сепарабельного простору шляхом розв'язання задачі пошуку кореляційного максимуму.

2. Топології для задачі суміщення зображень набору

Нехай задано набір \mathbf{P} однотипних зображень з координатною $\hat{A}_P = \mathfrak{S}_{X^{2+,d}}$ та колірною топологіями \mathbf{J}_P [8]. При цьому треба пам'ятати, що \mathbf{J}_P індукується \hat{A}_P . В кожній з цих топологій визначимо скінченні покриття: фреймове $(\chi_{X^{2+,d}} | N_\chi) \subseteq \mathfrak{S}_{X^{2+,d}}$ та індуковане фрагментне \mathbf{J}_P в \mathbf{J}_P [1, 4, 8].

Серед зображень набору виберемо довільне зображення, стосовно якого буде здійснюватись операція суміщення. Таке зображення будемо називати *фіксованим*. Для зручності подальшого викладу нехай таке зображення має індекс в наборі рівний 1. Тобто в наборі \mathbf{P} фіксованим є зображення $P_{\text{фікс}} = P_1$. Тоді через \mathbf{P}' позначимо набір з решти зображень

$$\mathbf{P}' = \mathbf{P} \setminus \{P_1\} = \{P_z\}_{z=2..N}. \tag{1}$$

На $(\chi_{X^{2+,d}} | N_\chi)$ визначимо фрейм

$$\mathbf{X}_{\text{fr1,зад}}^{2+,d} = \mathbf{X}_{\text{fr1,зад}}^{2+,d} (\Delta_{x1,\text{зад}}, \Delta_{y1,\text{зад}}, l_{\text{fr1,зад}}, h_{\text{fr1,зад}}), \tag{2}$$

якому на P_1 відповідає індукований фрагмент зображення $P_{1,\text{зад}} \in \mathbf{J}_P$.

Вважатимемо, що фреймове покриття $(\chi_{X^{2+,d}} | N_\chi)$ гомеоморфне [2, 6] фрейму $\mathbf{X}_{\text{fr1,зад}}^{2+,d}$ за розмірами. Тут гомеоморфізм за розмірами визначає те, що усі елементи $(\chi_{X^{2+,d}} | N_\chi)$ мають розміри $l_{\text{fr1,зад}}$ і $h_{\text{fr1,зад}}$, а відрізняються лише координатами початку.

З $(\chi_{X^{2+,d}} | N_\chi)$ при заданій \hat{A}_P сформуємо фреймове покриття набору \mathbf{P}' за правилом

$$c_{\mathbf{P}'} = \{\chi_z\}_{z=2..N}, (\chi_z | N_\chi) \in \hat{A}_P, \tag{3}$$

де

$$\forall z_1, z_2 \in [2..N]: \chi_{z_1} = \chi_{z_2}; \quad \chi_{z_1}, \chi_{z_2} \in c_{\mathbf{P}'}. \tag{4}$$

Формули (3) і (4) означають, що фреймове покриття $c_{\mathbf{P}'}$ набору \mathbf{P}' складається з $N - 1$ топологічно еквівалентних покриттів $(\mathbf{X}^{2+,d}, \mathfrak{S}_{X^{2+,d}})$, елементи яких ще й рівні за розмірами. При цьому важливо відзначити, що розмірність кожного χ_z рівна N_χ . Тоді має місце

$$\dim c_{\mathbf{P}'} = (N - 1)N_\chi. \tag{5}$$

і до розгляду треба приймати топологічний простір $(c_{\mathbf{P}'} | (N - 1)N_\chi)$.

Фреймове покриття (3) засобом неперервного відображення \mathbf{C} [7] індукує фрагментне покриття $\mathbf{J}_{\mathbf{P}'} \subseteq \mathbf{J}_P$, яке належить топології $\mathbf{J}_{\mathbf{P}'} \subseteq \mathbf{J}_P$ набору \mathbf{P}' , за правилом

$$\mathbf{J}_{\mathbf{P}'} = \mathbf{J}_P \setminus \{\mathbf{J}_1\} = \{\mathbf{J}_z\}_{z=2..N}; \quad \mathbf{J}_{\mathbf{P}'} = \mathbf{J}_P \setminus \{\vartheta_1\} = \{\vartheta_z\}_{z=2..N}; \quad \mathbf{J}_{\mathbf{P}'} \subseteq \mathbf{J}'_P \subseteq \mathbf{J}_P. \tag{6}$$

Фактично $c_{\mathbf{P}'}$ і $\mathbf{J}_{\mathbf{P}'}$ виступають звуженнями c_P і \mathbf{J}_P відповідно.

Оскільки \mathbf{J}_P є індуковане неперервним відображенням \mathbf{C} [7], то визначений для $(\chi_{X^{2+,d}} | N_\chi)$ гомеоморфізм (за розмірами) до фрейму $\mathbf{X}_{\text{fr1,зад}}^{2+,d}$ має місце для елементів просторів \mathbf{J}_P і $\mathbf{J}_{\mathbf{P}'}$ до фрагмента $P_{1,\text{зад}}$. При цьому для елементів \mathbf{J}_P і $\mathbf{J}_{\mathbf{P}'}$ не існує топологічної еквівалентності подібної до (3). Це означає, що набір \mathbf{P}' можна подати у вигляді скінченного набору фрагментів $P_{z,m}$ з розмірами розміри $l_{\text{fr1,зад}}$ і $h_{\text{fr1,зад}}$

$$\mathbf{P}' = \{P_z\} = \left\{ \left\{ P_{z,m} \mid P_{z,m} = C_{z,m}(\mathbf{X}_{\text{frz,m}}^{2+,d}) \right\}_{m=1..N_\chi} \right\}_{z=2..N}; \quad \forall z, m: \mathbf{X}_{\text{frz,m}}^{2+,d} \in \chi_z. \tag{7}$$

Зазначимо, що розмірність кожного ϑ_z складає N_χ , тобто існує простір $(\vartheta_z | N_\chi)$. Тоді розмірність $\mathbf{J}_{\mathbf{P}'}$ за (5) складає

$$\dim \mathbf{J}_{\mathbf{P}'} = (N - 1)N_\chi, \tag{8}$$

і до розгляду треба приймати простір $(\mathbf{J}_{\mathbf{P}'} | (N - 1)N_\chi)$.

3. Суміщення однотипних зображень набору

3.1. Характеристики зображення, представленні через адитивну групу функціоналів на топології зображення

Першим кроком до розв'язання задачі суміщення зображень в наборі є побудова гільбертового сепарабельного простору і розв'язком задачі його майже факторизації. Для цього нехай на зображенні $P_z \in \mathbf{P}'$ задано адитивну групу функціоналів при векторній моделі представлення зображень, які визначені на топології χ_z

$$P_z \rightarrow \Phi_z = \sum_{m=1}^{N_\chi} \Phi_{z,m}; \quad P_{z,m} \rightarrow \Phi_{z,m}, \tag{9}$$

де за векторною моделлю представлення зображення $\Phi_{z,m}$ є потоком вектор-функції кольору

$\mathbf{C} = (\mathbf{C}^1(\mathbf{X}_z^{2,+d}), \dots, \mathbf{C}^{N_{pal}}(\mathbf{X}_z^{2,+d}))$ крізь фрейм $\mathbf{X}_{fr_{z,m}}^{2,+d} \in \chi_z$

$$\Phi_{z,m} = \int_{\mathbf{X}_{fr_{z,m}}^{2,+d}} \mathbf{C} \cdot d\mathbf{X}_{fr_{z,m}}^{2,+d}, \quad z = 1 \dots N. \quad (10)$$

Відповідно до (10), Φ_z є потоком \mathbf{C} крізь деяку гіперповерхню $\mathbf{X}_z^{2,+d}$.

Для кожного фрагмента $P_{z,m}$ за (10) характеристикою приймаємо координати вектор функції \mathbf{C}

$$\mathbf{C}_{z,m} = \left(c_{z,(\Delta_{x,z,m} + h_{fr_{1,зад}})}^d, \dots, c_{z,(\Delta_{x,z,m} + h_{fr_{1,зад}})}^d \right), \quad (11)$$

на фреймі $\mathbf{X}_{fr_{1,зад}}^{2,+d}$. Тоді маємо

$$P_{z,m} \rightarrow \mathbf{C}_{z,m}. \quad (12)$$

Якщо для (11) визначити скалярний добуток

$$\langle \mathbf{C}_{z_1}, \mathbf{C}_{z_2} \rangle = \sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^l c_{z_1,(i,j)}^d c_{z_2,(i,j)}^d, \quad (13)$$

то можна ввести матричну норму Фробеніуса [4] з метрикою Фробеніуса

$$\|\mathbf{C}_z\|_{C,Фрб} = \sqrt{\sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^l |c_{z,(i,j)}^d|^2} = \sqrt{\text{Tr } \mathbf{C}_z^\dagger \mathbf{C}_z}; \quad (14)$$

$$d_{C,Фрб}(\mathbf{C}_{z_1}, \mathbf{C}_{z_2}) = \sqrt{\sum_{j=1}^h \sum_{i=1}^l |c_{z_1,(i,j)}^d - c_{z_2,(i,j)}^d|^2}, \quad (15)$$

де \mathbf{C}_z^\dagger – матриця спряжена до \mathbf{C}_z ; Tr – слід матриці [5].

В результаті отримуємо нормований векторний простір $(\Omega_C, \|\cdot\|_{C,Фрб})$, який, як показано в [4], є гільбертовим та сепарабельним.

3.2. Майже факторизація сепарабельного гільбертового простору $(\Omega_C, \|\cdot\|_{C,Фрб})$.

За напівметрику для задачі майже факторизації [1] у випадку простору $(\mathbf{J}_{P'} | (N-1)N_\chi)$ візьмемо метрику Фробеніуса (15), розрахункова формула якої матиме вид

$$\forall P_{z,m} \in \mathbf{J}_{P'} : d_{C,Фрб,fr}(P_{z,m}, P_{1,зад}) = \sqrt{\sum_{j=\Delta_{y,z,m}+1}^{\Delta_{y,z,m}+h_{fr_{1,зад}}} \sum_{i=\Delta_{x,z,m}+1}^{\Delta_{x,z,m}+h_{fr_{1,зад}}} |c_{z,(i,j)}^d - c_{1,зад,(i,j)}^d|^2}. \quad (16)$$

Твердження.

Метрика (16) є напівметрикою простору $(\mathbf{J}_{P'} | (N-1)N_\chi)$.

Доведення.

v

Визначення (16) як метрики (метрики Фробеніуса) доведено в [4].

Відношення еквівалентності як умова напівметрики, впливає з того, що для характеристики (3) можлива ситуація, коли

$$\exists z \in [2..N], \quad m \in [2..N_\chi] : \mathbf{C}_{z,m} = \mathbf{C}_{1,зад}. \quad (17)$$

Це означає, що для $P_{z,m} \neq P_{1,зад}$ має місце

$$d_{C,Фрб,fr}(P_{z,m}, P_{1,зад}) = 0, \quad (18)$$

що визначає метрику (16) як напівметрику.

w

Тоді майже факторизації полягає у побудову майже фактор простору $\mathbf{J}_{(\mathbf{J}_{P'} | (N-1)N_\chi), d_{C,Фрб,fr}} / \sim^\varepsilon$, для кожної характеристики за допомогою видозміненої (18)

$$\forall P_{z,m} \in \mathbf{J}_{(\mathbf{J}_{P'} | (N-1)N_\chi), d_{C,Фрб,fr}} / \sim^\varepsilon, \quad d_{C,Фрб,fr}(P_{z,m}, P_{1,зад}) \leq \varepsilon. \quad (19)$$

Простір $\mathbf{J}_{(\mathbf{J}_{P'} | (N-1)N_\chi), d_{C,Фрб,fr}} / \sim^\varepsilon$ розмірності $\dim \mathbf{J}_{(\mathbf{J}_{P'} | (N-1)N_\chi), d_{C,Фрб,fr}} / \sim^\varepsilon = N_\chi / \varepsilon$ з мірою

$$\mu(\vartheta_{(\vartheta_P | N_\chi), d_{r,fr}} / \sim^\varepsilon) \leq \mu(\vartheta_P), \quad (20)$$

треба розглядати набором “підозрілих” на подібність (за (19)) до $P_{1,зад}$ фрагментів з \mathbf{P}' , для якого мають місце нерівності

$$\forall \vartheta_z \in \mathbf{J}_{(\mathbf{J}_{P'} | (N-1)N_\chi), d_{C,Фрб,fr}} / \sim^\varepsilon : \dim \vartheta_z \leq N_\chi; \quad (21)$$

$$\dim \mathbf{J}_{(\mathbf{J}_{P'} | (N-1)N_\chi), d_{C,Фрб,fr}} / \sim^\varepsilon \leq \dim \mathbf{J}_{P'} = (N-1)N_\chi. \quad (22)$$

$$\text{Простір } J_{(J_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon \text{ індукується майже фактор простором } C_{(C_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon$$

$$\left(C_{(C_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon \mid \dim J_{(J_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon \right) \subseteq (C_{P'} \mid (N-1)N_\chi); \quad (23)$$

то (21) означає, що через розв'язання задачі майже факторизації вдалось звузити простори $(J_{P'} \mid (N-1)N_\chi)$ і $(C_{P'} \mid (N-1)N_\chi)$ відповідно.

3.3. Задача пошуку кореляційного максимуму на майже фактор просторі $J_{(J_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon$

Наступним кроком є звуження пар просторів $J_{(J_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon$ і $C_{(C_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon$ до одного фрейму через вирішення задачі пошуку кореляційного максимуму. Для звуження пар просторів $J_{(J_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon$ і $C_{(C_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon$ до одного фрейму через вирішення задачі пошуку кореляційного максимуму введемо до розгляду метрику

$$\forall P_{z,m} \in J_{P'} : d_{r_{\max, \text{Fr}}} (P_{z,m}, P_{1,\text{зад}}) = r(P_{z,m}, P_{1,\text{зад}}), \quad (24)$$

де $r(P_{z,m}, P_{1,\text{зад}})$ – кореляції [10] між значеннями кольору (чи інтенсивності) фрагменту $P_{z,m}$ із заданим $P_{1,\text{зад}}$. Розрахункова формула для $r(P_{z,m}, P_{1,\text{зад}})$ має вид

$$r_{z,m}(P_{1,\text{зад}}, P_{z,m}) = \frac{M(P_{1,\text{зад}}, P_{z,m}) - M P_{1,\text{зад}} M P_{z,m}}{\sigma_{P_{1,\text{зад}}} \sigma_{P_{z,m}}}; \quad m = 1..N_{\chi_z}; \quad z = 2..N, \quad (25)$$

де $C_{1,\text{зад}}^{d(i,j)}$ – значення кольору фрагмента $P_{1,\text{зад}}$; N_{χ_z} – розмірність покриттів $\chi_z \in C_{(C_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon$ та $\vartheta_z \in J_{(J_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon$; σ – символ середньоквадратичного відхилення.

В результаті (25) для кожного $\chi_z \in C_{(C_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon$ та $\vartheta_z \in J_{(J_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon$ отримуємо набір значень кореляцій $r_{z,m}(P_{1,\text{зад}}, P_{z,m})$, які є характеристиками фрагментів $P_{z,m} \in \vartheta_z$

$$\left(\begin{matrix} \chi_z \\ \vartheta_z \end{matrix} \right) \rightarrow \{ r_{z,m}(P_{1,\text{зад}}, P_{z,m}) \}_{m=1..N_{\chi_z}}, \quad z = 2..N; \quad \chi_z \in C_{(C_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon; \quad \vartheta_z \in J_{(J_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon. \quad (26)$$

На наборі $\{ r_{z,m}(P_{1,\text{зад}}, P_{z,m}) \}$ для кожного z вирішуємо задачу пошуку кореляційного максимуму із заданим $P_{1,\text{зад}}$

$$I_{r, \max} = \left\{ \max_m (r_{z,m}(P_{1,\text{зад}}, P_{z,m})) \neq 0 \right\}_{z=2..N} \quad (27)$$

У випадку, якщо ненульового кореляційного максимуму при заданому z , не існує, то це зображення видаляється з набору і в подальшому розв'язанні задачі суміщення не розглядається. Надалі вважатимемо, що для будь-якого z ненульова кореляція існує.

За (26) знаходимо відповідний $P_{z,m} \in \vartheta_z \in J_{(J_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{B, \text{Fr}}} / \sim^\varepsilon$ і формуємо остаточні набори

$$J_{P', \max r} = \{ P_{z,m} \mid P_{z,m} \rightarrow I_{r, \max} \}_{z=2..N}, \quad (28)$$

$$C_{P', \max r} = \{ \mathbf{X}_{\text{Fr } z, m}^{2+, d} \mid P_{z,m} = C(\mathbf{X}_{\text{Fr } z, m}^{2+, d}), P_{z,m} \in J_{P', \max r} \}_{z=2..N}. \quad (29)$$

Оскільки розмірність $I_{r, \max}$ рівна $N-2$, то

$$\dim C_{P', \max r} = \dim J_{P', \max r} = N-2. \quad (30)$$

Очевидно, що $J_{P', \max r} \subset J_{(J_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon \subseteq J_{P'} \subseteq J_P$ належить топологіям $J_{P'}$ та J_P . Аналогічно для координатної області вирішена задача побудови $C_{P', \max r}$ такого, що $C_{P', \max r} \subset C_{(C_{P'}|(N-1)N_\chi), d_{C, \text{Фр6,Fr}}} / \sim^\varepsilon \subseteq C_{P'} \subseteq C_P$.

Фрагментний набір $(J_{P', \max r} \mid N-2)$ є результатом двоетапного звуженням $J_{P'}$ до $N-2$ фрагментів, кожен з яких відповідає окремому P_z набору P' .

Подібно до $(J_{P', \max r} \mid N-2)$, фреймовий набір $(C_{P', \max r} \mid N-2)$ є результатом звуження $C_{P'}$ і містить для кожного z по одному фрейму $\mathbf{X}_{\text{Fr } z, m}^{2+, d}$. Фрагменти, які належать $(J_{P', \max r} \mid N-2)$ є рішенням задачі пошуку за зразком.

За фреймовим набором $(C_{P', \max r} \mid N-2)$, як зміщення між фрагментами $P_{z, m}$ і $P_{1,\text{зад}}$, знаходимо зміщення по осях $x - \Delta_{x,(1,z)}$ та по $y - \Delta_{y,(1,z)}$ кожного зображення набору P' відносно P_1 ,

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta_{x,(1,z)} = \Delta_{x,z,m} - \Delta_{x,1,зад} \\ \Delta_{y,(1,z)} = \Delta_{y,z,m} - \Delta_{y,1,зад} \end{array} \right\}_{z=2..N}; \mathbf{X}_{fr z,m}^{2,+d} \in \mathbf{C}_{P^{max r}} \quad (31)$$

Звертаємо увагу на те, що зміщення $\Delta_{x,(1,z)}, \Delta_{y,(1,z)} \in \mathbf{N}$ можуть набувати як додатних так і від’ємних значень.

3.4. Автоматизації методу суміщення на основі майже факторизації простору $(\Omega_C, \|\cdot\|_{C,Фрб})$.

Суть автоматизації полягає у тому, що задача суміщення розв’язується подібно до задачі пошуку кореляційного максимуму (п.3.3), тобто одноетапно способом пошуку максимуму за метрикою (16). Основною перевагою над двоетапним підходом є, повне уникнення задачі пошуку кореляційного максимуму.

З іншого боку розрахунків кореляційних залежностей можна залишити з метою перевірки чи уточнення остаточних результатів. При цьому значення кореляції із $P_{1,зад}$ буде обчислюватись лише для дуже малої кількості фрагментів для кожного P_z . А це також є суттєвим зменшенням обчислень в порівнянні із звуженням майже фактор просторів.

Наведемо математичний опис автоматизованого методу суміщення за метрикою Фробеніуса.

При заданому наборі вхідних даних видозмінимо представлення (26)

$$\left(\begin{array}{c} \chi_z \\ \vartheta_z \end{array} \right) \rightarrow \left\{ d_{C,Фрб,fr} (P_{z,m}, P_{1,зад}) \right\}_{m=1..N_{\chi_z}}, z = 2..N; \chi_z \in \mathbf{C}_P; \vartheta_z \in \mathbf{J}_P \quad (32)$$

На наборі $\left\{ d_{C,Фрб,fr} (P_{z,m}, P_{1,зад}) \right\}$ для кожного z вирішуємо задачу пошуку максимуму метрики $d_{C,Фрб,fr}$ із заданим $P_{1,зад}$

$$\left\{ \max_m (d_{C,Фрб,fr} (P_{z,m}, P_{1,зад})) \neq 0 \right\}_{z=2..N} \quad (33)$$

Таких максимумів може існувати декілька. Тоді через вирішення задачі (33) їх кількість можна звести до одного для кожного z .

За (33) знаходимо відповідний $P_{z,m} \in \vartheta_z \in \mathbf{J}_P$, і формуємо остаточний набір фрагментів

$$\mathbf{J}_{P^{max r}} = \left\{ P_{z,m} \mid P_{z,m} \rightarrow \max_m (d_{C,Фрб,fr} (P_{z,m}, P_{1,зад})) \right\}_{z=2..N}, \quad (34)$$

та відповідний набір фреймів $\mathbf{C}_{P^{max r}}$ з розмірностями (30). Надалі за (31) знаходимо зміщення для кожного P_z .

Зауважимо, що у випадку існування декількох максимумів, може не існувати ненульової кореляції. Тоді задача не має розв’язку. Проте такий випадок є малоюмовірний і на практиці майже не зустрічається.

У запропонованому покращенні методу, можлива перевірка результатів. З цією метою можна ввести розрахунок кореляції (якщо кореляції до цього моменту не обчислювалась) для фрагментів простору $(\mathbf{J}_{P^{max r}} \mid N-2)$. У випадку коли для деяких z кореляція є нульовою, то приймається що зміщення для відповідного P_z не знайдено.

4. Результати практичних експериментів суміщення зображень набору представлених скінченною енергією сигналу

За викладеними теоретичними дослідженнями розроблено практичну реалізацію методу суміщення зображень набору на основі майже факторизації простору гільбертового простору $(\Omega_C, \|\cdot\|_{C,Фрб})$.



Рис. 1. Результати суміщення НШЗЗ за алгоритмом побудованим на основі майже факторизації простору гільбертового простору $(\Omega_C, \|\cdot\|_{C,Фрб})$

На рис. 1 наведено результати суміщення НШЗЗ (набору штучно згенерованих зображень, тобто зображень отриманих як модифікації деякого наперед заданого). Характеристики НШЗЗ є такими: розмірність набору – $N = 88$; зображення в градаціях сірого; розмірність кожного зображення – $l = 34 \times h = 54$ пікселів; $P_{\text{фікс}} = P_0$. Параметри заданого фрейму $\mathbf{X}_{\text{fr}0,\text{зад}}^{2,+d}$: $\Delta_{x,0,\text{зад}} = \Delta_{y,0,\text{зад}} = 10$; $l_{\text{fr}0,\text{зад}} = h_{\text{fr}0,\text{зад}} = 10$; $\epsilon = 0.001$. Індексвання зображень в \mathbf{P} розпочинається з нуля, тобто $\mathbf{P}' = \{P_1, \dots, P_{88}\}$. Заданий фрагмент на P_0 виділено червоним (рис. 1).

На рис. 2 приведено графік приросту у відсотках пришвидшення роботи методу на основі розробленого методу в порівнянні з методом кореляційної прив'язки для суміщення НШЗЗ. Характеристики НШЗЗ є такими: розмірність набору – змінна; зображення в градаціях сірого; розмірність кожного зображення – $l = 34 \times h = 54$ пікселів; $P_{\text{фікс}} = P_0$. Параметри заданого фрейму $\mathbf{X}_{\text{fr}0,\text{зад}}^{2,+d}$: $\Delta_{x,0,\text{зад}} = \Delta_{y,0,\text{зад}} = 10$; $l_{\text{fr}0,\text{зад}} = h_{\text{fr}0,\text{зад}} = 10$; $\epsilon = 0.01$.

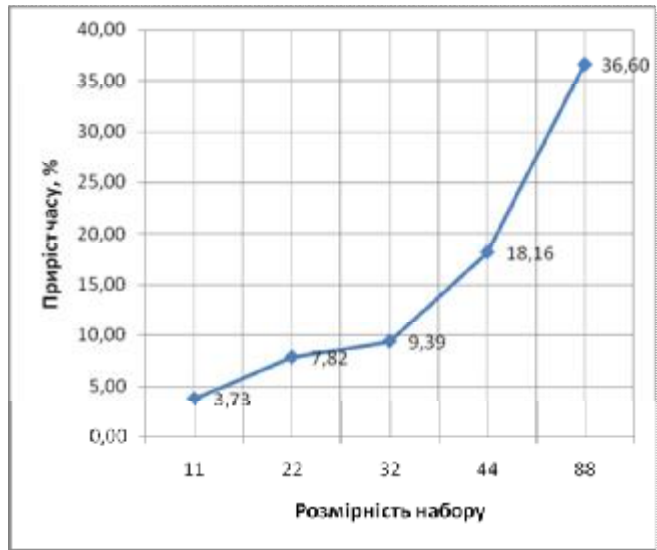


Рис. 2. Порівняння часу роботи алгоритму суміщення НШЗЗ на основі методів кореляційної прив'язки і методу на основі майже факторизації простору гільбертового простору $(\Omega_c, \|\cdot\|_{c, \text{Фрб}})$

На рис. 3 наведено залежність розробленого методу від параметра майже факторизації ϵ . Для дослідження його впливу вибирався НРОЗ (набору реально отриманих зображень) з такими характеристиками: розмірність набору – $N = 11$ зображень; зображення в градаціях сірого; розмірність кожного зображення – $l = 34 \times h = 54$ пікселів; $P_{\text{фікс}} = P_0$. Параметри заданого фрейму $\mathbf{X}_{\text{fr}0,\text{зад}}^{2,+d}$: $\Delta_{x,0,\text{зад}} = \Delta_{y,0,\text{зад}} = 10$; $l_{\text{fr}0,\text{зад}} = h_{\text{fr}0,\text{зад}} = 10$; ϵ –

змінний. Вибір НРОЗ зумовлений, тим, щоб при суміщенні виникали помилки, чого не можливо у випадку НШЗЗ. При цьому помилкою вважалось відсутність та неправильність шуканого фрейму. Правильний фрейм знаходився за класичною задачею кореляційного максимуму. З результатів наведених на рис. 3 випливає, що розроблений метод є найбільш залежний від ϵ . А тому його використання передбачає дуже прецизійне визначення параметра майже факторизації, чого не у випадках інших методів.

На відміну від відомих для розробленого методу, залежність від ϵ має різко сходинковий характер, тобто до певний значень ϵ майже усі знайдені зміщеннями є помилковими, а після деякого, порогового значення – помилки повністю відсутні. Такого порогового значення ϵ у жодного методу немає. Тому у випадку методу Фробеніуса можлива повна автоматизації процесу суміщення, тобто така модифікація методу, яка дозволяє автоматизувати пошук ϵ через збільшення його значення до тих пір, доки не зникнуть помилки. При цьому запасу по швидкості повинно вистарчити на те, щоб залишиться одним із найшвидших методів, адже підняття порогу, не передбачатиме повторного розрахунку характеристик. Тому падіння швидкості не повинно бути дуже сильним.

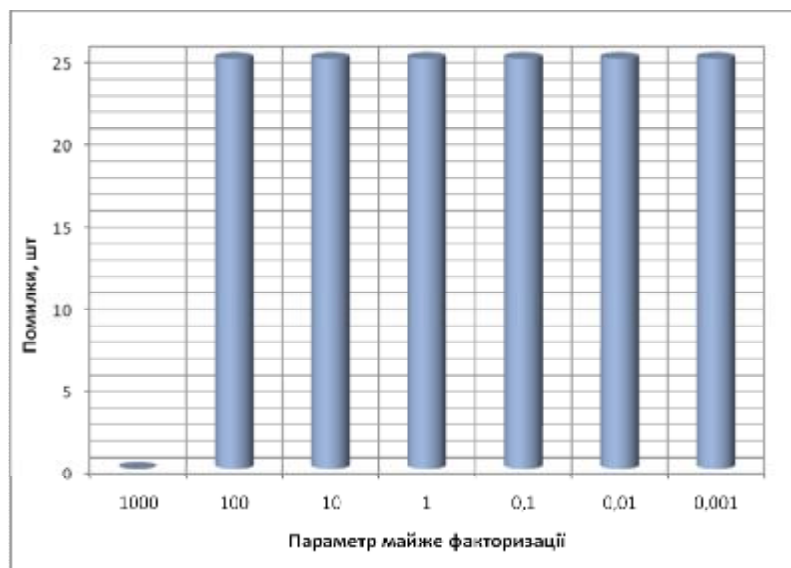


Рис. 3. Кількість помилок роботи алгоритму залежно від параметра майже факторизації

Висновки

Розроблений на основі майже факторизації простору $(\Omega_C, \|\cdot\|_{C, \text{Фрб}})$ метод суміщення однотипних зображень дає можливість здійснити вирівнювання зображень набору в межах пікселя в горизонтальному та вертикальному напрямках. Суміщення саме в цих напрямках перевірено на практиці. Проте жодних теоретичних обмежень не існує для використання цих методів стосовно усього набору афінних перетворень.

Розроблений метод однаково ефективно працює у випадках будь-яких типів зображень. При цьому немає потреби здійснювати окремий аналіз за виокремленими складовими вектор-функції кольору. Як показали результати практичних експериментів, для побудови при розробці практичних алгоритмів суміщення можна використовувати інтегральні значення кольору і тим самим пришвидшувати роботу методу в цілому.

Розроблений метод суміщення за умови правильного попереднього вибору параметра майже факторизації демонструє достатню для використання у системах реального швидкість роботи. Додатково існує можливість автоматизувати вибір параметра майже факторизації або звести задачу суміщення до розв'язання задачі пошуку максимуму за метрикою Фробеніуса. При цьому падіння швидкості роботи алгоритмів не є дуже суттєвим.

Література

1. Александров П. С. Введение в теорию множеств и общую топологию / Александров П. С. – М.: Наука, 1977. – 368 с.
2. Гусейн-Заде С.М. Лекции по дифференциальной геометрии / Гусейн-Заде С.М. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 464 с.
3. Боюн В.П. Динамическая теория информации. Основы и приложения / Боюн В.П. – Киев: Ин-т кибернетики им. В.М.Глушкова НАН Украины, 2001. – 326 с.
4. Милнор Дж. Дифференциальная топология / Дж. Милнор, А. М. Уоллес. – М.: Мир, 1972. – 279 с.
5. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисление / Пискунов Н. С. – М.: «Наука» Главная редакция физико-математической литературы, 1972. – Т. 2. – 572 с.
6. Класифікація моделей представлення зображень та наборів зображень як стохастичних зображень та полів: матеріали науково-практичної конференції [“Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI’2009”], (Євпаторія, 18-22 травня 2009) / Херсонський морський інститут. – Херсон: Видавництво Херсонського морського інституту, 2009. – Т. 2. – С. 401-405.
7. Пелешко Д.Д. Топології зображень та наборів зображень / Д. Пелешко // Науковий вісник НЛТУ України: збірник науково-технічних праць. – 2009. – Вип. 19.4. – С. 236-242.
8. Шлезингер М.М., Святогор Л.А. О построение эталонов для корреляционных читающих автоматов: III Всесоюзная конференция по информационно-поисковым системам и автоматизированной обработке научно-технической информации. Т. 3. – М.: Всесоюз. Ин-т науч. и техн. информации, 1967. – С. 129-139.
9. Рашкевич Ю. Центрування зображень на основі методів кореляційного аналізу / Ю. Рашкевич, Б. Демида, Д. Пелешко, Н. Куфра // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. – 2005. – Вип. 29. – С. 121-128.
10. Адитивні групи функціоналів визначених на топологіях зображень: матеріали міжнародної науково-технічної конференції [“Комп’ютерні науки та інформаційні технології CSIT’2009”], (Львів, 15-17 жовтня 2009) / Національний університет «Львівська політехніка». – Львів: Видавництво НУ «ЛП», 2009. – С. 123-126.

Надійшла 13.12.2009 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОХОДЖЕННЯ ГАРМОНІЙНИХ СИГНАЛІВ В ДОВГІЙ ЛІНІЇ ЗА НАЯВНОСТІ АКТИВНОГО І РЕАКТИВНОГО НАВАНТАЖЕНЬ В РІЗНИХ ТОЧКАХ ЛІНІЇ

Стаття присвячена дослідженню проходження гармонійних сигналів по довгій лінії за наявності в ній двох навантажень із активним і реактивним характером розташованих на різних відстанях. Отримані аналітичні співвідношення які дозволили побудувати амплітудно-частотні та фазочастотні характеристики сумарних відбитих сигналів за наявності навантажень з активним та реактивним (ємнісним або індуктивним) характером.

The article is devoted research of passing of harmonious signals on a long line at presence of in it two loadings with active and reactive character of located on different distances. Analytical correlations are got which allowed to build gain-frequency and fazochastotni descriptions of the total reflected signals at presence of loadings with active and reactive (by a capacity or inductive) character.

Ключові слова: гармонійний сигнал, реактивні та активні навантаження.

Вступ. Питанням фазової дальнометрії присвячено досить багато робіт. Останніми розробками є багатошкільний метод вимірювання, який дозволяє покращити точність вимірювання, шляхом проведення вимірювань із застосуванням вищих частот та усунення фазової неоднозначності. Проте цей метод дозволяє вимірювати відстань лише до одного об'єкту [1].

У новітніх науково-технічних роботах був розроблений фазовий метод вимірювання відстаней до трьох об'єктів з активним характером. Даний метод розрахунку параметрів трьох сигналів, відбитих від об'єктів вимірювання і розташованих на одному напрямку, дозволяє знаходити відстані до трьох об'єктів з активним характером аналітично, ґрунтуючись на вимірюванні амплітуд і фаз відбитих гармонійних сигналів на трьох частотах.

Проте усі ці методи мають свої недоліки. Так багатошкільний і аналітичний методи дозволяють вимірювати відстані до одного, до двох та до трьох об'єктів з активним характером відбиття [1-6].

Так, було доведено, що у випадку наявності декількох об'єктів вимірювання з різним характером відбиття (реактивним та активним) сигнали відбиті від кожного об'єкту складаються, причому, якщо кожний відбитий сигнал представити у векторному вигляді, то сумарний сигнал є векторною сумою усіх сигналів. Для розробки фазового методу вимірювання відстаней до об'єктів із активним і реактивним характерами, необхідно дослідити як проходять гармонійні сигнали по довгій лінії за наявності навантажень із різним характером розташованих в різних точках лінії, аналогічно теорії довгих ліній [7].

Основна частина. Для розробки методу вимірювання відстаней фазочастотним методом розглянемо процес утворення сумарного відбитого сигналу. Розглянемо еквівалентну схему лінії з неоднорідностями з реактивним та активним характером впливу (рис. 1).

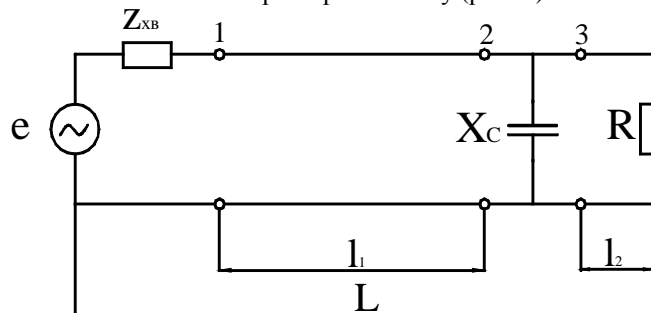


Рис. 1. Еквівалентна схема лінії з неоднорідностями з реактивним та активним характером

До початку відрізка підключено джерело гармонійних сигналів. Якщо з початку середовища розповсюдження генерувати гармонійний сигнал з довжиною хвилі рівній довжині відрізка L , то в цьому середовищі буде розповсюджуватись хвиля, що біжить. Така хвиля буде досягати кожен об'єкт через різний час, причому об'єктів, що знаходяться ближче до початку відрізка, хвиля досягне раніше, ніж до об'єктів, що знаходяться далі. Перший об'єкт (ємність C) відбиває хвилю повністю, і зробимо припущення що далі сигнал проходить без втрат по амплітуді. На кінці лінії знаходиться неузгоджений з лінією опір, який також повністю відбиває сигнал.

Проходження сигналу до одного об'єкту і назад подібне до проходження сигналів в довгій лінії. Сигнал починає поступово розповсюджуватись від початку відрізка, хвиля "біжить" до першого об'єкту з реактивним характером впливу. Хвиля відбивається від цього об'єкту і проходить далі. Припустимо, що далі сигнал проходить без втрат. Сигнал, який відбився від першого об'єкта, "біжить" назад до джерела сигналів. Між хвилею, що падає і відбивається, в результаті проходження до об'єкта і назад, утворюється фазовий зсув, який

пропорційний подвійній відстані від початку відрізка до об'єкту і назад. А сам об'єкт спричиняє фазовий зсув та зміну амплітуди. Сигнал, який пройшов далі, розповсюджується далі до наступного об'єкту. Від наступного об'єкту (з активним характером) сигнал вже відбивається частково. Відбитий сигнал розповсюджується назад до початку відрізка, при цьому на першому об'єкті він знову ж таки проходить та відбивається. При цьому знову відбувається фазовий зсув. Але рівні сигналів, що відбиваються потребують додаткових досліджень та обрахунків. Сигнал, що пройшов через перший об'єкт у напрямку початку середовища розповсюдження, складається із сигналом відбитим від першого об'єкту. Якщо розглядати сигнали відбиті від об'єктів у векторному вигляді, то результатом складання сигналів є їх векторна сума. Таким чином сигнал, що вертається на вхід приймача, є результатом спільної дії усіх відбитих сигналів від усіх об'єктів.

Тому для початку розглянемо, як веде себе сигнал при відбиванні та проходженні через об'єкт з реактивним характером. Розглянемо еквівалентну схему з неоднорідністю з реактивним характером, яка представлена ємністю C (рис. 2).

Дослідження наведеної еквівалентної схеми дозволили отримати вирази для значень модуля та фази сигналів відбитих від ємності:

$$|i_{eid}(j\omega)| = \frac{\sqrt{4 + Z_{xg}^2 \cdot \omega^2 C^2}}{4 + Z_{xg}^2 \cdot \omega^2 C^2}, \quad (1)$$

$$j_{eid}(\omega) = \arctg \frac{Z_{xg} \cdot \omega C}{2}, \quad (2)$$

та сигналів що пройшли через ємність:

$$|i_{np}(j\omega)| = \frac{\sqrt{Z_{xg}^4 \cdot \omega^4 C^4 + 4 \cdot Z_{xg}^2 \cdot \omega^2 C^2}}{Z_{xg}^2 \cdot \omega^2 C^2 + 4} = \sqrt{\frac{Z_{xg}^2 \cdot \omega^2 C^2}{Z_{xg}^2 \cdot \omega^2 C^2 + 4}}, \quad (3)$$

$$j_{np}(\omega) = \arctg \frac{2 \cdot Z_{xg} \cdot \omega C}{Z_{xg}^2 \cdot \omega^2 C^2} = \arctg \frac{2}{Z_{xg} \cdot \omega C}. \quad (4)$$

Тепер виведемо форму знаходження загального відбитого сигналу, який приходить з лінії $i_{\Sigma}(j\omega)$. Цей сигнал складається з двох складових: відбитого від завади з реактивним характером $i_C(j\omega)$ та з активним характером $i_R(j\omega)$.

$$i_{\Sigma}(j\omega) = i_C(j\omega) + i_R(j\omega). \quad (5)$$

В результаті перетворень модуль та фаза сумарного сигналу будуть мати наступний вигляд:

$$|i_{\Sigma}(j\omega)| = i_0 \cdot \left(Z_{xg}^2 \cdot \omega^2 C^2 \right) + \left(\frac{R - Z_{xg}}{R + Z_{xg}} \right)^2 + 2 \cdot (Z_{xg} \cdot \omega C) \times \left(\frac{R - Z_{xg}}{R + Z_{xg}} \right) \cdot (\cos(a) \cdot \cos(b) - \sin(a) \cdot \sin(b))^{1/2} \quad (6)$$

$$j_{\Sigma}(\omega) = \arctg \frac{\arctg(Z_{xg} \cdot \omega C) \cdot \sin(a) + \frac{R - Z_{xg}}{R + Z_{xg}} \cdot \sin(b)}{\arctg(Z_{xg} \cdot \omega C) \cdot \cos(a) + \frac{R - Z_{xg}}{R + Z_{xg}} \cdot \cos(b)} \quad (7)$$

На рис. 3 та 4 зображені амплітудно- та фазо-частотні характеристики.

Отже, як видно з графіків, на низьких частотах вплив об'єкта з реактивним характером представленим ємністю C зменшується, і значний вплив має сама лінія та об'єкт з активним характером.

Проводячи аналогічний розрахунок, для схеми з заводою з реактивним характером (рис. 5), яка представлена індуктивністю L , отримаємо наступне.

Амплітуда та фаза відбитого сигналу від завади з реактивним характером, яка представлена індуктивністю L , становить:

$$|i_{eid}(j\omega)| = \frac{\sqrt{4 \cdot \omega^4 L^4 + Z_{xg}^2 \cdot \omega^2 L^2}}{Z_{xg}^2 + 4 \cdot \omega^2 L^2} \quad (8)$$

$$j_{eid}(\omega) = \arctg \frac{Z_{xg}}{2 \cdot \omega L}. \quad (9)$$

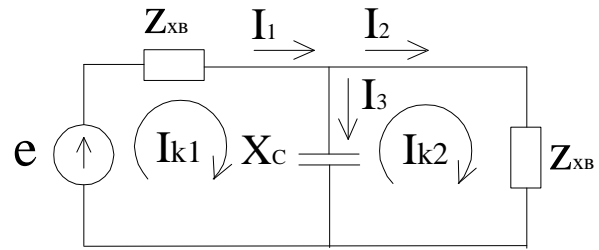


Рис. 2. Еквівалентна схема з неоднорідністю з реактивним (ємнісним) характером

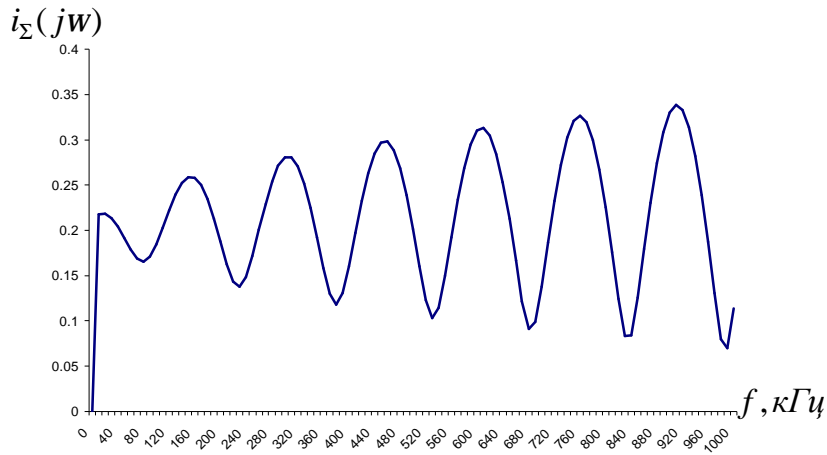


Рис. 3. Амплітудно-частотна характеристика відбитого сигналу від завад з реактивним та активним характером

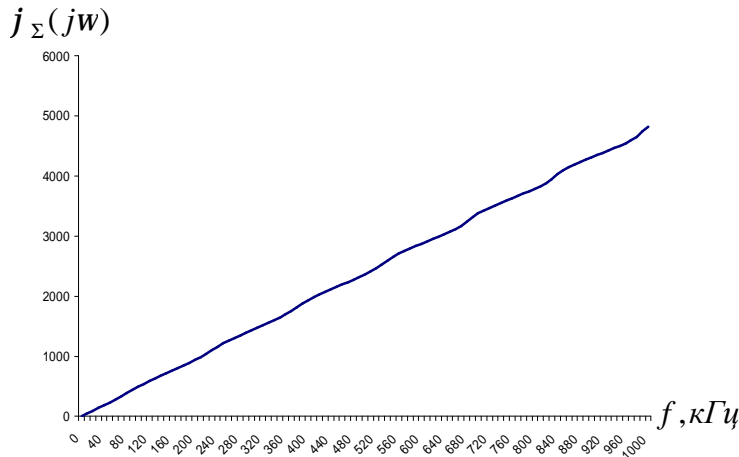


Рис. 4. Фазочастотна характеристика відбитого сигналу від завад з реактивним та активним характером

При проходженні сигналу через заваду з реактивним характером, представленим індуктивністю L , амплітуда $i_{np}(j\omega)$ та фаза мають вигляд:

$$|i_{np}(j\omega)| = \frac{\sqrt{Z_{x\epsilon}^2 + 4 \cdot \omega^2 L^2}}{Z_{x\epsilon}^2 + 4 \cdot \omega^2 L^2}, \quad (10)$$

$$j_{np}(\omega) = \arctg \frac{2 \cdot \omega L}{Z_{x\epsilon}} \quad (11)$$

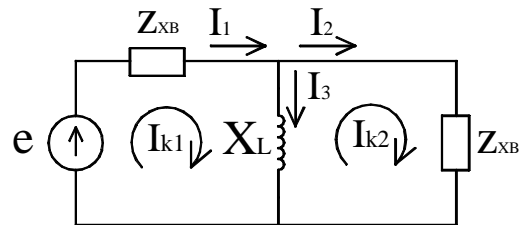


Рис. 5. Еквівалентна схема з завадою з реактивним характером, яка представлена індуктивністю L

Проводячи аналогічні розрахунки, як для завади з реактивним характером, представленим C , загальний сигнал для завади з реактивним характером, представленим L має вигляд:

$$|i_{\Sigma}(j\omega)| = i_0 \cdot \left[\frac{Z_{x\epsilon}^2}{\omega^2 L^2} + \left(\frac{R - Z_{x\epsilon}}{R + Z_{x\epsilon}} \right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{Z_{x\epsilon}}{\omega L} \right) \cdot \left(\frac{R - Z_{x\epsilon}}{R + Z_{x\epsilon}} \right) \times \right. \\ \left. \times (\cos(a) \cdot \cos(b) - \sin(a) \cdot \sin(b)) \right]^{1/2}, \quad (12)$$

де $\sqrt{\frac{Z_{x\epsilon}^2}{\omega^2 L^2}} = K_{\text{відб}} L$ – коефіцієнт відбиття від завади з реактивним характером.

$$j_{\Sigma}(\omega) = \arctg \frac{\arctg \left(\frac{Z_{x\epsilon}}{\omega L} \right) \cdot \sin(a) + \frac{R - Z_{x\epsilon}}{R + Z_{x\epsilon}} \cdot \sin(b)}{\arctg \left(\frac{Z_{x\epsilon}}{\omega L} \right) \cdot \cos(a) + \frac{R - Z_{x\epsilon}}{R + Z_{x\epsilon}} \cdot \cos(b)} \quad (13)$$

Амплітудно- та фазо-частотні характеристики представлені на рис. 6 та 7.

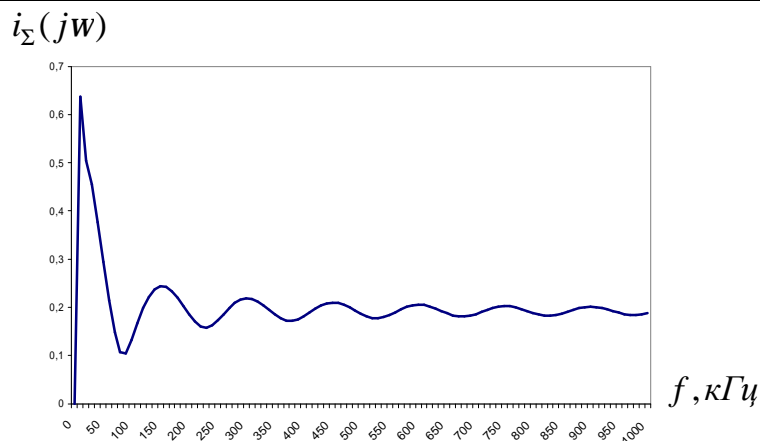


Рис. 6. Амплітудно-частотна характеристика відбитого сигналу від завад з реактивним та активним характером

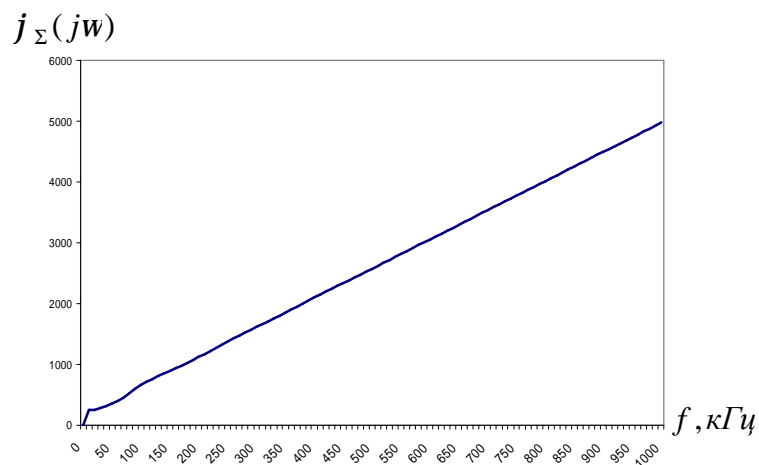


Рис. 7. Фазо-частотна характеристика відбитого сигналу від завад з реактивним та активним характером

Як видно з графіків, при великих частотах вплив об'єкта з реактивним характером представленим індуктивністю L збільшується з збільшенням частот, а вплив має сама лінія та об'єкт з активним характером такий же як і при наявності завади з ємнісним характером.

Висновок. Таким чином, в результаті проведеного дослідження видно, що неоднорідності з реактивним характером впливу суттєво впливають на зондуєчий сигнал, який проходить через лінію і повертається на приймач. Задача знаходження відстані між об'єктами ускладнюється тим, що об'єкти з реактивним характером змінюють не лише амплітуду сигналу, як об'єкти з активним характером, але і змінюється фазовий зсув сигналу.

Література

1. Применение методов фазометрии для прецизионного измерения расстояний. / Баженов В.Г., Батуревич Е.К., Маевский С.М., Куц Ю.В. – К.: Вища школа, Изд-во при Киев. ун-те, 1983. – 84 с.
2. Любчик В.Р., Горященко К.Л. Импульсно-фазовый метод вимірювання відстані до пошкодження низькочастотних ліній зв'язку // Вісник ТУП. – 2003. – С. 196-200
3. Любчик В. Р., Дем'янюк С. М. Дослідження потенційної точності та швидкодії спектрально-фазового методу вимірювання відстані // МНТЖ «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький, 2003. – № 1 (23). – С. 74-80.
4. Любчик В.Р. Розробка фазового методу вимірювання відстаней до двох об'єктів // Вісник ТУП. – Ч.1. – Том 3. 2004. № 4. – С. 108-114.
5. Любчик В.Р., Гнатюк О. І. Вимірювання відстаней до трьох об'єктів // Вісник ТУП. – 2005. – № 2. – С. 183-188.
6. Розробка аналітичного фазового методу вимірювання відстаней до трьох об'єктів. / Любчик В.Р., Сенчишина Ю.В., Параска Г.Б., Килимник О. М // Вісник ХНУ. – 2009. – № 2. – С. 146-151.
7. Белоцерковский Г.Б. Основы радиотехники и антенны. Часть I «Основы радиотехники. – М.: Советское радио, 1968. – 432 с.

Надійшла 6.12.2009 р.

АНАЛІЗ МЕТОДИЧНОЇ ПОХИБКИ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСОВОГО КРИТЕРІЮ НЕБЕЗПЕКИ В БОРТОВИХ СИСТЕМАХ ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗІТКНЕНЬ ЛІТАКІВ У ПОВІТРІ

Стаття присвячена дослідженню методичної похибки визначення часу до зіткнення літаків в бортових радіотехнічних системах попередження зіткнення. Розрахована величина похибки залежно від відстані прольоту літаків і наведено метод її компенсації.

This article is dedicated to the exploration of systematic inaccuracy of time calculating before airplanes collision in the airplanes radiotechnical airplanes collision warning systems. A value of inaccuracy is calculating depending on the distance of airplanes flights and the method of inaccuracy compensation is introduced.

Ключові слова: часовий критерій, мінімальна відстань прольоту.

В бортових системах попередження зіткнення (БСПЗ) літаків використовується в якості критерію безпеки час до зіткнення (τ) конфлікуючих літаків.

Залежно від напрямку руху зближення літаків і відстані їх прольоту виникає методична похибка виміру часу до зіткнення.

Метою цієї роботи є оцінити величину похибки виміру τ і виробити рекомендації з її корекції.

Відомо [1], що:

$$t = \frac{D}{V_p}, \quad (1)$$

де D – відстань між конфлікуючими літаками,
 V_p – радіальна швидкість зближення конфлікуючих літаків, яка визначається з допомогою апаратури БСПЗ.

Розглянемо випадок зближення двох літаючих апаратів (ЛА), які виконують прямолінійний політ з постійними швидкостями в двох горизонтальних площинах, які знаходяться одна від одної на відстані Δh . Схема руху об'єктів показана на рис. 1, з якого видно, що відносна швидкість $V_1 - V_2$ в горизонтальній площині представлена $V_{відн}$ і дорівнює

$$V_{відн} = (V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 \cdot V_2 \cos \beta)^{\frac{1}{2}}, \quad (2)$$

де V_1, V_2 – вектори швидкості літаків;
 β – відносний курс.

Радіальна швидкість зближення буде складати:

$$V_p = V_{відн} \cdot \cos q \cdot \cos g, \quad (3)$$

де θ – кут, який створений проекцією лінії візування двох ЛА на горизонтальну площину і лінією АВ, яка представляє геометричне місце точок, вказуючи відстань і азимут ЛА1 по відношенню до ЛА2;

γ – кут, створений у вертикальній площині лінією візування та її проекцією.

Вектор $2N$, перпендикулярний лінії АВ, характеризує мінімальну відстань до прольоту між ЛА1 та ЛА2.

Відстань прольоту двох ЛА до мінімальної точки зближення N буде складати:

$$d = t \cdot V_{відн}, \quad (4)$$

де t – істинний час прольоту двох ЛА від точки мінімального зближення N,
або

$$d = D \cdot \cos q \cdot \cos g \quad (5)$$

підставимо (3), (4) і (5) в (1) та отримаємо:

$$t = t / \cos^2 g \cdot \cos^2 q \quad (6)$$

або

$$t = t / \cos^2 a, \quad (7)$$

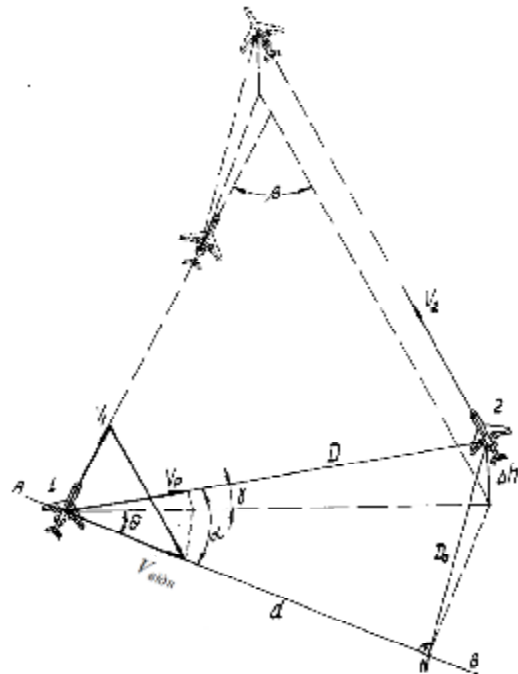


Рис. 1. Схема руху об'єктів

де α – кут, який створений лінією візування і прямою АВ та рівний виразу

$$a = \arctg \frac{D_0}{t \cdot V_{відн.}}. \quad (8)$$

З виразу (7) видно, що наближення значення часу до зіткнення “ τ ”, яке визначається апаратурою БСПЗ, відрізняється від істинного часу до зіткнення на величину Q раз.

$$Q = \cos^{-2} \left(\arctg \frac{D_0}{t \cdot V_{відн.}} \right). \quad (9)$$

Величина Q буде характеризувати методичну похибку визначення критерію τ , обумовлену геометрією польоту конфліктуючих ЛА.

Так як Q більше або рівно 1, вираз для відносної методичної похибки δ буде мати вигляд:

$$d = Q - 1 = \left(\frac{D_0}{t \cdot V_{відн.}} \right)^2. \quad (10)$$

З виразу (10) видно, що методична похибка δ прямопропорційна квадрату відстані мінімального прольоту між конфліктуючими ЛА і обернено пропорційна квадрату відстані прольоту двох ЛА до мінімальної точки зближення.

Як видно з рис. 1 відстань D_0 залежить від висоти, напрямку і швидкості V_1, V_2 двох ЛА. При постійних значеннях $\Delta h, \beta, V_1, V_2$ величина D_0 також постійна. При визначенні значення $D_0 \ll D$ і великій відносній швидкості, τ представляє собою наближення до істинного часу прольоту t . Однак зі зменшенням швидкості наближення величини прольоту τ буде суттєво відрізнятися від істинного часу в сторону збільшення, що є не бажаним.

Визначимо значення t , при якому τ буде мати мінімальну величину для визначення значення $V_{відн.}$ та D_0 . Це дозволить знайти граничні умови застосування в БСПЗ критерію τ .

$$\frac{\partial \tau}{\partial t} = \frac{\cos^2 \left(\arctg \frac{D_0}{t \cdot V_{відн.}} \right) - \sin \left(2 \arctg \frac{D_0}{t \cdot V_{відн.}} \right) D_0 / t \cdot V_{відн.} \left(1 + \frac{D_0^2}{t^2 \cdot V_{відн.}^2} \right)}{\cos^4 \left(\arctg \frac{D_0}{t \cdot V_{відн.}} \right)} = 0. \quad (11)$$

Розв'язок рівняння (11) буде мати вигляд:

$$t_E = \frac{D_0}{V_{відн.}}. \quad (12)$$

Підставимо значення t в (7) та (8) і отримаємо:

$$t_{\min} = 2t_E. \quad (13)$$

Таким чином, мінімальне значення τ , яке можливо визначити з допомогою БСПЗ, буде в два рази більше істинного значення часового прольоту мінімальної відстані між ЛА.

На рис. 2 представлені криві, які характеризують відносну методичну похибку у відповідності з виразом (10). При заданому значенні похибки визначення критерію τ та D_0 ($D_0 \ll D_{0\max}$), будуть накладатися обмеження в БСПЗ по мінімальній відносній швидкості зближення ($V_{відн.} > V_{відн. \min}$).

Для зменшення методичної похибки при малих швидкостях зближення ЛА необхідно ввести в БСПЗ корегуючий пристрій компенсації τ . Даний пристрій повинен реалізовувати вираз, отриманий з (6) та (3), зручний для реалізації:

$$t = \tau \left(\frac{V_P}{V_{відн.}} \right)^2. \quad (14)$$

Величини V_P та τ визначаються в пристрої знаходженням значення $\tau, V_{відн.}$ знаходяться з допомогою виразу (2), з якого видно, що для реалізації корекції τ необхідно отримати додаткову інформацію про направлення та швидкість руху конфліктуючого ЛА.

Похибка знаходження шляхових швидкостей конфліктуючих ЛА з допомогою доплерівських вимірювачів швидкості складає 1 % [3], а точність визначення азимуту цих ЛА апаратурою РСБН-2 складає $\pm 0,2$ [4], значення методичної похибки визначення критерію τ з врахуванням складової швидкості буде в декілька разів менше наведеної на рис. 2. Загальна структурна схема корегуючого пристрою показано на рис. 3, де ФП – функціональний перетворювач ($\cos \beta$), МПП – помножуючий пристрій.

Для отримання величин V_1^2, V_2^2, V_P^2 , МПП працює в режимі квадратора.

На вхід поступає інформація про радіальну швидкість зближення V_P , швидкість польоту першого та другого ЛА (V_1, V_2), їх курс (ϕ_1, ϕ_2), час до зіткнення τ, K – масштабний коефіцієнт.

Приведений пристрій корекції τ може бути реалізовано з допомогою типових аналогових, цифрових та гібридних обчислювальних структур, широко застосованих в сучасних навігаційних обчислювальних пристроях (4).

Розглянуто випадок руху двох ЛА в горизонтальній площині. В реальному випадку можливе переміщення ЛА і у вертикальному напрямі, тобто рівномірний набір або зниження висоти. Неважко довести, що висновки, зроблені раніше, будуть вірні і для цього випадку. Так як вертикальна складова швидкості зближення σ (Δh)/ σt в звичайних режимах польоту набагато менше горизонтальної, враховувати її при корекції τ недоцільно.

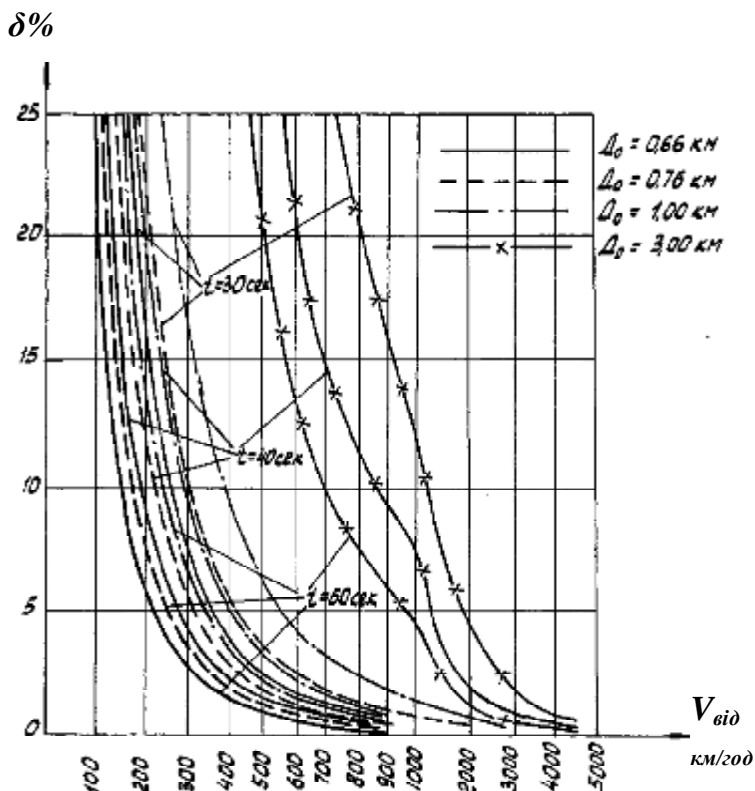


Рис. 2. Залежність методичної похибки від відносної швидкості

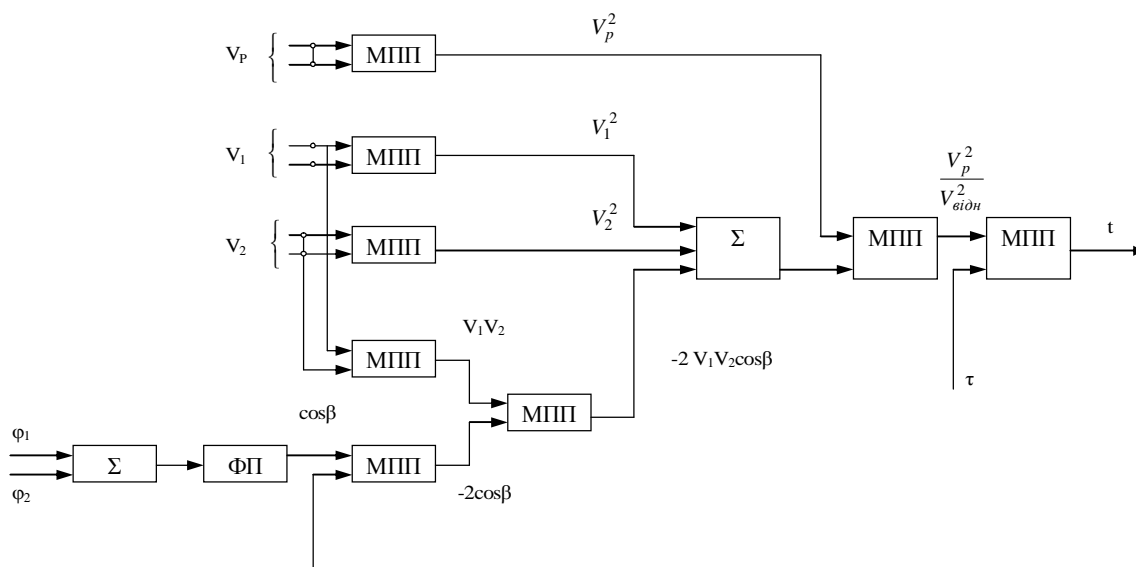


Рис. 3. Структурна схема коректуючого пристрою

Висновки

1. Методична похибка визначення τ обумовлена геометрією польоту конфліктуючих ЛА в БСПЗ, яка знаходиться в оберненопропорційній залежності від квадрату швидкості зближення конфліктуючих ЛА. При великих швидкостях зближення τ являє наближення істинного часу до зіткнення.
2. Мінімальне значення τ , яке можливо визначити з допомогою БСПЗ, буде в два рази більше істинного значення часового прольоту мінімальної відстані між ЛА.
3. При малих швидкостях зближення ЛА для зменшення методичної похибки визначення критерію τ необхідно вводити корекцію по τ , для того потребується додатково ввести інформаційний обмін між конфліктуючими ЛА про швидкість і напрям руху.

Література

1. Яновицький С.О. Способи дискретного вимірювання часового критерію небезпеки у вторинних радіолокаційних системах попередження зіткнення літаючих апаратів // Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1997. – № 1. – С. 101-104.
2. Кичак В., Яновицький С. Методи підвищення точності визначення часу до зіткнення літаючих

апаратів в бортових радіотехнічних системах // «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (СПРТП-2009). Матеріали доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції. М. Вінниця, 10 жовтня 2009р.с.66

3. Колчинский В.Е., Мандуровский И.А., Константиновский М.И. Допплеровские устройства и системы навигации. – М.: Сов. радио, 1975. – 343 с.

4. Одинцов В.А. Радионавигация летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1968. – 280 с.

Надійшла 6.12.2009 р.

УДК 622.271.001: 621.311.1

А.А. ШИЯН, Ю.А. ШУЛЛЄ
Вінницький національний технічний університет

МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ХАРАКТЕРИСТИК І ВИСОКОАМПЛІТУДНИХ ВІДХИЛЕНЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Для опису характеристик електричних навантажень електротехнічних комплексів запропоновано використати кортеж, що складається із характеристик, як самого випадкового процесу, так і статистичних характеристик його відхилень від середнього значення. Показано, що такий процес може бути охарактеризовано показником Херста. Запропоновано метод та його алгоритмічну реалізацію для ідентифікації характеристик електричних навантажень та для ідентифікації високоамплітудних відхилень електричних навантажень електротехнічних комплексів.

For the description of electrical loads characteristics for electrotechnical complexes it is offered to use a tuple which consists of characteristics, such as the stochastic process and statistical characteristics of its deviations average value. It is shown that such process can be described by Hurst's metric. It was offered the method and its algorithmic implementation for identification of electrical loads characteristics and for identification of highamplitude deviations of electrical loads at the electrotechnical complexes.

Ключові слова: електричне навантаження, електротехнічний комплекс.

Вступ

Проблеми оптимізації електричних навантажень електротехнічних комплексів мають дві важливі сторони. По-перше, це оптимізація електроспоживання. По-друге, це задача ідентифікації критичних відхилень в навантаженнях, які можуть призвести до надзвичайних ситуацій в мережі постачання. Розв'язання обох цих задач базується на швидкій ідентифікації високоамплітудних відхилень електричних навантажень, таким чином, ця задача зберігає свою наукову актуальність та практичну важливість.

Внаслідок збільшення кількості електротехнічних комплексів стрімко зростає нерівномірність електричних навантажень. Якщо раніше стратегія прогнозування електричних навантажень для таких систем полягала у дослідженні електротехнічного комплексу, пов'язаного із конкретним підприємством [1, 2], то тепер необхідно розглядати задачу із багатьма джерелами електроспоживання, що вимагає застосування інших методів ідентифікації та прогнозування.

До того ж раніше диспетчерський пункт обслуговував, як правило, один електротехнічний комплекс, в економічних умовах сучасної України він обслуговує вже багато таких комплексів. Неузгодженість технологічних циклів цих комплексів призводить до того, що випадкова складова в електроспоживанні стає вирішальною.

Задачі такого типу останнім часом розв'язанні для електророзподільних систем [3, 4]. Проте розглянуто лише задачі із відомими статистичними характеристиками електроспоживання, що і призводить до задачі про ідентифікацію та прогноз навантажень електротехнічних комплексів.

Метою статті є розробка математичного методу для ідентифікації високоамплітудних відхилень електричних навантажень електротехнічних комплексів.

Основний розділ

Ідентифікація низько- та середньоамплітудних відхилень електричних навантажень електротехнічних комплексів може бути вирішена відомими методами [1, 2, 5]. Для ідентифікації високоамплітудних відхилень потрібно застосовувати інші методи внаслідок їх більшої важливості для прийняття рішень.

Високоамплітудні відхилення зумовлені наявністю великої кількості окремих споживачів (електротехнічних комплексів), що виникають на фоні випадкового процесу і самі мають випадковий характер. Необхідно також врахувати, що високоамплітудні відхилення електричних навантажень електротехнічних комплексів мають тенденцію до швидкого розгортання у часі.

Випадковий процес характеризується середнім значенням електричних навантажень $\langle \xi \rangle_\tau$, де τ – час спостережень. Для потреб управління електричними навантаженнями електротехнічних комплексів необхідно знати максимальне та мінімальне значення навантаження ξ , а також розмах навантажень Δ_τ протягом часу спостережень. Це необхідно, з одного боку, для прогнозу поточного управління і, з іншого боку, для модифікації електропостачальної мережі.

Таким чином, в першому наближенні характеристики електричних навантажень системи електротехнічних комплексів можуть бути представлені у вигляді кортежу $K = \{ \langle \zeta \rangle_t, \max_t \zeta, \min_t \zeta, \Delta_t \}$, де Δ_t визначено за такою формулою

$$\Delta_t = \max_t x - \min_t x. \quad (1)$$

При записі кортежу K та формули (1) було враховано, що всі визначені нами значення залежать від часу спостережень. Зокрема, в них природнім чином може входити зміна системи електротехнічних комплексів, системи електропостачання тощо.

В останні роки зростає увага до використання енергозберігаючих технологій. До таких же задач призводить задача оптимізації продажу електроенергії в умовах її надлишку та закупівля електроенергії за умов її недостатності (добові та сезонні цикли) [1]. Для цих задач кортеж K повинен бути доповнений такими характеристиками випадкового процесу (записано для дискретного процесу – узагальнення на неперервний випадок не вимагає ускладнень):

$$X(t, \tau) = \sum_{i=1}^{\tau} \{x(i) - \langle x \rangle_t\}, \quad (2)$$

$$R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau), \quad (3)$$

де $0 < t < \tau$.

Величина $X(t, \tau)$ є накопиченим відхиленням значення випадкового процесу – це фактично є накопичені відхилення електричних навантажень системи електротехнічних комплексів.

Величина $R(\tau)$ – це розмах відхилень. Вона дорівнює величині резервної потужності, яка необхідна для підтримання середнього електричного навантаження для заданої системи електротехнічних комплексів протягом розглядуваного часу τ .

Таким чином, кортеж, який характеризує електричні навантаження системи електротехнічних комплексів записується, в кінцевому підсумку, в такому вигляді:

$$K_t = \{ \langle x \rangle_t, \max_t x, \min_t x, \Delta_t, X(t, \tau), R(\tau) \}. \quad (4)$$

Всі характеристики кортежу (4) можуть бути безпосередньо виміряні. Всі вони мають безпосередній прикладний смисл, і можуть бути використані в організації управління електричним навантаженням системи електротехнічних комплексів.

Для кортежу (4) можна обрахувати показник Херста H за формулою [6]

$$\frac{R}{S} = const \cdot t^H, \quad (5)$$

де σ^2 – дисперсія випадкового процесу ζ .

Якщо показник Херста $H > 1/2$, випадковий процес називають персистентним – таким, що підтримує поточну тенденцію. Наприклад, якщо значення перемінної зростає, то в наступний момент часу також буде зростання. Процеси із показниками $H < 1/2$ називаються, відповідно, антиперсистентними: інтерпретація їх очевидна.

Випадковий процес із $H = 1/2$ відповідає броунівському випадковому процесу [7], для якого відсутні ефекти пам'яті.

Для коректного обчислення показника Херста потрібно мати понад 10^3 точок [7].

Будуючи методи ідентифікації характеристик та високоамплітудних відхилень, вважаємо, що вимірювальна апаратура працює у дискретному режимі.

Співвідношення (5) можна використати для побудови методу для ідентифікації характеристик навантажень електротехнічних комплексів. Алгоритм цього методу може бути записано таким чином:

1. Визначаються та відслідковуються значення характеристик кортежу (4), а також показника Херста H за (5) та значення σ .

2. За значеннями $\langle \zeta \rangle_t, \max_t \zeta, \min_t \zeta, \Delta_t, R(\tau)$ розробляємо систему управління усередненими значеннями навантажень електротехнічних комплексів.

3. Періодично циклічно повторювати етапи 1 та 2. В якості характерного проміжку часу для повторень можна взяти час Δ_{t0} , за який автокореляційна функція для розмаху відхилень $R(\tau)$ вперше отримує нульове значення.

Визначивши показник Херста можна побудувати алгоритм для ідентифікації високоамплітудних відхилень навантажень електротехнічних комплексів. Ідентифікація високоамплітудних відхилень проходить у два етапи. Перший – це моніторинг відхилень, свого роду «фоновий режим» (дискретність вимірів задається часом Δ_{t0} , дивись нижче). Коли ідентифікується «небезпечна» щодо амплітудного відхилення ситуація, то час дискретизації зменшується на порядок, а апаратура управління, яку задіюють в таких ситуаціях (наприклад, аварійного відключення) приводиться до стану готовності.

Алгоритм розкладається на 2 випадки – для показника $H \geq 1/2$ та $H < 1/2$, відповідно.

Показник Херста $H \geq 1/2$.

1. Будуємо автокореляційну функцію для процесу ζ та визначаємо період кореляції Δ_{t0} .

2. Визначаємо значення величини приросту процесу ζ послідовно за час Δ_{t0} і $2\Delta_{t0}$. Якщо обидва ці прирости перевищують кожен раз σ , то можна вважати, що ситуація відповідає високоамплітудному

відхиленню і переходимо до відповідного алгоритму дій, який полягає в проведенні замірів через на порядок менший проміжок часу. При цьому задіється апаратура, що повинна реагувати на такі відхилення.

Показник Херста $H < 1/2$.

1. Будуємо автокореляційну функцію для процесу ζ та визначаємо період кореляції Δ_{10} .

2. Визначаємо величину та знак приросту процесу ζ послідовно за час Δ_{10} і $2\Delta_{10}$. Якщо обидва рази цей приріст має один і той же знак, а його сумарна величина перевищує σ , то можна вважати, що ситуація відповідає високоамплітудному відхиленню і переходимо до відповідного алгоритму дій.

Конкретні числові значення для характеристик методу можуть бути отримані із імітаційного моделювання.

Висновки

Побудована математична модель для опису характеристик електричних навантажень електротехнічних комплексів як випадкового процесу. Для характеристик запропоновано використати кортеж, що складається із характеристик як самого випадкового процесу, так і статистичних характеристик його відхилень від середнього значення. Показано, що такий процес може бути охарактеризовано показником Херста.

На основі побудованого кортежу запропоновано метод та його алгоритмічну реалізацію для ідентифікації характеристик електричних навантажень та для ідентифікації високоамплітудних відхилень електричних навантажень електротехнічних комплексів.

Література

1. Рогальський Б.С. Методи визначення і прогнозування електричних навантажень промислових підприємств: монографія. – Вид-во «Вінниця», 1996. – 96 с. ISBN 966-527-029-X.
2. Рогальський Б.С., Войтюк Ю.П. Контроль електроспоживання гірничих машин і технологічних властивостей гірських порід: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009. – 80 с. ISBN 978-966-641-298-3.
3. Лежнюк П.Д., Комар В.О. Оцінка якості оптимального керування критеріальним методом: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 107 с. ISBN 966-641-201-2.
4. Лежнюк П.Д., Остра Н.В., Зелінський В.Ц. Оцінювання чутливості оптимального керування режимами електроенергетичних систем критеріальним методом: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 131 с. ISBN 978-966-641-256-3.
5. Рогальський Б.С., Лисогор Ю.А. Моделі багатокритеріальної оцінки визначення та прогнозування електричних навантажень гірничих підприємств: модульний підхід // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2005. – № 6. – С.101-109.
6. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с. ISBN 5-03-001712-7.

Надійшла 3.12.2009 р.

УДК 621.391

Р.М. ДІДКОВСЬКИЙ, С.С. ГУЗНІН
Черкаський державний технологічний університет

ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ХАОТИЧНОЇ МОДУЛЯЦІЇ З ДОДАВАННЯМ ОРТОГОНАЛІЗОВАНОЇ ЗАТРИМАНОЇ КОМПОНЕНТИ

Представлені методика та результати теоретичного і експериментального дослідження завадостійкості приймача шумових ортогоналізованих сигналів у каналі, де діє адитивний білий гауссовий шум. Створено макет системи прийому-передачі шумових ортогоналізованих сигналів через радіочастотний кабель. Досліджено параметри побудованої системи зв'язку.

In paper proposed methods and results of theoretical and experimental researches of noise stability of receiver that based on noisy orthogonal signal with transmission via AWG channel. Was created and researched performance of layout of the transmission-reception system with transmission via radiofrequency cable.

Ключові слова: приймачі ортогоналізованих сигналів, радіочастотні кабелі, дослідження.

Постановка задачі. Проблема створення систем зв'язку, в яких роль носія виконував би шумовий сигнал, турбувала вчених і практиків ще в п'ятдесятих-сімдесятих роках минулого століття [1-3]. Однак, можливості тогочасної елементної бази не дозволили широкомасштабного впровадження такого типу систем. Результатом досліджень у даному напрямку стали надширококустові системи з псевдошумовими сигналами [4-5]. Сучасний стан розвитку техніки і методів цифрової обробки сигналів дозволяє на новому рівні підійти до питання розробки систем зв'язку на базі шумових сигналів [6].

Під шумовим сигналом розуміємо реалізацію деякого випадкового процесу. Будемо надалі вважати, що даний випадковий процес – стаціонарний з нормальним розподілом і нульовим математичним сподіванням.

Зберігаючи всі позитивні якості ширококугових систем передачі інформації, системи з шумовими сигналами мають високий рівень скритності передачі даних і практично гарантують неможливість "підслуховування", що підтверджує актуальність створення та дослідження систем зв'язку на базі шумових сигналів. Крім того системи зв'язку даного типу стійкі до проблем багатохвильового розповсюдження сигналу.

В [7] вміщено дослідження завадостійкості системи з протилежними сигналами, яка вперше запропонована в [8] (див. рис. 1). Це бінарна система зв'язку з відносною фазовою маніпуляцією шумового сигналу, в якій вихідний сигнал передавача протягом символного інтервалу $[0; T)$ має вигляд

$$y(t) = \begin{cases} x(t) + x(t - t), & I(t) = 0, \\ x(t) - x(t - t), & I(t) = 1, \end{cases}$$

де $x(t)$ – сигнал на виході генератора шуму, t – параметр затримки, а $I(t)$ – біт інформаційного повідомлення, що передається в поточний момент. Структура цього сигналу така, що пристрій має високий рівень власних завад, а отже недостатню завадостійкість [9, 10].

Метою даної роботи є: 1) відшукування способів зменшення рівня власних завад системи зв'язку з відносною фазовою маніпуляцією шумових сигналів; 2) аналітичне та статистичне дослідження завадостійкості вдосконаленої системи; 3) визначення швидкості передачі інформації по радіочастотному кабелю при заданому рівні імовірності помилки передачі біта.

Вирішення задачі

Для вирішення поставленої задачі доповнимо схему передавача пристроєм, який будемо називати «ортогоналізатором» (див. рис. 2). Зауважимо одразу, що параметр затримки в модифікованій системі зручно вибрати рівним тривалості символного інтервалу: $t = T$.

Ортогоналізатор реалізує наступну модель перетворення сигналу

$$z(t) = x(t - T) - \frac{\int_0^T x(t - T) \cdot z(t - T) dt}{\int_0^T z(t - T)^2 dt} \cdot z(t - T) - \frac{\int_0^T x(t - T) \cdot z(t - 2T) dt}{\int_0^T z(t - 2T)^2 dt} \cdot z(t - 2T). \tag{1}$$

Сигнал $z(t)$, що спостерігається на виході, буде ортогональним до сигналів двох попередніх символних інтервалах. Сигнали на виході інтеграторів змінюють своє значення лише на межі символних інтервалів (рис. 3). В результаті на поточному символному інтервалі будуть діяти коефіцієнти обчислені на попередньому інтервалі. Щоб усунути цю проблему вхідні сигнали ортогоналізатора мають бути затримані на час T .

$$y(t) = \begin{cases} z(t) + z(t - T), & I(t) = 0, \\ z(t) - z(t - T), & I(t) = 1, \end{cases} \tag{2}$$

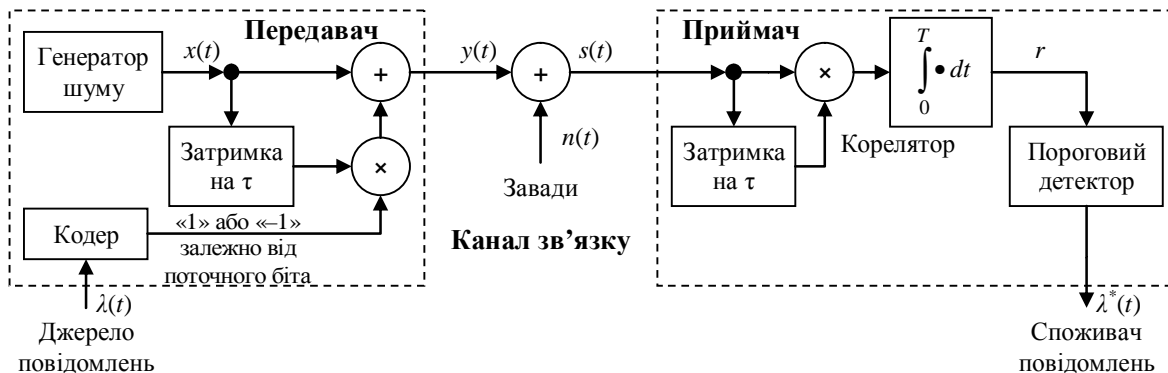


Рис. 1. Пристрій для передачі інформації з використанням протилежних шумових сигналів

Зауважимо, що на структуру та алгоритм роботи приймача вказана модифікація системи ніяк не впливає. На вході приймача спостерігається сигнал виду

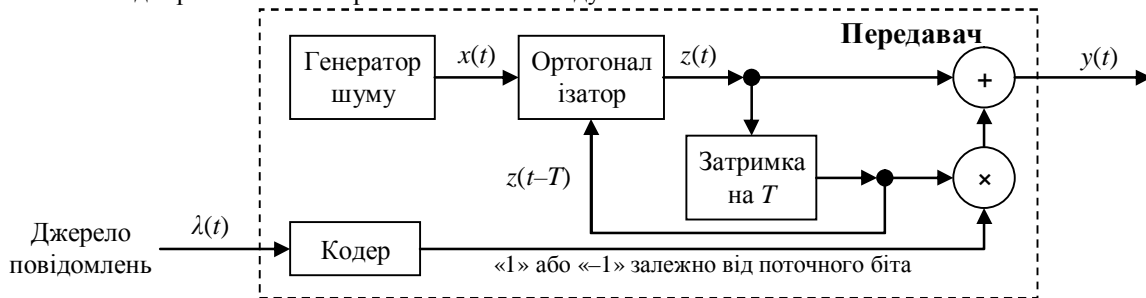


Рис. 2. Модифікована структурна схема передавача

З урахуванням внесених в структуру передавача змін маємо, що сигнал на виході передавача набуде вигляду:

$$s(t) = y(t) + n(t), \quad (3)$$

де $n(t)$ – адитивна завада каналу зв'язку.

Значення сигналу на виході корелятора оновлюється в кінці кожного символного інтервалу і визначається величиною

$$r = \int_0^T s(t)s(t-T)dt = \int_0^T (y(t) + n(t))(y(t-T) + n(t-T))dt. \quad (4)$$

Обчислене значення r надходить до порогового детектора, який, залежно від знака r , надсилає до споживача повідомлень „0”, якщо $r > 0$, або „1”, якщо $r < 0$.

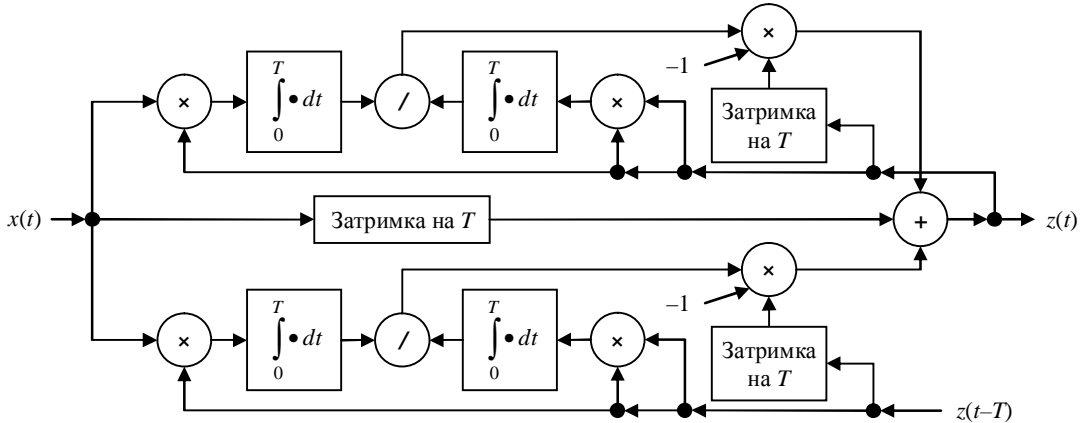


Рис. 3. Структурна схема ортогоналізатора

В розгорнутому вигляді при передачі „0” формула (4) запишеться так

$$r = \int_0^T z(t-T)z(t-T)dt + \int_0^T z(t)z(t-T)dt + \int_0^T z(t)z(t-2T)dt + \int_0^T z(t-T)z(t-2T)dt + \int_0^T z(t)n(t-T)dt + \int_0^T z(t-T)n(t-T)dt + \int_0^T n(t)z(t-T)dt + \int_0^T n(t)z(t-2T)dt + \int_0^T n(t)n(t-T)dt. \quad (5)$$

Лише перший доданок формули несе корисну інформацію. Та на відміну від схеми запропонованої в [8] доданки 2, 3, 4 не збільшують невизначеність результату, оскільки дорівнюють нулю.

Якщо імовірність появи в інформаційному повідомленні „0” і „1” однакова, то теоретична оцінка імовірності помилки передачі біта в системі зв'язку зводиться до обчислення інтегралу

$$P_{ном} = \int_{-\infty}^0 f_r(r)dr, \quad (6)$$

де $f_r(x)$ – функція щільності розподілу величини r .

При цифровій обробці фрагмент вхідного сигналу приймача (3), що спостерігається на i -му символному інтервалі, набуде вигляду вектора $\bar{s}_i = (s_{1,i}, s_{2,i}, \dots, s_{N,i})$, де $s_{i,j} = s_i(t_j)$, $t_j = \Delta t \cdot (j-1)$, $j = 1, 2, \dots, N$, N – кількість відліків сигналу, що утворюються протягом символного інтервалу, Δt – період дискретизації. Будемо вважати, що період дискретизації багато більший інтервалу кореляції генерованого сигналу $x(t)$ та завад каналу зв'язку $n(t)$. Тоді координати вектора \bar{s} є незалежними випадковими величинами розподіленими за одним законом (в силу стаціонарності процесів).

Позначимо \bar{z}_i , \bar{z}_{i-1} та \bar{z}_{i-2} – вектори, що утворюються в результаті дискретизації сигналу $z(t)$ протягом трьох послідовних символних інтервалів. Тоді формула (1) запишеться у вигляді

$$\bar{z}_i = \bar{x}_{i-1} - \frac{\langle \bar{x}_{i-1}, \bar{z}_{i-1} \rangle}{\langle \bar{z}_{i-1}, \bar{z}_{i-1} \rangle} \bar{z}_{i-1} - \frac{\langle \bar{x}_{i-1}, \bar{z}_{i-2} \rangle}{\langle \bar{z}_{i-2}, \bar{z}_{i-2} \rangle} \bar{z}_{i-2},$$

де $\langle \cdot, \cdot \rangle$ – символ скалярного добутку.

Формула (5) з урахуванням (1) і (2) в дискретному часі набуде вигляду

$$r_i = \langle \bar{s}_i, \bar{s}_{i-1} \rangle = \langle \bar{z}_{i-1}, \bar{z}_{i-1} \rangle + \langle \bar{z}_i, \bar{n}_{i-1} \rangle + \langle \bar{z}_{i-1}, \bar{n}_{i-1} \rangle + \langle \bar{z}_{i-1}, \bar{n}_i \rangle + \langle \bar{z}_{i-2}, \bar{n}_i \rangle + \langle \bar{n}_i, \bar{n}_{i-1} \rangle.$$

Розподіл величини r_i має негауссовий характер навіть за умов гауссового розподілу процесів $x(t)$ та $n(t)$. При $N=1$ число r_i дорівнює

$$r_i = z_{1,i-1}^2 + z_{1,i}n_{1,i-1} + z_{1,i-1}n_{1,i-1} + z_{1,i-1}n_{1,i} + z_{1,i-2}n_{1,i} + n_{1,i}n_{1,i-1}.$$

Виразимо з цієї рівності $n_{1,i-1}$, отримаємо

$$n_{1,i-1} = \frac{r_i - z_{1,i-1}^2 - z_{1,i-1}n_{1,i} - z_{1,i-2}n_{1,i}}{z_{1,i} + z_{1,i-1} + n_{1,i}}, \quad \frac{\partial n_{1,i-1}}{\partial r_i} = \frac{1}{z_{1,i} + z_{1,i-1} + n_{1,i}}.$$

Тоді за [11] отримаємо, що функція щільності розподілу $f_r(r,1)$ величини r при $N=1$ і передачі «0» ($I_i = 0$) має вигляд

$$f_r(r,1) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(z_{1,i},0,\sqrt{D(z)}) \cdot f(z_{1,i-1},0,\sqrt{D(z)}) \cdot f(z_{1,i-2},0,\sqrt{D(z)}) \cdot f(n_{1,i},0,\sqrt{D(n)}) \cdot f\left(\frac{r - z_{1,i-1}^2 - z_{1,i-1}n_{1,i} - z_{1,i-2}n_{1,i}}{z_{1,i} + z_{1,i-1} + n_{1,i}},0,\sqrt{D(n)}\right) \cdot \frac{1}{|z_{1,i} + z_{1,i-1} + n_{1,i}|} dz_{1,i} dz_{1,i-1} dz_{1,i-2} dn_{1,i},$$

де $f(x,a,s) = \frac{1}{\sqrt{2ps}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2s^2}}$ – функція щільності нормального розподілу, $D(z)$ та $D(n)$ – дисперсії відповідних процесів.

Для більших значень N функцію щільності $f_r(r,N)$ можна отримати рекурсивно як згортку пари функцій при N_1 і N_2 таких, що $N_1 + N_2 = N$. Наприклад

$$f_r(r,2) = \int_{-\infty}^{\infty} f_r(x,1) \cdot f_r(r-x,1) dx.$$

На рис. 4 проілюстровано результати побудови функції щільності величини r за вказаними вище формулами при $D(x)=1$ та $D(n)=2$. Тоді $D(y) = 2D(x) = 2$, і відношення сигнал/шум $q = \frac{D(y)}{D(n)} = 1$.

Відповідні результати розрахунку імовірності помилки, проведені за формулою (6), наведено в таблиці 2.

Імітаційне моделювання даної системи дає змогу оцінити її завадостійкість шляхом моделювання роботи кожного елемента схем рис. 1 та рис. 2. Проведення серії імітаційних обчислювальних експериментів дозволяє перевірити адекватність теоретичних розрахунків. Побудова імітаційної моделі виконана у середовищі програмування Delphi 10.

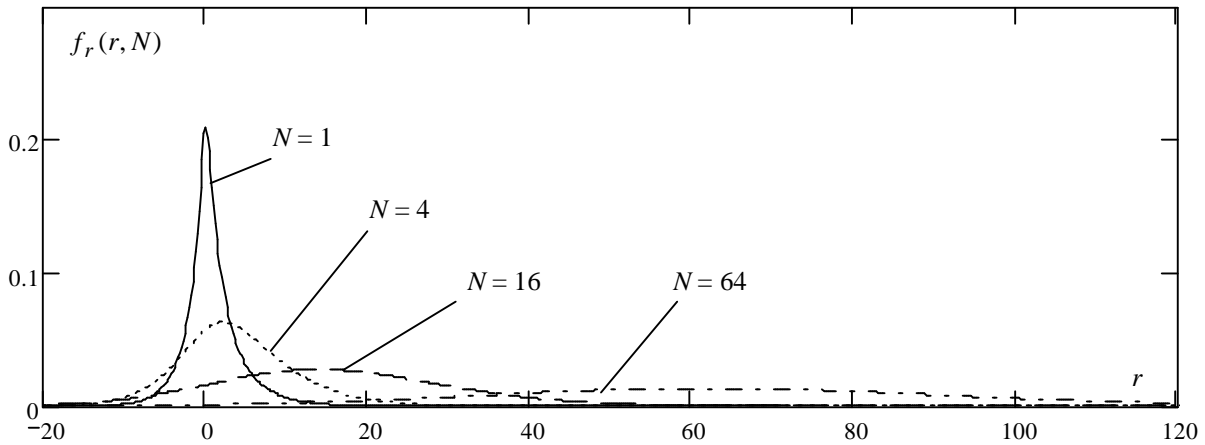


Рис. 4. Функція щільності розподілу величини r

До вхідних параметрів системи належать: кількість відліків на один символний інтервал N (об'єм вибірки), кількість символів (біт) в інформаційному повідомленні Ns , значення відношення сигнал/шум q . Вихідний параметр – кількість помилок при проходженні сигналу через канал зв'язку Ne . Тоді відношення $P_{ном_іміт} = \frac{Ne}{Ns}$ є експериментальною оцінкою імовірності помилки передачі біта інформації через дану систему зв'язку.

Узагальнений алгоритм функціонування імітаційної моделі системи відображено на рис. 5.

В якості генератора шуму (рис. 1) програма використовує функцію `randg (m, σ)`, яка генерує послідовність випадкових чисел, розподілених за нормальним законом з математичним сподіванням m і середньоквадратичним відхиленням σ , та входить до складу модуля System середовища програмування «Delphi 10». Для перевірки якості даного генератора сформуємо за його допомогою вибірку об'ємом 10^6 , розрахуємо для цієї вибірки кумулянтні коефіцієнти (табл. 1) та побудуємо гістограму (рис. 6).

Таблиця 1
Кумулянтні коефіцієнти обчислені для вибірки згенерованої функцією `randg ()`

Порядок	Значення	Порядок	Значення
1	-0.00019	6	0.02202
2	1	7	-0.04324
3	-0.00089	8	0.09895
4	-0.00789	9	-0.18313
5	0.00924	10	-1.21032

З рисунку видно, що гістограма утвореної вибірки добре відтворює форму функції щільності нормального розподілу. Крім того, значення вибірових кумулянтних коефіцієнтів добре узгоджуються з теоретичними (всі дорівнюють 0, за виключенням другого, який дорівнює 1). Отже, можемо зробити висновок, що вказаний спосіб генерації шумової послідовності має задовільні статистичні характеристики і може бути використаний в моделі системи зв'язку.

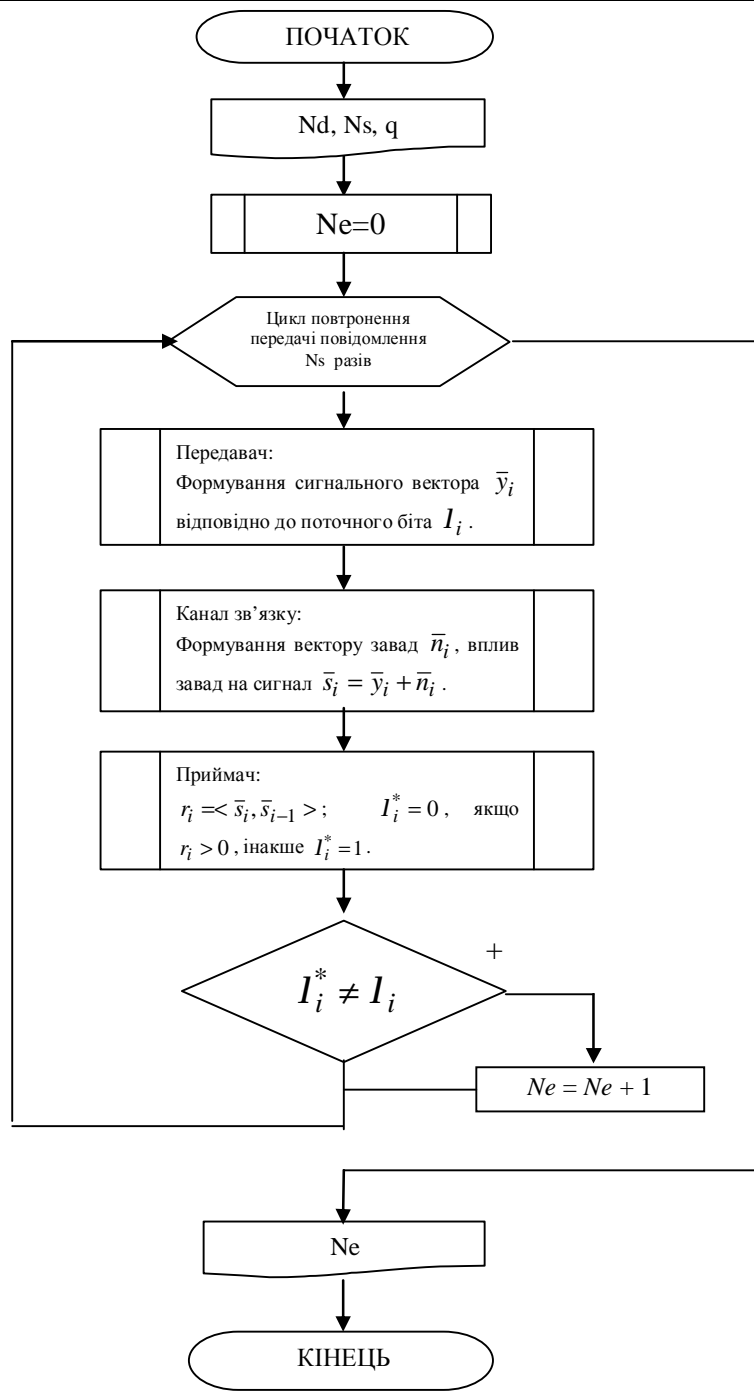


Рис. 5. Узагальнена блок-схема імітаційної моделі

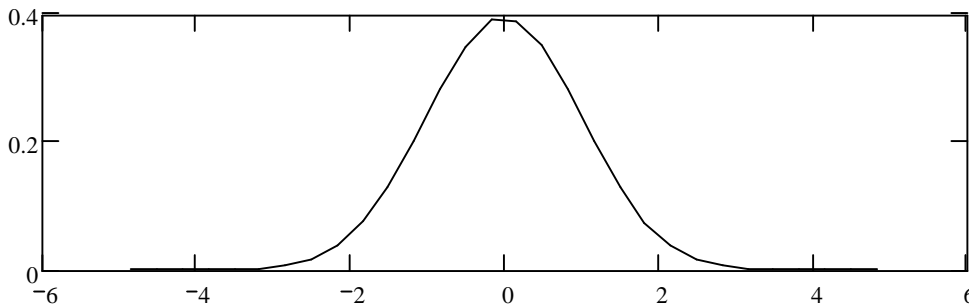


Рис. 6. Гістограма емпіричного розподілу вибірки згенерованою функцією `randg (0, 1)`

В таблиці 2 наведено результати теоретичної оцінки та даних імітаційного моделювання імовірності виникнення помилки передачі біта для систем з ортогоналізованими та неортогоналізованими сигналами залежно від кількості відліків на символному інтервалі при значенні відношення сигнал/шум рівному одиниці. Середнє значення модуля відносної величини відхилення даних імітаційного моделювання від

даних теоретичних розрахунків дорівнює $d_c = \frac{1}{N} \sum \left| \frac{P_{ном_іміт} - P_{ном_теор}}{P_{ном_теор}} \right| \approx 10.94\%$. Отже результати експериментальних досліджень добре узгоджуються з теоретичними оцінками.

Таблиця 2

Дані математичного розрахунку та імітаційного моделювання імовірності виникнення помилки прийому біта в системі з ортогоналізованими сигналами

Кількість відліків на символному інтервалі, N	Імовірність виникнення помилки			
	Системи з ортогоналізованою затриманою компонентою		Без ортогоналізації	
	теоретичний розрахунок	дані імітаційного моделювання	теоретичний розрахунок	дані імітаційного моделювання
1	0.44734693	0.472242	0.41048	0.419476
2	0.37810564	0.451612	0.372531	0.374414
4	0.30832734	0.374536	0.315264	0.317162
8	0.22768228	0.263294	0.242404	0.242458
16	0.13965796	0.156638	0.158218	0.158496
32	0.06079167	0.067254	0.076816	0.076476
64	0.01382545	0.014854	0.021433	0.021376
128	8.9389e-4	9.3e-4	0.002059	0.00205
256	4.85550655e-6	5e-6	2.4e-5	2.6e-5
512	1.92137279e-10	0	4.5801e-9	0

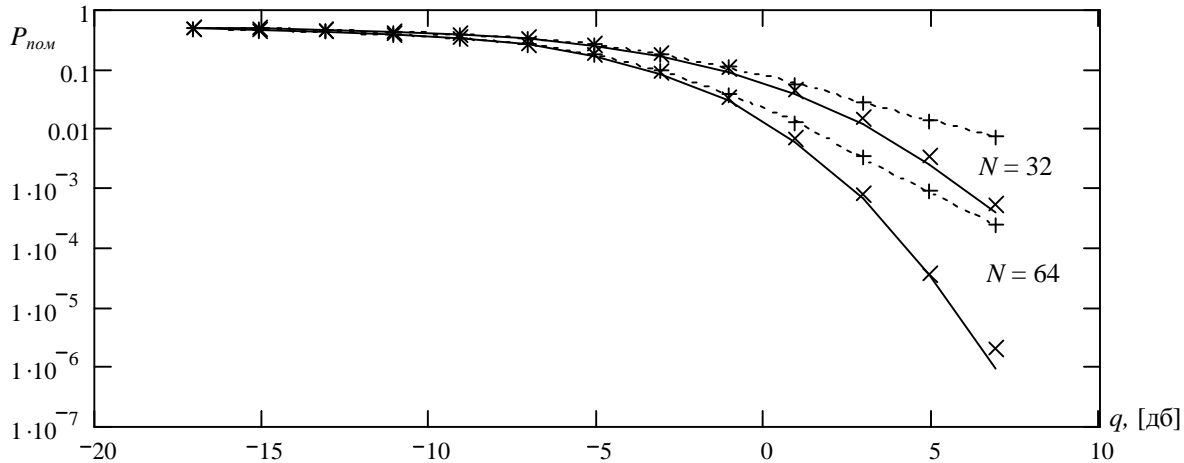


Рис. 7. Залежності імовірності помилки від відношення сигнал/шум для систем з ортогоналізованими сигналами --- та без ортогоналізації ---- (x, + – результати імітаційних експериментів)

На основі теоретичних розрахунків та даних обчислювальних імітаційних експериментів можна порівняти завадостійкість систем зв'язку з ортогоналізацією шумових сигналів та без ортогоналізації. На рис. 7 наведені графіки залежностей імовірності помилки передачі біта інформації від значення відношення сигнал/шум при сталій довжині символного інтервалу, що відповідає 32 та 64 відлікам в дискретному представленні сигналу.

З рисунку видно, що введення до структури передавача блоку ортогоналізації виправдовується значним підвищенням завадостійкості системи особливо при незначних рівнях шумів у каналі зв'язку.

Задля експериментального дослідження працездатності системи, структурна схема якої зображена на рис. 1 та 2, побудовано макет. Макет складається з двох ПЕОМ; радіочастотного кабелю, який містить 2 провідники, що з'єднують між собою вихід звукової плати Line-OUT одного ПЕОМ з входом звукової карти Line-IN іншого ПЕОМ; двох програм, які моделюють роботу функціональних блоків передавача та приймача.

На ПЕОМ, яка виконує роль передавача, виконується програма "Transmitter". Дана програма, моделюючи роботу передавача (рис. 2), генерує шумовий сигнал та заваду заданої довжини, додає до сигналу заваду, отриманий сигнал у вигляді дискретних відліків записує до буферу звукової карти. Звукова карта за допомогою цифро-аналогового перетворювача (ЦАП) формує з отриманих відліків інформаційного сигналу та завади аналоговий сигнал та подає на вихід Line-OUT карти [12, 13].

Згідно з аналізом АЧХ системи (передавач-канал зв'язку-приймач), наведеної на рис. 8, частоту дискретизації передавача було встановлено на рівні 16000 Гц.

На іншому ПЕОМ, на вході Line-IN звукової карти аналоговий сигнал (рис. 6) направляються на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП), та з частотою 32000 Гц, (мінімальна частота необхідна для відтворення переданого сигналу за теоремою Котельникова) отримані відліки, які є сумою інформаційного сигналу та завади, надходять до буферу звукової карти. Програма "Receiver", моделюючи роботу

функціональних блоків приймача (рис. 1), отримує дискретні відліки з буферу звукової карти та на їх основі робить оцінку прийнятого символу.

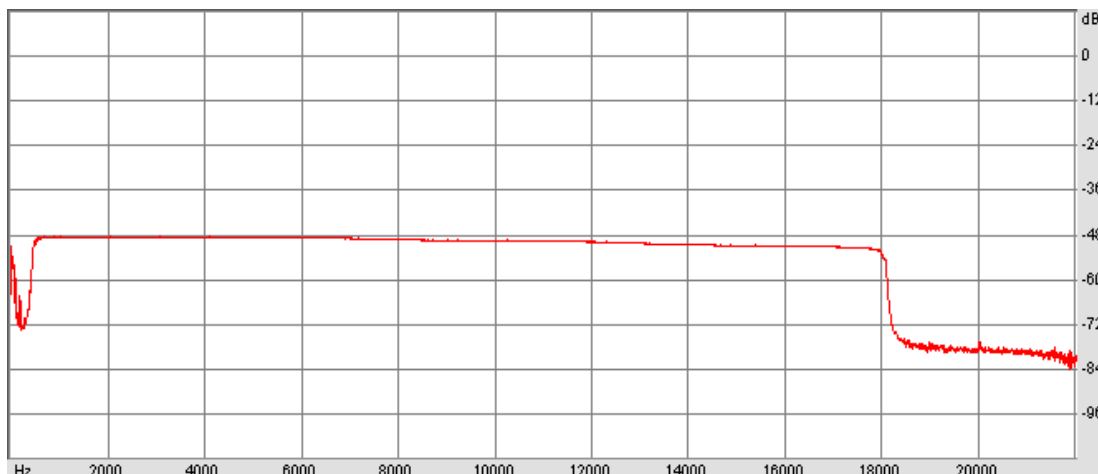


Рис. 8. Амплітудно-частотна характеристика системи «передавач- канал зв'язку- приймач»

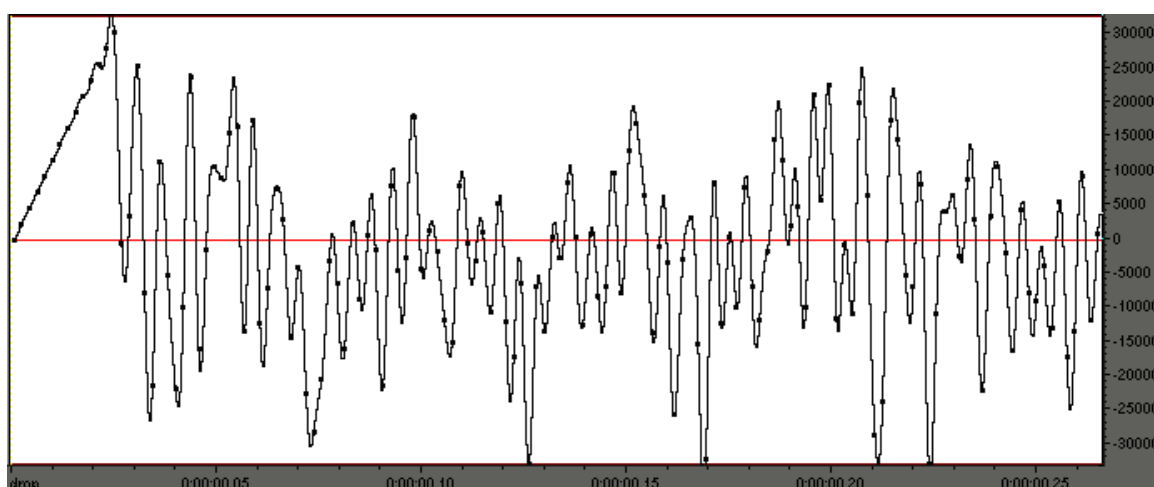


Рис. 9. Форма сигналу синхронізації та інформаційного сигналу на вході Line-IN приймача.
Вісь абсцис – час, вісь ординат – рівень сигналу

Для зменшення впливу ефекту розсинхронізації між тактовими генераторами ЦАП передавача та АЦП приймача інформаційний сигнал розбивається на пакети, які містять 200 елементарних символів. Синхронізація моменту початку передачі інформаційного пакету виконується шляхом додавання до останнього сигналу синхронізації, який має форму “висхідної”. Приймач, у свою чергу, визначає взаємкореляційну функцію (S_1) сигналу отриманого з каналу зв'язку з сигналом, який має форму “висхідної”, запам'ятовує величини двох попередніх взаємкореляційних функцій (S_2 , S_3), та у випадку, коли $S_3 < S_2$, $S_2 > S_1$ та S_2 більше визначеного порогового значення приймає рішення про прийом інформаційного пакету.

Проведена серія експериментальних досліджень дозволила встановити, що при заданій імовірності виникнення помилки 10^{-5} мінімально необхідно 48 відліків на інформаційний символ, що передається крізь радіочастотний кабель. Швидкість передачі символу можна визначити як відношення частоти дискретизації сигналу на виході передавача до кількості відліків у інформаційному символі, в даному випадку швидкість передачі становить 333 біт на секунду.

Висновки

Запропонована методика теоретичного обчислення імовірності помилки передачі інформаційного біта в системі з ортогоналізованими шумовими сигналами, та методика імітаційного моделювання таких систем.

Отримано показники завадостійкості таких систем за допомогою математичних розрахунків та обчислювальних імітаційних експериментів. Узгодженість одержаних даних (таблиця 2) підтверджує адекватність математичних викладок та імітаційної моделі.

Показано (рис. 7), що зі збільшенням відношення сигнал/шум різко збільшується завадостійкість системи з ортогоналізованими сигналами у порівнянні з системою де ортогоналізація не проводиться. Слід також додати, що вказаний ефект досягається при відношенні сигнал/шум більшому за одиницю.

Побудовано експериментальний макет системи та проведено на його основі серію експериментальних досліджень. Встановлено, що даний макет досліджуваної системи зв'язку забезпечує передачу даних зі швидкістю 333 біт на секунду при імовірності виникнення помилки передачі біта не вище ніж 10^{-5} .

Література

1. Харкевич А.А. Передача сигналов модулированным шумом // Электросвязь. – 1957. – № 11. – С. 42-46.
2. Price R., Green P.E. A Communication Technique for Multipath Channels, Proceedings of the IRE, Mar., 1958, pp. 555-570.
3. Clarke R.H. Statistical Theory of Mobile-Radio Reception Bell System Technical Journal 47, July 1968, pp. 957-1000.
4. Gilhousen K.S., Jacobs I.M., Padovani R., Weaver L.A. and Wheatley C.A. On the capacity of a cellular CDMA system. IEEE Trans. Veh. Tech. VT-40 (2), 1991, pp. 303-312.
5. Simon M. K., Omura J. K., Schultz R. A. and Levitt B. K. Spread Spectrum Communication Handbook New York, McGraw-Hill, 1994
6. Прямохаотическая передача информации в СВЧ-диапазоне/ Дмитриев А.С., Кяргинский Б.Е., Максимов Н.А. и др. – М.: ИРЭ РАН, 2000: Препринт № 1 (625)
7. Семенов А.М., Сикарев А.А. Широкополосная радиосвязь. – М.: Воениздат, 1970.
8. Воронин А.А. Шумоподобные сигналы – эффективный метод борьбы с замираниями // «Электросвязь». – 1966. – № 7.
9. Дідковський Р.М. Імовірність власної помилки в системах зв'язку з кореляційно-часовою модуляцією // Матеріали 4-ї Всеукраїнської конференції молодих науковців ІТОНТ-2004, Черкаси, 2004 – С.141-142.
10. Первунінський С.М., Дідковський Р.М., Метелап В.В. Уточнення розрахунку завадостійкості автокореляційних систем зв'язку з шумовими сигналами // Вісник ЧДТУ. – 2005. – № 3. – С.226-229.
11. Справочник по вероятностным расчетам. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.
12. Кинтцель Т. Руководство программиста по работе со звуком: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2000. – 432 с.
13. McCarthy B., Sound systems: design and optimization. First edition, NewYork, Focal Press, 2007. – 527 p.

Надійшла 5.12.2009 р.

УДК 685.34.02

Г.С. ЛОБАНОВА, В.П. ЛИБА
Хмельницький національний університет**ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА УДОСКОНАЛЕНОЇ ТА ДІЮЧОЇ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО ВЗУТТЯ**

У статті розглядаються множини вихідних показників якості спеціального взуття та показників ефективності технологічного процесу, який забезпечує необхідний рівень якості, порівняльна характеристика удосконаленої технології виготовлення спеціального взуття із застосуванням деталей із композиційних матеріалів з технологією, діючою на взуттєвих підприємствах.

The plurals of initial indexes of quality of the special shoe and indexes of efficiency of technological process which provides the necessary level of quality are examined in the article, comparative description of the improved technology of making of the special shoe with application of details from composition materials with technology, operating on shoe enterprises.

Ключові слова: спеціальне взуття, технологія виготовлення.

Постановка проблеми

Останнім часом спостерігається підвищення вимог споживачів до якості взуття. Це призводить до підвищення вартості виробів. Ціна взуття визначається його собівартістю, в структурі якої від 50 до 80 % становить вартість матеріалів. Тому раціональне використання матеріалів продовжує залишатись важливою проблемою взуттєвої галузі.

Однією з головних задач, розв'язання якої дозволить зменшити собівартість виробу, є розробка найбільш простих у виконанні технологічних процесів складання як заготовки верху, так і самого взуття. Кожен технологічний процес повинен бути компактним, якомога більша кількість операцій повинна виконуватися у підготовчих цехах, що дозволить не перевантажувати складальні цехи зайвим обладнанням, підвищить продуктивність праці при обробці деталей.

Удосконалення технології виготовлення взуття передбачається здійснити у напрямку подальшого розширення застосування нових матеріалів, зниженням його матеріаломісткості і трудомісткості виготовлення.

Матеріаломісткість взуття визначається витратами матеріалів на виготовлення виробів і їх вартістю. Велике значення має впровадження нових матеріалів, які мають низьку ціну і не потребують значної кількості операцій обробки і опорядження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз стану та напрямків удосконалення технології виготовлення сучасного спеціального взуття показав, що виробництво спеціального взуття характеризується великою різноманітністю технологій виготовлення. Особливо це стосується методів кріплення деталей низу [1– 3]. Серед них найбільш розповсюдженими є цвяховий, цвяхоклейовий, клейовий, литтєвий. Кожен з них має свої переваги і недоліки, що і визначає їх популярність.

Для виготовлення спеціального та виробничого взуття, де необхідна підвищена міцність, водостійкість і герметичність швів, завжди застосовують цвяховий метод кріплення підошов. Цей метод кріплення характеризується наявністю наскрізних проколів у деталях низу, які знижують їх міцність, але застосування клейових швів і внутрішніх або зовнішніх підметок укріплюють з'єднання деталей низу [4].

Цвяховий метод кріплення низу, на відміну від інших, забезпечує найвищу міцність кріплення деталей низу [3– 5]. Це дуже актуально для спеціального взуття загального призначення, яке в процесі експлуатації піддається значним статичним та динамічним навантаженням. Важливо відмітити, що при цьому методі кріплення, порівняно з литтєвим, допускається використовувати більш широкий асортимент матеріалів, зокрема деталей, виготовлених із полімерних композиційних матеріалів.

Отже, здійснений нами порівняльний аналіз дозволяє стверджувати, що подальший розвиток технології виготовлення спеціального взуття можливий шляхом удосконалення цвяхового методу кріплення при умові створення новітніх матеріалів для деталей низу і перегляду режимів виконання технологічних операцій.

Формулювання цілі статті

Метою даної роботи є порівняльна характеристика діючої та удосконаленої нами технології виготовлення спеціального взуття за узагальненими показниками їх ефективності – трудомісткістю операцій складання заготовки і взуття та виготовлення й обробки основної устілки і задника, а також вартістю технологічного обладнання.

Виклад основного матеріалу

На якість спеціального взуття та його собівартість значно впливають технологічні процеси виготовлення на всіх етапах виробництва. Цей вплив проявляється через конструктивні особливості заготовки, види матеріалів для деталей верху і низу, вибрану схему складання заготовки і взуття [3]. Тому удосконалення виробництва взуття здійснюється із впровадженням нового обладнання, нових основних і

допоміжних матеріалів. Теоретично взаємозв'язок властивостей матеріалів, деталей, вузлів і спецвзуття описується математичними залежностями, виведеними нами у праці [6].

Цими залежностями передбачено, що вихідна множина $\bar{V}(a)$ властивостей спеціального взуття складається із фізико-механічних та гігієнічних $\bar{V}(a)_{\text{ф-м, г}}$ властивостей традиційних та розроблених композиційних матеріалів, властивостей $\bar{V}(a)_{\text{мк.}}$, що визначають міцність кріплення, фізико-механічних, гігієнічних, експлуатаційних та естетичних $\bar{V}(a)_{\text{ф-м, г, ек, ес}}$ властивостей взуття. Для їх забезпечення у технологічному процесі із загального простору $\{a\}$ існування конструктивних і технологічних рішень вибираються ті, які за результатами наших дослідів визнані оптимальними $\{b\}$. До них, наприклад, відносяться: склади матеріалів для задника і основної устілки, товщина основної устілки, крок прикріплювача та ін., які і визначають множину показників $M_{B,3}^T$, що характеризують рівень досконалості технологічного процесу. Множину $M_{B,3}^T$ можна визначити із порівняння діючого та удосконаленого технологічних процесів. Для виробництва спеціального взуття з використанням деталей із розроблених композиційних матеріалів можуть бути запропоновані декілька різних технологічних процесів, які однаковою мірою відповідають експлуатаційним і технологічним вимогам до виробу [7].

Технологічний процес (ТП) виготовлення спеціального взуття пропонується удосконалити на основі діючого – з урахуванням застосування нових матеріалів для основної устілки та задника, а значить, нових режимів виконання окремих операцій. Ці режими пройшли лабораторні випробування [8], які підтвердили оптимальність цих режимів.

Технологічні процеси складання взуття (удосконалений і діючий) умовно поділяються на чотири групи операцій (табл. 1):

- підготовчі операції;
- операції формування заготовки;
- операції прикріплення низу;
- операції опорядження верху і низу взуття.

У таблиці 1 порівнюються удосконалений нами ТП і діючий ТП на взуттєвих підприємствах з використанням шкіряних основної устілки та задника. У зв'язку із застосуванням нових композиційних матеріалів для деталей спецвзуття в удосконаленому ТП окремі технологічні операції виключаються.

Загальну трудомісткість виготовлення спеціального взуття за діючим і удосконаленим ТП визначили як суми норм часу на виконання операцій усіх виділених груп. Аналогічно встановили і сумарну вартість обладнання, яке застосовується у діючому і в удосконаленому ТП. Порівняння цих двох узагальнених показників наведено на рисунках 1, а та 1, б.

Таблиця 1

Порівняння удосконаленого і типового ТП виготовлення спеціального взуття цвяхового методу кріплення

№ п/п	Назва операції	Обладнання	Взуття з основною устілкою із натуральної шкіри, дубльованої картоном та задником із натуральної шкіри (діючий ТП)		Взуття з основною устілкою та задником із композиційного матеріалу (удосконалений ТП)	
			вартість обладнання (грн.)	норми часу на 100 пар в люд. – год.	вартість обладнання (грн.)	норми часу на 100 пар в люд. – год.
1	2	3	4	5	6	7
Група підготовчих операцій						
1	Нанесення парафіну на зтяжну кромку задників	Стіл	510	0,331	–	–
2	Зволоження задників перед формуванням	Камера для зволоження	732	0,028	–	–
3	Формування задників	05062/P ₃	9340	0,309	–	–
4	Зволоження і пров'ялювання шкіряних задників перед пристрочуванням	Камера для зволоження	732	0,038	–	–
5	Намазування клеєм і вставка задників	Стіл з витяжкою	670	1,024	670	1,024
6	Перше пристрочування задників	236 кл.	2052	3,404	–	–

1	2	3	4	5	6	7
7	Друге пристрочування задників	236 кл.	2052	2,260	–	–
8	Зволоження заготовок	ШХУ	1020	0,052	1020	0,052
9	Підбір і чистка колодок	ХПП– 2– О	4303	1,082	4303	1,082
10	Прикріплення устілок до колодок	ППС– С	2126	0,405	2126	0,405
11	Фрезерування п'яtkової частини устілок	ФУП– 3– 0	2108	0,517	2108	0,517
12	Вставка підносків	ДВО	3856	0,869	3856	0,869
13	Обстрочування заготовки в носкової частині	330– 8 кл.	3064	1,185	3064	1,185
14	Попереднє формування п'яtkової частини заготовки	02162/P ₁	3830	0,545	3830	0,545
15	Надягання заготовок на колодку, установка п'яtkової частини	стіл-верстак, стійка-упор	510	1,102	510	1,102
Група операцій формування заготовки						
16	Термозволоження, обтягування і затягування носково-пучкової частини заготовки	ТУВ– О, ЗНК– 3– О	6693	2,961	6693	2,961
17	Клейова затяжка геленкової частини заготовки	ЗГК– 2– О	5874	0,941	5874	0,941
18	Затяжка п'яtkової частини	02038/P ₁	2294	0,569	2294	0,569
19	Сушка взуття	СОХ– 36	2320	0,274	2320	0,274
20	Видалення тимчасових прикріплювачів	стіл-верстак, стійка-упор	510	0,565	510	0,565
21	Обрізання залишків затягувальної кромки	спецмашина	1806	0,856	1806	0,856
22	Формування сліду взуття	ППГ– 4– О	3750	0,620	3750	0,620
23	Намазування устілок варом	Стіл з витяжкою	670	0,960	–	–
24	Скуйовдження затягувальної кромки	МВК– 1– О	1820	2,251	1820	2,251
25	Намазування сліду взуття клеєм. Прикріплення геленків і простилок	СОВ– 1	1720	0,768	1720	0,768
26	Зняття взуття з колодок	ОКБ– 1– О	2258	0,373	2258	0,373
27	Зволоження устілок зсередини	Стіл	510	1,182	–	–
Група операцій прикріплення низу						
28	Підбір підошов. Попереднє прикріплення підошов	ТА– О, прес ППП– 4– О	3750	2,313	3750	2,313
29	Прикріплення підошов	АСГ– 19	7050	0,860	7050	0,860
30	Околочування цвяхів всередині взуття	ПМБ	2840	0,379	2840	0,379
31	Галогенування п'яtkової частини підошви із зовнішньої сторони	СОВ– 1	1720	0,413	1720	0,413
32	Намазування п'яtkової частини підошви із зовнішньої сторони клеєм. Сушіння	СОВ– 1	1720	1,179	1720	1,179
33	Активация клейових плівок зовнішньої сторони п'яtkової частини підошви та ляпісу каблука. Приклеювання каблука	ТА– О, прес ППП– 4– О	3750	0,475	3750	0,475

1	2	3	4	5	6	7
34	Прикріплення каблука	АСГ– 16	4120	2,279	4120	2,279
35	Фрезерування бокової поверхні підошви з каблуком	ФУП– 3– О	2108	2,315	2108	2,315
35	Фрезерування бокової поверхні підошви з каблуком	ФУП– 3– О	2108	2,315	2108	2,315
35	Фрезерування бокової поверхні підошви з каблуком	ФУП– 3– О	2108	2,315	2108	2,315
35	Фрезерування бокової поверхні підошви з каблуком	ФУП– 3– О	2108	2,315	2108	2,315
Група операцій опорядження верху та низу взуття						
36	Шліфування бокової поверхні підошви з каблуком	МВК– 1– О	1820	0,988	1820	0,988
37	Перевірка і чистка цвяхів всередині взуття	стіл-верстак, стійка-упор	510	0,516	510	0,516
38	Нанесення розплавленого воску на строчки задників	стіл-верстак	510	1,183	–	–
39	Чищення верху та низу взуття	стіл-верстак	510	1,020	510	1,020
40	Ручне виправлення дефектів, ретушування взуття	стіл-верстак, сушило	670	0,964	670	0,964
41	Вклеювання вкладних устілок	Стіл з витяжкою	720	0,481	720	0,481
42	Шнурування взуття	Стіл	510	0,719	510	0,719
43	Апретування взуття	Стіл-верстак, сушило	670	0,406	670	0,406
44	Маркування взуття	Стіл	510	0,469	510	0,469
45	Пакування взуття	Стіл	510	0,815	510	0,815
Всього:			101128	43,245	84020	33,55

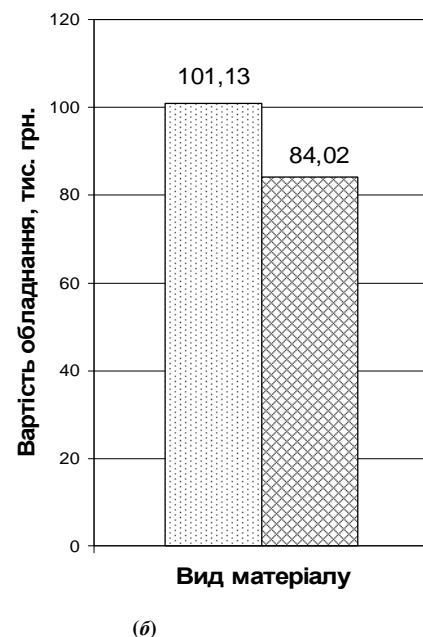
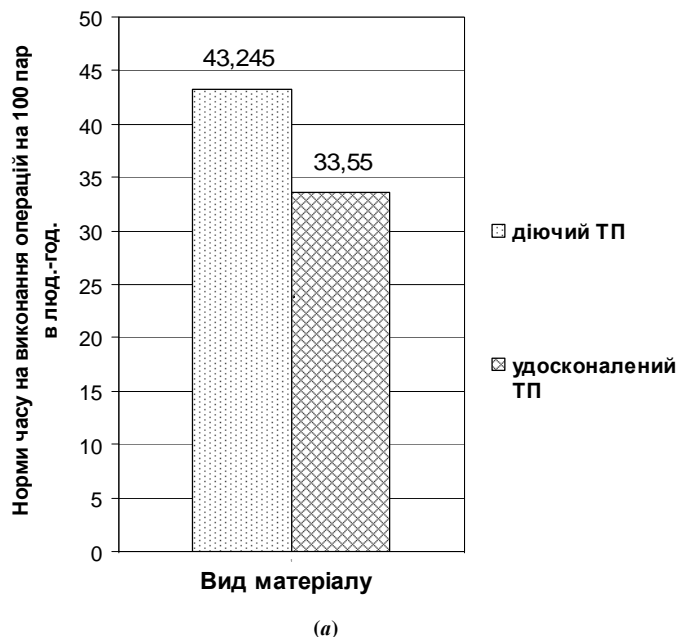


Рис. 1. Порівняння загальної трудомісткості (а) та вартості обладнання (б) удосконаленого і діючого технологічних процесів виготовлення спеціального взуття

Аналіз таблиці 1, і рисунку 1, а показує, що при застосуванні деталей із розробленого композиційного матеріалу загальна трудомісткість виготовлення спеціального взуття цвяхового методу кріплення знижується на 22,42 %.

Зниження трудомісткості виготовлення спеціального взуття залежно від матеріалу основної устілки та задника по групах операцій відрізняється. Так, при виконанні підготовчих операцій норми часу зменшуються на 51,17 %, на дільниці формування вони зменшуються на 17,39 %, при виконанні операцій прикріплення низу не змінюються, а при опорядженні верху і низу взуття знижуються на 11,98 %. Таке зменшення трудомісткості приведе до зниження собівартості спеціального взуття.

Загальна трудомісткість виготовлення та обробки основних устілок та задників для діючого ТП у 1,5 рази вища від удосконаленого ТП (табл. 2, рис. 2, а) – за рахунок виключення операцій розрубів та обробки деталей. Для удосконаленого ТП вагома частка часу відводиться литтю деталей. Проте при застосуванні литтєвого термопластавтомату вона зводиться до мінімуму.

Таблиця 2

Порівняння удосконаленого і діючого ТП виготовлення та обробки основних устілок та задників

№ п/п	Назва операції	Обладнання	Взуття з основною устілкою та задником із натуральної шкіри		Взуття з основною устілкою та задником із композиційного матеріалу	
			вартість обладнання (гр.)	норми часу на 100 пар в люд. – год.	вартість обладнання (гр.)	норми часу на 100 пар в люд. – год.
1	Лиття деталей із композиційних матеріалів	ДЕ 3210	–	–	15800	4,17
2	Приймання матеріалів	Стіл	510	0,051	510	0,051
3	Складання завдання на розруб	Стіл	510	0,044	–	–
4	Підбір виробничих партій шкір для розрубів	Стіл, стелаж	690	0,33	–	–
5	Розруб жорстких шкір	ПВГ-18-2-О	12810	2,56	–	–
6	Контроль якості вирубаних деталей	Стіл	510	0,52	510	0,52
7	Комплектування і рахування шкіряних деталей низу на робочому місці	Стіл	510	0,71	510	0,71
8	Вирівнювання деталей по товщині	ДН– 2– О	4200	1,42	–	–
9	Шліфування деталей	ШН– 1– О	1820	1,48	–	–
10	Скуйовдження деталей	ВПН– 1– О	1770	1,39	–	–
11	Комплектування деталей	Стіл	510	0,71	510	0,71
Всього:			23840	9,215	17840	6,161

Як видно з таблиці 2 і рисунку 2, б, сумарна вартість обладнання діючого ТП у 1,2 рази вища, ніж удосконаленого – в основному за рахунок групи підготовчих операцій. На операціях удосконаленого ТП виготовлення і обробки основних устілок та задників (табл. 2) сумарна вартість обладнання на 25,17 % менша, ніж діючого ТП. При цьому також знижуються енерговитрати на одиницю продукції.

Отже, застосування у спеціальному взутті деталей із композиційних матеріалів сприяє не тільки підвищенню якості і довговічності виробів [8], а також дозволяє зменшити кількість технологічних операцій, знизити загальну вартість обладнання та енерговитрати на виробництво взуття, що відбивається на його собівартості. Здійснене в даній роботі порівняння удосконаленої та діючої на взуттєвих підприємствах технології виготовлення спеціального взуття підтвердило запропоновані нами узагальнюючі математичні моделі взаємозв'язку показників якості спеціального взуття і ефективності технології його виготовлення [6].

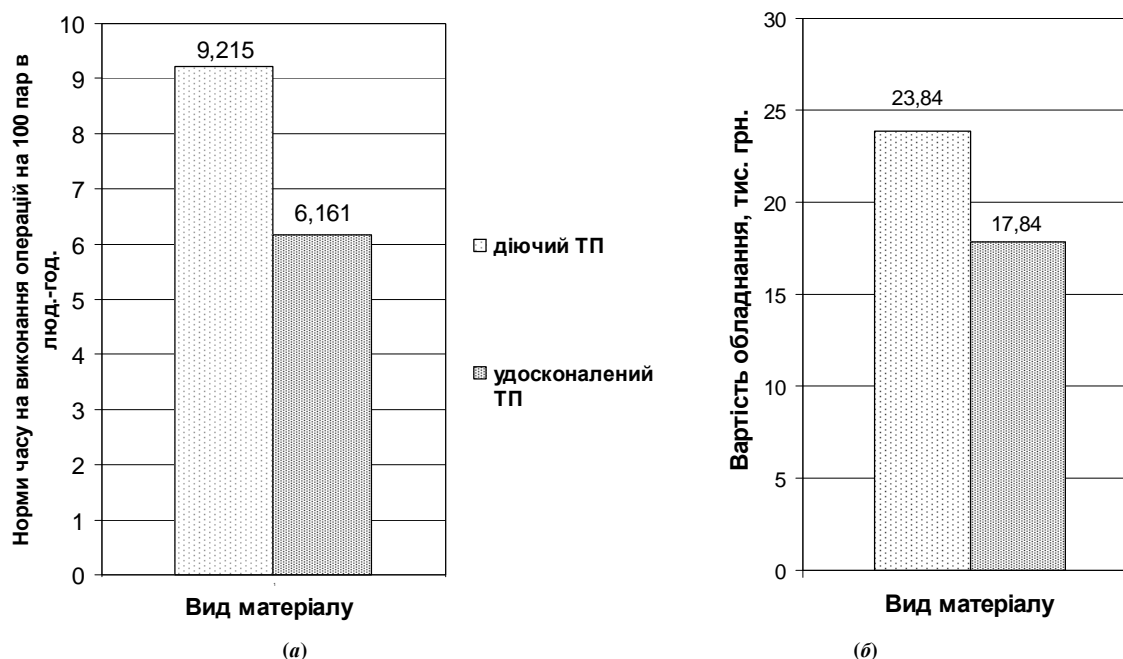


Рис. 2. Порівняння загальної трудомісткості (а) та вартості обладнання (б) удосконаленого і діючого технологічних процесів виготовлення та обробки основних устілок та задників

Висновки

Таким чином, порівняння удосконаленої технології виготовлення спеціального взуття з діючою на взуттєвих підприємствах показало, що застосування деталей із композиційних матеріалів для виготовлення спеціального взуття сприяє зменшенню кількості операцій ТП, загальній вартості обладнання для виконання технологічних операцій, зниженню енерговитрат, що в кінцевому результаті сприятиме зниженню собівартості виробів. В перспективі можливе аналогічне удосконалення технології виготовлення взуття інших асортиментів, зокрема побутового.

Література

1. Фукин В.А., Калита А.Н. Технология изделий из кожи: Учебник для вузов. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 272 с.
2. Раяцкас В. Л., Нестеров В.П. Технология изделий из кожи: Учебник для вузов. Ч.2. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 320 с.
3. Зыбин Ю. П. Технология изделий из кожи. – М.: Легкая индустрия, 1975. – 464 с.
4. ДСТУ 3835-98 (ГОСТ 28507-99) Взуття спеціальне з верхом із шкіри для захисту від механічного діяння. Технічні умови. – К.: Державний комітет стандартизації, метрології та сертифікації України, 2000. – 45 с.
5. Цветков В.Н. Элементы теории механических креплений низа обуви. Ершов П. М – М.: ГИЗЛегпром, 1958. – 337 с.
6. Лобанова Г.Є., Либа В.П. Математична модель взаємозв'язку властивостей спеціального взуття і ефективності технології його виготовлення // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 3. – Т. 2. – С. 108-112.
7. Нестеров В. П. Проективання процесу виробництва взуття: Підручник. – К.: НМК ВО, 1992. – 304 с.
8. Лобанова Г.Є., Либа В.П. Вибір та експериментальне обґрунтування критеріїв оптимальності параметрів технологічного процесу виготовлення спеціального взуття // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 5. – С. 101– 104.

Надійшла 22.12.2009 р.

А.Г. ДАНИЛКОВИЧ
Київський національний університет технологій та дизайну
А.С. БРАЇЛКО, Н.В. ОМЕЛЬЧЕНКО
Полтавський університет споживчої кооперації України

ВЛАСТИВОСТІ НІТРОЦЕЛЮЛОЗНИХ ПЛІВОК МОДИФІКОВАНИХ АЛКІЛКАРБОКСИЕТАНОЛАМІНОМ

В роботі наведено результати дослідження фізико-механічних властивостей нітроцелюлозних плівок модифікованих алкілкарбоксиетаноламіном (АКЕА) синтетичних жирних кислот фракції С₇-С₉. Встановлено залежність зміни значення показників границя міцності у разі розтягання та видовження на момент розірвання плівки від концентрації АКЕА.

The research results of nitrocellulose films stress-strain properties of modified alkylcarboxyethanolamines (ACEA) of C₇-C₉ fraction are described. The dependence of the indexes value changes of tensile strength and breaking elongation of film on concentration of ACEA is identified.

Ключові слова: плівкове покриття, алкілкарбоксиетаноламін, водонерозчинний металокомплексний азобарвник, фізико-механічні властивості.

Виробам зі шкіри з плівковим покриттям, які є в гардеробі значної частини населення, притаманний тривалий період експлуатації за умови належного догляду. Проте в процесі експлуатації, під впливом механічних та атмосферних факторів, відбувається руйнування цілісності покриття, що зумовлює необхідність його відновлення на підприємствах хімічного чищення. За таких умов, задоволення потреб споживача у відновленні плівкового покриття на виробі зі шкіри може досягатися шляхом використання вдосконалених технологій оздоблення на основі ефірів целюлози, що мають високу адгезійну міцність до шкіри [1]. Для надання еластичності нітроцелюлозним покриттям на шкірах до складу нітролаків додають відносно інертні до целюлози пластифікатори, зокрема дибутилфталат, який під час експлуатації шкіряних виробів дифундує у шкіру. Внаслідок цього підвищується жорсткість і суттєво знижується еластичність покриття, що призводить до порушення цілісності плівки і прояву дефектів різного типу та погіршення всього комплексу експлуатаційних властивостей.

У зв'язку з цим виникає потреба в розробці нових композицій, що містили б хімічно-активні пластифікатори і утворювали стабільні плівки, яким притаманна довготривала еластичність. В цьому відношенні перспективним модифікатором нітроцелюлози можуть бути органічні солі моноетаноламіну і синтетичних жирних кислот чи природних нафтонових кислот (алкілкарбоксиетаноламіни) відповідних фракцій, завдяки наявності в їх молекулі активних функціональних груп $-\text{NH}_3^+$, $-\text{COO}^-$ і OH .

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом дослідження є плівки, отримані із нітролаку НЦ-573 (ТУ 301-10870-76) та лаку Е-НЦ – 5183 [1], модифіковані алкілкарбоксиетаноламіном (АКЕА) синтетичних жирних кислот фракції С₇-С₉ (ТУ 384-0224– 79). Предметом – фізико-механічні властивості отриманих плівок, залежно від модифікатора АКЕА і водонерозчинного металокомплексного азобарвника (МКА) – полігексаметиленгуанідін-β-нафтолсульфанілова кислота хлориду кобальту [2].

Плівки виливали із композицій, що включали нітролак марки НЦ-573 і лак Е-НЦ-5183 та розчин АКЕА в етилацетаті при співвідношенні 1: 1 (композиції НЦ-АКЕА і Е-НЦ-АКЕА). У композиції, для забарвлення плівок, до розчину АКЕА додавали МКА у кількості 18 % від вмісту нелетких речовин плівкоутворювачів. Плівки відливали на скляних пластинках товщиною 8-10 мм і площею 100×150 мм, встановлених у горизонтальному положенні, з розрахунку на товщину готової плівки 0,1 + 0,05 мм шляхом видалення леткої складової лаку за кімнатної температури протягом доби і наступним випаруванням розчинника з поступовим підвищенням температури (5 °/год) до 60 °С. Попередньо висушені плівки знімали зі скляних пластинок після надрізання її країв [3], визначали рівномірність товщини по площі, яка складала до 10 % від товщини плівки. Потім отримані плівки кондиціювали протягом 24 год за температури 20 ± 2 °С та відносної вологості повітря 65±5 %.

Дослідження фізико-механічних властивостей вільних плівок проводили за методикою [3] з використанням розривної машини РМ-30-1 при швидкості руху нижнього затискача 50 мм/хв, шляхом розтягання зразків із робочою довжиною 20 мм і шириною 5 мм. Похибка вимірювань показників фізико-механічних властивостей не перевищувала 10 % при 7 паралельних визначеннях.

Постановка завдання

Метою роботи є дослідження впливу органічної солі моноетаноламіну і синтетичних жирних кислот фракції С₇-С₉ – алкілкарбоксиетаноламіну і водонерозчинного металокомплексного азобарвника – полігексаметиленгуанідін-β-нафтолсульфанілова кислота хлориду кобальту на фізико-механічні властивості нітроцелюлозних плівок.

Результати та їх обговорення

Колоїдно-хімічний стан полімерів суттєво впливає на комплекс фізико-механічних властивостей одержаних на їх основі плівок і покриттів. В цьому відношенні значний науковий та прикладний інтерес

мають дослідження процесів формування плівок з полімерів, які отримують із розчинів у органічних розчинниках та дисперсій тих же полімерів, зокрема модифікованих хімічно-активними реагентами. Результати впливу модифікатора АКЕА на процес формування нітроцелюлозних плівок та їх фізико-механічні властивості як незабарвлених, так і забарвлених МКА, надано в таблицях 1, 2 і рис. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні властивості модифікованих незабарвлених плівок

Тип плівки	Показник	Вміст АКЕА, мас. %						
		0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
НЦ-573	Модуль пружності E_{25} , МПа	0,4	0,6	0,6	0,7	0,9	0,9	0,5
	Границя міцності плівки у разі розтягання σ , МПа	1,7	1,9	1,9	2,2	2,5	1,9	1,2
	Відносне видовження на момент розірвання ε , %	55,0	57,0	57,0	60,0	65,0	60,0	45,0
	Залишкове видовження ε_0 , %	14,0	12,0	12,0	8,0	7,0	10,0	20,0
Е-НЦ-5183	Модуль пружності E_{25} , МПа	0,9	1,1	1,4	1,5	1,6	1,7	0,8
	Границя міцності плівки у разі розтягання σ , МПа	3,0	3,2	3,6	3,9	4,0	4,2	3,4
	Відносне видовження на момент розірвання ε , %	40,0	45,0	50,0	53,0	50,0	45,0	35,0
	Залишкове видовження ε_0 , %	10,0	8,0	6,0	7,0	9,0	12,0	25,0

Таблиця 2

Фізико-механічні властивості модифікованих забарвлених плівок

Тип плівки	Показник	Вміст АКЕА, мас. %						
		0	2,5	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
НЦ-573	Модуль пружності E_{25} , МПа	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,7	0,4
	Границя міцності плівки у разі розтягання σ , МПа	1,8	1,9	2,1	2,1	2,3	2,0	1,7
	Відносне видовження на момент розірвання ε , %	52,0	53,0	55,0	58,0	60,0	57,0	45,0
	Залишкове видовження ε_0 , %	15,0	13,0	11,0	9,0	8,0	12,0	17,0
Е-НЦ-5183	Модуль пружності E_{25} , МПа	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3	1,5	0,7
	Границя міцності плівки у разі розтягання σ , МПа	3,2	3,3	3,4	3,4	3,5	3,7	3,1
	Відносне видовження на момент розірвання ε , %	36,0	40,0	42,0	45,0	45,0	48,0	33,0
	Залишкове видовження ε_0 , %	12,0	10,0	10,0	8,0	8,0	10,0	20,0

Як свідчать наведені дані (таблиця 1) збільшення вмісту АКЕА до 10 % у композиції з нітролаком НЦ-573 за відсутності барвника дає змогу одержати плівки з підвищеними показниками фізико-механічних властивостей. При цьому спостерігається тенденція до зниження залишкової деформації. В подальшому відбувається значне зниження границі міцності плівки у разі розтягання та відносного видовження на момент розірвання, в той час як залишкове видовження підвищується. Слід зауважити, що при цьому залежність модуля пружності плівок від концентрації АКЕА також має екстремальний характер, однак екстремум не чітко виражений, а після нього модуль пружності досить різко знижується.

У випадку плівок, одержаних із лаку Е-НЦ – 5183, характер залежності відповідних фізико-механічних показників зберігається, однак, за абсолютними значеннями плівки мають підвищену границю міцності плівки у разі розтягання та менше відносне видовження на момент розірвання, а екстремальний вміст АКЕА складає 12,5 %. При цьому модуль пружності має вищі значення.

Одержані результати свідчать про хімічну активність використаного модифікатора АКЕА як у випадку використання нітролаку, так і його емульсії. Це зумовлено дією АКЕА як активного пластифікатора, який за невеликих концентрацій, завдяки орієнтаційному зміцненню плівки при її деформації, підвищує її границю міцності у разі розтягання та відносне видовження на момент розірвання, що одночасно проявляється у підвищенні модуля пружності й зниженні залишкового видовження. Однак, за значного вмісту АКЕА підсилюється власне пластифікаційний ефект, що після екстремальних концентрацій викликає значне зниження фізико-механічних показників.

Додавання азобарвника до нітролаку і емульсійного лаку (таблиця 2) суттєво не змінює характер досліджених залежностей фізико-механічних властивостей плівок від відповідних концентрацій АКЕА, однак, спостерігається підвищення абсолютних значень відповідних міцнісно-деформаційних показників плівок. Це можна пояснити участю сульфогрупи МКА в утворенні хімічних зв'язків водонерозчинного азобарвника з гідроксильними групами нітролаку і АКЕА, а також донорно-акцепторних зв'язків між

компонентами потрійної системи.

З одержаних результатів (рисунок 1) впливає екстремальний ефект взаємодії модифікатора АКЕА і барвника МКА з нітроцелюлозою в емульсійному стані, що проявляється у підвищенні границі міцності у разі розтягання та модуля пружності одержаних плівок.

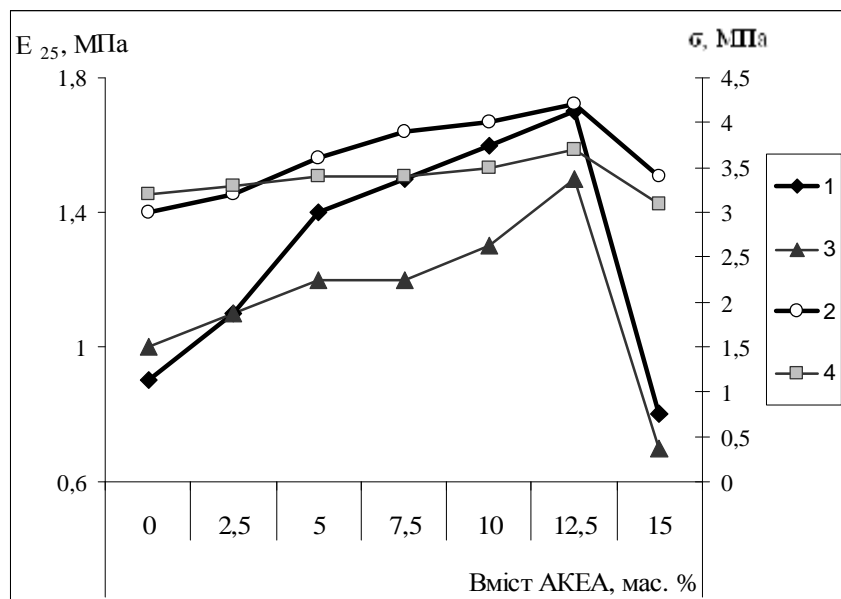


Рис. 1. Залежність модуля пружності (1, 3) та границі міцності у разі розтягання (2, 4) плівок лаку Е-НЦ-5183 не забарвленого (1, 2) і забарвленого (3, 4) від концентрації АКЕА

Як видно з наведеного рисунку додавання АКЕА понад 12,5 % призводить до різкого зниження показників фізико-механічних властивостей.

Висновки

1. Досліджено комплекс показників фізико-механічних властивостей нітроцелюлозних плівок, модифікованих органічною сіллю моноетаноламіну і синтетичних жирних кислот фракції C_7-C_9 , сформованих на основі нітролаку НЦ-573 і емульсійного лаку Е-НЦ-5183 та металокомплексного азобарвника полігексаметиленгуанідін- β -нафтолсульфанілової кислоти хлориду кобальту.

2. Встановлено, що додавання до нітролаку АКЕА у кількості 7,5-10 % та до емульсійного лаку – 10-12,5 %, а також барвника у кількості 18 % від вмісту нелетких речовин плівкоутворювачів, забезпечує формування пігментованих плівок з оптимальними фізико-механічними властивостями.

3. Отримані результати дослідження дають підставу рекомендувати розроблену модифіковану нітроцелюлозну емульсію для формування оздоблювального покриття і усунення дефектів на одягових шкірах після хімічного чищення виробів.

Література

1. Данилкович А. Г. Технологія і матеріали виробництва шкіри: [навч. посібник] / Данилкович А. Г., Мокроусова О. А., Охмат О. А.; [під ред. А. Г. Данилковича]. – К.: Фенікс, 2009. – 580 с.
2. Попова Е. Н. Синтез азокрасителів на основі полігексаметиленгуанідину / Е. Н. Попова, О. Э. Кошелева // Весник ДИТУД. – 2001. – № 1. – С. 32 – 35.
3. Данилкович А. Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра: [навч. посібник] / Данилкович А. Г.. – К.: Фенікс, 2006. – 338, [2] с.

Надійшла 24.12.2009 р.

АНТРОПОМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРНОЇ ПОВЕРХНІ ГОЛОВИ

Проведено антропометричні дослідження форми опорної поверхні голови жінок, визначено закономірності розподілу частот варіантів антропометричних ознак голови. Вказано на подальше застосування результатів досліджень як вхідної інформації при виготовленні головних уборів.

Anthropometric researches of form of underlayment of the head of women are conducted, the regularities of the sharing the frequencies variant dimensioned sign of the head are determined. It is specified on the most further using results studies as input information at fabrication of the headdresses.

Ключові слова: поверхня голови, антропометричні дослідження.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими практичними завданнями

Нові економічні умови потребують зростання рівня вимог до якості і конкурентоздатності продукції вітчизняної швейної промисловості. Внаслідок цього актуальною стала потреба забезпечення ергономічно раціональних проектних рішень, що відповідають умовам експлуатації швейних виробів в цілому та головних уборів зокрема.

Головні убори – це об'ємні вироби, що характеризуються відповідною формою та приляганням до голови. Їхнє формоутворення входить до створення оболонкових і каркасних структур, які характеризуються складною формою [1-2]. В сучасній технології застосовують конструктивний та пластичний способи формоутворення головних уборів із текстильних матеріалів. У першому випадку форма головних уборів досягається за допомогою криволінійних контурів та виточок, у другому – формоутворенням у процесі волого-теплого оброблення (ВТО).

Конструкцію головного убору, що наближається за формою до правильної геометричної фігури, будують як відповідну розгортку геометричної фігури на площині. При конструюванні решти головних уборів застосовують розмірні таблиці із зазначеними показниками для побудови конструкції [2].

Формоутворення головних уборів шляхом ВТО здійснюють на матрицях у вигляді форм-тумб, які здебільшого виконані півсферичними поверхнями. Геометрично їхня форма відповідає фасонам головних уборів.

Опорною поверхнею головних уборів є верхня мозкова частина голови, антропометричні параметри якої є вхідною інформацією для виготовлення головних уборів. Саме від висоти голови та її форми залежать внутрішні та зовнішні розміри головних уборів [1-2], а також їхні ергономічні, експлуатаційні та естетичні властивості.

Розглядаючи форму матриць для виготовлення головних уборів з точки зору їхнього геометричного виду, варто сказати, що теоретично вони повинні чітко відтворювати форму голови споживача та відповідати її розмірам. Практично ж при виготовленні головних уборів використовуються типові матриці, конструкція яких спрощена і повною мірою не відображає особливостей будови голови (висоти голови та її форми) [1-2].

При виготовленні швейних виробів джерелом антропометричних даних є стандарти типових фігур і розмірних ознак. Стосовно виготовлення головних уборів за вхідну інформацію стандартами регламентовано лише одну розмірну ознаку – “обхват голови” [3, 4], яка визначає тільки периметр верхньої опорної поверхні голови людини за найбільш виступаючими частинами лобної та потиличної кісток. Однієї цієї розмірної ознаки не достатньо для побудови матриці, форма якої б максимальною мірою відповідала формі голови та її розмірам.

Виходячи з цього, для забезпечення ергономічності головних уборів актуальним є уточнення поверхні матриці на основі антропометричних досліджень опорної поверхні голови.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сучасних досліджень цього напрямку зустрічається недостатня кількість. У роботі [5] проведено дослідження антропометричної відповідності головного убору будові голови для удосконалення форми манекенів голови та матриць (форм-тумб) головних уборів. При цьому для розширеного аналізу конфігурації опорної поверхні голови авторами роботи [5] використано 7 розмірних ознак голови [2]. Загальний об'єм вибірки при цьому становив 244 жінки молодшої вікової групи.

У результаті проведених досліджень встановлено, що на території Хмельниччини у жінок молодшої вікової групи найпоширенішими обхватами голови є 54 см (27,05 %) та 55 см (22,54 %), а найбільш часто зустрічається брахікранний морфологічний тип голови (79,92 %), який характеризує верхню частину голови за формою її горизонтального трансверсального перерізу як округлу [5].

У [5] для підвищення ергономічної відповідності головних уборів запропоновано при визначенні морфологічного типу голови використовувати показник широтної різниці $r_{ш}$, який розраховується як різниця між поздовжнім (d_{noz}) та поперечним (d_{non}) діаметрами голови та не залежить від величини її розмірного обхвату:

$$r_{ш} = d_{noz} - d_{non}, \text{ см} \quad (1)$$

де d_{noz} – діаметр поздовжній, см; d_{non} – діаметр поперечний, см.

Проте, зазначений показник не відображає своєю сутністю такі розмірні ознаки голови, як висота голови спереду та висота голови ззаду, що не дозволяє отримати повну вхідну інформацію для побудови матриці, форма якої максимальною мірою відповідає формі голови та її розмірам.

Формулювання цілей

Метою даної роботи є розширення вхідної інформації для проектування та формоутворення ергономічно раціональних проектних рішень жіночих головних уборів.

Виклад основного матеріалу досліджень

Для виконання поставленої мети використано результати обмірів голів жінок молодшої вікової групи [5, 6]. На основі отриманих антропометричних даних виконано статистичний аналіз варіаційних рядів таких розмірних ознак: висоти голови спереду $B_{z_{cn}}$, поздовжнього $d_{позд}$ та поперечного діаметрів d_{non} голови.

За результатами аналізу визначено загальну закономірність розподілу досліджуваних величин та виконано обробку експериментальних даних методами математичної статистики [7] за допомогою умовно-безкоштовної програми PAKET.

Відповідно до аналізу результатів статистичної обробки виявлено коливання значень розмірної ознаки $B_{z_{cn}}$, що обумовило виділення трьох груп голів жінок за цією розмірною ознакою. Голови жінок, які належать до I групи, характеризуються значеннями $B_{z_{cn}}$ у межах 7,0÷8,4 см, II групи – 8,5÷9,9 см, а III групи – 10,0÷11,5 см.

Частота зустрічальності виділених груп голів жінок за розмірною ознакою $B_{z_{cn}}$ у межах найпоширенішого брахікранного морфологічного типу представлена на рис. 1.

Перевірка гіпотези про нормальний закон розподілу випадкової величини за розмірною ознакою $B_{z_{cn}}$ показала, що розподіл величини є слабо асиметричним, експериментальна крива розподілу сплюснена та розтягнута по відношенню до кривої нормального розподілу (рис. 2).

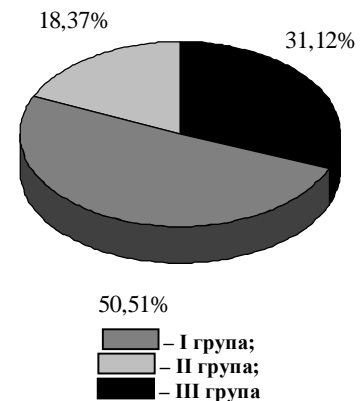


Рис. 1. Діаграма зустрічальності груп голів жінок за розмірною ознакою $B_{z_{cn}}$

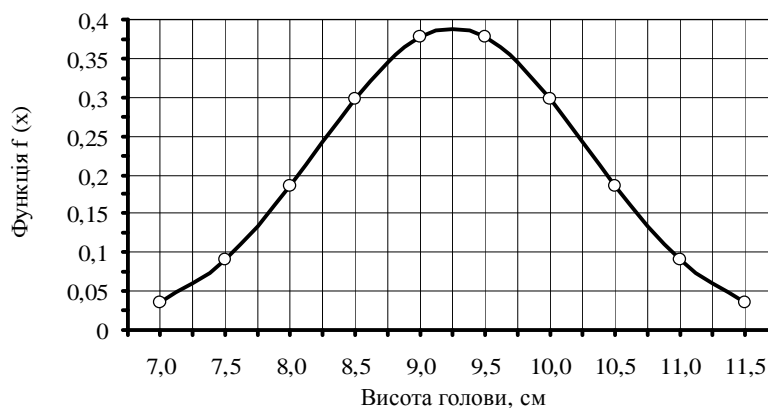


Рис. 2. Експериментальна крива розподілу величин розмірної ознаки $B_{z_{cn}}$

Результати статистичної обробки антропометричних досліджень голів жінок за розмірною ознакою $B_{z_{cn}}$ надані у табл. 1.

Таблиця 1

Результати статистичного аналізу за розмірною ознакою $B_{z_{cn}}$

Показник	Значення показника
Середнє арифметичне	8,997
Дисперсія розподілу	1,049
Середньоквадратичне відхилення	1,025
Коефіцієнт варіації	11,387
Асиметрія	0,226
Екссес	-0,007

Грунтуючись на антропометричних дослідженнях, для аналізу форми опорної поверхні голови авторами введено поняття поперечного K_{non} та поздовжнього $K_{позд}$ коефіцієнтів, які відображають співвідношення між розмірними ознаками голови: висотою голови спереду $B_{z_{cn}}$, поздовжнім $d_{позд}$ та поперечним діаметрами d_{non} голови.

Поздовжній коефіцієнт $K_{позд}$ запропоновано визначати як

$$K_{позд} = \frac{B_{z_{cn}} - 0,5 \cdot d_{позд}}{B_{z_{cn}}} \quad (2)$$

У свою чергу, поперечний коефіцієнт K_{non} представляє собою відношення різниці висоти голови спереду та половини поперечного діаметру до значення висоти голови спереду:

$$K_{\text{поп}} = \frac{Bz_{cn} - 0,5 \cdot d_{\text{поп}}}{Bz_{cn}} \quad (3)$$

За формулами (2) та (3) виконано розрахунок поперечних та поздовжніх коефіцієнтів за розмірними ознаками 196 голів жінок брахікранного морфологічного типу. Встановлено, що розраховані значення поперечного та поздовжнього коефіцієнтів коливаються у межах $(-0,29 \div 0,36)$.

Перевірка гіпотези про нормальний закон розподілу випадкової величини за поздовжнім та поперечним коефіцієнтами показала, що експериментальні криві розподілу сплюснені та розтягнуті по відношенню до кривих нормального розподілу. При цьому розподіл величини поздовжніх коефіцієнтів є слабо асиметричним, а величини поперечних коефіцієнтів – симетричним (рис. 3).

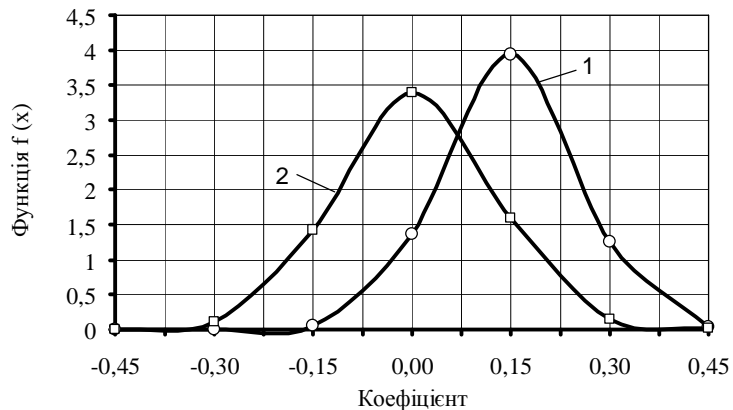


Рис. 3. Експериментальні криві розподілу величин поздовжнього (1) та поперечного (2) коефіцієнтів

На основі розрахованих значень поздовжнього та поперечного коефіцієнтів виконано статистичний аналіз, результати якого наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати статистичного аналізу за розрахованими значеннями поздовжнього та поперечного коефіцієнтів

Показник	Значення показника	
	для поздовжнього коефіцієнта	для поперечного коефіцієнта
Середнє арифметичне	0,005	0,147
Дисперсія розподілу	0,014	0,0102
Середньоквадратичне відхилення	0,012	0,101
Коефіцієнт варіації	2305,7	68,758
Асиметрія	-0,207	0,074
Екссес	-0,507	-0,214

При аналізі результатів антропометричних досліджень виявлено, що у випадку, коли значення половини поздовжнього $d_{\text{позд}}$ та поперечного $d_{\text{поп}}$ діаметрів максимально наближується до значення висоти голови спереду Bz_{cn} , діє рівність:

$$Bz_{cn} = 0,5 \cdot d_{\text{позд}} \approx 0,5 \cdot d_{\text{поп}} \quad (4)$$

За такої умови значення поперечного та поздовжнього коефіцієнтів, розрахованих за формулами (2) та (3), прямує до нуля, а форма опорної поверхні голови відповідає формі півсфери.

На основі подальшого аналізу значень поперечного та поздовжнього коефіцієнтів виділено три форми опорної поверхні голови: наближену до півсфери, проміжну та наближену до півеліпсоїда, а також визначено частоту зустрічальності цих форм у межах трьох груп голів за розмірною ознакою Bz_{cn} (табл. 3).

Таблиця 3

Результати дослідження зустрічальності форми опорної поверхні голови

Вид форми опорної поверхні голови	Значення поздовжнього $K_{\text{позд}}$ та поперечного $K_{\text{поп}}$ коефіцієнтів	Зустрічальність у групах за розмірною ознакою Bz_{cn} , %		
		I	II	III
Наближена до півсфери	-0,15 ÷ 0,15	95,08	7,07	-
Проміжна	-0,3 ÷ -0,15; 0,15 ÷ 0,3	4,98	83,84	20,56
Наближена до півеліпсоїда	-0,45 ÷ -0,3; 0,3 ÷ 0,45	-	9,09	79,44

Аналіз даних, наведених у табл. 3, свідчить, що найпоширенішою формою опорної поверхні для жінок, котрі належать до першої групи за розмірною ознакою Bz_{cn} , є форма, яка відповідає півсфері (95,08 %); для другої групи найпоширенішою є проміжна форма (83,84 %); для третьої групи – форма, яка відповідає півеліпсоїду (79,44 %).

Виходячи із вище зазначеного, графічно побудовано три форми опорної поверхні голови. В основу побудови покладено положення основних антропометричних точок (глабели, верхівкової, тім'яної та потиличної) та місця вимірювання розмірних ознак (O_z , $d_{\text{нон}}$, $d_{\text{позд}}$, Bz_{cn}) (рис. 4) [2].

Варіанти форми опорної поверхні голови у проєкціях представлено графічно на рис. 5.

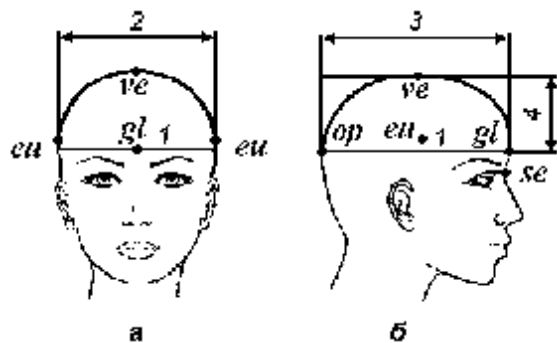


Рис. 4. Положення основних антропометричних точок та місць вимірювання розмірних ознак:

- 1 – обхват голови O_g ,
- 2 – діаметр поперечний d_{non} ,
- 3 – діаметр поздовжній d_{noz} ,
- 4 – висота голови спереду B_{zcn} .

антропометричні точки: gl – глабела,
 op – потилична точка,
 ve – верхівкова точка,
 eu – тим'яна точка.

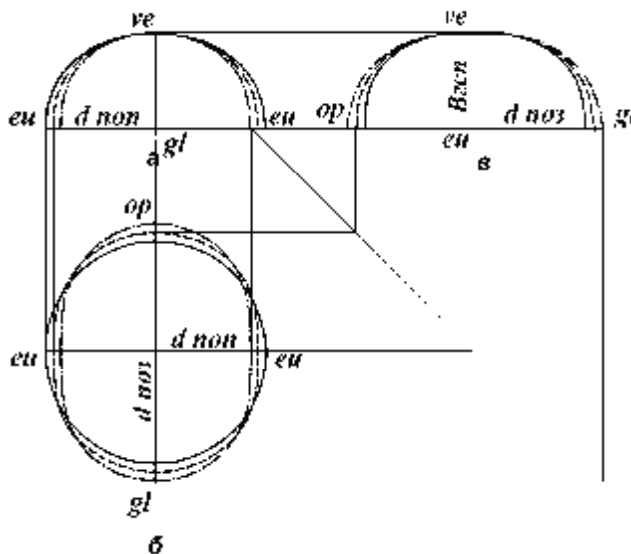


Рис. 5. Форма опорної поверхні голови у проєкціях:

- - наближена до півсфери;
- - - - проміжна;
- · - · - наближена до півеліпсоїда.

Висновки і перспективи подальшого розвитку даного напрямку

Грунтуючись на проведених антропометричних дослідженнях та їхніх результатах, можна зробити такі висновки:

- 1) визначено коливання значень розмірної ознаки B_{zcn} , які обумовили виділення трьох груп голів жінок за B_{zcn} із заданими інтервалами;
- 2) експериментально обґрунтовано необхідність доповнення антропометричної бази даних, регламентованої діючими стандартами [3-4], до якої рекомендовано включити висоту голови спереду B_{zcn} , поздовжній d_{noz} та поперечний діаметри d_{non} голови;
- 3) запропоновано показники – поздовжній K_{noz} та поперечний K_{non} коефіцієнти, які дозволяють визначити вид форми опорної поверхні голови (наближену до півсфери, проміжну та наближену до півеліпсоїда) та вибрати відповідну форму матриці для виготовлення головного убору;
- 4) авторами рекомендовано за вхідну інформацію при проектуванні та формуванні головних уборів використовувати форму опорної поверхні голови, її морфологічний тип, обхват голови та групу за розмірною ознакою B_{zcn} з метою забезпечення ергономічності головних уборів.

Література

1. Морфологические типы головы как основа проектирования головных уборов. / Рывтинская Л.Б. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 32 с.
2. Рывтинская Л.Б. Моделирование, конструирование и технология обработки головных уборов / Рывтинская Л.Б., Плужникова Л.И., Меркулова Л.А. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 320 с.
3. ГОСТ 17522-72. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 92 с.
4. ОСТ 17-326-74. Изделий швейные, трикотажные, меховые. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1981. – 112 с.
5. Буханцова Л.В. Морфологічні типи голови як вихідні дані для проектування жіночих головних уборів / Л.В. Буханцова, О.П. Стрижова, М.О. Кушевський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 1. – С. 123-126.
6. Буханцова Л.В. Удосконалення процесу формування жіночих головних уборів: дис. .. канд. техн. наук: 05.19.04 / Людмила Василівна Буханцова. – Хмельницький, 2007. – 221 с.
7. Дунаевская Т.Н. Размерная типология населения с основами анатомии и морфологии / Дунаевская Т.Н., Коблякова Е.Б., Ивлева Г.С. – М.: Легкая индустрия, 1980. – 216 с.

Надійшла 24.12.2009 р.

РОБОТА ГНУЧКОГО СИЛОВОГО ЕЛЕМЕНТУ ПРИ ФОРМУВАННІ ВЕРХУ ВЗУТТЯ МЕТОДОМ ШНУРОВОЇ ЗАТЯЖКИ

У даній статті розглядається дослідження чинників, які покращують формування взуття методом шнурової затяжки, найголовніший з яких – безпосередній вплив гнучкого силового елемента на якість формування заготовки.

This article discusses the study of factors that improve the method of forming shoe Corded delay, the most important of which – direct impact of flexible power element in the formation of quality wood.

Ключові слова: формування, заготовка, шнурова затяжка, гнучкий силовий елемент, якість, затяжна кромка, переметний шов.

Постановка проблеми

Формування заготовок методом шнурової затяжки використовується при випуску найбільш простих видів взуття, в тому числі дитячого, кімнатного, літнього та текстильного – з прикріпленням низу методами гарячої вулканізації і лиття. Покращення якості виконання технологічних операцій затягування та формування деталей верху взуття з одночасним зменшенням енергетичних витрат за рахунок використання нових типів універсального обладнання для фрикційної шнурової затяжки, а також встановлення оптимальних технологічних режимів є актуальною задачею і являє значний інтерес для взуттєвої галузі легкої промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У своїх роботах [1, 2] М.П. Купріянов переконливо доводить, що при затягуванні верху затяжними машинами, оснащеними кліщовим механізмом, спостерігається концентрація видовжень у місцях защемлення матеріалу кліщами та повна відсутність видовжень у місцях, віддалених від кліщів машини. Найбільші значення деформацій припадають на область випуклості носкової частини колодки. Характер розтягу – одноосний, орієнтований у поздовжньому напрямку. А от при шнуровій затяжці у заготовці переважають поперечні деформації, які, навпаки, збільшуються при наближенні до затяжної кромки. Ближче до центру союзки деформації вдвоє менші, ніж по краях деталі. У цьому випадку в пучковій частині заготовки деформації розподілені практично рівномірно (тобто розтяг близький до двоосного симетричного), що повинно забезпечити хорошу формостійкість верху взуття.

У роботах [3, 4] вказано, що при шнуровій затяжці значення відносної деформації заготовки по затяжній кромці мають значні перепади порівняно із значеннями цієї деформації в геленковій частині, а також порівняно з іншими ділянками колодки. Наукові праці [5, 6] присвячені дослідженню процесу шнурової затяжки з використанням пружної фрикційної діафрагми. Встановлені залежності деформацій заготовки від сил тертя для різних матеріалів, ділянок колодки, а також визначені доцільні геометричні параметри самої діафрагми. Проте у всіх вказаних роботах не досліджено вплив технологічних режимів шнурової затяжки на якість верху взуття після його формування.

У наших попередніх теоретичних дослідженнях [7] були вичленовані окремі чинники процесу шнурової затяжки заготовки, які впливають на формостійкість верху і тісно пов'язані із гнучким силовим елементом (шнуром), котрий передає і розподіляє зусилля на затяжну кромку заготовки: кут його нахилу до лінії затяжної кромки (тобто виходу із переметного шва); деформаційні властивості матеріалу шнура; можливі межі технологічних режимів пришивання шнура до затяжної кромки. Однак визначити теоретичним шляхом оптимальні значення цих чинників не представляється можливим.

Формулювання цілі статті

Стаття присвячена експериментальному дослідженню роботи гнучкого силового елемента в процесі фрикційної шнурової затяжки та визначенню оптимальних значень технологічних режимів його кріплення до затяжної кромки і витягування під час формування матеріалу верху.

Виклад основного матеріалу

Найпоширенішими схемами шнурової затяжки є дві [4]: роздільна – по окремих ділянках (носково-пучковій і п'ятково-геленковій) і замкнута – по всьому периметру затяжної кромки з виходом обох кінців шнура в одному місці. У першому випадку кінці шнура направлені під великим кутом (~90°) до лінії затяжної кромки, а у другому – при менших, проте достатньо великих значеннях кута (45÷60°). Через це виникають значні поперечні складові зусилля затягування, що призводить до збільшення ширини затяжної кромки в геленковій частині порівняно з іншими ділянками на останніх етапах формування заготовки. При використанні схеми, коли затяжне зусилля прикладене вздовж лінії затяжної кромки, поперечні сили складові у геленковій частині відсутні і тоді її ширина переважає в носковій та п'ятковій частинах.

З метою пошуку оптимальних значень кута виходу шнура зі шва провели експеримент з використанням схеми, при якій цей кут можна змінювати в широкому інтервалі. Кінці кожної з півпетель

шнура з невеликим припуском зав'язуються у вузол (рис. 1) і приєднуються до гачків динамометрів експериментальної установки для визначення дискретного зусилля затягування заготовки, описаної в нашій роботі [8]. Але при цьому колодка повертається і закріплюється так, щоб натягнуті кінці шнурів, які йдуть до динамометра, розміщувались вздовж осі симетрії її п'яткової частини.

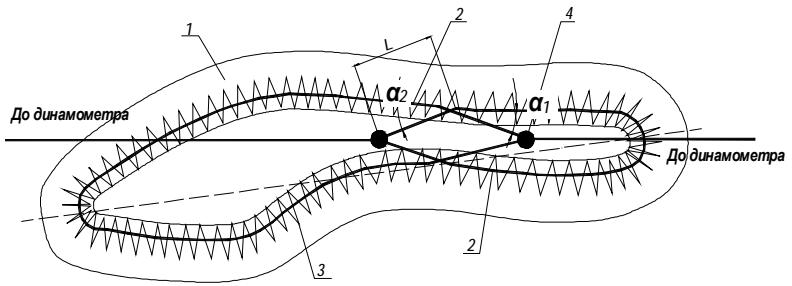


Рис. 1. Схема дослідження впливу кута нахилу шнура до лінії ЗК на її ширину: 1 – затяжна кромка; 2 – шнури 1-ї і 2-ї півпетель; 3 – переметний шов; 4 – вузол

В цьому випадку кути α_1 та α_2 будуть практично однаковими, а затяжне зусилля – рівномірно розподілене на обидві півпетлі. Величину кутів α_1 та α_2 можна регулювати, змінюючи відстань L від вузлів до точок виходів шнура зі шва. В експерименті кінці шнурів зав'язували з однаковим припуском L , тобто на початку прикладання зусилля до них $\alpha_1 = \alpha_2$. Отримані залежності ширини затяжної кромки від величини технологічного зусилля Q_3 , на шнури при різних значеннях кута α наведені на рис. 2, а – г.

Аналіз та порівняння отриманих залежностей свідчить, що оптимальні значення кута α виходу шнура зі шва знаходяться у діапазоні $30 \div 40^\circ$. У цьому випадку при зусиллі $Q_3 = 150$ Н ширина затяжної кромки на всіх ділянках близька до нормативної (15 ± 1 мм). Слід відмітити, що при таких кутах α контур верхнього канту практично не зміщувався до ребра сліду, а на самій затяжній кромці спостерігалось менше складок. Встановлені оптимальні значення кута $\alpha = 35 \pm 5^\circ$ необхідно враховувати при створенні нового обладнання для ефективного здійснення фрикційної шнурової затяжки.

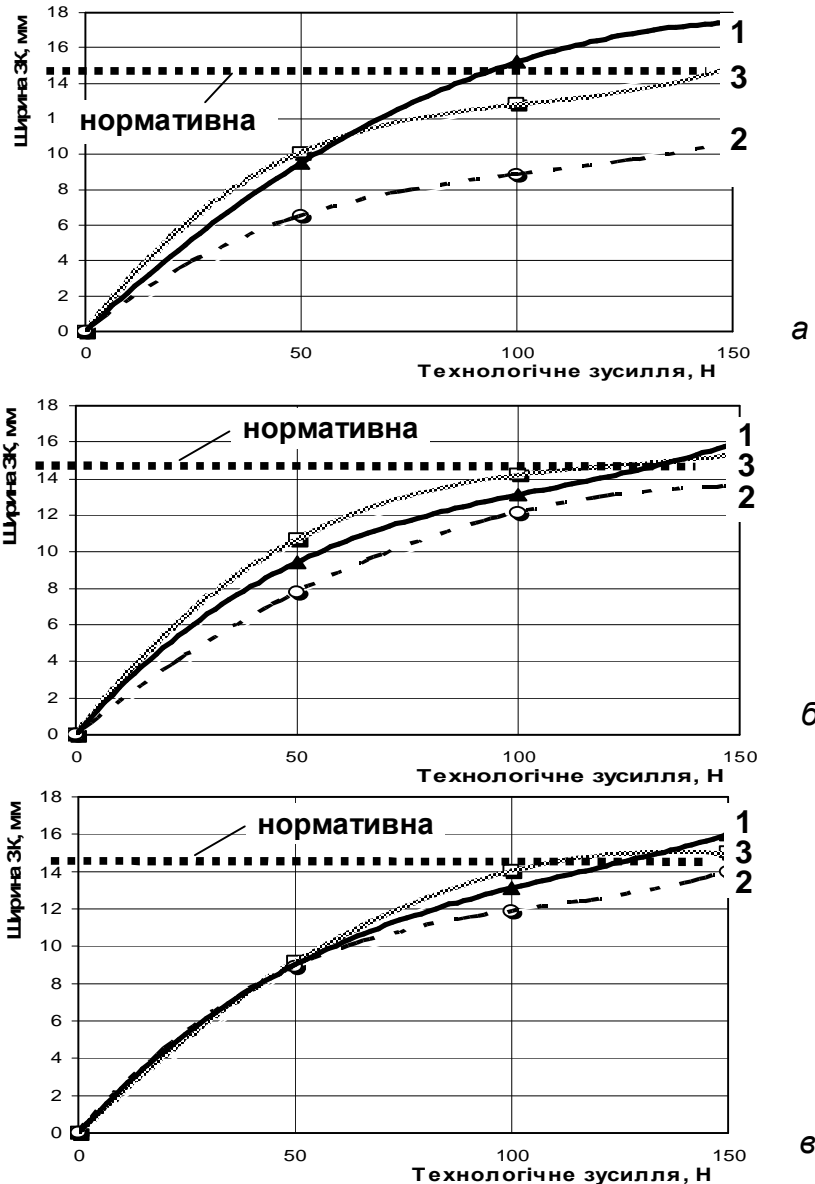


Рис. 2. Залежність ширини затяжної кромки (ЗК) від зусилля Q_3 на ділянках: 1 – носково-пучковій; 2 – геленковій; 3 – п'ятковій. Значення кута α : а – 20° ; б – 30° ; в – 40° ; г – 50° ; д – 60° .

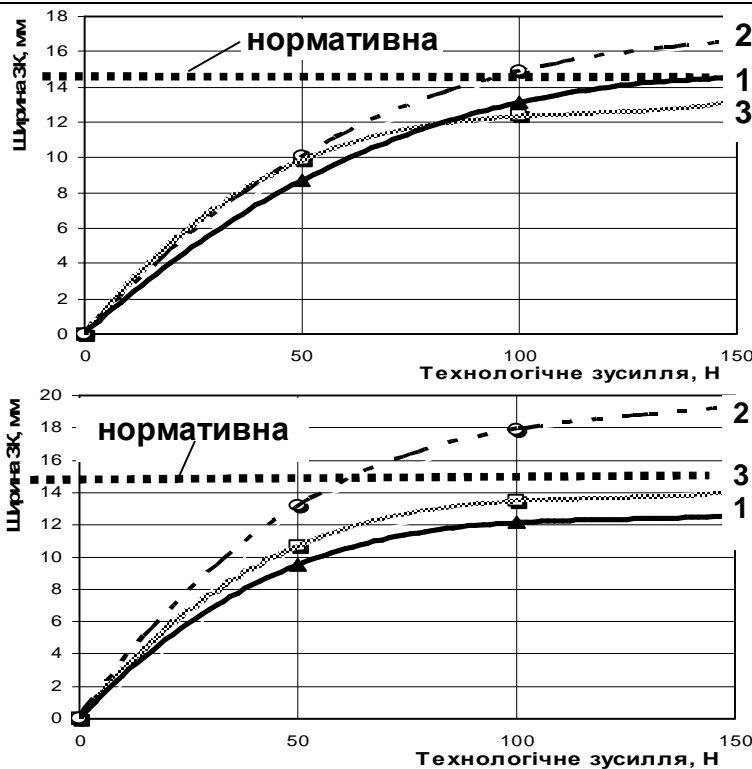


Рис. 2 (продовження). Залежність ширини затяжної кромки (ЗК) від зусилля Q , на ділянках: 1 – носково-пучковій; 2 – геленковій; 3 – п'ятковій. Значення кута α : а – 20° ; б – 30° ; в – 40° ; г – 50° ; д – 60°

Експериментальні дослідження деформаційних властивостей шнура проводили згідно з вимогами ГОСТ 6611.3–89 до визначення міцності взуттєвих ниток, але при цьому замість розривної машини РМ–30 використовували машину РТ–250. В результаті встановили залежність відносного видовження шнура від технологічного зусилля Q_s (рис. 3).

Як видно із графіка, при технологічному зусиллі, рівному 150 Н, середнє видовження шнура складає 10%. Для того, щоб ця деформація шнура під час затяжки заготовки не впливала негативно на процес приросту затяжної кромки до стандартної величини 15 ± 1 мм, необхідно довжину кожної з напівпетель L_n перед початком прикладання зусилля зменшити на величину $0,1 \cdot L_n$.

Для перевірки припущення, що міцність прикріплення шнура до заготовки може залежати від кроку стібка, провели такий експеримент. Шнур пришивали на машині 26-А кл. ПМЗ переметним швом капроновими нитками № 65К до краю зразків шкіри (бичина хромового дублення) розміром 40×60 мм з кроком (мм): 1,0; 1,4; 1,8; 2,2; 2,6; 3,0. Довжина шва складала 30 ± 2 мм. По обох краях шва робили закріпку 3-4 стібки. Ширина строчки складала (мм): 3,0; 3,5; 4,0. Кінці шнура зв'язували і заправляли у верхній затискач розривної машини РТ-250, а вільний від шва кінець зразка – у нижній затискач. Шви розривали при швидкості нижнього затискача 100 мм/хв. Графік залежності міцності пришивання шнура до краю зразка наведений на рис. 4.

Досліди показали, що при кроках $1,0 \div 1,4$ мм усі зразки розірвались по шкірі із зусиллям розриву $285 \div 297$ Н – через ослаблення матеріалу проколами голки. Найбільша міцність шва спостерігалась на інтервалі кроку від 1,8 до 3,0 мм з максимальним значенням при кроці 2,2 мм (330,3 Н).

Отже, на основі результатів експерименту слід вважати оптимальними для пришивання шнура до краю заготовки такі технологічні режими: крок стібка – $2,4 \pm 0,2$ мм; ширина стібка – $3,25 \pm 0,25$ мм; закріпка – $3 \div 4$ стібки.

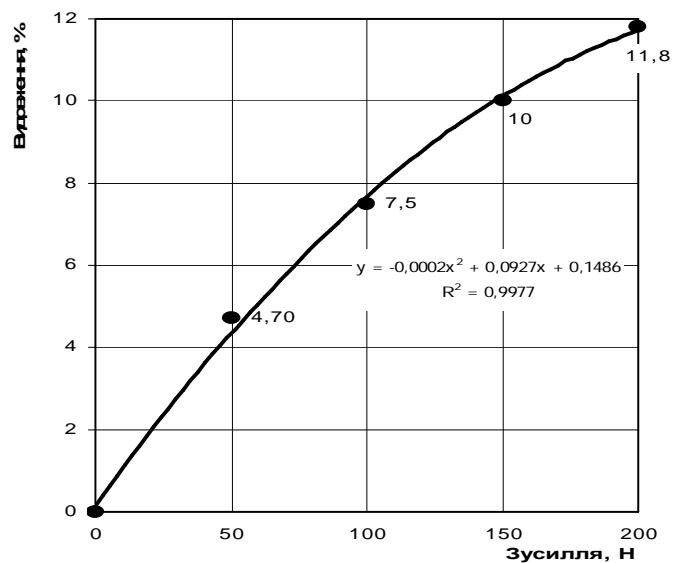


Рис. 3. Залежність видовження шнура від технологічного зусилля

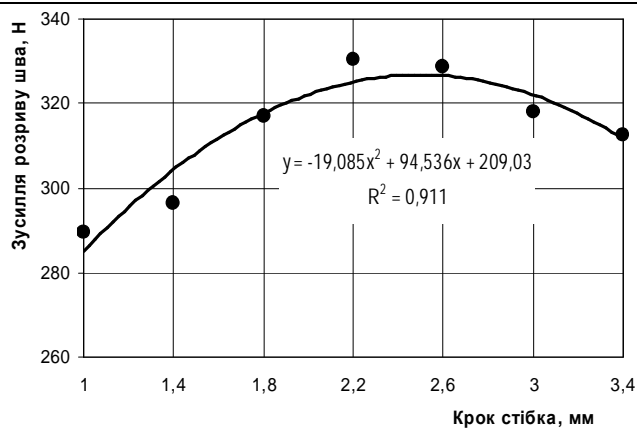


Рис. 4. Залежність міцності кріплення шнура переметним швом від кроку стібка

Висновки

1. Експериментально встановлено ступінь впливу кута виходу шнура із переметного шва на ширину затяжної кромки по різних ділянках заготовки. Оптимальне значення кута складає $30 \div 40^\circ$.

2. Досліджені деформаційні властивості капронових ниток № 800К, вибраних для гнучкого силового елемента, в робочому діапазоні технологічних зусиль. Негативний вплив подовження шнура при затяжці заготовки можна ліквідувати, зменшивши його вихідну довжину на 10 %.

3. Експериментально встановлена залежність міцності кріплення шнура від технологічних параметрів переметної строчки. Оптимальні режими виконання строчки такі: крок стібка – $2,4 \pm 2$ мм; ширина стібка – $3,25 \pm 0,25$ мм; закріпка – $3 \div 4$ стібки.

Література

1. Куприянов М.П. Деформационные свойства кожи для верха обуви. – М.: Легкая индустрия, 1969. – 245 с.
2. Куприянов М.П. Характер деформации верха обуви при различных способах формования // Изв. вузов Технол. лег. пром-сти. – 1964. – № 4. – С. 76-79.
3. Зыбин Ю. П. Технология изделий из кожи. – М.: Легкая индустрия, 1975. – С. 173-182.
4. Зыбин А. Ю. Двухосное растяжение материалов для верха обуви / – М.: Легкая индустрия, 1974. – 175 с.
5. Магамедов Х.Г., Тонковид Л.А. Исследования поля сил внешнего трения при формировании в обувной заготовке растяжением // Изв. вузов Технол. лег. пром-сти. – 1981. – № 6. – С. 97-97.
6. Тонковид Л.А., Магамедов Х.Г. Исследования процесса фрикционного формирования заготовок верха обуви с помощью диафрагмы // Изв. вузов Технол. лег. пром-сти. – 1982. – № 3. – С. 77-81.
7. Росул Р.В. Аналітичне дослідження процесу шнурової затяжки заготовки верху взуття // XII Міжнародна науково-практична конференція "XXI століття: Наука. Технологія. Освіта" – Мукачєво, 2007. – С. 65-66.
8. Пат. України на винахід UA 75817, A43D15/00/G01L/1/04. Пристрій для дослідження шнурової затяжки заготовки верху взуття. – Бюл. № 5, 15.05.2006.

Надійшла 24.12.2009 р.

УДК 687.05

Л.В. НАЗАРЧУК

Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ВІКОВОЇ ДИНАМІКИ МІНЛИВОСТІ РОЗМІРНИХ ОЗНАК, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ВЕЛИЧИНУ ТРАНСФОРМУЮЧИХ ДЕТАЛЕЙ ОДЯГУ ДЛЯ ДІТЕЙ МОЛОДШОГО ШКІЛЬНОГО ВІКУ

В статті наведені результати аналізу вікової динаміки мінливості розмірних ознак. Визначено принцип розрахунку величин трансформуючих деталей одягу для дітей молодшого шкільного віку, що дасть можливість вибрати потрібні величини цих деталей для певних конструктивних зон, у відповідності з ескізом даної моделі дитячого плечового виробу.

The results of analysis of age-old dynamics of changeability of signs of sizes are resulted in the article. Certainly principle of calculation of sizes of transforming details of clothes for the children of junior school age which will enable to choose the necessary sizes of these details for certain structural areas, in accordance with the sketch of this model of child's humeral good.

Ключові слова: розмірні ознаки, одяг.

Вступ

Невідповідність дитячого одягу розмірам тіла дитини, що інтенсивно зростає, обумовлює невеликий

строк експлуатації дитячого одягу. Як показало анкетне опитування батьків, зміна речей, із яких дитина виросла, відбувається значно частіше, ніж зміна зношених речей і розширення гардеробу. Тому, актуальним питанням є удосконалення процесу проектування дитячого одягу та пристосування його до постійних змін дитячої фігури.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження є процес проектування одягу для дітей з урахуванням віку дитини з подовженим строком використання за рахунок застосування трансформуючих елементів.

Проведено аналіз вікових антропометричних особливостей дітей молодшого шкільного віку на основі даних [1, 2]. Для отримання інформації про вікову динаміку розмірних ознак були проведені дослідження ГОСТів, Остів. Результати дослідження були оброблені методами варіаційної статистики і використані для розробки методики розрахунку величин трансформуючих елементів.

Результати та їх обговорення

Зміна довжини тіла дитини є однією із основних характеристик процесу росту її організму. Об'єм інформації, що закладений у антропометричних стандартах визначається методами конструювання одягу, що базуються на принципах систем крою. Дослідження показали, що саме цим пояснюється недостатня кількість проєкційних розмірних ознак, що відображають орієнтування антропометричних точок фігури дитини у просторі.

Характеризуючи динаміку швидкості росту дітей, можна зробити висновок, що як хлопці, так і дівчата, у різний період свого розвитку ростуть нерівномірно, бувають “сплески” і “падіння” як це показано на графіку (рис. 1). Це свідчить про те, що можна попередити існуючу проблему і збільшити випуск продукції для дошкільної, старшої шкільної та підліткової груп дітей. Адже батьки, які уже зіштовхнулися з проблемою швидкої непридатності практично нових речей, намагаються якось вийти із цієї ситуації. Перешивають цей одяг, подовжують рукави та низ виробу за рахунок припусків на підгин низу, або ж купують на розмір більші речі. Щоб цього не траплялось, пропонуємо використовувати трансформацію довжини одягу, особливо для тих вікових груп дітей, які було названо вище.

Типову фігуру дітей дошкільного, молодшого шкільного та старшого шкільного віку визначають три розмірні ознаки: ріст (розмірна ознака 1), обхват грудей третій (розмірна ознака 16), і обхват талії (розмірна ознака 18) – повнотний показник. Вибираємо із класифікації типових фігур дівчаток для проектування одягу із тканини [1] та із класифікації типових фігур хлопчиків для проектування одягу із тканини [2], типові фігури дітей, на які повинні розроблятися модель. Рекомендується розробляти модель виробу на типові фігури суміжних ростів [4].

Було досліджено зміну розмірних ознак, які визначають зміну пропорцій фігури дитини для суміжних розмірів. Виконано порівняння зміни розмірних ознак для фігур дівчаток і хлопчиків молодшої шкільної групи. Результати проведеного аналізу зміни розмірної ознаки ΔP_D і ΔP_X по обхвату грудей (O_{G_3}) вказують на можливість розробляти одяг для дівчаток та хлопчиків цієї вікової групи з поєднанням статі. Проведено дослідження зміни приростів розмірних ознак обхватних та ширинних, ці значення мають величину 0, 1 – 0,2 см. Результати аналізу зміни розмірної ознаки ΔP_D і ΔP_X по росту (P) (10, 7, 86, 12, 5 – вертикальні розмірні проєкційні ознаки, за якими ведеться розрахунок величини трансформуючої деталі) вказують на величину зміни розміру деталей (по довжині) і введення додаткових елементів для подовження терміну використання дитячого одягу. Таким чином є потреба та можливість розробляти дитячий одяг в одному розмірі і декількох суміжних ростях.

Для зміни конструктивно-композиційного рішення моделей (в тому числі шляхом різних комбінацій різних по кольору матеріалів), покращення теплозахисних властивостей дитячих виробів можна використати деякі із засобів зовнішньої (приєднання-від'єднання, згортання-розгортання окремих елементів, регулювання-фіксація їх розмірів) і внутрішньої (суміщення-вкладання теплозахисних прокладок) трансформації.

Параметричні характеристики трансформуючих елементів встановлюються залежно від місця розташування трансформуючого елементу.

Відповідно [1, 2] приріст розмірної ознаки зросту знаходиться в лінійній залежності (6, 12, 18, 24), то лінійно будуть збільшуватись і прирости інших розмірних ознак. Тому, приріст розмірної ознаки по росту можна визначити з формули:

$$\Delta P_{р.о.} = P_{р.о. (n+1)} - P_{р.о. 1}, \quad (1)$$

де $P_{р.о. (n+1)}$ – приріст (n+1)-ї розмірної ознаки;
 $P_{р.о. 1}$ – приріст першої розмірної ознаки.

Ширина трансформуючого елементу буде залежати від ширини деталі пілочки, спинки чи рукава. Довжина цього ж елементу залежить від приросту розмірних ознак по лінії талії, стегон, ліктя, низу виробу, та рукава і довжини виробу.

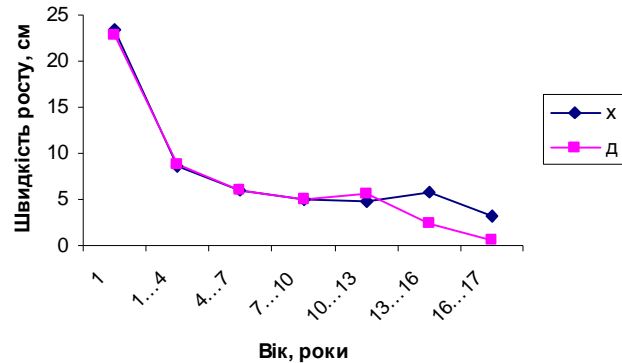


Рис. 1. Динаміка швидкості росту дітей [3]

При дослідженні розмірних ознак з використанням методів математичного аналізу [5] було визначено, що різниця довжин трансформуючих елементів із збільшенням росту дитини зменшується. Це дає можливість стверджувати, що зміна приросту трансформуючого елемента також лежить в лінійній залежності.

Тому, формула для визначення довжини трансформуючих елементів (H) буде мати вигляд:

$$H_m = \frac{n(\Delta P_a + \Delta P_b)}{n+1}, \quad (2)$$

де m – порядковий номер конструктивної зони;
n – кількість ростів;
 ΔP_a – приріст розмірної ознаки a по таблиці 1;
 ΔP_b – приріст розмірної ознаки b по таблиці 1

Таблиця 1

Позначення розмірних ознак

Назва КЗ	Позначення КЗ на конструкції	Позначення розмірних ознак	
		a	b
Довжина до рівня лінії талії	K1	10	7
Довжина до рівня лінії стегон	K2	10	86
Довжина до рівня лінії сідниць	K3	10	12
Довжина рукава до зап'ястка	K4	5	12
Довжина рукава до ліктя	K5	5	7

Залежно від зміни приростів розмірних ознак можна визначити зміну величини трансформуючого елемента на певній конструктивній зоні деталей спинки, пілочки, рукава. Конструктивна зона 1 – до лінії талії, конструктивна зона 2 – до лінії стегон, конструктивна зона 3 – до лінії сідниць, конструктивна зона 4 – до лінії низу рукава, конструктивна зона 5 – до лінії ліктя.

При використанні методів математичного аналізу було визначено, що різниця довжин трансформуючих елементів із збільшенням росту дитини зменшується. Це дає можливість стверджувати, що зміна приросту трансформуючого елемента лежить в лінійній залежності.

Розрахунок довжини трансформуючого елемента на рівні конструктивної зони 1 із зміною росту дитини з 128 см до 134 см:

$$H_1 = \frac{1 \cdot (P_{10} - P_7)}{2}; \quad (3)$$

із зміною росту дитини з 128 см до 140 см:

$$H_1 = \frac{2 \cdot (P_{10} - P_7)}{3}. \quad (4)$$

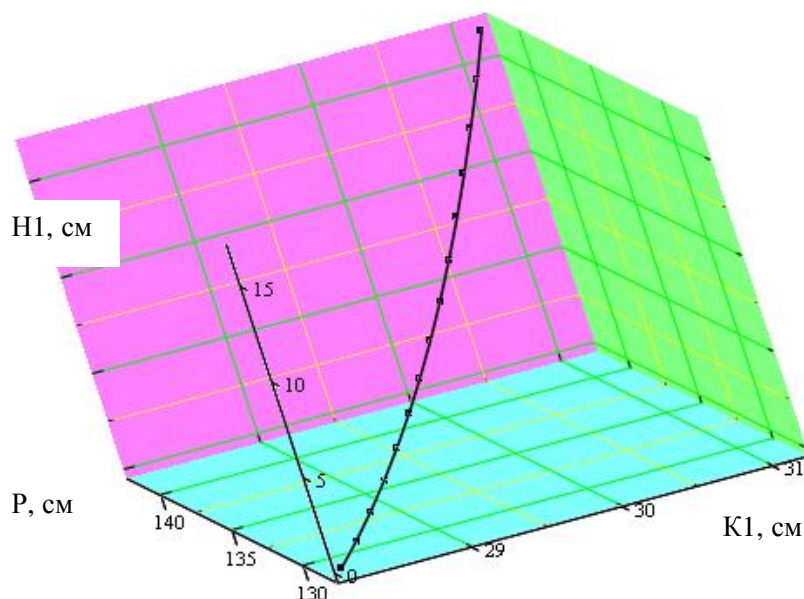


Рис. 2. Значення трансформуючого елемента для конструктивної зони 1 (128-68-57)

На основі розрахунків величин трансформуючих елементів та математичної обробки даних за допомогою програми Math Cad було побудовано графіки залежності цієї величини від росту дитини та конструктивної зони, в якій буде розташовуватися трансформуючий елемент. Приклад графіків значень трансформуючих елементів надано на рис. 2.

З графіка за значеннями розмірних ознак та ростів можна визначити величини трансформуючих елементів на певній конструктивній зоні. За таким же принципом будуються і інші графіки для визначення величини трансформуючих елементів у інших конструктивних зонах.

Висновки

В результаті проведених досліджень було визначено місця розташування трансформуючих елементів та визначено принцип розрахунку їх величин на певних конструктивних зонах, що дасть можливість конструкторам зробити аналіз та вибрати потрібні величини трансформуючих елементів для певних конструктивних зон, у відповідності з ескізом даної моделі дитячого плечового виробу.

Література

1. ГОСТ 17916-86. Фигуры девочек типовые. Размерные признаки для проектирования одежды. – Введ. 01.01.87.
2. ГОСТ 17917-86. Фигуры мальчиков типовые. Размерные признаки для проектирования одежды. – Введ. 01.01.87.
3. Кашуба В.О. Биомеханика осанки. – К. 2003.
4. Березненко С.М., Арцева О.О., Назарчук Л.В. Дослідження антропометричної бази даних для проектування дитячого одягу на різні вікові групи // Легка промисловість. – 2008. – № 3. – С. 38-40.
5. Пустюльга С.І. Дискретне визначення геометричних об'єктів числовими послідовностями: Дис... д. техн. наук: 05.01.01. – К. 2005. – 316 с.

Надійшла 10.12.2009 р.

УДК 687.157.017

Т.Г. ШАРАН, Н.В. ПРОШИНА, В.Й. РОКИЦЬКА

Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ НА ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ

В статті наведені результати дослідження впливу полімерного покриття залежно від кількості його шарів, на властивості матеріалів для виготовлення спецодягу. В результаті досліджень зроблено висновок щодо вибору оптимальної кількості шарів полімерного покриття.

In the article there have been given the results of the research of polymeric coatings' influence, depending on the number of layers on the properties of materials for the production of workingclothes. The results of the resarch stipulate the conclusion as to the choice optimal amount of coating layers.

Ключові слова: дослідження, полімерне покриття, властивості матеріалів.

Постановка проблеми

В загальній масі засобів, які забезпечують комфортні умови праці, спецодяг посідає одне з перших місць. Перехід до ринкових відносин, посилення конкуренції змушує підприємства по-іншому дивитись на спецодяг. Мати власний фірмовий виробничий одяг стає престижним. В зв'язку з цим виникла необхідність у збільшенні виробництва, розширенні асортименту і підвищенні якості цього виду одягу. Створення спецодягу необхідної якості залежить як від властивостей матеріалів, що застосовуються, так і від його конструктивного виконання [1].

Привабливість і практичність тієї чи іншої моделі спецодягу, в першу чергу, залежить від матеріалу, з якого він зроблений. Асортимент пропонуємих матеріалів на сьогодні достатньо різноманітний і постійно поповнюється. Також збільшується асортимент матеріалів з певними захисними властивостями, які надаються в результаті спеціальної обробки – просочування.

Аналіз останніх досліджень

Проведені дослідження, в результаті яких обрано оптимальний варіант матеріалу для спецодягу працівників інструментального цеху, а також визначені фізико-механічні властивості [1-3]. Але цього недостатньо, тому що під час аналізу топографії місць зношування захисного одягу встановлено, що відбувається значне забруднення та руйнування матеріалу, а іноді повний його вихід з експлуатації.

Тому постало питання про забезпечення довготривалої експлуатації спецодягу, за рахунок використання матеріалів з підвищеними захисними властивостями від виробничих забруднень на ділянках одягу, які найбільше підлягають зношенню. Проведений аналіз матеріалів, які використовуються для створення захисного одягу від шкідливих факторів виробництва інструментальних цехів, показав, що існує

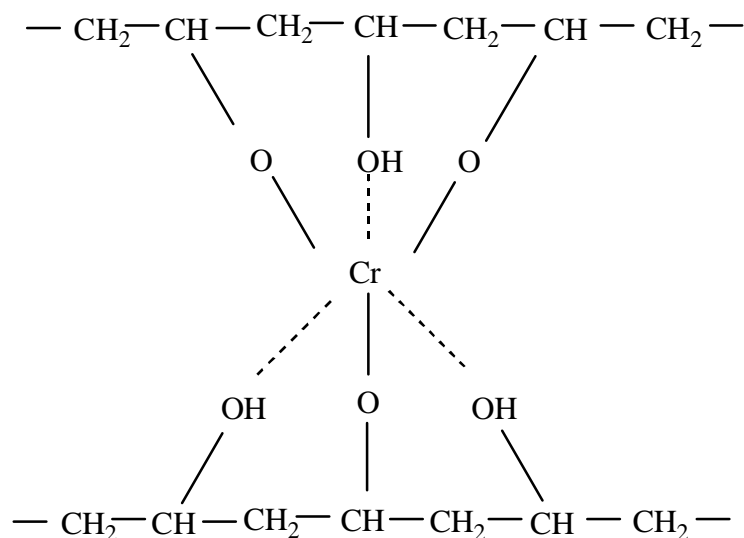
асортимент тканин з певним покриттям чи просочувачем, але складно обрати той чи інший у відповідності з умовами експлуатації і вартістю. Як правило матеріали, з кращими захисними властивостями дороговартісні, що практично не завжди дозволяє використовувати їх для виготовлення спецодягу.

Виклад основного матеріалу

Нашою метою є удосконалення захисних властивостей спецодягу для робітників інструментального цеху ВАТ АК «Адвіс» м. Хмельницького. На кафедрі технології та конструювання швейних виробів на даний момент проводяться роботи в цьому напрямку. Визначено два шляхи підвищення якості спецодягу: це вплив на грубу структуру матеріалів та конструктивний.

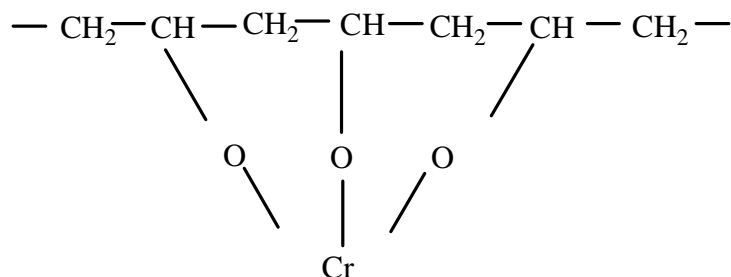
На основі літературних джерел в умовах лабораторії кафедри хімії дослідним шляхом були розроблені рецептури нових захисних покриттів для спецтканин. Для створення плівкового полімерного покриття було обрано комплекс полівінілового спирту (ПВС) з хромом, оскільки в хімічному відношенні ПВС подібний до целюлози. Як багатоатомний спирт, ПВС може утворювати прості і складні ефіри (етери і естери), комплексні сполуки з різними металами, реагувати з альдегідами і кетонами і т.п. Розчинність ПВС залежить від вмісту залишкових ацетатних груп. При вмісті 5% ацетатних груп ПВС не розчиняється в холодній воді, але розчиняється у воді нагрітій до 65-70 °С [4].

В'язкість, водонерозчинність, механічна міцність і теплостійкість ПВС збільшуються при обробці сполуками хрому (хроматами, біхроматами, хромовою кислотою). Для комплексної сполуки ПВС з хромом можна запропонувати наступну структуру:



Зв'язки між ланцюгами відносяться як до валентних, так і до координаційних, які є слабкішими за валентні. При утворенні комплексів відбувається зшивка полімерних ланцюгів з утворенням дво- і тривимірних структур, в результаті чого ПВС втрачає здатність розчинятись у воді та інших розчинниках.

На поверхні плівки можливе утворення структури:



Обробка ПВС для надання йому нерозчинності супроводжується збільшенням його жорсткості, крихкості. Використанням відповідних пластифікаторів можна поліпшити властивості захисних плівок збільшити їх еластичність, в першу чергу. Підвищення міцності і еластичності полімерів при використанні пластифікаторів пояснюється збільшенням рухливості надмолекулярних структур, які при розтягуванні орієнтуються, що завжди призводить до підвищення міцності полімерів.

Сумісність полімеру з пластифікатором залежить від хімічної будови пластифікатора. Оскільки полімер не повинен необмежено змішуватись з пластифікатором, тут наближено діє правило «подібне набрякає в подібному». Якщо полімер самовільно набрякає в пластифікаторі, це означає, що вони сумісні. При пластифікації полярних полімерів (ПВС) використовують і полярні пластифікатори. Для ПВС в якості пластифікаторів можна використовувати гліцерин, етиленгліколь, бутиленгліколь та ін. [5].

Хромова сіль додається до розчину ПВС 10% незадовго до його застосування, оскільки ефективність його зменшується з часом. Після нанесення розчину ПВС на поверхню матеріалу його опромінювали ультрафіолетовими променями протягом декількох хвилин. Досліджували зміни

властивостей тканин від кількості шарів полімерного покриття.

Для дослідження нами були обрані наступні матеріали: «Ортон», «Грета», «Діагональ», «Саржа камуфляжна», характеристика яких наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристика матеріалів

Найменування матеріалу	Артикул	Волокнистий склад матеріалу	Поверхнева густина, г/м ²
1	2	3	4
Діагональ	6В-18-ТКД	100% бв	208.10
Ортон	9008	50% пе 50% бв	270
Грета	2701	53% бв 47% пе	268
Саржа камуфлірована	-	65% пе 35% бв	250

Матеріали з отриманим захисним полімерним покриттям підлягали експериментальним дослідженням, а саме визначали зміну фізико-механічних властивостей та товщини від кількості шарів полімерного покриття:

- міцність і видовження при одновісному розтягуванні до розірвання;
- жорсткість при згині;
- стійкість до дії тертя.

За результатами досліджень побудовані графіки залежності властивостей матеріалів від кількості шарів покриття.

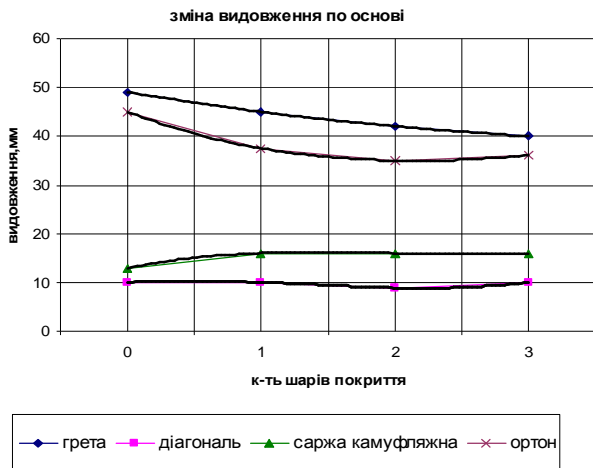


Рис. 1. Графіки залежності видовження матеріалів по основі від кількості шарів полімерного покриття

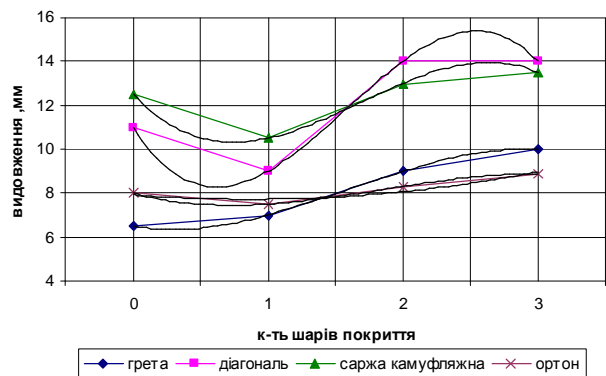


Рис. 2. Графіки залежності видовження матеріалів по утку від кількості шарів полімерного покриття

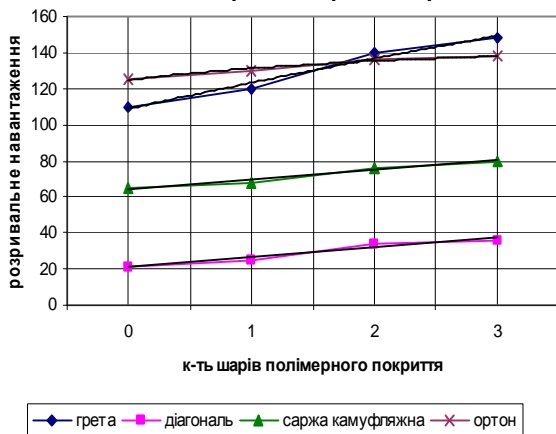


Рис. 3. Графіки залежності розривального навантаження матеріалів по основі від кількості шарів полімерного покриття

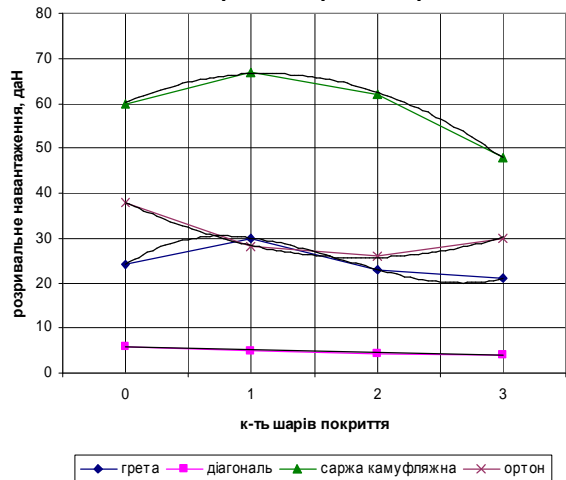


Рис. 4. Графіки залежності розривального навантаження матеріалів по утку від кількості шарів полімерного покриття

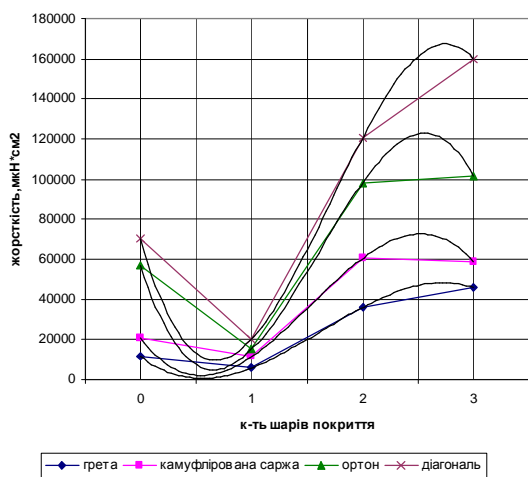


Рис. 5. Графіки залежності жорсткості матеріалів по основи від кількості шарів полімерного покриття

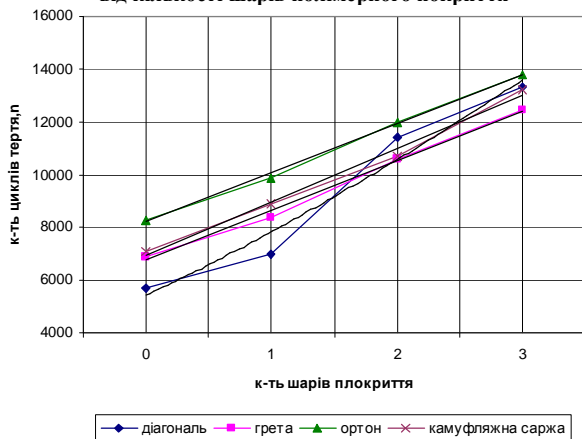


Рис. 7. Графіки залежності стійкості матеріалів до дії тертя від кількості шарів полімерного покриття

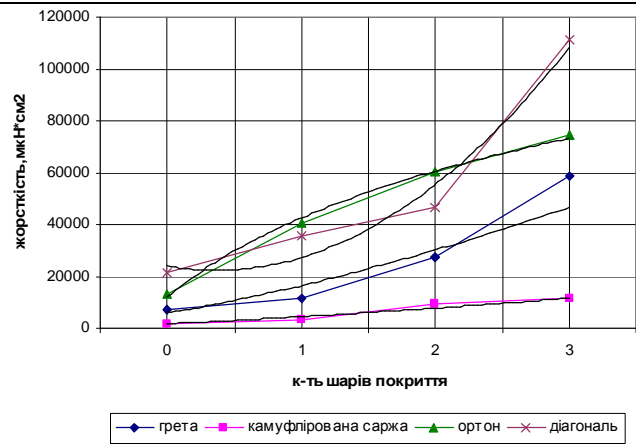


Рис. 6. Графіки залежності жорсткості матеріалів по утоку від кількості шарів полімерного покриття

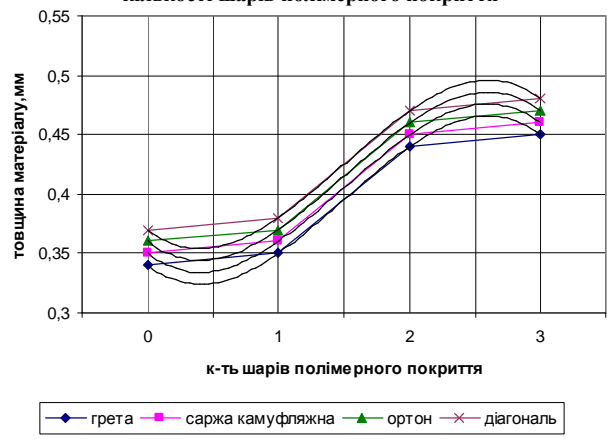


Рис. 8. Графіки залежності товщини матеріалів від кількості шарів полімерного покриття

Висновки

Аналізуючи графіки залежності міцності і видовження при одновісному розтягуванні до розривання від кількості шарів полімерного покриття (рис. 1-4) видно, що значення даних властивостей змінюються по-різному. Відбувається зменшення видовження по основи та збільшення його по утоку. Розривальне зусилля збільшується з кожним наступним шаром полімерного покриття, яке просочується та заповнює мікропори та макropори на поверхні матеріалу. При цьому матеріал втрачає початкову еластичність, відбувається збільшення жорсткості (рис.5), що призводить до збільшення зусиль для розривання. Причому зміни величин даних властивостей суттєво не відрізняються при нанесенні двох та трьох шарів полімерного покриття. Тільки стійкість матеріалів до дії тертя зростає значно після нанесення другого шару покриття, тому що на поверхні матеріалу, після нанесення другого шару відбувається заповнення залишкових пор полімерним покриттям, утворюється плівка, яка підвищує стійкість до дії тертя. Проаналізувавши зміну товщини матеріалів після нанесення трьох шарів полімерного покриття (рис.8), можна зробити висновки, що для матеріалів достатньо наносити два шари. Це пояснюється тим, що значення товщини матеріалів після нанесення другого і третього шарів полімерного покриття суттєво не відрізняються. Рациональність нанесення лише двох шарів полімерного покриття підтверджується також незначним збільшенням розривального зусилля після нанесення третього шару і також забезпечується менша жорсткість для матеріалів.

Література

1. Фомченкова Л. Н. Современные материалы для рабочей одежды и специальной одежды // Текстильная промышленность. – 2004.– № 6.–С. 32-37.
2. Шаран Т. Г., Прошина Н.В. Вибір оптимального варіанту матеріалу для спецодягу // Вісник Хмельницького національного університету.– 2006. – № 1.– С. 172-174.
3. Константинова Н. И., Зубкова Н. С., Болодьян Г. И., Терешина Н. А. Принципы выбора тканей для изготовления пожаробезопасной спецодягу // Текстильная промышленность.– 2002.– № 10. – С. 19-21.
4. Конопальцева Н. М., Афиногентова Н. В., Пянзина О. И. Математический анализ защитной способности спецодягу для рабочих-слесарей МСР с целью разработки модельной конструкции в специализированной системе Autocad // Швейная промышленность.– 2004.– № 2 – С. 49-51.

5. Анохин В.В. Химия и физико-химия полимеров. – К.:Вища школа, 1987. – 398 с.
6. Воюцкий С.С. Физико-химические основы пропитывания и импрегнирования волокнистых систем водными дисперсиями полимеров. – Л.: Химия, 1969. – 336 с.

Надійшла 12.12.2009 р.

УДК 667.637.4: 666.3.135

О.І. ПЕРЕДРІЙ

Луцький національний технічний університет

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРО- І ВОГНЕСТІЙКИХ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НАПОВНЕНИХ СИЛІЦІЙЕЛЕМЕНТООРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Розглянуто результати досліджень в галузі захисних температуро- і вогнестійких захисних покриттів для збільшення довговічності будівельних конструкційних матеріалів. Показано вплив зв'язки та наповнювача на їх захисні властивості у широкому інтервалі температур.

The results of research in the field of thermal protection and fire-resistant protective coating for increased durability of building construction materials have been considered in this article. The influence of relationships and filling in their protective properties in a wide temperature range have been explored.

Ключові слова: захисні покриття, силіційелементоорганічні сполуки, конструкційні матеріали, температуро- і вогнестійкість

Постановка проблеми. Технічне удосконалення всіх галузей промисловості у даний час потребує розширення використання прогресивних температуро- і вогнестійких матеріалів при проектуванні, реконструкції та модернізації об'єктів, де актуальним є завдання збільшення довговічності, теплозахисту і зниження енергетичних витрат. Ефективні захисні матеріали, вироби і конструкції з них значно покращують їх експлуатаційні властивості при роботі в умовах високотемпературного нагрівання, забезпечують економію палива і обумовлюють стабільні режими експлуатації технологічного обладнання та безпечні умови праці.

У практиці температуро- і вогнезахисту металевих та інших конструкційних матеріалів переважно використовують наповнені поліорганосилоксани, які поєднують термостабільність та інертність силіційкисневого каркасу із високими фізико-механічними властивостями. Захисні властивості таких матеріалів вдається регулювати лише за рахунок виду і вмісту наповнювача, тому що на даний час не існує полімерних зв'язок, які володіють високою температуростійкістю. Питання про місце наповнювача і ступінь його впливу на властивості силіційелементоорганічних композицій є складним і недостатньо вивченим.

Тому розроблення фізико-хімічних основ технології формування структури та властивостей композиційних систем у широкому інтервалі температур є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Головним чинником, який впливає на металеві та інші конструкції при дії високих температур та вогню є втрата їх несучої здатності, яка супроводжується руйнуванням. Високотемпературне нагрівання та механічні навантаження створюють у конструкціях деформації теплового розширення, зсідання та повзучості [1, 2]. У процесі нагрівання та довготривалої дії високих температур на довговічність будівельних металевих та бетонних конструкцій впливає вид зв'язки, наповнювача та структура покриття за рахунок різниці термомеханічних властивостей. Напруження, які виникають у покритті внаслідок температурного градієнта при нагріванні можуть призвести до його руйнування [3]. Важливим елементом, який впливає на поведінку матеріалів при нагріванні, є фазовий склад та термічні характеристики самого покриття.

Відомо [4, 5], що композиційні покриття на основі силіційорганічних зв'язок та мінеральних наповнювачів широко застосовуються для захисту конструкційних матеріалів, які працюють в умовах високотемпературного нагрівання та дії вогню [6, 7]. Довговічність таких матеріалів у процесі довготривалої експлуатації за таких умов залежить від структурних перетворень і зміни фазового складу [6].

Мета роботи полягає у виборі складів вихідних композицій для температуро- і вогнестійких захисних покриттів на основі аналізу сучасного стану наукових досліджень.

Результати досліджень. Температуро- і вогнезахист металевих і бетонних конструкцій полягає у створенні на їх поверхні ізолюючих щільних екранів, які можуть зменшити прогрівання підкладки та збільшити її довговічність при дії високих температур протягом заданого терміну. Вибір способу високотемпературного захисту залежить від типу конструкції, температури та умов експлуатації, ступеню агресивності навколишнього середовища, техніко-економічних показників та інших чинників.

Застосування температуро- і вогнезахисних покриттів на основі мінеральних в'язучих (рідкого скла) і наповнювача (спучений перліт, азбест та інші) обмежується температурою нагрівання до 973 К.

До температуростійких відносять захисні покриття, які не руйнуються протягом заданого терміну при контакті з газоподібними, рідкими і твердими агресивними середовищами в інтервалах температур 373 до 2273-3273 К та діляться на вогнетривкі, жаростійкі і теплостійкі. Такі покриття повинні бути непроникними до агресивних середовищ, інакше вони не виконуватимуть захисних функцій [7].

Сучасна техніка і технологія дозволяють використовувати для одержання захисних покриттів матеріали з необмеженою гамою властивостей, а саме: метали, неметали, інтерметаліди, оксиди та їх сполуки, силікати, керамічні матеріали тощо.

Неорганічні покриття здатні забезпечити захист багатьох сплавів від окиснення в інтервалі температур 1173-1473 К. В початковий момент прилягання і змочування забезпечується захист за рахунок рідкої активної скловидної складової, однак із вирівнюванням складу покриття реакційна здатність її швидко зменшується. Такі покриття потребують попереднього термооброблення, що є економічно не вигідним. Тому, необхідно одержувати покриття з високою температуро- і вогнестійкістю при мінімальному вмісті склофази, достатньому змочуванні підкладки, високій суцільності, заданим температурним коефіцієнтом лінійного розширення (ТКЛР) і невисокою температурою його формування.

Вказані проблеми можна вирішити шляхом використання золь-гель процесу, але для запобігання розтріскування гелю під дією напружень зсідання при формуванні покриття його необхідно армувати мікрОВОЛОКНИСТИМИ матеріалами. Із врахуванням складного процесу переходу «золь-гель-покриття», впливу армуючих наповнювачів на стійкість покриття до дії високих температур та активність колоїдних компонентів, необхідні детальні дослідження.

Захисні покриття, які передбачають попереднє термічне оброблення, що забезпечує взаємодію матеріалу покриття з підкладкою, називають дифузними. Вони запобігають окисненню підкладки внаслідок утворення на межі контакту стійкого інтерметаліду або твердої сполуки, що забезпечує захист більшою мірою, ніж власне матеріал покриття.

Ефективними є захисні покриття, що спучуються, високотемпературний і вогнезахист яких досягається внаслідок спучування вихідного складу за відносно невисоких температур [4]. Їх переваги полягають у тому, що вони, нанесені на конструкцію тонким шаром, практично не збільшують її масу, але при цьому значно підвищують температуро- і вогнестійкість та є доступними в експлуатації. Такі покриття складаються із полімерної зв'язки, наповнювача, антипірена і спучуючих додатків. Одним з їх недоліків є потреба у ґрунтуванні поверхні і недостатня ефективність.

Тому є необхідність виключати недоліки існуючих складів покриттів за рахунок використання нових видів вихідних матеріалів та співвідношення компонентів. Більшість полімерних зв'язок розкладається при нагріванні до температури вище від 423 К, що спонукає до пошуку нових матеріалів зі значно вищими і малогорючими властивостями. Наявність сполук, які у полімерному ланцюзі замість атомів Карбону містять атоми інших елементів, а саме Силіцію і Алюмінію може значно підвищувати термічні властивості матеріалів, за рахунок збільшення мінерального залишку після нагрівання. Найбільший інтерес являють поліорганометалосилоксани, ланцюги яких побудовані з атомів Силіцію, Оксигену і Алюмінію. При термічному розкладанні у них зберігається зв'язок Si-O-Al.

Температуро- і вогнестійкість захисних покриттів з поліалюмосилоксановими зв'язками, перш за все, залежить від природи наповнювача, серед яких найбільш поширені оксиди (ZnO, Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂), силікати (слюда, азбест, тальк, каолін), боросилікатне скло тощо.

Вихідні композиції для захисних покриттів одержують у вигляді суспензії шляхом сумісного механохімічного оброблення компонентів у кульових млинах, яке супроводжується прививанням полімеру до наповнювача. Покриття формуються за лакофарбовою технологією, із затвердженням під час випаровування розчинника із утворенням просторовозшитої структури. Особливо важливою є низька температура формування (до 573 К) таких покриттів та здатність зберігати захисні функції при нагріванні до 1873 К за рахунок утворення високоміцних силосан-силікатних, силосан-оксидних та металосилоксанових зв'язків.

Основними перевагами органосилікатних і органооксидних покриттів є еластичність, вологостійкість, гідрофобність, висока адгезія, температуростійкість, простота і технологічність нанесення, довготривала теплостійкість до температури нагрівання 773 К. Руйнування органічної складової починається за температури нагрівання 573 К і закінчується при 1173 К. Функція зв'язки поступово переходить до силіційкисневого каркасу, проте цілісність структури при цьому не порушується.

Наявність зв'язку Al-O в основному зв'язку поліалюмосилоксану вносить значний вплив у формування структури захисних покриттів, тому виникає необхідність вивчення зміни фазового складу зв'язки у процесі нагрівання.

На кривій ДТА (рис. 1) поліалюмосилоксану зафіксовано значний екзоефект в інтервалі температур 663-1253 К та 2 малоінтенсивні, відповідно при 1593 і 1698 К.

Початок екзотермічного ефекту поліалюмосилоксану і відповідна втрата маси на кривій ТГ за температури вище від 663 К вказує на початок термоокисної деструкції. Процес деструкції, обумовлений відривом метильних радикалів, найбільш інтенсивно перебігає при температурі 918 К (максимум екзотермічного ефекту).

Зафіксований другий екзоефект з втратою маси на кривій ТГ (максимум при температурі 1046 К), обумовлений відривом фенільних радикалів, після чого реакція сповільнюється.

На ділянці від другого максимуму екзоефекту до моменту повного руйнування полімеру за температури 1263 К крива ДТА спадає дуже круто. Це пояснюється тим, що за температури 1063 К фенільні радикали відриваються дуже швидко, внаслідок чого екзотермічна реакція термоокисної деструкції поліалюмосилоксану практично закінчується. Незначне підняття кривої ДТА при 1173 К пояснюється процесами взаємодії між продуктами деструкції з утворенням муліту.

Екзоєфекти при температурі 1593 та 1698 К зв'язані з модифікаційними перетвореннями в SiO_2 , та утворенням нових кристалічних фаз із продуктів термоокисної деструкції, а саме – муліту. Втрата маси складає 48,1 мас. %.

Зв'язка відіграє основну функцію у формуванні захисного покриття, тому були проведені дослідження за її фазовим складом у процесі нагрівання.

На дифрактограмі вихідного поліалюмосилоксану дифракційні максимуми відсутні, тому структура зазначеного полімеру є рентгеноаморфною (рис. 2).

Термооброблення за температури 773 К призводить до появи на рентгенограмах поліалюмосилоксану малоінтенсивних рефлексів ($d/n = 0,443; 0,430; 0,415; 0,405; 0,380; 0,334; 0,313$ нм), характерних для α -кварцу, α -тридиміту, α -кristобаліту (крива 2, рис. 2).

Підвищення температури нагрівання до 923 К призводить до інтенсивної термоокисної деструкції поліалюмосилоксану з відщепленням метильних радикалів, що підтверджується наявністю на рентгенограмах чітких рефлексів α -кварцу.

Подальше нагрівання до температури 1273 К суттєвого впливу на інтенсивність вищевказаних дифракційних максимумів не дає. На рентгенограмах присутні рефлекси α -тридиміту ($d/n = 0,443; 0,381$ нм), α -кristобаліту ($d/n = 0,404; 0,309$ нм), а також муліту ($d/n = 0,534$ нм), які утворюються із продуктів термоокисної деструкції (крива 4 рис. 2).

Нагрівання поліалюмосилоксану до температури 1373 К призводить до часткового впорядкування структури утвореного SiO_2 , про що свідчить підвищення інтенсивності рефлексів і піднімання центрального гало. На дифрактограмі найбільш інтенсивні рефлекси відповідають α - Al_2O_3 ($d/n = 0,346; 0,256$ нм) та муліту ($d/n = 0,534; 0,342$ нм).

Підвищення температури нагрівання до 1723 К призводить до суттєвих структурних і кристалохімічних змін досліджуваної системи. На рентгенограмі з'являються більш інтенсивні рефлекси муліту ($d/n = 0,342; 0,336; 0,285; 0,211$ нм) і незначні рефлекси алюмінію в α , ν і χ – модифікаціях (α : $d/n = 0,160$ нм; ν : $d/n = 0,284; 0,201; 0,1557$ нм; χ : $d/n = 0,211; 0,186$ нм) (крива 5 рис. 2). Отже при нагріванні до температури від 1273 К до 1723 К в системі проходить взаємодія продуктів деструкції поліалюмосилоксану з утворенням мулітової фази.

Для повної ідентифікації продуктів термоокисної деструкції поліалюмосилоксану були проведені ІЧ-спектроскопічні дослідження.

Для ІЧ-спектру поліалюмосилоксану (рис. 3) при нагріванні до температури 573 К характерна широка розмита смуга в інтервалі частот 1000-1105 cm^{-1} , яка належить до Si-O-Si-зв'язків, а також чітко виражені інтенсивні смуги поглинання Si-C₆H₅- зв'язків в області хвильових чисел 480, 688, 792, 881, 1235,

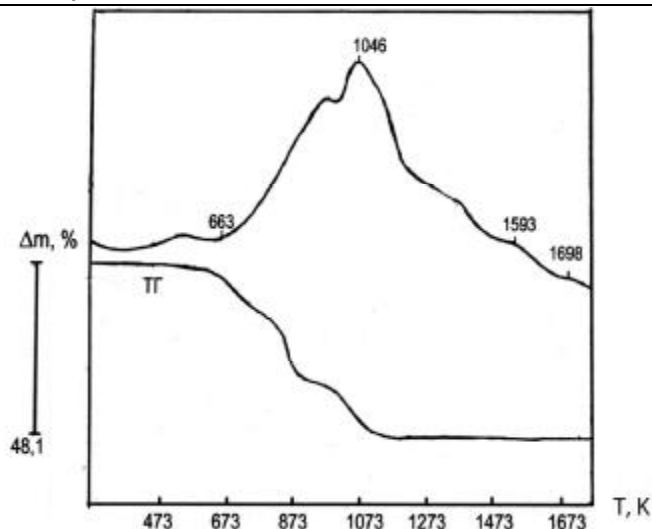


Рис. 1. Комплексний термічний аналіз поліалюмосилоксану

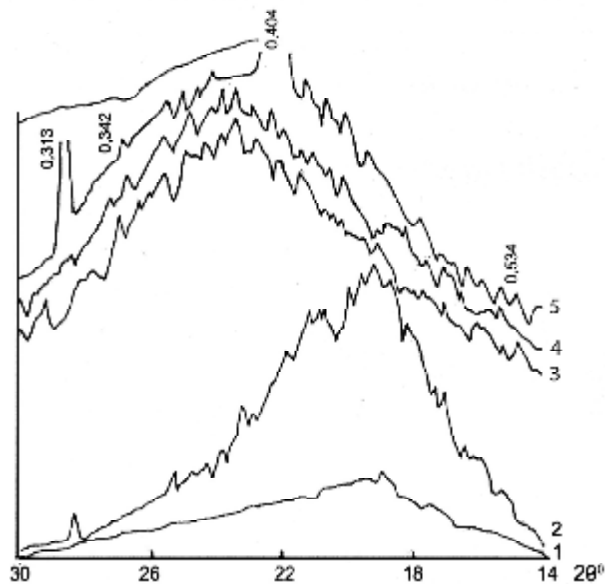


Рис. 2. Дифрактограми поліалюмосилоксану в процесі нагрівання: 1 – вихідний; 2 – 773 К; 3 – 923 К; 4 – 1273 К; 5 – 1723 К

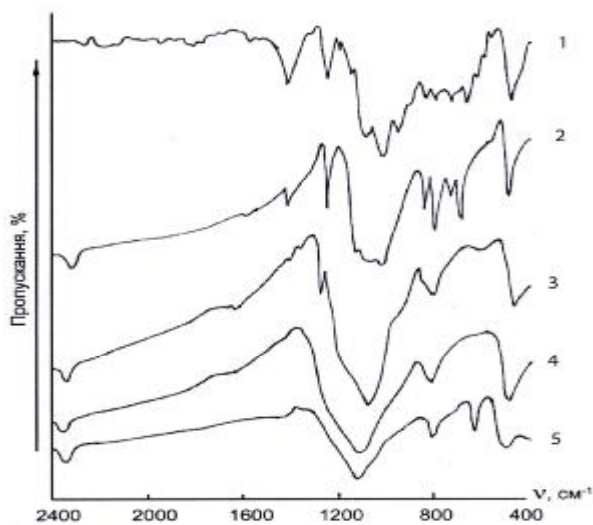


Рис. 3. ІЧ-спектри поглинання поліалюмосилоксану в процесі нагрівання: 1 – вихідний; 2 – 573 К; 3 – 923 К; 4 – 1273 К; 5 – 1723 К

1404 cm^{-1} (крива 2 рис. 3).

При нагріванні поліалюмосилоксану до температури 923 К смуга поглинання в інтервалі 1000-1105 cm^{-1} зміщується до 1052 cm^{-1} , а смуги поглинання Si-C₆H₅ зв'язків (422, 609, 792, 828, 1260 cm^{-1}) зменшуються, що і вказує на його деструкцію (крива 3 рис. 3).

При температурі нагрівання 1073 К на ІЧ-спектрі присутні смуги поглинання в області хвильових чисел 480, 798, 1079, 1260 cm^{-1} , що відповідають зв'язкам Si-O-Si. Смуг поглинання, характерних для Si-C₆H₅ зв'язків, не виявлено.

При температурі 1273 К наявні смуги поглинання в області 481, 792 cm^{-1} , які відповідають аморфному кремнезему, а також підвищується інтенсивність смуги поглинання в області 700-900 cm^{-1} , яка належить до валентних коливань AlO₄ - тетраєдрів і смуги поглинання в області 560-640 cm^{-1} AlO₆ - октаєдрів, що підтверджує утворення в матеріалі мулітової фази, утвореної із продуктів термоокисної деструкції (крива 4 рис. 3).

Подальше нагрівання до температури 1723 К призводить до збільшення інтенсивності смуг поглинання груп [SiO₄], [AlO₄] і [AlO₆] мулітової фази. Збільшення інтенсивності смуг поглинання силоксанового зв'язку в області 1040...1120 cm^{-1} пояснюється подальшою конденсацією силанольних груп полімеру зі зростанням чисельності зв'язків Si-O-Si (крива 5 рис. 3).

Отже, методами фізико-хімічного аналізу встановлено, що при нагріванні поліалюмосилоксану до температури вище від 663 К проходить термоокисна деструкція з утворенням силіційкисневого каркасу і муліту при температурі 1273 К. Подальше нагрівання інтенсифікує процес взаємодії між продуктами деструкції. Наявність силіційкисневого каркасу, який виступає у ролі матриці, а також наявність армуючої мулітової фази позитивно впливає на фізико-механічні властивості матеріалу, тому поліалюмосилоксан можливо використовувати як зв'язку для одержання температуро- і вогнестійких захисних покриттів.

Висновок. На основі проведеного аналізу сучасного стану в області захисних покриттів визначено, що для покращення температуро- і вогнестійкості конструкційних матеріалів доцільно використовувати наповнені полімерні композиції. Встановлено, що як полімерні зв'язки ефективними є поліорганосилоксани за рахунок утворення при нагріванні силіційкисневого каркаса, який виконує функцію матриці покриття. Проведеним аналізом продуктів термоокисної деструкції поліалюмосилоксану встановлено доцільність його використання у ролі зв'язки для одержання захисних покриттів.

Література

1. Некрасов К.Д., Шейкин А.Е. Влияние нагревания на прочность тяжелого бетона // Труды НИИЖБ «Жаростойкие бетоны». – М.: Госстройиздат, 1964. – С. 57-69.
2. Юзьків Т.Б. Вплив високих температур на міцність композиційних портландцементів з механохімічною активацією // Пожежна безпека: зб. наук. пр. – Дніпропетровськ: ЛДУ БЖД, 2005. – № 6. – С. 68-70.
3. Гивлюд М.М. Вплив температури нагрівання на процеси масопереносу в зоні контакту покриття-підкладка / Гивлюд М.М., Вахула О.М., Топило Н.І // Вісн. нац. ун-ту „Львівська політехніка” „Хімія, технологія речовин та їх застосування” – 2004. – № 497. – С. 131-134.
4. Пашенко А.А., Свидерський В.А., Лавриненко С.В. Коррозионная стойкость кремнийорганических покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1984. – № 5. – С. 31-32.
5. Ємченко І.В., Гивлюд М.М. Вплив каоліну на технологічні властивості та структуру наповнених сицілійорганічних покриттів // Вопросы химии и химической технологии. – 2008. – № 3. – С. 97-98.
6. Ємченко І.В., Гивлюд М.М. Шляхи регулювання властивостей оксидної кераміки, одержаної із наповнених сицілійорганічних композицій // Наук. журнал Донецького державного університету економіки і торгівлі ім. Туган-Барановського. Серія: технічні науки. – 2006. – № 1 (Вип. 29). – С. 148-152.
7. Аппен А. А. Температурустойчивые неорганические покрытия. – Л.: Химия, 1976. – 295с.

Надійшла 14.12.2009 р.

УДК 685.31

В.П. КОНОВАЛ, Н.М. ОМЕЛЬЧЕНКО, В.П. КЕРНЕС

Київський національний університет технологій та дизайну

АНТРОПОМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТОП ДІТЕЙ 15-16 РОКІВ ПІВНІЧНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

В статті наведено матеріали антропометричних досліджень стоп дітей старшокласників 15-16 років Північного регіону України. Виявлено достатньо суттєві розбіжності у відповідних параметрах стоп дітей 15-16 років Центрального та Північного регіону, що потрібно враховувати при проектуванні колодок та взуття.

The artical presents anthropometrical studies feets of student at the age of 15-16 years an north of Ukraine. Considerable difference from relevant parameters of student at the age of 15-16 years an centar and northern of Ukraine are defined.

Ключові слова: антропометричні дослідження, стопа, розміри, довжина, ширина, обхват.

Вступ. Постановка проблеми.

Збереження природної анатомо-морфологічної будови стопи, а також її правильне функціонування

можливі тоді, коли забезпечений належний догляд за стопою й її захист від шкідливих впливів середовища (травм, занадто низьких або високих температур, вологи і т.д.). Такі захисні функції взуття виконує давно. Сучасне взуття виконує також естетичні функції, а в багатьох, на жаль, випадках сприяє корегуванню відхилень і порушень у будові й функціях стопи. Взуття повинне бути раціональним, тобто таким, основні розміри й форма внутрішнього об'єму якого відповідають розмірам і формі стопи. Основою для розробки принципів виготовлення раціонального взуття є результати антропометричних досліджень стоп.

Результати антропометричних досліджень набули особливого значення після переходу до масового виробництва взуття в промислових умовах. Масове виробництво для невідомого споживача вимагає точних відомостей про розміри й будову стоп майбутніх споживачів взуття. Без таких знань важко виготовляти взуття навіть відповідних розмірів (тобто довжини й повноти). Це дозволяє робити взуття таких розмірів, на які є суспільний попит, що, у свою чергу, уможливорює правильне забезпечення ринку, а також запобігає нагромадженню взуття невідповідних розмірів. Вирішити цю проблему можливо шляхом масових обмірів стоп і групування їх на цій основі, тобто розробки розмірної типології. Кількість типорозмірів повинна бути такою, щоб, з одного боку, задовольнити все населення зручним взуттям, а з іншого – не ускладнювати організацію масового його виробництва.

Таблиця 1

Основні антропометричні параметри стоп дітей-старшокласників Північного регіону, мм

Морфометричні параметри стоп	Юнаки				Дівчата				
	M _x , мм	m _x	S _x , мм	V, %	M _x , мм	m _x	S _x , мм	V, %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Довжинні	Довжина стоп: (стопомір)	267,0	1,2	10,9	4,1	240,0	0,3	2,5	1,0
	по плантограмі:	269,4	1,2	11,3	4,2	242,5	1,0	11,4	4,7
	до початку відбитка	9,2	0,3	2,6	17,7	8,3	0,2	2,2	16,4
	до найширшого місця п'ятки	41,5	0,4	3,9	9,2	38,4	0,4	4,6	11,0
	до центру зовнішньої щиколотки	63,2	0,8	5,6	11,9	52,5	0,2	3,2	7,8
	до центру внутрішньої щиколотки	77,2	0,7	6,9	8,9	63,3	0,3	2,1	5,9
	до зовнішнього пучка	167,3	0,9	9,1	5,4	151	0,8	8,8	4,1
	до середини пучків	180,8	0,8	8,1	4,5	165,0	0,7	8,6	3,8
	до внутрішнього пучка	191,7	1,2	8,9	6,2	178,9	0,8	8,6	3,8
	до кінця 5-го пальця	214,8	0,9	9,1	4,2	193,2	0,9	9,6	3,9
до центра відбитка 1-го пальця	242,7	1,1	10,7	4,3	219,4	0,9	10,0	3,4	
Кут відхилення 1-го пальця	6,6	0,5	4,4	15,1	9,5	0,4	4,6	4,5	
Широтні	Ширина п'ятки: (стопомір)	70,7	0,4	4,5	5,9	63,4	0,5	3,5	4,7
	по плантограмі:								
	по контуру	72,7	0,4	4,5	6,2	65,3	0,4	4,4	7,1
	по відбитку	55,2	0,4	4,0	7,3	46,3	0,3	3,7	8,2
	Ширина пучків (стопомір)	98,2	0,7	4,0	7,0	89,5	0,3	2,0	2,3
	зовнішнього пучка:								
	по контуру	102,3	0,5	5,3	5,2	92,9	0,4	4,6	4,3
	по відбитку	73,1	1,2	4,3	15,4	64,4	0,8	9,0	11,9
	середини пучків:								
	по контуру	102,6	0,5	4,9	4,7	93,9	0,4	3,0	4,4
по відбитку	83,2	0,6	5,1	6,1	73,2	0,4	4,8	5,1	
внутрішнього пучка:									
по контуру	102,8	0,5	4,9	4,7	94,4	0,4	4,9	4,5	
по відбитку	80,6	0,6	6,2	7,9	69,5	0,5	5,8	8,4	
від осі до контуру 5-го пальця	54,9	0,5	5,1	9,2	48,5	0,4	4,2	8,6	
до краю контуру 1-го пальця	36,6	0,3	2,8	7,7	33,4	0,4	4,2	12,5	
до краю відбитка 1-го пальця	28,6	0,3	3,1	10,8	25,4	0,3	3,8	14,8	
Висотні	Висота до найвищої точки:								
	першого пальця	18,3	0,4	1,5	8,4	18,2	0,1	1,9	11,0
	п'ятого пальця	10,6	0,5	1,8	17,3	11,1	0,4	2,0	11,1
	головки 1-ої плеснової кістки	31,6	0,7	2,4	7,6	31,2	0,2	2,8	9,9
	головки 5-ої плеснової кістки	20,6	0,9	3,3	14,8	20,3	0,2	6,5	10,3
	до точки згину	75,7	1,4	5,1	6,7	66,5	0,4	5,7	8,7
Обхватні	Обхват:								
	по внутрішньому пучку	249	1,1	10,1	4,1	232,8	0,5	12,3	5,7
	по середині пучків:								
	опора	250	1,0	10,2	4,1	236,1	0,1	11,0	4,4
	по зовнішньому пучку	251,0	1,1	9,9	4,1	239,4	0,9	8,0	4,7
	п'ятки/згин								
опора	343,2	2,4	13,6	6,0	322,8	0,1	11,0	4,2	
вис	339,8	2,3	12,4	6,0	317,2	0,2	10,5	4,3	

Особливо велике значення має створення раціонального взуття для ще несформованих стоп дітей. Відомо, що останні масові дослідження стоп населення даної групи проводилися в другій половині минулого століття. Тому метою наших досліджень було проведення антропометричних обмірів стоп юнаків з подальшим використанням отриманих даних для проектування колодок і взуття для вказаних груп населення.

Виклад основного матеріалу дослідження

Обміри стоп юнаків та дівчат проводилися в різних учбових закладах Північного регіону України (м. Чернігів, м. Кролевець) за завданням Міністерства освіти України. Вік дітей становив 15-16 років. Відомо, що стопи дітей не є зменшеною копією стоп дорослих, так як вони значно відрізняються за морфофункціональними та біомеханічними характеристиками [1,2]. Під час проведення експерименту було обміряно 200 стоп юнаків та 200 стоп дівчат згідно з необхідним обсягом неповторної вибірки. При цьому по кожній стопі визначалося біля 100 параметрів (довжинних, широтних, висотних та обхватних).

Отримані дані оброблялися методами математичної статистики на ПЕОМ з використанням програми «Anthro-foot» [3] та графічним методом. По кожному параметру визначались: середнє арифметичне значення M_x , середнє квадратичне відхилення σ_x , статистична помилка середніх m_x , коефіцієнт варіації v та ін. Результати статистично-математичної обробки основних морфометричних параметрів стоп юнаків та дівчат наведені в табл. 1.

У таблиці 2 наведені результати порівняльної характеристики основних морфометричних показників стоп юнаків та дівчат з даними 1980 та з даними Центрального регіону України.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика основних морфометричних параметрів стоп юнаків та дівчат

Морфометричні параметри стоп, мм	1980 р. Україна		Центральний регіон		Північний регіон		Відхилення (порівняння з 1980р)				Відхилення (порівняння з Центр. регіоном)				
	юнаки	дівчата	юнаки	дівчата	юнаки	дівчата	абс, мм		відн. %		абс, мм		відн. %		
							юнаки	дівчата	юнаки	дівчата	юнаки	дівчата	юнаки	дівчата	
Довжина:															
стопи	264,4	245,9	270,8	246,9	269,4	242,5	5,0	-3,4	1,9	1,4	-1,4	-4,4	0,5	1,8	
до найширшого місця п'ятки	40,8	38,7	45,9	41,0	41,5	38,4	0,7	-0,3	1,7	0,8	-4,4	-2,6	9,6	6,3	
до зовнішнього пучка	163,0	151,0	168,5	152,1	167,3	151,0	4,3	0	2,6	0	-1,2	-1,1	0,7	0,7	
до внутрішнього пучка	192,4	179,1	197,0	179,4	191,7	178,9	-0,7	-0,2	0,4	0,1	-5,3	-0,5	2,7	0,3	
Ширина:															
п'ятки (контур)	70,3	64,8	66,4	60,9	72,7	65,3	2,4	0,5	3,4	0,8	6,3	4,4	9,5	7,2	
п'ятки (відбиток)	53,8	48,4	52,1	47,1	55,2	46,3	1,4	-2,1	2,6	4,3	3,1	-0,8	6,0	1,7	
по середині пучків (контур)	97,0	88,7	97,4	89,3	102,6	93,9	5,6	5,2	5,8	5,9	5,2	4,6	5,3	5,2	
по середині пучків (відбиток)	81,0	74,3	81,4	74,4	83,2	73,2	2,2	-1,1	2,7	1,5	1,8	-1,2	2,2	1,6	
Обхвати:															
по внутрішньому пучку	238,3	225,2	250,2	228,7	249,0	232,8	10,7	7,6	4,5	3,4	-1,2	4,1	0,5	1,8	
по зовнішньому пучку	242,2	225,3	253,5	230,6	251,0	239,4	8,8	14,1	3,6	6,2	-2,5	8,8	1,1	3,8	
через п'ятку і згин	336,0	314,2	347,7	315,1	343,2	322,8	7,2	8,6	2,1	2,7	-4,5	7,7	1,3	2,4	
Висота до найвищої точки:															
першого пальця	22,9	21,2	18,9	17,1	18,3	18,2	-4,6	3,0	20,1	14,1	-0,6	1,1	3,2	6,4	
головки першої плеснової кістки	35,6	33,0	32,3	28,8	31,6	31,2	-4,0	-1,8	11,2	5,5	-0,7	2,4	2,2	8,3	
до точки згину	74,9	70,5	80,7	73,4	75,7	66,5	0,8	-4,0	1,1	5,7	-5,0	-6,9	6,2	9,4	
Кутіві параметри:															
Кут відхилення I-го пальця, град.	9,2	8,8	8,5	9,2	6,6	9,5	-2,6	0,7	28,2	8,0	-1,9	0,3	22,3	3,3	
кут m, град	-	-	15	11	12,3	11	-	-	-	-	-2,7	18,0	0	0	
кут n, град	-	-	164	164	163	167,3	-	-	-	-	-1,0	0,6	3,3	2,0	

Як видно із таблиці 2, має місце незначне зменшення довжинних параметрів стоп юнаків Північного регіону в порівнянні з Центральним регіоном на 1,4 мм (0,5 %), але при цьому, в порівнянні з 1980р. [1] вона збільшена на 5 мм (1,9 %). Ця особливість простежується в зміні положення характерних анатомічних точок, а саме: до найширшого місця п'ятки зменшення на 4,4 мм (9,6 %) в порівнянні з Центральним регіоном, аналогічно до внутрішнього пучка зменшення на 5,3 мм (2,7 %).

Як бачимо з таблиці 2, довжина стопи дівчат Північного регіону України менша, ніж у Центральному регіоні на 4,4 мм (1,8 %).

Крім цього, помічена тенденція збільшення широтних параметрів:

- ширина п'ятки по контуру збільшилась у юнаків на 6,3 мм (9,5 %) в порівнянні з Центральним регіоном, а з 1980 рр. – 2,4 мм (3,4 %); по відбитку відповідно – на 3,1 мм (6,0 %), та 1,4 мм (2,6 %);
- ширина в пучках по контуру збільшилась у юнаків на 5,2 мм (5,3 %) в порівнянні з Центральним регіоном, а з 1980 рр. – 5,6 мм (5,8 %); по відбитку відповідно – на 1,8 мм (2,2 %), та 2,2 мм (2,7 %);
- широтні параметри стоп дівчат Північного регіону (за контуром стоп) більші: у найширшому місці п'ятки на 4,4 мм (7,2 %), а по середині пучків – на 4,6 мм (5,2 %).

Але при цьому спостерігається зменшення обхватних та висотних параметрів у юнаків (висоти першого пальця, висоти головки першої плеснової кістки, точки згину) в порівнянні з Центральним регіоном та збільшення обхватних параметрів в порівнянні з 1980 рр.

Висота:

- першого пальця зменшилась у юнаків на 0,6 мм (3,2 %) в порівнянні з Центральним регіоном, а з 1980 р. – 4,6 мм (20,1 %); головки першої плеснової кістки зменшилась у юнаків на 0,7 мм (2,2 %) в порівнянні з Центральним регіоном, а з 1980 р. – 4,0 мм (11,2 %); точки згину зменшилась відповідно на 5,0 мм (6,2 %) та 0,8 мм (1,1 %);
- висота головки першої плеснової кістки у дівчат Північного регіону більша на 2,4 мм (8,3 %) за висотні параметри дівчат Центрального регіону, а з 1980 р. зменшена на 1,8 мм (5,5 %); точки згину зменшилась на 6,9 мм (9,4 %) та 4,0 мм (5,7 %);

Обхвати:

- по внутрішньому пучку зменшились у юнаків на 1,2 мм (0,5 %) в порівнянні з Центральним регіоном, а з 1980 р. збільшились на 10,7 мм (4,5 %); обхвати по зовнішньому пучку зменшились на 2,5 мм (1,1 %), а з 1980 р. збільшились на 8,8 мм (3,6 %); обхвати через п'ятку і згин стопи відповідно зменшились на 4,5 мм (1,3 %), а в порівнянні з 1980р. збільшились на 7,2 мм (2,1 %).
- по внутрішньому пучку збільшились у дівчат на 4,1 мм (1,8 %) в порівнянні з Центральним регіоном, і з 1980 р. також збільшились на 7,6 мм (3,4 %); обхвати по зовнішньому пучку збільшились на 8,8 мм (3,8 %), а з 1980 р. – на 14,1 мм (6,2 %); обхвати через п'ятку і згин стопи відповідно збільшились на 7,7 мм (2,4 %) та з 1980 р. – на 8,6 мм (2,7 %).

Перераховані вище відхилення вказують на те, що стопи юнаків та дівчат Північного регіону відносно коротші та ширші, ніж стопи юнаків та дівчат Центрального регіону. Особливо велику різницю мають обхватні параметри (майже на одну повноту у дівчат).

Крім того, суттєві відмінності мають і кути положення п'яркової частини стоп. Різниця складає 2,7 мм (18,0 %). Кут відхилення першого пальця стопи дівчат Північного регіону складає 9,5 град, що свідчить про тенденцію появи у дівчат цього регіону деформації Hallux Valgus. Тобто стопи юнаків Північного регіону мають меншу установку на вальгус, чим у юнаків Центрального регіону. Суттєві відмінності мають і кути положення носково-пучкової частини стоп. Різниця складає 3,3 мм (2,0 %). Тобто стопи дівчат Північного регіону мають "приведені" носково-пучкові відділи.

З урахуванням вищезазначеного можна констатувати, що юнаки та дівчата старшокласники Північного регіону потребують інших колодок та взуття, ніж діти Центрального регіону.

Висновки

1. Відомо, що параметри та форма стоп (зокрема, дітей) залежать від багатьох факторів, серед яких є і географічна зона проживання людини, її національна приналежність, вплив процесу акселерації тощо. Завданням наших досліджень було проведення антропометричних досліджень стоп дітей-старшокласників Північного та Центрального регіонів України з метою встановлення можливостей використання ідентичних колодок для виготовлення відповідного взуття. Аналогічні дослідження в нашій країні до цього не проводилися, тому тема роботи є актуальною.

2. Антропометричні дослідження біля 400 стоп дітей-старшокласників в різних навчальних закладах міст Чернігова та Кролевеця проводилися кафедрою КТВШ КНУТД за стандартною методикою та типовою програмою.

3. Отримані дані оброблялися методами математичної статистики на ПЕОМ з використанням програми «Anthro-foot» та графічним методом.

4. Проведений співставлений аналіз отриманих даних попередніх досліджень та досліджень стоп старшокласників Центрального та Північного регіонів України.

5. Виявлено достатньо суттєві розбіжності у відповідних параметрах стоп дітей цих регіонів, що вказує на неможливість використання одних і тих самих колодок для виготовлення взуття юнакам та дівчатам Північного та Центрального регіону України.

1. Фарниева О.В., Нургельдиев К.Н. Совершенствование размерной стандартизации и ассортимента обуви. – А.: Блым, 1982. – 192с.
2. Кернеш В.П. Удосконалення гармонійності внутрішньої форми і конструкції юнацького і дівочого взуття: Дис. ... канд.техн.наук: 05.19.06. – К.,2007. – 218с.
3. Резнік Н.Ф., Коновал В.П., Омельченко Н.М. Розробка та використання приграми «Anthro-foot» для обробки даних антропометричних досліджень ступнів // Вісник ДАЛПУ. – 2000. – № 1. – С.11-15.

Надійшла 3.12.2009 р.

УДК 648.28: 677.027.18

І.Г. БРЮХОВА, Л.І. ТЕБЛЯШКІНА, І.О. ТКАЧЕНКО

Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ ЗАБРУДНЕНЬ З ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ (ПОВІДОМЛЕННЯ 1)

В статті розглянуто результати досліджень, пов'язаних з видаленням танінових забруднень найбільш ефективними препаратами з різних видів текстильних матеріалів; визначені особливості процесу видалення танінових плям з трикотажних матеріалів, розроблені рекомендації щодо технології плямовиведення.

The article deals with the researches connected with the avoiding the tanine pollutions by the most effective preparations of different kinds of textile materials. Also are determined the peculiar features of the process of removing the tanine sports from wool materials and the recommendations to technologies on spot removing as well.

Ключові слова: пляма, танін, текстиль, трикотаж, плямовиведення.

Вступ. На сьогодні спостерігається позитивний рух в розвитку галузі побутового обслуговування: підвищується рівень обслуговування населення, відкриваються нові підприємства хімічного чищення виробів, вводяться нові види та форми обслуговування, підвищується якість послуг. Професійно видалити забруднення, плями і гарно випрасувати вироби можливо лише на підприємствах хімічної чистки. Тому в сучасних умовах зацікавленість у службі сервісу досить значна.

Однією з важливих стадій обробки виробів у хімічній чистці є технологічна операція плямовиведення. Можна умовно вважати її головною, оскільки якість чищення виробів визначається якістю видалення плям. Саме на цьому етапі можливе виникнення ускладнень [1].

Постановка проблеми. Як показує практичний досвід підприємств хімічної чистки досить важко видаляються з одягу водорозчинні плями танінового походження, такі як плями соків, чаю, кави, вина тощо. Причиною цього є те, що забруднюючі речовини у своєму складі містять дубильні речовини, які діють як протрава. Вони настільки міцно закріплюються на волокнах, що зруйнувати їх важко без пошкодження текстильного матеріалу. А якщо пляма знаходиться на кольоровому матеріалі, то додається ще й ризик руйнування барвника. Тому видалення цих плям потребує значної уваги і майстерності фахівця.

Огляд літературних джерел свідчить, що нині не розв'язуються проблеми виявлення факторів, які впливають на виведення танінових плям. Отже у даному дослідженні поставлено проблему виявлення факторів і визначення їх впливу на видалення плям танінового походження з текстильних матеріалів з метою розробки рекомендацій щодо технології і ефективності видалення цих плям без пошкодження тканини і втрати нею споживчої цінності.

Об'єктом дослідження в даній роботі виступає процес видалення танінових забруднень з текстильних матеріалів.

Предмет дослідження – текстильні матеріали різного походження, на які нанесені танінові забруднення.

Результати та їх обговорення. Для досягнення поставленої мети необхідно було виконати наступні завдання:

- визначити найбільш ефективні препарати для видалення танінових плям;
- визначити фактори, які впливають на видалення танінових плям з текстильних матеріалів;
- вивчити їх вплив на процес плямовиведення;
- виробити рекомендації, які дозволять якісно і повно проводити процес видалення танінових забруднень.

Практична значущість проведених досліджень полягає у можливості використання розроблених на основі досліджень рекомендацій з видалення танінових забруднень в умовах підприємств хімічного чищення одягу та в подальших наукових дослідженнях за даним напрямком.

Для проведення першого етапу роботи використовували зразки білої бавовняної тканини полотняного переплетення.

Для забруднення використовували таніновмісні забруднення, які є найбільш поширеними у практиці підприємств хімічної чистки виробів: чай, каву, соки (вишня, смородина). Для видалення

забруднень використовували поверхнево-активні речовини (ПАР) і плямовивідні препарати.

Забруднювачі наносили на зразки тканини крапельним методом і залишали на добу в нормальних умовах. Видалення плям проводили ручним способом.

Якість видалення танінових плям з текстильного матеріалу оцінювали за спеціальною методикою вимірювання на фотометрі універсальному (ФΟΥ).

За критерій оцінювання якості виведення плям з тканини приймали коефіцієнт відбиття, який умовно ідентифікували зі ступенем білизни матеріалу. На початку дослідження проводили визначення коефіцієнтів відбиття білої необробленої тканини (вихідний зразок) при різних діапазонах довжини хвилі по основі і утоку. Середній показник білизни тканини становить 75 %.

Першим етапом роботи було визначення найбільш ефективних ПАР і плямовивідних препаратів для видалення танінових плям. За попередніми візуальними дослідженнями серед 19 ПАР було відібрано 6 найбільш ефективних: неонол, сульфамід, ОС-10, сульфанол, лапрол, дерматекс 30а. Серед плямовивідних препаратів найкраще показали себе танекс, сульфазол, кавесол, V2, які використовували в подальших дослідженнях.

Далі визначали ефективність видалення плям чаю та кави відібраними ПАР і плямовивідними препаратами, міряючи коефіцієнти відбиття, які наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Коефіцієнти відбиття зразків після видалення плям

Назва препарату	Коефіцієнти відбиття			
	Чай	Кава	Смородина	Вишня
Поверхнево-активні речовини				
Неонол	0,73	0,69	0,69	0,73
Сульфасид	0,74	0,71	0,67	0,75
ОС-10	0,63	0,62	0,61	0,70
Сульфанол	0,73	0,73	0,74	0,74
Лапрол	0,70	0,63	0,63	0,67
Дерматекс 30а	0,68	0,65	0,60	0,69
Плямовивідні препарати				
Танекс	0,75	0,72	0,74	0,74
Сульфазол	0,76	0,75	0,77	0,75
V2	0,71	0,69	0,68	0,68
Кавесол	0,73	0,66	0,62	0,69
МТІ	0,75	0,72	0,74	0,71

Як свідчать дані таблиці найбільш ефективними ПАР для видалення плям кави, чаю, соків (смородина, вишня) є сульфанол, сульфасид і неонол. Вони дозволяють видалити ці плями до ступеня білизни білої вихідної тканини (показник білизни – 0,75).

Серед плямовивідних препаратів слід виділити сульфазол, як найбільш ефективний, а також танекс та препарат МТІ. Ці препарати видаляють повністю плями танінового походження на білих бавовняних матеріалах.

Дослідження процесу видалення вказаних танінових плям дозволило зробити ще один висновок: найважче видаляються плями кави та смородини. Це пов'язано з тим, що кава у своєму складі містить танін, який інтенсивно окислюється при тепловій обробці (від 80 °С до 125 °С). На цій стадії активно діє поліфенолоксидаза, яка сприяє окисленню таніну. Далі протікає неферментативне окислення таніну, в результаті якого утворюються продукти вторинного перетворення – темнотонарвлені пігменти [2]; видалення останніх затрудняє процес плямовиведення.

Плями смородини містять у своєму складі велику кількість природних забарвлюючих речовин – антоціанів, катехинів (500-700 мг/100 г). З дубильними речовинами природні пігменти утворюють міцні забарвлені сполуки, які важко видалити з текстильного матеріалу [3].

На фабрики хімічної чистки поступає велика кількість трикотажних виробів, які мають танінові плями, тому в роботі досліджували видалення таких плям з бавовняних трикотажних матеріалів для того, щоб відмітити особливості процесу плямовиведення.

Для дослідження використовували білий трикотаж (основов'язаний лицьової в'язки); в якості забруднювачів – продукти танінового походження: чай, кава, смородина, вишня.

Вимірювання коефіцієнта відбиття білого необробленого трикотажу показало, що білизна вихідних зразків становить 73 %.

Плями наносили на зразки білого трикотажу і видаляли через добу після нанесення найбільш ефективними ПАР і плямовивідними препаратами. У таблиці 2 наведені дані досліджень. Вони представлені у вигляді порівняльних коефіцієнтів білизни (відносно білизни вихідних зразків) для більшої наочності.

На основі результатів досліджень, проведених на білій бавовняній тканині (таблиця 1), були визначені відносні коефіцієнти білизни зразків, які наведені в таблиці 3.

Для порівняння ефективності видалення таніномісних забруднень з тканини і трикотажу були побудовані діаграми, представлені на рисунках 1 – 4.

Назва препарату	Коефіцієнти відбиття			
	Чай	Кава	Смородина	Вишня
Поверхнево-активні речовини				
Неонол	89,91	90,67	90,25	94,03
Сульфасид	96,09	92,52	94,40	94,65
Сульфано́л	95,40	89,64	94,72	97,05
Плямовивідні препарати				
Танекс	92,59	89,22	96,77	96,71
Сульфазол	96,09	91,08	98,83	96,23
МТІ	94,30	87,85	93,34	96,23

Таблиця 3

Назва препарату	Коефіцієнти відбиття			
	Чай	Кава	Смородина	Вишня
Поверхнево-активні речовини				
Неонол	98,50	94,41	96,41	98,40
Сульфасид	97,68	95,41	95,08	98,47
Сульфано́л	98,48	97,21	98,74	99,14
Плямовивідні препарати				
Танекс	100,80	95,74	99,73	99,93
Сульфазол	100,47	99,14	100,13	100,13
МТІ	100,40	95,55	98,54	100,07

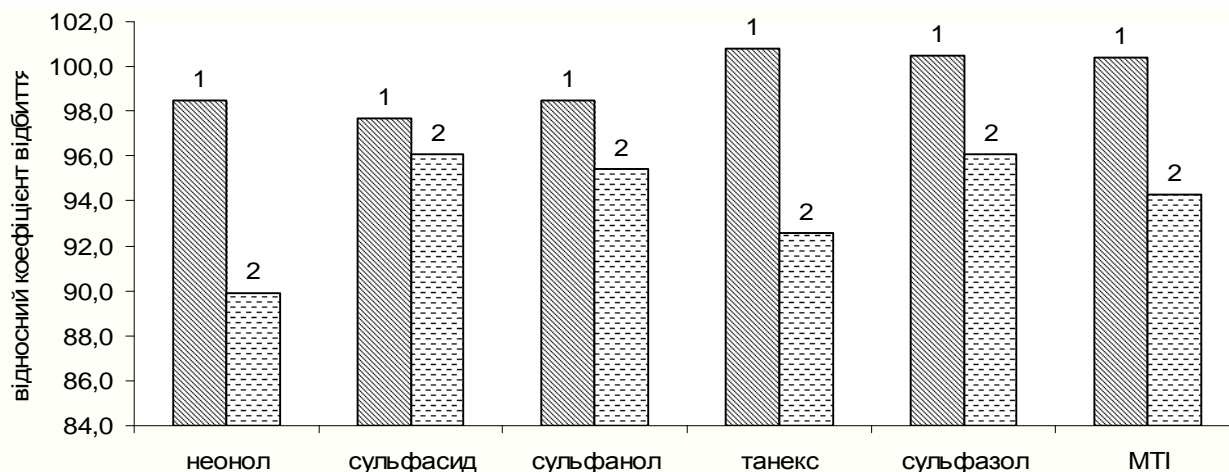


Рис. 1. Вплив виду текстильного матеріалу на виведення плям чаю (1– тканина; 2 – трикотаж)

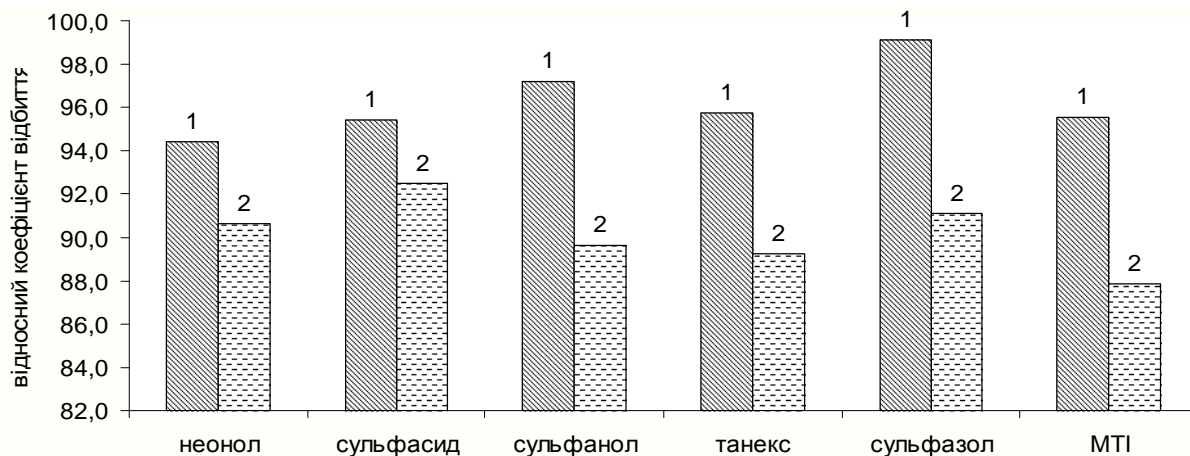


Рис. 2. Вплив виду текстильного матеріалу на виведення плям кави (1– тканина; 2 – трикотаж)

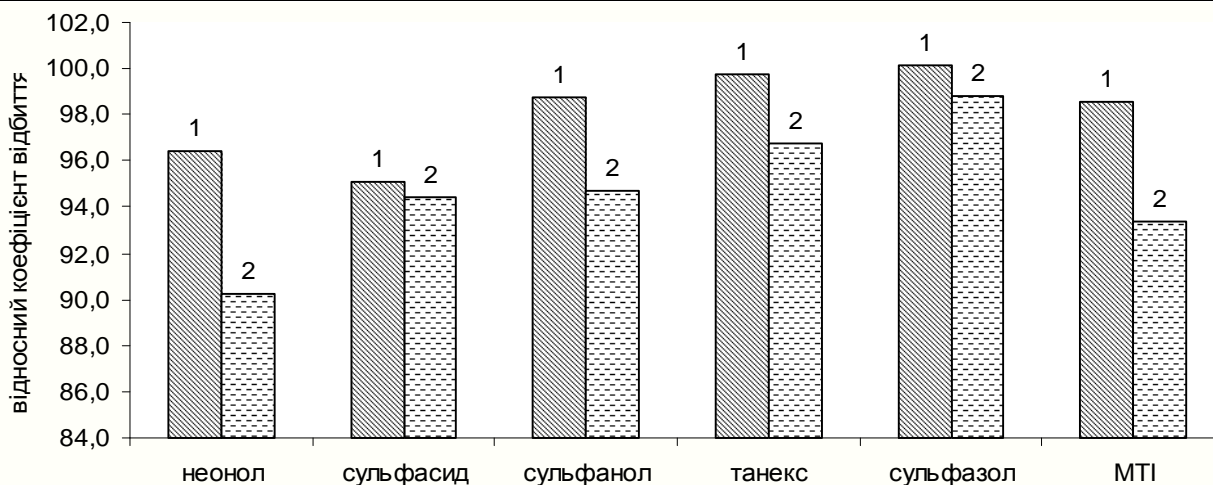


Рис. 3. Вплив виду текстильного матеріалу на виведення плям смородини (1– тканина; 2 – трикотаж)

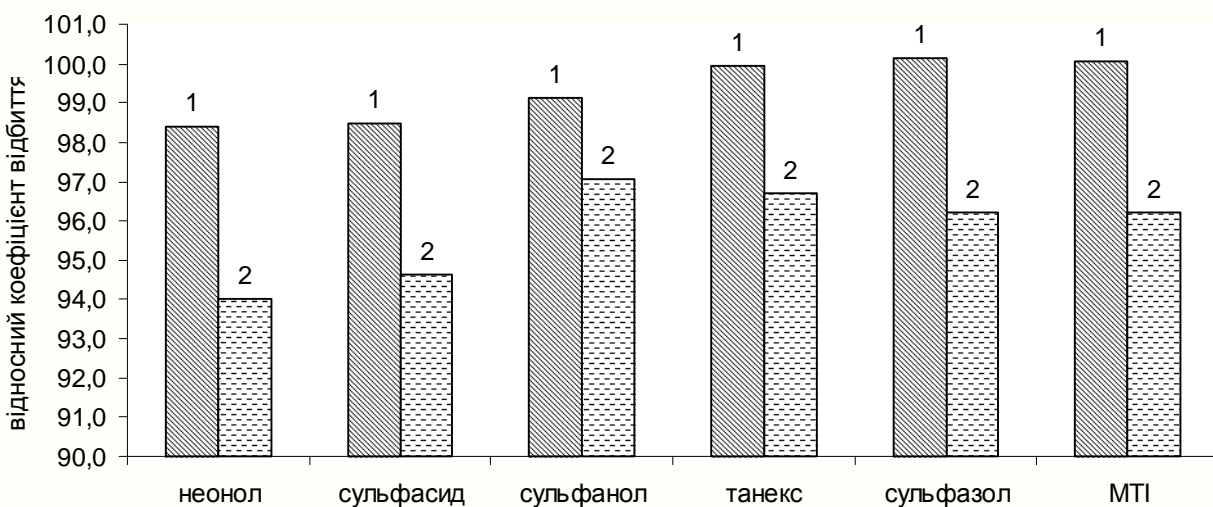


Рис. 4. Вплив виду текстильного матеріалу на виведення плям вишні (1- тканина; 2 – трикотаж)

Наведені дані свідчать, що після видалення танінових плям з трикотажу білизна матеріалу не досягає початкових значень на 7 %-8 %, в той час як такі забруднення видаляються з тканини майже повністю.

На основі проведених досліджень можна зробити наступні **висновки**:

1. Ефективність видалення танінових забруднень з тканини значно вища, ніж з трикотажу.
2. Танінові забруднення видаляються з трикотажу важче, необхідно докласти більше зусиль і часу.
3. Здатність трикотажних матеріалів до деформації в більшій мірі, ніж тканин, ускладнює процес плямовиведення.

Результатом даного дослідження є розроблені **рекомендації** щодо технології і ефективності видалення танінових плям з трикотажу

- м'яка механічна дія;
- максимум уваги та обережності;
- підігрів плямовивідних розчинів для видалення плям;
- комплексне використання декількох препаратів у певній послідовності.

Література

1. Федорова А. Ф. Технология химической чистки и крашения: [учеб. для вузов] / А. Ф. Федорова. – 2 – е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 336 с.
2. Состав кофе. Содержание в кофе кофеина, теобромину, теобромину: химический состав кофе [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.cofeoptom.ru/composit.html> (дата обращения 17.0.ю2009).
3. Баланова Т. Е. Искусство пятновыводки / Т. Е. Баланова // Современная химчистка и прачечная. – 2005. – № 4. – С. 16-20.

Надійшла 8.12.2009 р.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВІЙСЬКОВОГО КАМУФЛЯЖУ З ВРАХУВАННЯМ ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

Дана робота спрямована на визначення основних екологічних показників для військової форми одягу з врахуванням стандарту «Екотекс», а також серії екологічних стандартів ISO 14000. Представлено та проаналізовано основні положення стандарту «Екотекс». Також проведені дослідження по визначенню основних екопоказників камуфляжних матеріалів. Результати дослідження можуть бути використані при підборі матеріалу майбутнього виробу. Інформація також може бути корисною для відповідних служб екологічного та санітарного контролю, які пов'язані з професійною діяльністю військовослужбовця.

The given work is directed on definition of the basic ecological index for the military form of clothes from the standard «Ekotex», and also a series of ecological standards ISO, 14000. Standard substantive provisions «Ekotex» are presented and analyzed. Also, researches by definition of the basic eco indicators are carried out. Data allow to use the received results at selection of a material of the future product and to provide the information for the corresponding service of the ecological and sanitary control connected with professional work of the military man.

Ключові слова: камуфляж, екологічний стандарт ISO 14000.

Вступ

На сьогоднішній день у зв'язку з появою нових матеріалів та технологій виготовлення текстильних матеріалів в галузі легкої промисловості, все більше уваги приділяється екологічним аспектам процесу виробництва, експлуатації та їх утилізації. В той же час спостерігається тенденція інтеграції України до Європейських інституцій та вступу до Євroatлантичного військового блоку, де проблемам екологічної безпеки приділяється достатньо висока увага.

Постановка задачі

Військова форма одягу являє собою досить складний асортимент, до якого висувається комплекс жорстких і суперечливих вимог, пов'язаних із функціональним призначенням.

Створення військової форми одягу на сучасному етапі – це складне завдання, яке обумовлюється різноманітністю умов, з якими стикаються військовослужбовці в процесі професійної діяльності, а саме – змінних кліматичних умов, високого фізичного та психологічного навантаження. Військовий одяг повинен забезпечувати високу працездатність і комфортність військовослужбовця, адже від того, наскільки добре в ньому поєднуються різні елементи, як він відповідає своєму функціональному призначенню, залежить процес професійної, оперативної-службової та навчальної підготовки. Крім таких важливих вимог, як забезпечення надійності в експлуатації, гігієнічності, формений одяг повинен відповідати вимогам екології. В значній мірі дані показники визначаються видом матеріалів, що використовуються при побудові конструкцій. Основним матеріалом, який використовується для виготовлення військової форми в сучасних військах є камуфляжні тканини. Не дивлячись на досягнуті в останні роки успіхи по збільшенню об'єму виробництва, розширенню асортименту і підвищенню якості текстильних матеріалів, рівень якості і структура асортименту багатьох видів матеріалів і, насамперед, матеріалів для військової форми одягу поки що не відповідають сучасним вимогам. Такому стану сприяє відсутність доступної матеріально-технічної лабораторної бази для встановлення значень екопоказників матеріалів одягу, особливо кількісного складу [1]. Інший бік проблеми становить визначення впливу речовин, які входять до складу матеріалу на організм військовослужбовця, враховуючи тривалий час експлуатації військової форми одягу при екстремальних волого-температурних режимах. Дослідження такого плану виходять вже за рамки даної статті.

Загально відомим є те, що волокнистий склад камуфляжних тканин визначається оптимальним співвідношенням: бавовна+поліефірне волокно. В процесі оздоблення камуфляжних матеріалів використовуються різні види текстильно-допоміжних речовин і апретів, різноманітні барвники. Аналізуючи цю первинну інформацію про військову форму, можна зробити припущення, що вона не відповідає в повній мірі вимогам екологічної безпеки стосовно одягу. Це обумовлено такими основними причинами:

- В більшості випадків в складі камуфляжних матеріалів поряд з натуральним використовується синтетичне волокно. Проте, навіть якщо б матеріал повністю містив у своєму складі натуральні волокна, а саме бавовну, то це не гарантувало б, що він є повністю екологічним, адже на етапі вирощування бавовни можуть бути застосовані гербіциди і пестициди, залишки яких можуть існувати у кінцевому матеріалі.

- Як відомо, камуфляжний матеріал повинен володіти підвищеною зносостійкістю, а з цього випливає що він повинен оброблятися певними видами обробок, що передбачає застосування різноманітних апретуючих речовин.

Результати та їх обговорення

Говорячи про безпеку текстильних матеріалів, а саме про тканини військової форми одягу, необхідно чітко визначити, який негативний вплив може мати військова форма одягу на організм людини та оточуюче середовище. Для цього було проаналізовано основні об'єкти та суб'єкти в системі "людина– одяг– оточуюче середовище" (рис. 1).

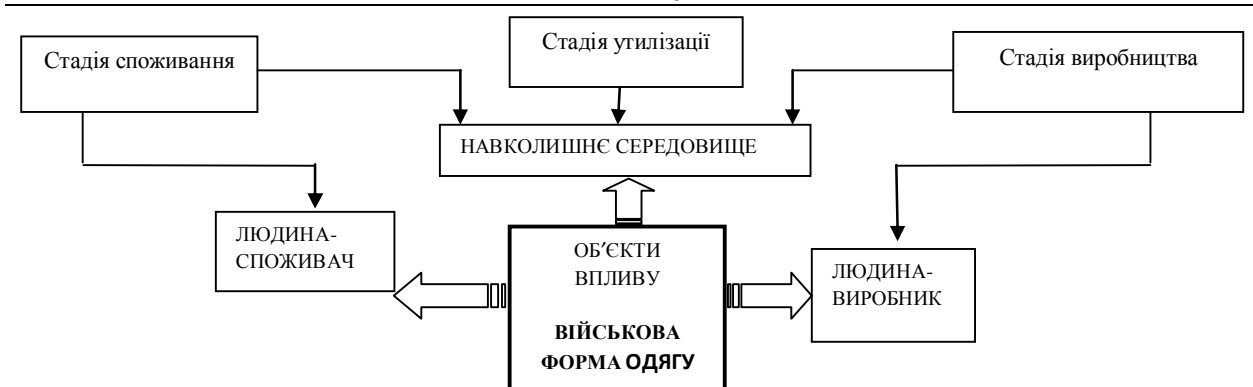


Рис. 1. Військова форма у системі «людина– навколишнє середовище»

Результат аналізу призводить до необхідності враховувати факт непрямого впливу об'єкту експлуатації військової форми на людину на всіх технологічних етапах її виробництва. Цей вплив стосується не лише людини, яка буде безпосередньо експлуатувати даний вид виробу, але і людини, яка задіяна в процесі створення матеріалу та наступної технологічної обробки. Звичайно, величина даного впливу залежить від конкретного виду виробництва, його масштабів, стану оточуючого середовища тощо.

Комплекс нормативних документів, що стосуються регулювання безпеки текстильного виробу в цих основних напрямках, відображено у відповідних стандартах [3-5].

Серед документів Європейського Союзу існують такі, що регулюють показники екологічної безпеки текстильних виробів. Так, наприклад, в документі "Commission Decision of 17 February 1999 establishing the ecological criteria for the award of the Community eco-label to textile products (1999/178/EC)" встановлено екологічні критерії для всієї групи текстильних виробів, в яку входять одяг та інтер'єрний текстиль, що складається на 90 % за масою з текстильних волокон (за винятком покриттів для підлоги), пряжа й полотна, з яких ці вироби виготовлені. При цьому рішення про надання права еко-маркування повинно прийматися компетентними органами на основі проведених випробувань. Регламентовані цими документами критерії поділені на категорії: АІ, АІІ, В, С.

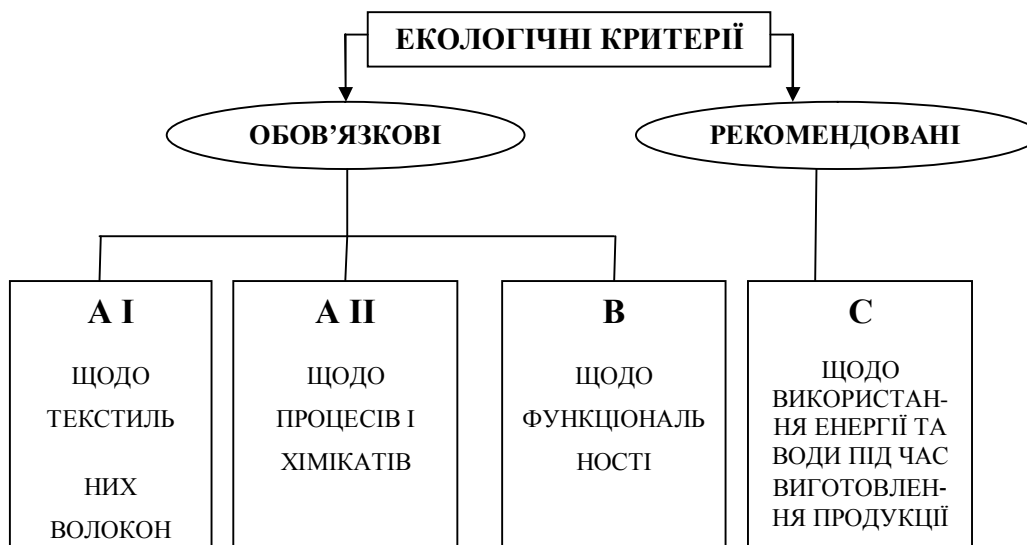


Рис. 2. Класифікація екологічних критеріїв

Критерії АІ розповсюджуються на всі види найбільш поширених волокон і регламентують граничні величини різних речовин залежно від виду волокон: пестицидів та інших отруйних речовин, якими можуть оброблятися рослини (для бавовняних і вовняних), рівень рН (для вовняних), сірки та цинку (для віскозних), міді (для мідноаміачних), залишків акріло-нітрилу та емісії його у повітря та воду (для акрілових), діоксиду азоту (для поліамідних), сурми (для поліефірних), пігментів, оснований на свинці (для поліпропіленових) тощо.

Критерії АІІ регламентують дозволи на використання чи невикористання тих чи інших препаратів або їх допустимі рівні під час виготовлення текстильних матеріалів, а саме: масел, восків, апретів, шліхти при чесанні, прядінні, підготовці до ткання чи в'язання; хлорфенольних сполук; важких металів; хлору; миючих і пом'якшуючих засобів; йодних домішок, важких металів у барвниках, пігментах, хромово-протравному фарбуванні; металевих комплексних та азобарвників; барвників і вогнезахисних речовин, що є канцерогенними, мутагенними, отруйними, потенційно сенсibiliзуючими або мають різні ступені ризику згідно з відповідними директивами ЄС (тобто можуть бути причиною онкологічних захворювань, викликати успадковані генетичні порушення, негативно впливати на плід в утробі жінки тощо); галогенових носіїв для протиусадкових обробок; летючих органічних сполук у пастах для друкування; вільного чи частково

здатного до гідролізу формальдегіду та ін.

Основними критеріями функціональності (В) є:

- допустимий рівень зміни розмірів при пранні і сушінні залежно від структури матеріалу і його призначення;

- стійкість пофарбування до прання, поту, мокрого та сухого тертя, світла.

В даний час, основним стандартом, який регулює вміст шкідливих речовин у текстильних матеріалах, являється стандарт «Екотекс». Згідно вимог даного стандарту всі текстильні матеріали поділяються на групи залежно від ступеню їх контакту зі шкірою людини.

Враховуючи вимоги даного стандарту, до матеріалів для військової форми одягу можна висунути наступні екологічні вимоги:

- вони повинні містити у волокнистому складі лише натуральні волокна, на стадії вирощування не оброблених гербіцидами і пестицидами.

- не містити шкідливих речовин, таких як вільний формальдегід, солі важких металів, залишки аפרету (в кількостях вище гранично-допустимих).

- мати забарвлення, яке стійке до дії мокрого і сухого тертя, прання, дистильованої води.

- не виділяти летких речовин, таких як толуол, вінілциклогексан та ін [3].

Дані вимоги можна узагальнити і представити у вигляді наступної схеми (рис. 3.)

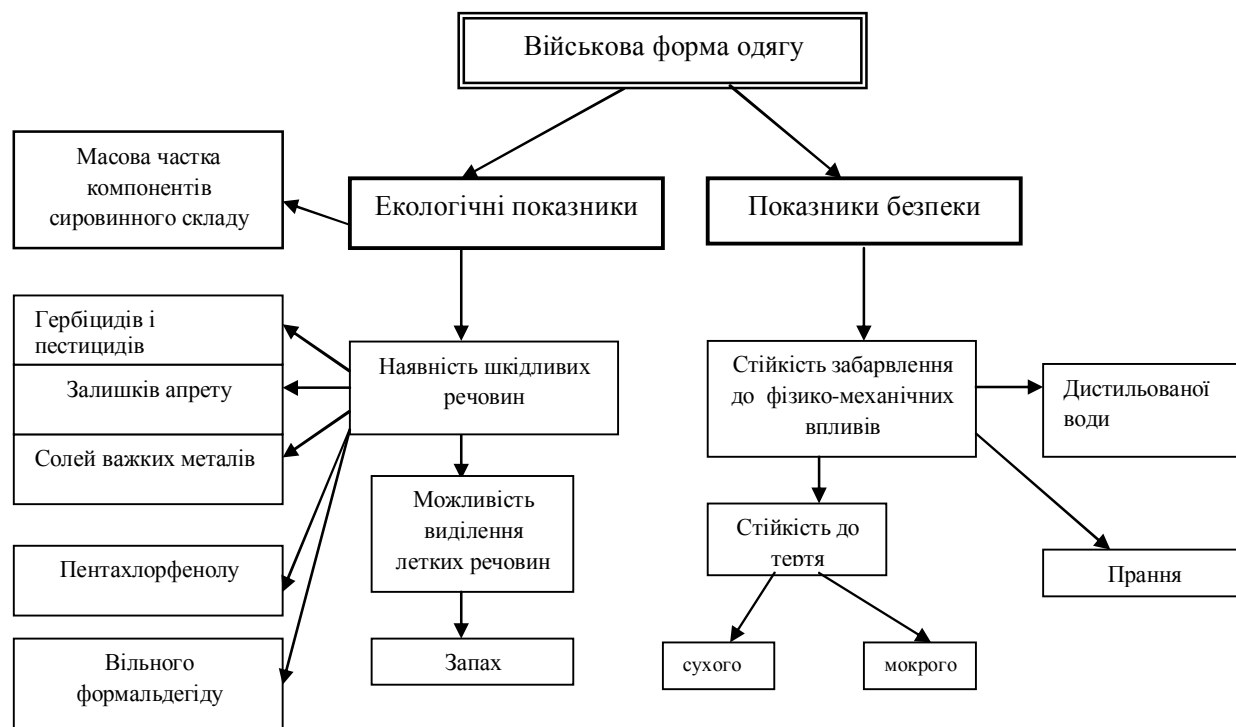


Рис. 3. Екологічні показники військової форми одягу

Згідно стандарту «Екотекс», при визначенні екологічності текстильних виробів необхідно враховувати також показники безпеки виробів і матеріалів, до яких належить стійкість забарвлення до фізико-механічних дій. Це особливо важливо для військової форми, адже даний вид одягу постійно піддається різним кліматичним впливам і різноманітним видам тертя, пов'язаних, передусім, із професійною діяльністю військовослужбовця. При умові, що одяг військовослужбовців може містити певні шкідливі речовини, перераховані вище, при дії різноманітних факторів, цей вплив буде лише посилюватися.

Для визначення основних екопоказників які враховує стандарт «Екотекс» авторами було проведено дослідження 8-ми видів камуфляжних матеріалів з метою оцінки їх відповідності екологічним вимогам. Зразки (1, 2, 3, 8) вітчизняного виробництва. Зразок (8) був виготовлений на підприємстві в м.Чернігів. Країна-виробник зразка (5) – Китай. Інформація про виробника зразків (4, 6, 7) відсутня. Результати досліджень представлені у таблиці 1. Методика проведення дослідження за основними екопоказниками відбувалась у відповідності стандартам [6, 7] з врахуванням можливостей матеріальної бази хімічної лабораторії.

Результати дослідження вказують, що переважна кількість зразків відповідає вимогам екостандартів, які висуваються до тканин даного типу, хоча існують в певних зразках відхилення від існуючих норм. Практично всі зразки містять у своєму волокнистому складі синтетичні волокна.

В зразках ТК 1-ТК 7 виявлені залишки аפרетів, проте у незначній концентрації. Формальдегід виявлено лише у зразку ТК 3 у концентрації, яка набагато нижча гранично-допустимої (1 мкг/г, тоді як ГДК становить 300 мкг/г). В результаті дослідження також було виявлено, що матеріали не містять у своєму складі солей важких металів (алюмінієвих, мідних, хромових).

Результати дослідження камуфляжних матеріалів згідно з екологічними показниками

Назва показника	Кодове позначення тканин							
	ТК 1	ТК 2	ТК 3	ТК 4	ТК 5	ТК 6	ТК 7	ТК 8
Стійкість зафарбування до дії прання, бали	3	5	5	4	5	5	5	5
Стійкість зафарбування до дії сухого тертя, бали	5	5	5	5	5	5	5	5
Стійкість зафарбування до дії мокрого тертя, бали	4	5	5	4	5	5	5	5
Стійкість зафарбування до дії дистильованої води, бали	3	5	4	4	5	5	5	5
Масова частка апретів, %	0,8	0,4	3	1	0,8	1,5	0,4	-
Наявність вільного формальдегіду	Не виявлено	Виявлено	Не виявлено					
Наявність солей важких металів (алюмінієвих, мідних, хромових)	Не виявлено							
Реакція водного розчину	6,6	6,2	6,0	6,4	6,8	5,3	6,4	5,8
Волокнистий вміст, %	100-бавовна	53-бавовна 47-ПЕ	53-бавовна 47-ПЕ	70-ПЕ 30-бавовна	70-ПЕ, 30-бавовна	70-ПЕ, 30-бавовна	53-бавовна 47-ПЕ	53-бавовна; 47-ПЕ

Примітка: ПЕ – Поліефірне волокно

По показникам безпеки повністю не відповідає вимогам зразок ТК 1, зразки ТК 3 і ТК 4 не стійкі до окремих видів випробувань.

Отже, згідно проведених випробувань можна зробити висновок про те, що в досліджуваних матеріалах існують відхилення від еконорм за існуючими вимогами, проте і не містять певних шкідливих речовин у концентраціях вище гранично-допустимих. Однак, згідно з отриманими показниками не можна остаточно зробити висновок про екологічність тканин, адже не було визначено, який саме вид барвника використовувався при оздобленні даних матеріалів. Так як значна кількість барвника використовується і залишається на камуфляжних матеріалах, то факт встановлення типу барвника вносить суттєву поправку у комплексну оцінку екологічності одягу [1].

Значна кількість негативних екопоказників формується ще на стадії виробництва текстильних матеріалів. Тому спрогнозувати наявність та значимість даних показників можна шляхом запровадження відповідних екологічних стандартів на підприємстві. На сьогоднішній день діяльність підприємств з боку екологічної оцінки можна регулювати завдяки використанню міжнародних стандартів серії ISO 14000.

Основним предметом ISO 14000 є система екологічного менеджменту – environmental management system. Типові положення цих стандартів полягають у тому, що в організаціях повинні бути введені й дотримані певні процедури, визначені документи та відповідальні за дотримання екологічної політики підприємства [4, 5].

Висновки

Проведені дослідження серії камуфляжних матеріалів вказують на достатньо припустимі значення за основними екопоказниками для даного виду одягу, норми яких прописані в існуючих держстандартах та стандарті «Екотекс». Більш ширше дослідження даного виду передбачає використання спеціалізованого обладнання (наприклад хронограф, спектрометричні інструменти тощо) та володіння первинною інформацією про основні види обробок матеріалу (включаючи процес колорування). Останній фактор є чи не найголовнішим при ефективному визначенні екопоказників матеріалів, з яких виготовляється виріб.

Таким чином дотримання виробниками продукції вимог та рекомендацій «Екотекс» і ISO 14000 значно спрощує процес «екоідентифікації» одягу, про що можна було б дізнатись за спеціальним маркуванням, яке на жаль відсутнє на більшості товарів, які поставляються на український ринок.

Література

1. Легенька Л.В., Герасимов В.В. Екологічні аспекти виготовлення та експлуатації військової форми // Тези доповідей студентської наукової конф. «Екологічна безпека доквілля. Проблеми та шляхи вирішення». – Ужгород. – 2009. – С. 45.
2. Легка промисловість. Доступ до світових ринків // Діловий вісник. – 2002. – № 10 (101)
3. Кричевский Г.Е. Опасность и безопасность изделий из текстиля // Текстильная промышленность. – 2006. – № 3. – С. 87-91.
4. Екологічний менеджмент / За ред. Семенова В.Ф., Михайлюк О.Л. – К.: ЦУЛ, 2004. – 407с.
5. <http://www.oeko-tex.com>
6. ГОСТ 25617-83. Ткани и изделия, полульняные, хлопчатобумажные и смешанные. Методы химических испытаний.
7. Мазор Л. Методы органического анализа: Пер. с англ. – М.: Мир., 1986. – 584 с.

Надійшла 19.12.2009 р.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ БЕССИЛИКАТНОГО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕРОКСИДНОГО БЕЛЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье приведены результаты разработки новой эффективной композиции белящего раствора, обеспечивающей придание хлопчатобумажной ткани устойчивой белизны и капиллярности при минимальных энергетических затратах. Показана возможность проведения бессиликатного низкотемпературного беления пероксидом водорода. Представлена кинетика процесса бессиликатного беления хлопчатобумажной ткани. Проведен контроль качества подготовки тканей и изменений волокнистого материала.

This article deal with the results of the development of new effective com-positions of bleaching solution, providing attachment of cotton fabric a stable whiteness and capillarity with minimal energy costs. The possibility of providing of non-silicate low-temperature bleaching with hydrogen peroxide is showed. The kinetics of non-silicate bleaching of cotton fabric is showed. The control of the quality of treatment fabrics and changes of fibrous material is pro-vided.

Ключевые слова: холодное беление, дробные реплики, кинетика беления.

Постановка проблемы

Текстильная промышленность – одно из самых рентабельных и продуктивных производств в мире. В развитых странах использование текстиля превышает 25 кг на душу населения в год, в т.ч. 48 % приходится на долю хлопка, 32 % – на синтетические волокна, около 10 % – на целлюлозные волокна, 8 % – на шерсть. Однако, сегодня хлопчатобумажная отрасль текстильной промышленности Украины всецело зависит от своевременной поставки сырья, конкурентного по ценам и качеству. Кроме того, на предприятиях текстильной промышленности используется, в основном, физически и технически устаревшее оборудование, не позволяющее использовать современные технологии и производить конкурентоспособную продукцию. Все это свидетельствует о том, что в целом сложилась крайне тяжелая ситуация в текстильной промышленности Украины. Из всего количества предприятий легкой промышленности (около 850) почти половина убыточны, производственные мощности загружены на 15-60 % [1]. В связи с этим необходимо максимально снизить затраты на выпуск продукции, при этом не снижая качества готовых изделий. В целях экономии энергоносителей, технологической воды, химматериалов и улучшения экологии производства, наметилась тенденция к пересмотру традиционной многоступенчатой последовательности операций в технологии облагораживания хлопчатобумажных и льняных тканей. Решению этих задач будет способствовать внедрение технологий, объединяющих несколько стадий в одну унифицированную технологию, разработка технологий, осуществляемых при низкой температуре и сокращении длительности технологических процессов.

Анализ последних исследований и публикаций

Холодный способ беления известен давно (с 1928 г.), однако внимание исследователей до настоящего времени не привлекал, а потому сведений о нем имеется немного. В сложившихся, в настоящее время, трудных экономических условиях, особенно в нашей отечественной промышленности, холодный способ беления используется в промышленном масштабе на Херсонском и Донецком хлопчатобумажных комбинатах (заслуга в этом принадлежит выдающемуся специалисту отделочного производства В.И. Барановскому).

На этих фабриках выпускают ткани бельевого ассортимента, отбеленные холодным способом. Готовые ткани характеризуются высокой белизной, прочностью, износостойкостью, низкой себестоимостью. Однако проблема заключается в низкой капиллярности ткани и в значительной продолжительности процесса беления (24 часа). В связи с этим решение этой задачи актуально.

В работе [2] нами были проведены исследования с целью получения высокого эффекта белизны по холодному способу, снизив длительность процесса беления. Это реализовалось посредством совместного применения эффективной системы активатор – стабилизатор (силикатный) при оптимальном составе белящего раствора. Однако из литературных данных известно [3], что силикаты, обеспечивая надежную стабилизацию пероксида водорода, могут осаждаться на оборудовании и на ткани. Поэтому представляло интерес определить, происходит ли выпадение осадков в холодных системах и существует ли альтернатива силикатам в эффективной стабилизации пероксида водорода.

Формулирование цели статьи

Целью настоящей работы являлось исследование возможности замены силикатных стабилизаторов пероксида водорода на органический стабилизатор из ряда метилсиликонатов, а также установление оптимального состава такой системы с помощью метода дробных реплик.

Изложение основного материала

Исследования проводили на хлопчатобумажной ткани бязь арт. 9В0407 (ОАО «Херсонский ХБК»). Ткань пропитывали на двухвальной плюсовке (два погружения, отжим) до остаточной влажности 120 %, выдерживали в полиэтиленовом пакете 5 часов и тщательно промывали горячей – холодной – кислованной ($H_2SO_4 - 2$ г/л) – холодной водой. Оптимальные параметры состава белящего раствора определяли на основе

применения математического планирования эксперимента – метода дробных реплик.

В качестве параметров оптимизации (y) рассматривалась белизна текстильных материалов. В качестве независимых факторов были выбраны: X_1 – исходная концентрация пероксида водорода, г/л; X_2 – исходная концентрация щелочи, г/л; X_3 – исходная концентрация стабилизатора, г/л; X_4 – исходная концентрация активатора, г/л. В качестве эффективного стабилизатора исследовался органический стабилизатор ГКЖ-11 К. ГКЖ -11К- водный раствор метилсиликоната калия, слегка мутная жидкость, плотностью при температуре 20°C – 1,200 – 1,225 г/см³, щелочностью, в пересчете на КОН- 13,0 – 16,0 %.

В качестве активатора использовался препарат, в кристаллической решетке которого содержится молекулярный анион O^{2-} , так называемая пероксогруппа, которая обладает сильным окислительным действием.

Условия эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1

Условия эксперимента				
	x_1	x_2	x_3	x_4
Основной уровень	27,5	9	9	7
Интервал варьирования Δ	5,5	3	1	3
+1	33	12	10	10
-1	22	6	8	4

Для определения коэффициентов линейного уравнения регрессии

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4$$

использована 1/2 от ПФЭ 2⁴ с генерирующими соотношениями

$$x_4 = x_1 x_2 x_3$$

Определены сумма дисперсий, критерий Кохрена, дисперсия воспроизводимости, число степеней свободы дисперсии воспроизводимости. Коэффициенты уравнения регрессии: $b_0=79,79$, $b_1= 0,18125$, $b_2= 0,21875$, $b_3= 0,15625$, $b_4=0, 15625$. Коэффициенты b_3 , b_4 незначимы, так как t -отношение их меньше табличного значения критерия Стьюдента $t_{0,05}(8) = 2,31$. Уравнение регрессии приняло вид: $\hat{y} = 79,79+0,18125 x_1 + 0,21875 x_2$. Уравнение регрессии оказалось адекватно эксперименту, так как табличное значение критерия Фишера $F_{0,95}(2,8)=4,07$, а расчетное $F = 3,134$, $F < F_{0,95}(2,8)$. В ходе метода крутого восхождения (табл. 2) был определен оптимальный состав белящего раствора, полученный в опыте № 12.

Таким образом, максимальная степень белизны 82 %, что входит в требования ГОСТ 29298-92 [4] была достигнута при следующем составе белящего раствора (табл. 3). Капиллярность – 135 мм/ч.

Таблица 2

Крутое восхождение						
	x_1	x_2	№ опыта	x_1	x_2	y
Основной уровень	27,5	9				
Δ	5,5	3				
b_i	0,18125	0,21875	9	29,5	10,3	80
$b_i \Delta$	0,9969	0,656	10	31,5	11,6	80
Шаг	2	1,3	11	33,5	12,9	80,5
			12	35,5	14,2	82
			13	37,5	15,5	80,5

Таблица 3

Оптимальный состав белящего раствора бессиликатного низкотемпературного пероксидного беления

Концентрация, г/л
H ₂ O ₂ (100 %) -35
NaOH – 14
ГКЖ-11К – 9
Активатор -7
Оптический отбеливатель- 0,5
Смачиватель-1

Для окончательного подтверждения пригодности метилсиликоната калия в качестве стабилизатора необходимо было изучить кинетику разложения пероксида водорода в его присутствии, а также сопоставить с действием метасиликата и силиката натрия. Составы белящих растворов представлены в таблице 4.

Таблица 4

Составы белящих растворов на основе силикатов

№ ванны	Концентрация, г/л							
	H ₂ O ₂	NaOH	Na ₂ SiO ₃	Na ₂ SiO ₃ · 5 H ₂ O	ГКЖ-11К	Активатор	Смачиватель	Оптический отбеливатель
1	25	12,5	7	-	-	10,9	1	0,5
2	25	13	-	7	-	10,3	1	0,5
3	35	14	-	-	9	7	1	0,5

На рис. 1 представлена кинетика разложения пероксида водорода при холодном белении в течении 5 часов по предложенным технологиям. Концентрация пероксида водорода на ткани определялась согласно методике [5]. Как видно из рисунка лучше всего стабилизирует пероксид водорода силикатный клей, метасиликат менее, что объясняется [6] большей щелочностью и неразвитой коллоидной структурой, органический стабилизатор несколько уступает силикату, однако, требуемая белизна, согласно ГОСТ, была достигнута по всем трем вариантам обработки, что свидетельствует об эффективном проведении процесса беления. При этом важно отметить, что после 5 часов беления менее всего (20 %) остается неразложившегося пероксида водорода в случае применения органического стабилизатора, а при использовании силикатных стабилизаторов остается неразложившегося пероксида водорода в пределах 30-38 %, что указывает на возможность снижения рабочей концентрации отбеливателя или одного из компонентов активатора.

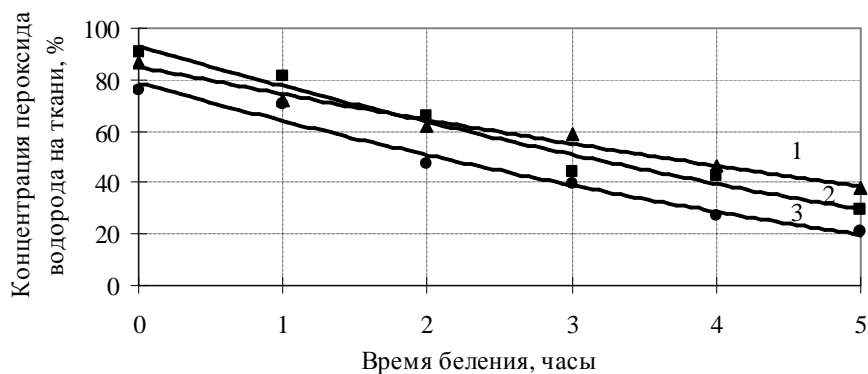


Рис. 1. Кинетика разложения пероксида водорода при низкотемпературном способе беления
1 – состав на основе силикатного клея, 2 – на основе метасиликата натрия, 3 – на основе ГКЖ-11К

Также, образцы отбеленной ткани не обладают жесткостью, характерной для образцов отбеленных по горячему способу. Этот вывод был сделан на основе определения жесткости ткани на изгиб (ГОСТ 10550-93) [7]: ни один из отбеленных образцов не прогибался под собственным весом, что говорит о мягкости ткани и отсутствии силикатных осадков. Известно, что если имеет место избыточное содержание осадков на ткани, то ткань будет иметь высокое содержание золы. Говоря об эффективности действия органического стабилизатора, стоит отметить, что после озоления [8] ткань, отбеленная с органическим стабилизатором, содержит меньше всего золы – 0,1 %, в то время как суровой образец – 1,6 %, отбеленный с силикатом натрия – 0,499 %, метасиликатом натрия – 0,544 %.

Выводы

1. Показано, что применение органического стабилизатора, при холодном способе беления хлопчатобумажных тканей, позволяет получить высокие показатели белизны, которые однако уступают по стабилизирующей способности силикату и метасиликату натрия.

2. Экспериментально подтверждено отсутствие силикатных осадков на ткани методом определения жесткости ткани на изгиб и общей зольности в образцах готовой ткани.

Литература

1. Огляди ринку. – Легпром України, 2005. – 385 с.
2. Євдокимова В.А., Кулігін М.Л. Розробка високоєфективної технології біління бавовняних тканин на холоді // Вісник КНУТД. – 2009. – № 3. – С. 97-100.
3. Bartsch F. Kaltverweibleachverfahren mit Wasserstoffperoxid. – Textilveredlung, 1983, Bd 18, № 10, S. 305-310
4. ГОСТ 29298-2005. Ткани хлопчатобумажные и смешанные бытовые. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2008. – 10 с.
5. Шихер М. Г. Беление хлопчатобумажных тканей. – М.: Легкая индустрия, 1975. – 144 с.
6. Сафонов В.В. Облагораживание текстильных материалов. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 288с.
7. ГОСТ 10550-93. Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 10 с.
8. Лабораторный практикум по химической технологии волокнистых материалов/Под ред. Корчагина М.В. – М.: Легкая индустрия, 1976. – 349 с.

Надійшла 8.12.2009 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ АДСОРБЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ САПОНІТУ, МОДИФІКОВАНОГО КАТІОНАМИ БАГАТОВАЛЕНТНИХ МЕТАЛІВ

Досліджено сорбційні властивості сапоніту по відношенню до органічних барвників різної хімічної будови. Показано, що природний сапоніт має високі сорбційні властивості по відношенню до катіонного і основного барвників, а погані – по відношенню до аніонного барвника. Саме з метою підвищення сорбційних властивостей природного сапоніту проводили його активацію катіонами багатовагентних металів.

Investigational sorbcyini properties of saponite in relation to organic dyes of different chemical structure. It is rotined that a natural saponite is high sorbcyini characteristics in relation to kationnogo and basic dyes, and bad in relation to anionic dye. Exactly with the purpose of increase of sorbcyinih properties of natural saponite conducted his activating cations of polyvalent metals.

Ключові слова: сапоніти, адсорбція, барвники, модифікація.

Постановка проблеми

Сапоніти відносять до мінеральних ресурсів. Мінерал – це однорідне природне тіло, яке володіє визначеними фізичними властивостями і відносно постійним складом, який утворився в результаті геологічних процесів [1– 3]. Мінерали можуть бути аморфними або кристалічними. В аморфних мінералах частинки (атоми, іони, молекули) розташовані хаотично, а в кристалічних вони з'єднані закономірно в кристалічну решітку. Більшість мінералів є кристалічними сполуками. Однак, далеко не завжди мінерали можна розрізнити за допомогою мікроскопа, а форма їх дуже часто не відповідає ідеальній. Це пояснюється тим, що мінерал сприймає численні деформації зі всіх сторін, що призводить до спотворення їх форми. Численні приклади кристалічних мінералів надані в літературі [2– 3]. Сапоніти відносять до 9 групи мінералів – групи силікатів і алюмосилікатів. Це найважливіший клас мінералів, представники якого разом із кварцом складають 95 % від маси земної кори. Третю частину відомих мінералів відносять до групи силікатів і алюмосилікатів. Силікати і алюмосилікати ділять за будовою кристалічної решітки на наступні підкласи: а) острівні; б) кільцеві; в) ланцюгові; г) стрічкові; д) шарові; е) каркасні.

Формулювання цілі статті

Метою досліджень було вивчення впливу катіонів багатовагентних металів на адсорбційні властивості сапонітів та проведення порівняльного аналізу з сорбцією природного сапоніту.

Виклад основного матеріалу

Дослідження адсорбційних властивостей природного сапоніту проводили шляхом вивчення адсорбції із водних розчинів барвників різних класів – прямого яскраво-оранжевого, катіонного синього 4К і метиленового блакитного. Перший барвник в розчині утворює від'ємно заряджений іон, а інші – позитивно заряджені іони. З літературного огляду відомо, що глинисті мінерали утворюють так звані поглинаючі комплекси з від'ємним зарядом. Тому можна було очікувати невеликої адсорбції сапонітом прямого яскраво-оранжевого. В таблиці 1 наведені дані по адсорбції природним сапонітом барвника прямого яскраво-оранжевого із його водних розчинів. Для адсорбції взято по 2 г сапоніту і 25 мл розчинів барвника.

Таблиця 1

Адсорбція природним сапонітом барвника прямого яскраво-оранжевого

№ колби	C_0 , ммоль/л	C_k , ммоль/л	DC , ммоль/л	$m_{барв.}$, ммоль/25 мл	$A_{барв.}$, ммоль/г
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,10	0,00062	0,09938	0,00248	0,00121
3	0,15	0,01090	0,13910	0,00595	0,00174
4	0,25	0,01191	0,23809	0,00595	0,00298
5	0,40	0,01456	0,38544	0,00964	0,00482
6	0,50	0,02009	0,47991	0,01200	0,00600
7	0,70	0,03861	0,66139	0,01653	0,00837
8	0,9	0,04967	0,85033	0,02126	0,01063
9	1,00	0,05588	0,94462	0,02362	0,01181
10	1,11	0,09687	1,00313	0,02508	0,01254
11	1,20	0,17693	1,02307	0,02558	0,01279

На рисунку1 представлена ізотерма сорбції природного сапоніту для барвника прямого яскраво-оранжевого, яка виходить на рівновагу при концентрації розчину 1,2 моль/л і складає 0,01279 ммоль/г, або 9,804 г барвника на 1 кг природного сапоніту.

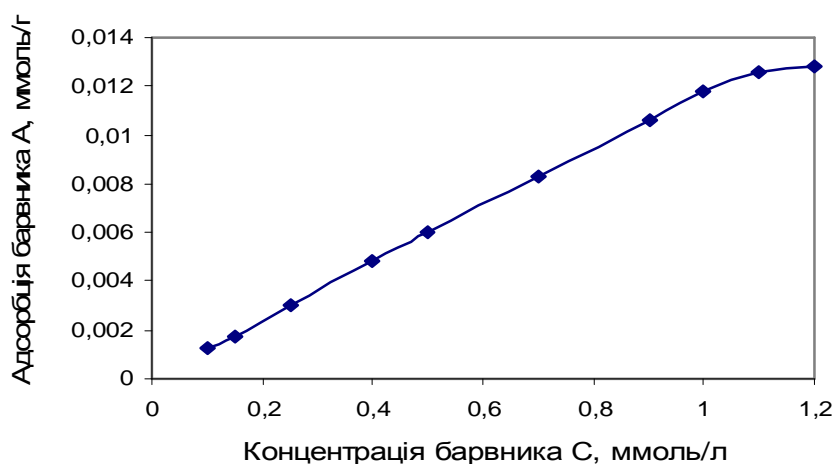


Рис. 1. Адсорбція барвника прямого яскраво-оранжевого на природному сапоніті (температура розчинів 20 °С)

Таблиця 2

Адсорбція природним сапонітом барвника метиленового блакитного

№ колби	C_0 , ммоль/л	C_K , ммоль/л	DC , ммоль/л	$m_{\text{барв.}}$, ммоль/65 мл	$A_{\text{барв.}}$, ммоль/г
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,10	0,00	0,10	0,00650	0,00650
3	0,15	0,00	0,15	0,00775	0,00775
4	0,25	0,00	0,25	0,01625	0,01625
5	0,40	0,00	0,40	0,02600	0,02600
6	0,50	0,00	0,50	0,03250	0,03250
7	0,70	0,00	0,70	0,04550	0,04550
8	0,90	0,00	0,90	0,05150	0,05150
9	1,00	0,00292	0,99708	0,06481	0,06481
10	1,11	0,08687	1,01313	0,06585	0,06585
11	1,20	0,17893	1,02107	0,06637	0,06637

На рисунку 2 і в таблиці 2 наведені результати адсорбції природним сапонітом метиленового блакитного. Результати досліджень показують, що рівновага настає практично при концентрації розчину 1 ммоль/л. Максимальна адсорбція дорівнює 0,06637 ммоль/г, або 24,79 г/кг природного сапоніту.

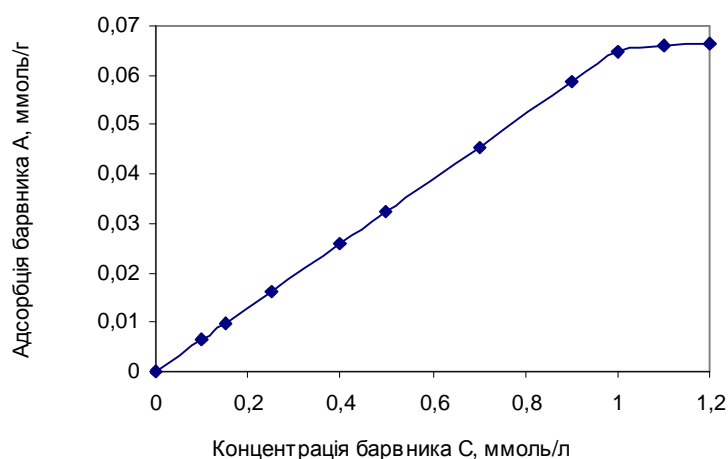


Рис. 2. Адсорбція барвника метиленового блакитного на природному сапоніті (температура розчинів 20 °С)

На рисунку 3 і в таблиці 3 наведені результати адсорбції природним сапонітом катіонного синього 4К. Результати досліджень показують, що рівновага настає практично при концентрації розчину 1 ммоль/л. Максимальна адсорбція дорівнює 0,09118 ммоль/г, або 41,12 г/кг природного сапоніту. Таким чином, природний сапоніт має різну адсорбційну здатність по відношенню до барвників.

Адсорбція природним сапонітом барвника катіонного синього 4К

№ колби	C_0 , ммоль/л	C_K , ммоль/л	DC , ммоль/л	$m_{барв.}$, ммоль/90 мл	$A_{барв.}$, ммоль/г
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,10	0,00	0,10	0,00900	0,00900
3	0,15	0,00	0,15	0,01350	0,01350
4	0,25	0,00	0,25	0,02250	0,02250
5	0,40	0,00	0,40	0,03600	0,03600
6	0,50	0,00	0,50	0,04500	0,04500
7	0,70	0,00	0,70	0,06300	0,06300
8	0,9	0,00	0,90	0,08100	0,08100
9	1,00	0,00392	0,99608	0,08965	0,08965
10	1,11	0,08687	1,01313	0,09118	0,09118
11	1,20	0,18693	1,01307	0,09118	0,09118

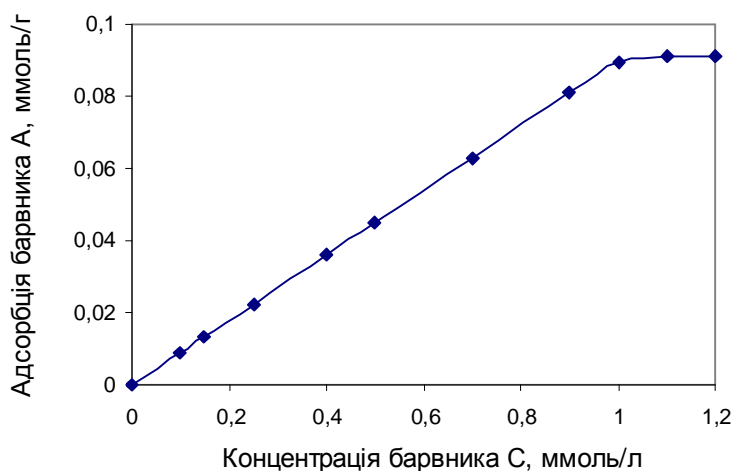


Рис. 3. Адсорбція барвника катіонного синього 4К на природному сапоніті (температура розчинів 20 °С)

Найменша адсорбція на природному сапоніті спостерігається у барвника аніонного типу – прямого яскраво-оранжевого, найбільша – катіонного синього 4К.

Обробка розчинами солей багатовалентних металів суттєво повинна впливати на адсорбційні властивості глинистих мінералів. Досліджено процес модифікації сапоніту розчинами солей багатовалентних металів, які характерні для сапоніту – це розчини солей алюмінію, заліза (II) і магнію. Умови модифікації наведені в таблиці 4

Таблиця 4

Умови модифікації сапоніту розчинами солей багатовалентних металів $\left(4E, \frac{OH}{Al(Fe, Mg)} = 1,3 : 1 \right)$

Назва і концентрація солі, моль/л	Маса сапоніту, г	Об'єм розчину, мл	Об'єм 1 М розчину NaOH	$t, ^\circ C$	$t, \text{дiб}$
Алюмінію нітрат, 0,1 М	350,00	1071,00	139,20	20±2	5
Заліза хлорид (II), 0,1 М	350,00	1610,00	209,30	20±2	5
Магнію сульфат, 0,1 М	350,00	1610,00	209,30	20±2	5

Після модифікації сапоніту вивчали його сорбційні властивості за допомогою розчинів барвників. В таблиці 5 і на рисунку 4 наведені результати дослідження адсорбції барвника прямого яскраво-оранжевого на модифікованих сапонітах.

Як видно з таблиці 5 і рисунку 4, адсорбція прямого яскраво-оранжевого на сапоніті, який модифікований солями магнію, алюмінію і заліза, суттєво відрізняється для різних солей. Найбільша адсорбція спостерігається на сапоніті, який модифікований солями магнію, найменша – солями заліза. Різниця складає $0,01963 - 0,01482 = 0,00481$ ммоль/г, або 3,655 г/кг сапоніту. Однак сорбція на сапоніті, модифікованому солями магнію, менша сорбції на сапоніті, який активований сульфатною кислотою в $19,038/14,920=1,28$ разів.

**Адсорбція прямого яскраво-оранжевого на сапоніті,
який модифікований солями багатовалентних металів**

Концентрація барвника, ммоль/л	Концентрація і назва солей модифікації		
	0,1 M FeCl ₂	0,1 M Al(NO ₃) ₃	0,1 M MgSO ₄
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,00233	0,00254	0,00391
0,15	0,00434	0,00513	0,00566
0,25	0,00634	0,01134	0,01278
0,40	0,00867	0,01134	0,01276
0,50	0,01074	0,01296	0,01492
0,70	0,01234	0,01447	0,01704
0,90	0,01314	0,01646	0,01887
1,00	0,01382	0,01734	0,01964
1,10	0,01472	0,01776	0,01963
1,20	0,01482	0,01768	0,01963

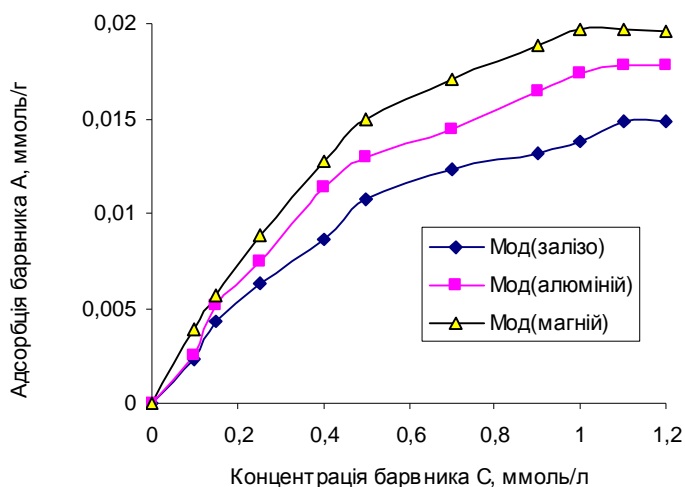


Рис. 4. Адсорбція прямого яскраво-оранжевого на сапоніті, модифікованому солями багатовалентних металів

В таблиці 6 і на рисунку 5 наведені результати дослідження адсорбції барвника метиленового блакитного на модифікованих сапонітах.

Таблиця 6

Адсорбція метиленового блакитного на сапоніті, який модифікований солями багатовалентних металів

Концентрація барвника, ммоль/л	Концентрація і назва солей модифікації		
	0,1 M MgSO ₄	0,1 M FeCl ₂	0,1 M Al(NO ₃) ₃
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,00982	0,00991	0,01083
0,20	0,01862	0,02036	0,02136
0,30	0,02841	0,03075	0,03243
0,40	0,03618	0,04037	0,04281
0,50	0,04813	0,05103	0,05295
0,70	0,06736	0,07084	0,07162
0,90	0,08736	0,09036	0,09231
1,00	0,09652	0,09821	0,09884
1,10	0,09654	0,09881	0,09886
1,20	0,09658	0,09884	0,09891

Як видно, нема практично ніякої різниці в адсорбції метиленового блакитного на сапоніті, який модифікований солями магнію, алюмінію і заліза. Можна лише відмітити, що для сапоніту, який модифікований сіллю магнію, адсорбція барвника дещо менша, ніж для інших солей. Причому адсорбція метиленового блакитного збільшується в порівнянні із сапонітом, який активований сірчаною кислотою в $36,916/28,780=1,28$ рази.

В таблиці 7 і на рисунку 6 наведені результати дослідження адсорбції барвника катіонного синього 4К на модифікованих сапонітах, з яких можна зробити висновок, що різниця в адсорбції кислотного синього 4К на сапоніті, який модифікований солями магнію, алюмінію і заліза, дуже мала, практично її можна характеризувати як похибку досліджень. Для барвника катіонного синього 4К спостерігається така ж картина, як і для барвника метиленового блакитного – адсорбція кислотного синього 4К збільшується в порівнянні із сапонітом, який активований сірчаною кислотою в $57,421/49,620=1,16$ рази.

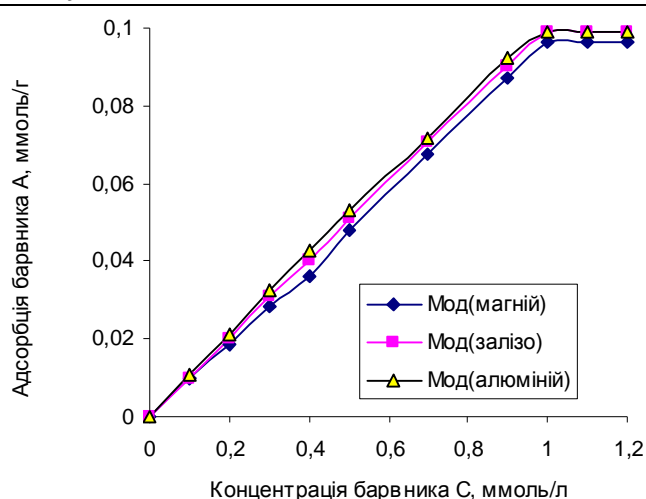


Рис. 5. Адсорбція метиленового блакитного на сапоніті, модифікованому солями багатовалентних металів

Таблиця 7

Адсорбція катіонного синього 4К на сапоніті, який модифікований солями багатовалентних металів

Концентрація барвника, ммоль/л	Концентрація і назва солей модифікації		
	0,1 М $Al(NO_3)_3$	0,1 М $FeCl_2$	0,1 М $MgSO_4$
0,00	0,00	0,00	0,00
0,10	0,00910	0,01203	0,01376
0,20	0,02187	0,02436	0,02746
0,30	0,03511	0,03477	0,04231
0,40	0,0472	0,04976	0,05531
0,50	0,05756	0,06231	0,09346
0,70	0,07912	0,08640	0,09346
0,90	0,10231	0,10934	0,12731
1,00	0,11591	0,12036	0,12731
1,10	0,11588	0,12074	0,12761
1,20	0,11591	0,12049	0,12732

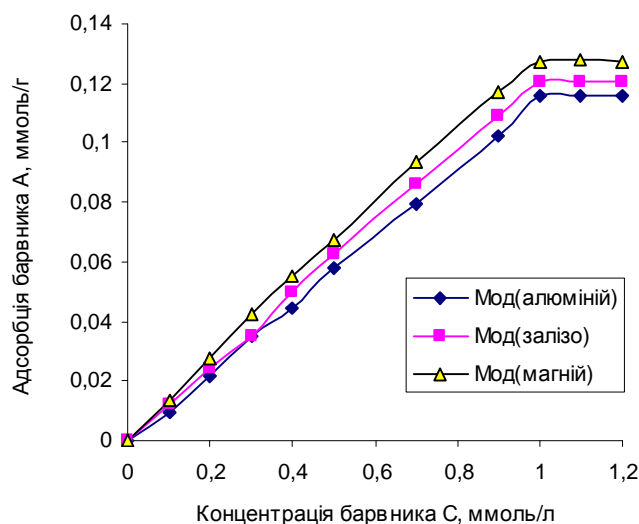


Рис. 6. Адсорбція катіонного синього 4К на сапоніті, модифікованому солями багатовалентних металів

Висновки:

1. при обробці сапоніту розчинами солей магнію, заліза і алюмінію протікає його модифікація, яку можна характеризувати збільшенням адсорбції барвників різних класів;
2. теоретично можливо передбачити, що після обробки солями багатовалентних металів повинна збільшуватись адсорбція аніонних барвників, а на сорбцію катіонних суттєвий вплив не спостерігався.

1. Сапоніт – новий вид мінеральної сировини багатогалузевого використання [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://infopsck.ua>. – Заголовок з екрану.
2. Телетов С.Г., Ткаченко Н.С. Сорбционная способность харьковских кремне-глинистых пород // Бентонитовые глины Украины. – К.: АН УССР, 1958. – 230 с.
3. Овчаренко Ф.Д., Быков С.Ф. Влияние различных факторов на гидрофильность бентонитов // Бентонитовые глины Украины. – К.: АН УССР, 1958. – 230 с.
4. Власов В.В., Ремезников В.И. О взаимодействии глинистых минералов и некоторых слоистых силикатов с щелочами // Рентгенография минерального сырья. – М.: Недра, 1967. – 122 с.
5. Агабальянц Э.Г., Овчаренко Ф.Д. Влияние гидроокиси кальция на физико-химические свойства глинистых суспензий // Физико-химическая механика почв, грунтов, глин и строительных материалов. – Ташкент: ФАН, 1966. – 264 с.

Надійшла 21.12.2009 р.

УДК 687.016.5

О.В. МІЩЕНКО

Хмельницький інститут конструювання моделювання швейних виробів

А.Л. СЛАВІНСЬКА

Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІННОСТІ ПАРАМЕТРІВ ОСНОВ КОНСТРУКЦІЙ ЖІНОЧОГО ПЛЕЧОВОГО ОДЯГУ ПРИ СИЛУЕТНІЙ ТРАНСФОРМАЦІЇ

Розглянуто метод розрахунку величин переміщення основних конструктивних точок основ конструкції плечового одягу з вшивним рукавом при силуетній модифікації для групи жінок великих розмірів.

Examined method of calculation values moving the basic constructional points the bases of construction shoulder clothes with a sewn sleeve at a silhouette modification for a large sizes group woman's figures.

Ключові слова: метод розрахунку, жіночі фігури великих розмірів, силуетна модифікація, основні конструктивні точки, силуетна трансформація.

Постановка проблеми

Одним із основних напрямків удосконалення процесу проектування одягу є розробка і впровадження у виробництво систем автоматизованого проектування на основі трансформації розгортки поверхні манекену у модельну конструкцію [1]. Поліваріантність цього процесу проектування визначається необхідністю отримання основ конструкції різних силуетів. При цьому величини та напрямки переміщення основних конструктивних точок креслень конструкцій для силуетної трансформації визначаються в ручному режимі.

Тому, розробка методу розрахунку величин переміщення основних конструктивних точок у жіночому плечовому одязі для практичної роботи конструктора на етапі автоматизованої силуетної трансформації є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Як показав попередній аналіз робіт цього напрямку, для силуетної модифікації стану основ конструкцій застосовується принцип афінного зсуву площини [2]. Для визначення напрямків та коефіцієнтів переміщення a_{ik} основних конструктивних точок за принципом градації [4], виконується комплекс дій: побудова основи конструкції всіх трьох силуетних груп, суміщення відносно осей розгортання, визначення напрямків переміщення та встановлення величин переміщення основних конструктивних точок.

Аналіз методу побудови основ конструкцій однієї асортиментної групи для трьох силуетів за методикою ЄМКО РЕВ показав, що послідовність виконання різних операцій залишається постійною, а видозміна конструкцій відбувається за рахунок нарощування об'єму виробу за лініями грудей, талії, стегон і обхвату плеча [5]. Тобто напрямки переміщення основних конструктивних точок при силуетній трансформації залишаються постійними, а величини переміщення конструктивних точок залежать тільки від зміни прибавки на конструктивному відрізьку.

Однак, методу розрахунку величин переміщення основних конструктивних точок при силуетній трансформації основ жіночого плечового одягу не запропоновано.

Мета і завдання досліджень

Мета роботи полягає у розробці методу розрахунку величин переміщення основних конструктивних точок для практичної роботи конструктора на етапі силуетної трансформації основ конструкцій з вшивним рукавом для групи жінок великих розмірів.

Завдання досліджень

Визначення основних умов проведення силуетної трансформації основ конструкцій жіночого плечового одягу.

Визначення напрямків переміщення основних конструктивних точок основ конструкцій при

силуетній трансформації.

Визначення методу розрахунку величин переміщення основних конструктивних точок основ конструкцій при силуетній трансформації.

Виклад основного матеріалу

Оцінка утилітарності трансформації здійснюється за показниками ергономіки та антропології, в якій необхідно врахувати відповідність одягу частинам тіла людини. Як відомо [1], тіло людини умовно поділяється на декілька ділянок, яким відповідають визначені види або частини одягу. Так відповідно до структурно-логічної схеми технічної структури плечовий одяг складається з трьох конструктивних частин: капюшона, рукава і стану (спинка, перед, бочок).

Побудова первинних креслень конструкцій деталей плечового одягу завжди починається з розробки конструкції спинки і переду (пілочки). Креслення конструкції рукава і коміру (капюшона) будують пізніше, пов'язуючи їх розміри і форму з розмірами відповідних ділянок стану [2]. Відповідно, креслення рукава є похідними від конструкції пройми, а коміру похідними від конструкції горловини стану. Для умовно постійної конструкції пройми і горловини стану, відповідно визначеного контуру з'єднання, можна побудувати декілька варіантів конструкцій комірів та рукавів. Таким чином для силуетної трансформації основ конструкцій плечового жіночого одягу, насамперед, необхідно встановити за принципом градації силуетні переміщення основних конструктивних точок її стану, які не зафіксовані в жодній методиці конструювання.

В попередніх роботах [3-5] було встановлено, що найкраще для автоматизованого проектування одягу підходить методика ЄМКО РЕВ. В методиці розроблена система конструктивних відрізків, яка забезпечує побудову конструкції не тільки в цілому, а й диференційовано в системі прибавок, що створює передумови для реалізації процесу побудови конструкції на основі сучасного програмного забезпечення.

Вихідними даними для побудови конструкцій плечового жіночого одягу є розмірні ознаки типових фігур та величини прибавок до конструктивних відрізків. В ЄМКО РЕВ в загальній прибавці диференційовано: прибавки конструктивні і припуски технологічні.

Аналіз креслень базових конструкцій жіночих плечового одягу [7] показав, що величини прибавок на пакет до конструктивних відрізків для виробів однієї асортиментної групи різних силуетів залишаються незмінними.

Прибавки на свободу при силуетній трансформації збільшуються, а їх прирости розподіляються на кресленні конструкції відносно відрізків: /31-32/, /33-35/, /35-37/ (рис. 1). За рекомендаціями [6], прибавка на свободу (ПС₃₁₋₃₇) = X в кресленнях конструкцій базових плечових жіночих виробів розподіляється на спинку, пройму і перед наступним чином: ПС₃₁₋₃₃ = 0,25 X, ПС₃₃₋₃₅ = 0,50 X, ПС₃₅₋₃₇ = 0,25 X. Однак, в побудові базових конструкцій [7], ці рекомендації не витримані.

Принцип розподілу прибавки відносно лінії грудей в плечових виробках різних силуетів залишається незмінним.

При силуетній модифікації спостерігається зменшення розхилу нагрудної виточки, а наслідком цього є збільшення передньо-заднього та зменшення бічного балансу внаслідок збільшення кута нахилу плечового зрізу переду [5]. Тобто спостерігається сплюснення конструкції переду, яке вимагає поглиблення пройми.

Тоді, використовуючи умовні позначення методики ЄМКО РЕВ, метод розкладання частини прибавки на силует у вигляді нормалізованого ряду дозволяє запропонувати універсальну формулу:

$$\Delta PC_A = K_I \cdot \Delta X_{A-B}, \quad (1)$$

де ΔPC_A – величина переміщення конструктивної точки;

K_I – коефіцієнт, що визначає частину прибавки певного конструктивного відрізка;

ΔX_{A-B} – величина прирости прибавки конструктивного відрізка.

В таблиці 1 наведені формули для розрахунку величин переміщення основних конструктивних точок при силуетній трансформації.

Таблиця 1

Розрахунок величин переміщення основних конструктивних точок при силуетній трансформації

Точка градації	ΔPC_A		Точка градації	ΔPC_A	
	Δx	Δy		Δx	Δy
1	2	3	4	5	6
Спинка			Перед		
33	0	0	35	0	0
31	$-K_C \cdot \Delta X_{31-37}/$	0	341'	$-K_{ПР.П} \cdot \Delta X_{31-37}/$	$-\Delta X_{33-331}/$
411	$-K_C \cdot \Delta X_{31-37}/$	0	441'	$-K_{ПР.П} \cdot \Delta X_{31-37}/$	0
511	$-K_C \cdot \Delta X_{31-37}/$	0	541'	$-K_{ПР.П} \cdot \Delta X_{31-37}/$	0
911	$-K_C \cdot \Delta X_{31-37}/$	0	941'	$-K_{ПР.П} \cdot \Delta X_{31-37}/$	0
941	$K_{ПР.С} \cdot \Delta X_{31-37}/$	0	97	$K_{ПЕР} \cdot \Delta X_{31-37}/$	0
541	$K_{ПР.С} \cdot \Delta X_{31-37}/$	0	57	$K_{ПЕР} \cdot \Delta X_{31-37}/$	0
441	$K_{ПР.С} \cdot \Delta X_{31-37}/$	0	47	$K_{ПЕР} \cdot \Delta X_{31-37}/$	0

1	2	3	4	5	6
341	$K_{ПР.С} \bullet \Delta X/31-37/$	$-\Delta X/33-331/$	46	$K_{ПЕР} \bullet \Delta X/35-37/$	0
332	0	$K_{ПР.С} \bullet \Delta X/31-37/$ $-\Delta X/35-351/$	371	$K_{ПЕР} \bullet \Delta X/31-37/$	0
342	$K_{ПР.С} \bullet \Delta X/31-37/$	$K_{ПР.С} \bullet \Delta X/31-37/$ $-\Delta X/33-331/$	36	$K_{ПЕР} \bullet \Delta X/35-37/$	0
14'	0	0	371'	$K_{ПЕР} \bullet \Delta X/31-37/-$ $\Delta X/47-46/$	0
123	$-\Delta X/31-33/ -$ $X/31-32/$	0	17	$K_{ПЕР} \bullet \Delta X/31-37/$	0
22	$-\Delta X/31-32/$	0	16	$K_{ПЕР} \bullet \Delta X/31-37/$	0
123'	$-\Delta X/31-33/-$ $\Delta X/31-32/$	0	16'	$K_{ПЕР} \bullet \Delta X/31-37/ +$ $K_{ПЕР} \bullet \Delta X/35-37/$	$\Delta X/372-372''$
121	$-K_C \bullet \Delta X/31-37/$	0	14''	$K_{ПЕР} \bullet \Delta X/35-37/$	0
11	$-K_C \bullet \Delta X/31-37/$	0	352	0	$-K_{ПР.П} \bullet \Delta X/31-37/-$ $\Delta X/35-351/$
21	$-K_C \bullet \Delta X/31-37/$	0	343	$K_{ПР.П} \bullet \Delta П/31-37/$	$-K_{ПР.П} \bullet \Delta X/31-37/-$ $\Delta X/35-351/$

* K_C ; $K_{ПЕР}$; $K_{ПР.П}$, $K_{ПР.С}$ – коефіцієнт, що визначає частку прибавки конструктивного відрізка, відповідно спинки, переду, пройми переду і спинки.

З метою перевірки правильності розрахунків було побудовано креслення основ сукні, жакету і пальта демісезонного трьох силуетів на типову фігуру з розмірами 164-112-124 в системі графічного редактора AutoCAD за допомогою програмного продукту на мові Auto LISP, яка забезпечує ефективність побудови за рахунок швидкості, точності та якості [5].

Виконана побудова підтвердила розрахункові значення переміщень основних конструктивних точок типових основ конструкції з вшивним рукавом у трьох основних групах виробів при трансформації Си1 в конструкції Си2 і Си3.

Відповідно до ЄМКО РЕВ для суміщення основ конструкцій обрані вихідні вісі: вертикальні – задня та передня лінії пройми спинки і переду; горизонталь – лінія грудей, що відповідає ЄМКО РЕВ.

Трансформація контурів конструкції, як встановлено дослідженнями, виконаними в ХНУ [4], передбачає зміщення основних інформаційних точок на певні величини приростів їх координат і відповідне перетворення контурних ліній, які з'єднують ці точки (рис. 1).

Порівняльний аналіз величин переміщення основних конструктивних точок основ креслень конструкцій та розрахункових значень переміщення основних конструктивних точок показав їх тотожність. Тобто для отримання основ конструкцій різних силуетних груп можна застосовувати представлений метод розрахунку величин переміщення основних конструктивних точок.

Висновки

При проведенні силуетної модифікації основ конструкції жіночого плечового одягу необхідно:

- зберігати вихідні вісі методики конструювання;
- визначати напрямки переміщення основних конструктивних точок;
- використовувати однаковий принцип розподілу прибавки на ділянках конструкції;
- розраховувати величини переміщення основних конструктивних точок користуючись запропонованою формулою.

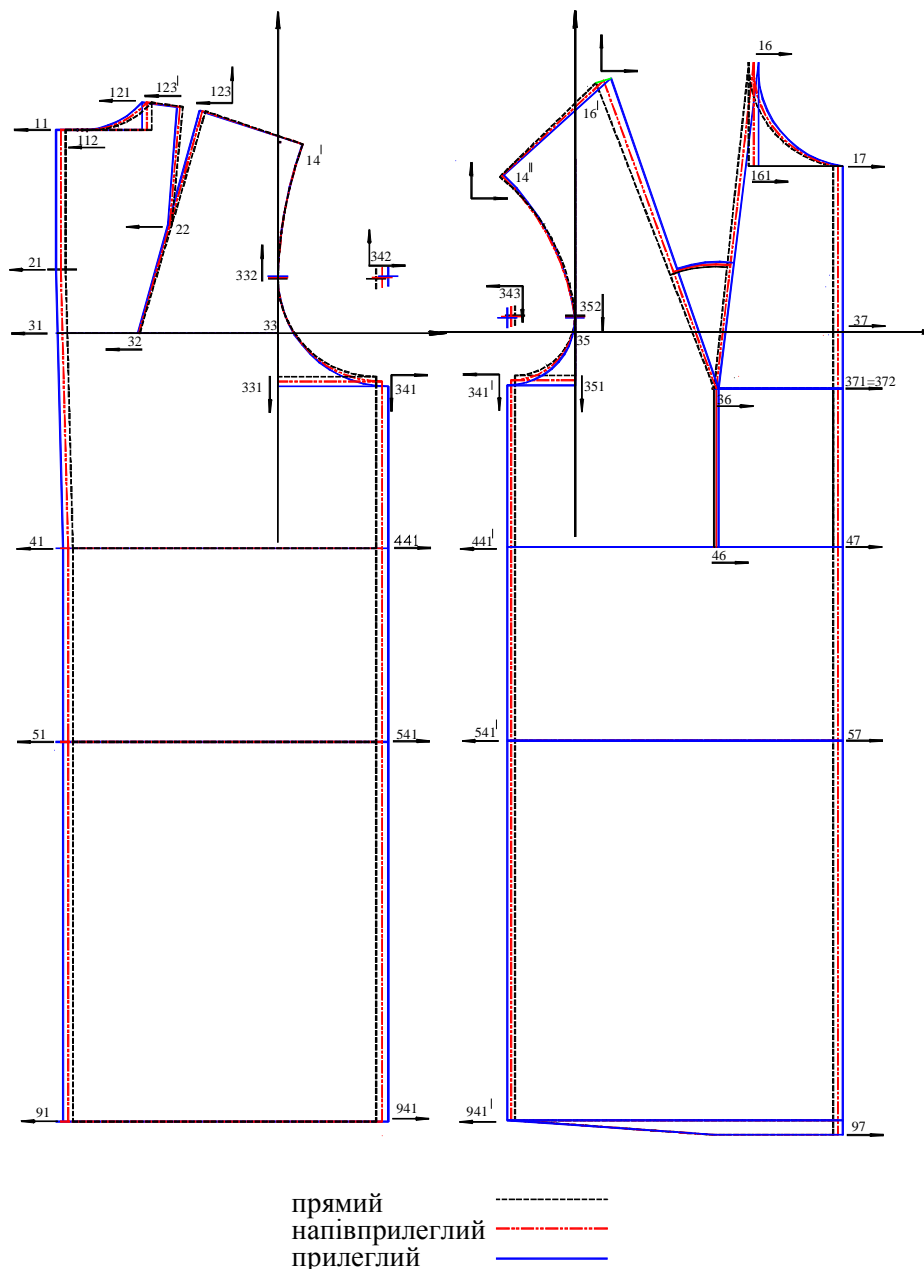


Рис. 1. Силуетна трансформація основи жіночого плечевого виробу Сп1→Сп2→Сп3

Література

1. Славінська А.Л. Методи типового проектування одягу: Навч. посібник – Хмельницький: ХНУ, 2008. – 159 с.
2. Конструирование одежды с элементами САПР / Е.Б. Коблякова, Г.С. Ивлева, В.Е. Романов и др.; Под ред. Е.Б. Кобляковой. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 464 с.
3. Домбровська О.М. Метод трансформації контурів вузла «пройма-окат» в жіночому легкому одязі: Дис: ... канд. техн. наук: 05.19.04 – К., 2003. – 157 с.
4. Мица В.В. Удосконалення методу проектування силуетних конструкцій чоловічого піджака: Дис. ... канд. техн. наук: 05.19.04. – Хмельницький, 2005. – 214 с.
5. Міщенко О.В. Розроблення методу проектування одягу на жіночі фігури великих розмірів: Дис. ... канд. техн. наук: 05.18.19. – ХНУ, 2008. – 240 с.
6. Единая методика конструирования одежды СЭВ. Теоретические основы. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, Т.1, 1988. – 164 с.
7. Единая методика конструирования одежды СЭВ. Теоретические основы. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, Т.2, 1988. – 118 с.

Надійшла 9.12.2009 р.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ ФАРБУВАННЯ ЛЬОНОВМІСНИХ ПЛАТТЯНО-СОРОЧКОВИХ ТКАНИН НА ЇХ СВІТЛОСТІЙКІСТЬ

Вивчено вплив холодної технології фарбування активними барвниками лляних і льонобавовняних платтяно-сорочкових тканин на їх світлостійкість. Доказана можливість підвищення світлостійкості забарвлень шляхом відповідного підбору окремих марок активних барвників та їх концентрацій (у фарбувальній ванні та на волокні). Запропоновані математичні моделі, які описують кінетику фотодеструкції забарвлень на досліджуваних тканинах. Виявлені резерви світлостабілізації досліджуваних тканин.

The Influence of cold technology of painting active dyes of linen and linen-cotton of clothes fabrics on their lightproof is studied. The possibility of increase of lightproof of colourings by the proper selection of separate brands of active dyes and their concentrations (in a paint bath and on a fibre). Mathematical models which describe kinetics of the fotodestruction colourings on the prospected fabrics are offered. Found out backlogs of lightproof of the prospected fabrics.

Ключові слова: фарбування, тканини, світлостійкість.

Як свідчить аналіз літературних даних [1-5], в останні роки в лляному обробному текстильному виробництві йде постійний пошук більш досконалих і екологічно безпечних технологій вибілювання, фарбування, друкування та заключного оброблення льоновомісних тканин різного цільового призначення. Одним із напрямів цієї роботи є впровадження в лляне виробництво енергозберігаючого холодного способу вибілювання та фарбування лляних і льонобавовняних тканин одягового призначення.

В даній роботі ми обмежимось вивченням тільки деяких аспектів цього багатопланового завдання:

- обґрунтуємо доцільність використання холодної технології для фарбування лляних і льонобавовняних платтяно-сорочкових тканин різними марками активних барвників;
- вивчимо вплив найбільш поширених марок активних барвників і їх концентрацій в фарбувальному розчині та на волокні на світлостійкість забарвлень та субстрату;
- опишемо відповідними математичними моделями кінетику фотодеструкції активних барвників і отриманих на їх основі забарвлень на досліджуваних видах тканин.

Об'єктом дослідження при вирішенні поставлених завдань були обрані близькі за будовою чистолляна (вар.1) та льонобавовняна (вар.2) тканини. Характеристика запропонованих даних цих тканин наведена в табл. 1.

Фарбування досліджуваних тканин проведено у лабораторних умовах дочірнього підприємства «Хімтекс» за холодною технологією, розробленою ПТПП «Хімтрейд» (м. Херсон). Фарбування проводилось періодичним плюсовочним способом при використанні різних марок реаколів. Концентрація кожної марки барвника складала відповідно 10 і 30 г/л.

Таблиця 1

Заправні дані дослідних тканин

№ з/п	Волокнистий склад	Вміст волокон, %	Лінійна густина пряжі, текс		Щільність – число ниток на 10 см		Маса 1м ² , г/м ²	Вид переплетення
			основа	уток	основа	уток		
1.	Чистолляна	Льон – 100	46	46	201	170	120	Полотняне
2.	Льонобавовняна (основа – бавовна, уток – льон)	Бавовна – 44, льон – 56	29	-	240	165	160	Полотняне
			-	50				

Впровадження низькотемпературної ресурсозберігаючої технології фарбування целюлозовмісних текстильних матеріалів, включаючи і льоновомісні матеріали, як свідчить досвід роботи ДП «Хімтекс» і дозволяє вирішити низку завдань, а саме:

- зберегти цінні механічні та медико-біологічні властивості лляного волокна і довести їх до споживача (при використанні традиційної технології вони значно втрачаються);
- суттєво скоротити витрати електроенергії, пари, води та хімікатів;
- значно підвищити конкурентоспроможність вітчизняних льоновомісних тканин на вітчизняному та зарубіжному ринках після вступу нашої країни до СОТ.

Оцінку світлостійкості забарвлень і залишкової концентрації активного барвника на волокнах після відповідних періодів інсоляції тканин проводили спектрофотометричним методом з використанням спектрофотометра Spectro: 5100. При цьому для колориметричних розрахунків світлостійкості забарвлень були використані формули системи CIEL^ab^x [6], а для визначення залишкової концентрації барвника на волокні після відповідних періодів інсоляції було використане співвідношення K/S (коефіцієнта поглинання світла забарвленою тканиною до коефіцієнта розсіювання світла цією тканиною), яке описується відомим

рівнянням Гуревича-Кубелки-Мунка і характеризує залежність оптичних характеристик пофарбованої тканини і вмістом барвника на волокнах цієї тканини [7]. Зміну механічних властивостей досліджуваних тканин оцінювали загальноприйнятим динамометричним методом. Отримані результати досліджень наведені в табл. 2-6 і для наглядності ілюструються на рис. 1-4.

З аналізу даних табл. 2 і табл. 3, а також рис. 1-2 видно, що збільшення концентрації досліджуваних марок активних барвників з 10 до 30 г/л у фарбувальній ванні чистоляної і льонобавовняної тканини, як правило, веде до суттєвого підвищення світлостійкості їх забарвлень.

Таблиця 2

Вплив марки активного барвника та його концентрації у фарбувальній ванні на зміну світлостійкості забарвлення лляної тканини

№ варіанту	Марка активного барвника	Загальний колірний контраст (од. ΔE) забарвлення тканини після сонячного опромінення, год			
		50	150	250	300
1	Реакол жовтий ЗПЛ	1,4/0,4	4,0/2,6	6,3/6,4	9,1/9,7
2	Реакол бірюзовий	3,2/2,0	5,6/4,9	8,4/8,3	12,4/8,2
3	Реакол червоний СПЛ	3,7/1,1	5,2/2,2	8,3/4,4	20,3/12,0
4	Реакол синій R	3,8/1,4	5,2/3,8	7,8/5,8	7,5/8,1
5	Реакол червоний М	1,8/1,0	6,2/1,8	9,3/6,6	11,2/
6	Реакол чорний СН	4,1/1,1	8,6/1,9	14,8/1,0	18,2/
7	Реакол оранжевий ВТ	10,2/	23,0/	37,0/	42,9/

Примітка: в чисельниках умовних дробів наведені дані загального колірного контрасту (ΔE) для лляної тканини, пофарбованої реаколами при їх концентрації у ванні 10 г/л, а в знаменниках – при концентрації 30 г/л.

Таблиця 3

Вплив марки активного барвника та його концентрації у фарбувальній ванні на зміну світлостійкості забарвлення льонобавовняної тканини

№ варіанту	Марка активного барвника	Загальний колірний контраст (од. ΔE) забарвлення тканини після сонячного опромінення, год			
		50	150	250	300
1	Реакол жовтий ЗПЛ	1,3/1,3	2,5/2,8	4,6/4,1	6,8/4,2
2	Реакол бірюзовий	4,1/3,0	7,1/2,6	7,2/3,8	10,2/4,0
3	Реакол червоний СПЛ	4,7/2,2	5,5/4,4	9,7/6,5	11,2/10,5
4	Реакол синій R	1,9/2,0	3,7/3,4	5,6/4,5	7,0/6,5
5	Реакол червоний М	2,0/1,1	3,1/3,0	8,5/4,8	14,4/7,6
6	Реакол чорний СН	1,6/1,3	3,0/2,2	3,6/3,3	3,4/7,1
7	Реакол оранжевий ВТ	10,0/-	17,3/-	18,4/-	29,6/-

При цьому на кінетику підвищення світлостійкості залежно від збільшення концентрації барвників у фарбувальній ванні певний вплив мають марка активного барвника, волокнистий склад тканин і тривалість сонячного опромінення. Різниця у світлостійкості забарвлень досліджуваних тканин, пофарбованих активними барвниками при їх концентрації у фарбувальній ванні 10 і 30 г/л, більш чітко проявляється після перших періодів їх інсоляції (50-150 год), коли барвники ще малодеструктовані.

Той факт, що підвищення концентрації обраних нами марок реаколів у фарбувальній ванні (від 10 до 30 г/л) веде до суттєвого підвищення світлостійкості отриманих на їх основі забарвлень слід пояснити ймовірною агрегацією барвника на волокнах, в результаті чого зменшується доступ світла до його окремих частинок (агрегатів) у порівнянні з мономолекулярною формою. Цей висновок повністю узгоджується з результатами досліджень інших авторів [8].

Певний вплив на світлостійкість отриманих реаколами забарвлень на досліджуваних тканинах має волокнистий склад тканин. Як видно з аналізу даних табл. 2 і табл. 3, за інших рівних умов, світлостійкість забарвлень виявилась більш високою на льонобавовняній тканині у порівнянні з чистоляною тканиною. Не дивлячись на те, що в льонобавовняній тканині використана бавовняна основа і лляний уток, ця тканина здатна в більшій мірі поглинати барвник завдяки більш рихлій надмолекулярній структурі бавовняного волокна у порівнянні з лляним.

Суттєвий вплив на світлостійкість забарвлень досліджуваних тканин має хімічна будова обраних активних барвників. При цьому встановлено, що найбільш світлостійкі забарвлення на лляній і льонобавовняній тканинах забезпечується при їх фарбуванні реаколом жовтим ЗПЛ і реаколом синім R, а найменш світлостійкі забарвлення отримані після фарбування цих тканин реаколом червоним СПЛ і реаколом червоним М. Подібна закономірність зберігається при фарбуванні цих тканин однаковими марками реаколів при різній (10 і 30 г/л) їх концентрації у фарбувальній ванні.

Далі з аналізу даних табл. 4 і рис. 3-4 видно, що в процесі фарбування досліджуваних тканин обраними марками реаколів волокнами цих тканин фіксується різна кількість кожної марки барвника. А це, в свою чергу, обумовлює різну світлостійкість отриманого на його основі забарвлення. При цьому

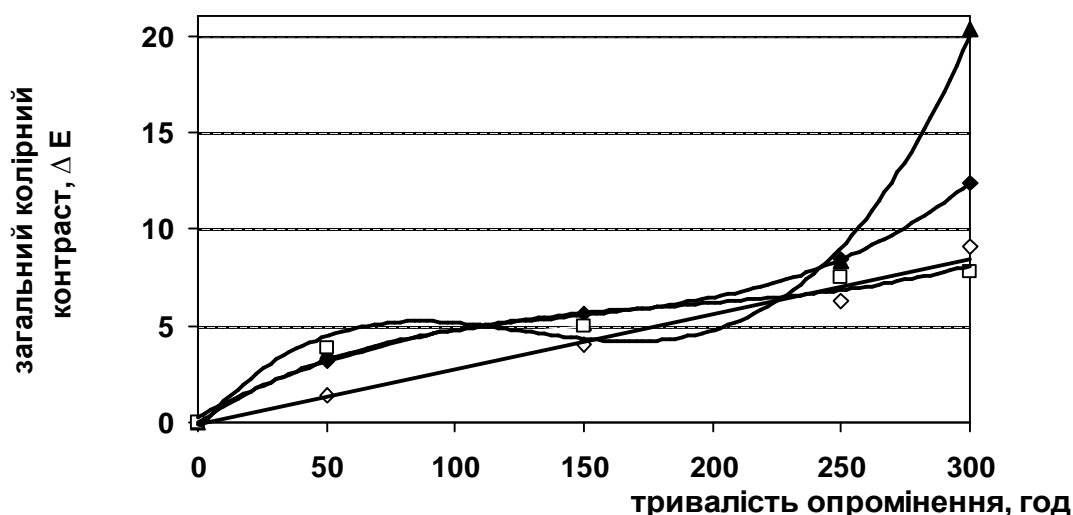
встановлено, що концентрація барвника на волокні до і після відповідних періодів інсоляції тканин залежить не тільки від марки барвника та його концентрації у фарбувальній ванні, але й від волокнистого складу тканин та їх інсоляції.

Таблиця 4

Вплив виду барвника, виду субстрату та тривалості опромінення досліджуваних тканин на зміну концентрації активного барвника на волокні

№ варіанту	Марка активного барвника	Залишкова концентрація барвника на тканині, %						
		До опромінення	50	100	150	200	250	300
1	Реакол жовтий ЗПЛ	6,5/4,9	6,3/4,5	5,9/4,3	5,6/4,1	5,3/4,0	5,1/3,7	4,5/3,2
2	Реакол бірюзовий	9,5/6,1	8,0/5,7	7,0/4,1	6,0/3,9	5,5/3,9	5,0/3,8	3,5/3,0
3	Реакол червоний СПЛ	6,8/4,3	6,2/3,2	5,5/3,0	4,8/2,9	4,4/2,6	3,9/2,3	2,0/2,1
4	Реакол синій R	4,4/2,9	3,6/2,9	3,5/2,8	3,4/2,7	3,2/2,6	3,0/2,4	2,9/2,2
5	Реакол червоний М	10,0/7,8	9,0/7,0	8,0/6,8	6,5/6,4	6,1/5,5	5,5/4,7	5,0/3,3
6	Реакол чорний СН	10,6/7,5	7,5/6,6	6,5/6,5	5,5/6,1	4,5/6,0	3,5/5,9	3,0/5,8
7	Реакол оранжевий ВТ	10,0/7,5	7,0/5,0	5,5/4,2	4,0/3,3	3,5/2,9	2,0/2,4	1,5/2,0
8	Реакол жовтий ЗПЛ	13,0/11,3	12,5/10,0	12,0/9,8	11,5/9,5	10,5/9,2	9,5/8,7	8,5/8,5
9	Реакол бірюзовий	17,0/11,5	15,0/11,3	13,5/11,1	12,0/10,9	10,5/10,0	9,0/9,1	9,0/9,0
10	Реакол червоний СПЛ	14,0/11,0	12,5/9,0	12,0/7,5	11,5/7,0	10,5/6,5	9,5/6,0	6,0/5,0
11	Реакол синій R	11,5/7,8	10,5/6,8	10,0/6,4	9,0/6,1	8,5/6,0	8,0/5,9	6,5/5,3
12	Реакол червоний М	14,5/10,1	13,5/10,0	13,4/9,8	13,3/8,0	13,1/7,7	12,5/7,5	12,2/6,5
13	Реакол чорний СН	19,0/16,5	17,0/14,7	16,0/14,5	15,0/14,0	13,8/13,5	12,8/12,5	11,5/9,7

Примітка: в чисельниках умовних дробів наведена залишкова концентрація барвника на волокні лляної тканини, а в знаменниках – на волокнах льонобавовняної тканини. При цьому для фарбування лляної і льонобавовняної тканини вар. 1-7 концентрація обраних активних барвників складала 10 г/л, а вар. 8-13 – 30 г/л у фарбувальному розчині.



№ кривої	Умовні позначення	Варіанти тканин	Рівняння	R ²
1	—◇—	1 (18)	$y = 0,0285x - 0,1208$	0,98
2	—•—	2 (19)	$y = 1E-06x^3 - 0,0005x^2 + 0,0882x - 0,0163$	0,99
3	—▲—	4 (20)	$y = 4E-06x^3 - 0,0014x^2 + 0,1556x - 0,3429$	0,99
4	—□—	5 (21)	$y = 6E-07x^3 - 0,0003x^2 + 0,0725x + 0,2884$	0,96

Рис. 1. Вплив тривалості сонячного опромінення на зміну загального колірний контрасту (DE) лляних тканин

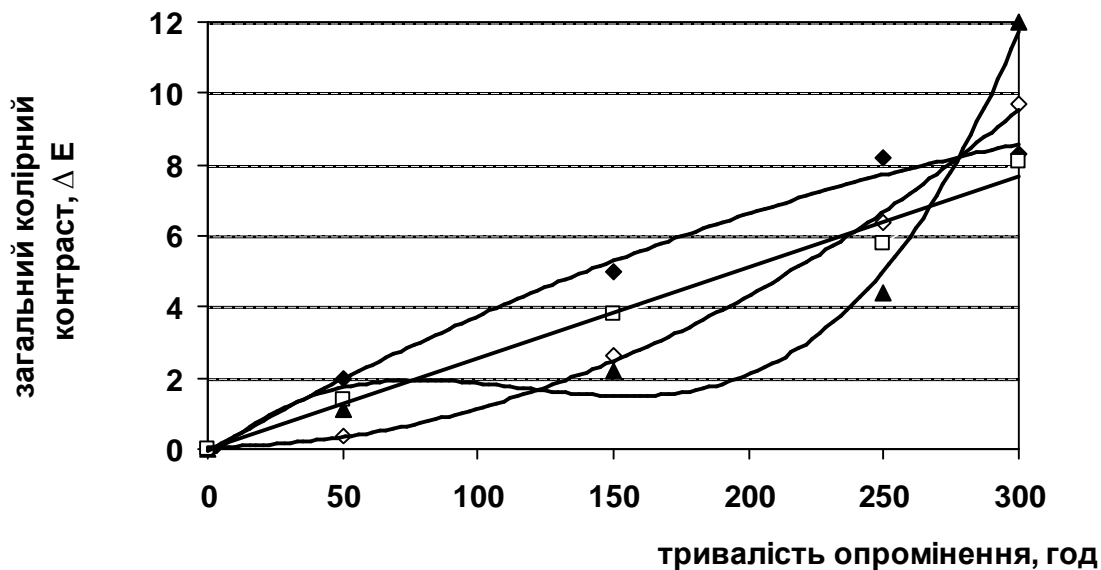
Як видно з порівняння даних табл. 4, збільшення концентрації реаколів у фарбувальній ванні з 10 до 30 г/л веде до суттєвого підвищення концентрації барвників як до опромінення, так і після відповідних періодів сонячного опромінення. Так, наприклад, якщо до опромінення лляною тканиною вар. 1 і вар. 8 фіксується відповідно 6,5 і 13,0 % реакола жовтого ЗПЛ, то після 300 год сонячного опромінення залишкова концентрація цього барвника становить відповідно 4,5 і 8,5 %. Це свідчить про те, що волокнами лляної тканини при фарбуванні розчином концентрацією 30 г/л у порівнянні з фарбуванням розчином 10 г/л фіксується в 2 рази більше барвника. І ця різниця зберігається після 300 год інсоляції цієї тканини. Так, наприклад, якщо до інсоляції на льонобавовняній тканині вар. 1 і вар. 8 зафіксовано реакола жовтого ЗПЛ відповідно 4,9 і 11,3 %, то після 300 год інсоляції залишкова концентрація цього барвника на тканині вар. 1 і вар. 8 становила відповідно 3,2 і 8,5 %. Подібна закономірність спостерігається і для інших варіантів досліджуваних марок барвників.

Той факт, що льонобавовняною тканиною поглинається дещо менша кількість барвників ніж лляною, а світлостійкість їх забарвлень, як відзначалось, виявилась помітно вищою, слід пояснити низкою причин, а саме:

- маса льонобавовняної тканини, як видно з даних табл. 1 на 25 % більша від маси чистолляної тканини, а це в свою чергу обумовлює меншу здатність до поглинання нею барвника;
- при фарбуванні льонобавовняної тканини на відміну від чистолляної барвник поглинається внутрішньою структурою бавовняного волокна і менш доступний до дії сонячного опромінення, чим цей же барвник, який поглинається поверхневими шарами лляного волокна, що робить його менш світлостійким.

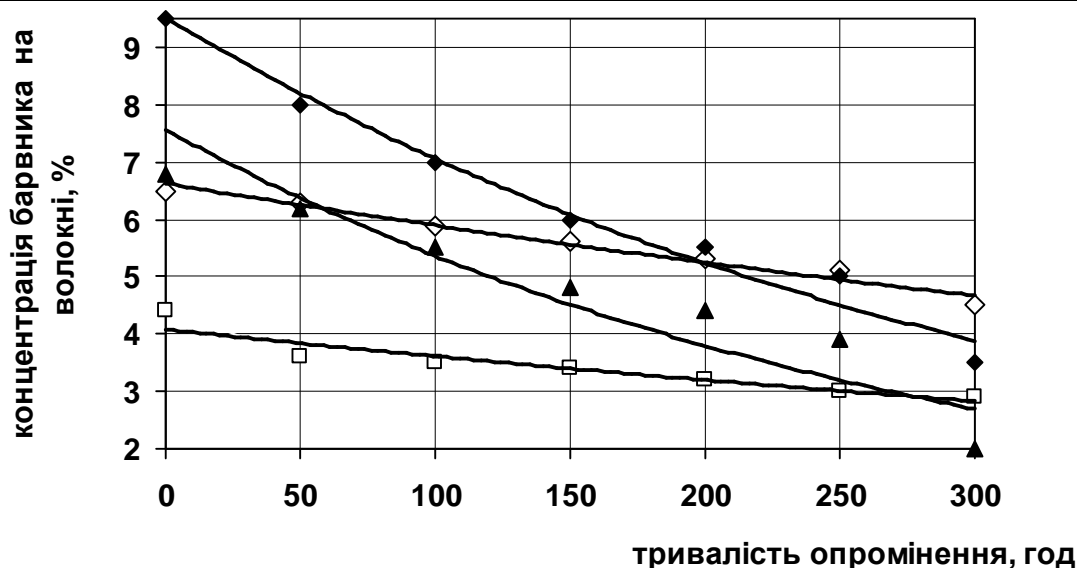
Певний вплив на кінетику фото деструкції барвників на досліджуваних тканинах має тривалість сонячного опромінення. На рис. 1-4 на прикладі лляних тканин показана зміна загального колірного контрасту від тривалості опромінення тканин пофарбованих при різних концентраціях реаколів у фарбувальній ванні. Ця залежність описується математичними моделями загального типу $y = m_6x^6 + m_5x^5 + \dots + b$.

При цьому на рис. 1-2 показана зміна загального колірного контрасту на тканині від тривалості дії сонячної радіації, а на рис. 3-4 показана залежність зміну концентрації барвника на лляній тканині від тривалості її інсоляції.



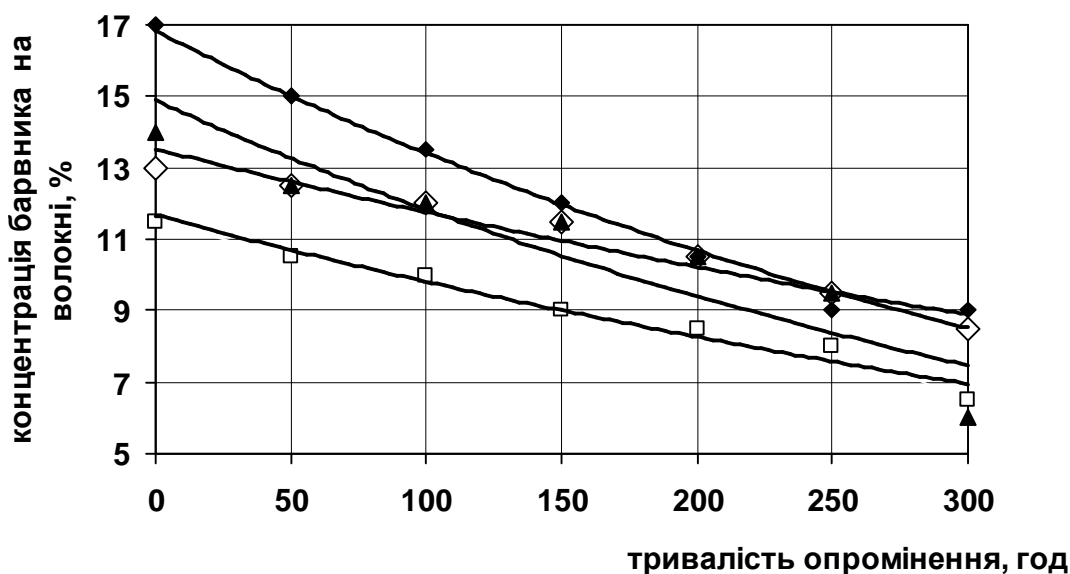
№ кривої	Умовні позначення	Варіанти тканин	Рівняння	R ²
1	—◇—	1 (25)	$y = 0,0001x^2 + 0,0006x + 0,0587$	0,99
2	—〰—	2 (26)	$y = -5E-05x^2 + 0,0424x - 0,0368$	0,99
3	—▲—	3 (27)	$y = 2E-06x^3 - 0,0007x^2 + 0,0684x - 0,2789$	0,98
4	—□—	4 (28)	$y = 0,0255x + 0,0008$	0,98

Рис. 2. Вплив тривалості сонячного опромінення на зміну загального колірного контрасту (DE) лляних тканин



№ кривої	Умовні позначення	Варіанти тканин	Рівняння	R ²
1	—◇—	1 (18)	$y = 6,6249e^{-0,0012x}$	0,97
2	—▲—	2 (19)	$y = 9,5121e^{-0,0035x}$	0,96
3	—◇—	3 (20)	$y = 7,5672e^{-0,0034x}$	0,83
4	—□—	4 (21)	$y = 4,0809e^{-0,0012x}$	0,90

Рис. 3. Залишкова концентрація барвників на волокні чистолянової тканини при концентрації барвника у ванні 10 г/л



№ кривої	Умовні позначення	Варіанти тканин	Рівняння	R ²
1	—◇—	1 (25)	$y = 13,519e^{-0,0014x}$	0,95
2	—▲—	2 (26)	$y = 16,826e^{-0,0023x}$	0,98
3	—◇—	3 (27)	$y = 14,89e^{-0,0023x}$	0,80
4	—□—	4 (28)	$y = 11,669e^{-0,0017x}$	0,96

Рис. 4. Залишкова концентрація барвників на волокні льонобавовняної тканини при концентрації барвника у ванні 10 г/л

Як свідчить аналіз літературних даних [1,8,9], у зношенні одягових текстильних матеріалів літнього асортименту домінуючу роль відіграє сонячна радіація. Це в повній мірі стосується і досліджуваних нами лляних і льонобавовняних платтяно-сорочкових тканин. При цьому, як відомо, світлостійкість будь-якого виду текстильного матеріалу літнього асортименту визначається не тільки світлостійкість його забарвлення, але й світлостійкість його волокнистої основи (субстрату). Тому при проектуванні довговічності таких матеріалів слід підбирати для їх виробництва такі марки барвників, апретів, текстильно-допоміжних речовин і види текстильних волокон, які б були близькими за своєю світлостійкістю. Саме такі текстильні матеріали здатні рівномірно і економно витратити потенційні ресурси своїх окремих компонентів (волокон, барвників, апретів і ін.) в реальних умовах експлуатації виробів з таких матеріалів.

Таблиця 5
Вплив технології фарбування лляних платтяно-сорочкових тканин на зміну їх механічних властивостей під тривалою дією сонячної радіації

№ варіантів	Розривальні характеристики (за основою) тканин до їх опромінення				Розривальні характеристики (за основою) тканин після 300 год їх опромінення					
	Розривальне навантаження смужки тканини 25x50 мм, Н	Розрахункове розривальне навантаження, Н/нитку	Абсолютне розривальне подовження, мм	Розривальне навантаження смужки тканини 25x50 мм, Н	Розрахункове розривальне навантаження, Н/нитку	Абсолютне розривальне подовження, мм	Розрахункове розривальне навантаження, Н/нитку	Абсолютне розривальне подовження, мм	Зниження розрахункового розривального навантаження, %	Зниження абсолютного розривального подовження, %
1	172	3,1	11	164	3,0	9	3,0	9	2,9	18,2
2	202	3,7	11	189	3,6	10	3,6	10	2,9	9,1
3	180	3,4	12	172	3,3	9	3,3	9	2,6	
4	153	3,0	11	144	2,9	10	2,9	10	4,0	9,1
5	175	3,5	11	165	3,3	10	3,3	10	5,7	9,1
6	216	4,2	11	208	4,2	10	4,2	10	1,9	9,1
7	213	4,1	11	202	4,0	10	4,0	10	3,4	9,1
8	191	3,7	12	181	3,6	11	3,6	11	1,4	8,3
9	190	3,6	12	183	3,5	10	3,5	10	3,6	16,7
10	204	3,8	11	192	3,6	10	3,6	10	4,2	9,1
11	183	3,5	11	172	3,4	9	3,4	9	2,3	18,2
12	180	3,3	11	171	3,3	8	3,3	8	1,2	
13	190	3,5	12	182	3,4	10	3,4	10	2,6	16,7

Таблиця 6

Вплив технології фарбування льнобавовняних платтяно-сорочкових тканин на зміну їх механічних властивостей під тривалою дією сонячної радіації

№ варіантів	Розривальні характеристики (за основою) тканин до їх опромінення				Розривальні характеристики (за основою) тканин після 300 год їх опромінення			
	Розривальне навантаження смужки тканини 25х50 мм, Н	Розрахункове розривальне навантаження, Н/нитку	Абсолютне розривальне подовження, мм	Розривальне навантаження смужки тканини 25х50 мм, Н	Розрахункове розривальне навантаження, Н/нитку	Абсолютне розривальне подовження, мм	Зниження розрахункового розривального навантаження, %	Зниження абсолютного розривального подовження, %
1	142	2,3	15	130	2,2	15	5,2	0
2	151	2,4	15	138	2,3	14	5,7	6,7
3	152	2,5	14	140	2,3	12	6,1	14,3
4	154	2,5	14	141	2,4	12	6,7	14,3
5	144	2,3	15	131	2,1	14	7,9	6,7
6	153	2,5	16	140	2,3	14	8,4	12,5
7	158	2,6	16	146	2,4	15	6,2	6,3
8	148	2,4	17	134	2,2	15	6,7	11,8
9	149	2,5	17	135	2,3	16	9,3	5,9
10	158	2,6	16	150	2,5	15	3,5	6,3
11	140	2,3	16	132	2,2	15	2,7	6,3
12	149	2,4	18	140	2,3	15	5,7	16,7
13	154	2,5	16	145	2,4	14	5,6	12,5

Виходячи з цього, в даній роботі представлялось доцільним виявити, наскільки повно і раціонально витрачається потенційний ресурс світлостійкості субстрату (табл. 5 і табл. 6) при досягненні досліджуваними тканинами граничної межі світлостаріння їх забарвлень (табл. 2-4, рис. 1-4).

Як відомо [9], нижня гранична межа зношування любого одягового текстильного матеріалу, включаючи і його світлостаріння, оцінюється загальним колірним контрастом від фотодеструкції його забарвлення – 8 од. ΔE або двома балами темної шкали сірих еталонів, а фотодеструкції субстрату – 60 Н розривального навантаження смужки матеріалу розміром 50x25 мм. Порівняння отриманих нами даних світлостійкості забарвлень, отриманих на лляній і льонобавовняній тканині різними марками активних барвників при їх концентрації у фарбувальній ванні 10 і 30 г/л (табл. 2-3), з відзначеною граничною межею їх світло старіння, показало, що для більшості варіантів досліджуваних тканин ця межа досягається після 200-250 год сонячного опромінення. При цьому шляхом підбору відповідної марки барвника та його концентрації (у ванні та на волокні) представляється можливим дещо підвищити граничну межу їх фото деструкції забарвлення.

Що стосується фотодеструкції субстрату, то його потенційний ресурс, як видно з порівняння даних табл. 5 і табл. 6, після 300 год інсоляції витрачається, як правило, всього на 5-10 %. Особливо невиправданим виявилось використання для фарбування досліджуваних тканин малосвітлостійких марок активних барвників (реакола бірюзового і реакола оранжевого ВТ). Фотодеструкція отриманих на базі цих барвників забарвлень на лляній і льонобавовняній тканині, як видно з табл. 2-3, граничної межі досягає вже після 50 год їх інсоляції.

Загальні висновки

1. Встановлено, що фарбування активними барвниками лляних і льонобавовняних платтяно-сорочкових тканин за допомогою холодної технології забезпечує високу якість забарвлень на цих тканинах при суттєвому зниженні ресурсо- та енергозатрат (електроенергії, пару, води, хімікатів).

2. Виявлено, що світлостійкість забарвлень на досліджуваних тканинах залежить від марки синтетичного барвника, його концентрації у фарбувальному розчині і на волокні, а також від волокнистого складу самих тканин. Це відкриває можливість шляхом відповідного підбору окремих марок активних барвників і їх концентрації цілеспрямовано формувати задану світлостійкість забарвлень тканин залежно від конкретних умов їх експлуатації.

3. Встановлено, що підвищення в фарбувальному розчині концентрації активних барвників з 10 до 30 г/л сприяє суттєвому підвищенню світлостійкості забарвлень на лляних і льонобавовняних тканинах. Причому світлостійкість забарвлень на льонобавовняних тканинах, за інших рівних умов, виявилась дещо вищою, ніж світлостійкість забарвлень на близьких за будовою чистолляних тканинах, пофарбованих одними і тими ж марками реаколів.

4. Запропоновані математичні моделі, які описують кінетику фотодеструкції досліджуваних забарвлень залежно від марки активного барвника, його концентрації в фарбувальному розчині і на волокні та тривалості інсоляції. Доказано, що основним резервом підвищення світлостійкості досліджуваних тканин є використання для їх фарбування тільки світлостійких марок реаколів. Це забезпечить більш повне і ефективне використання потенційного ресурсу волокнистої основи досліджуваних тканин за їх механічними властивостями.

Література

1. Живетин В.В., Гинзбург Л.Н., Ольшанская О.М. Лен и его комплексное использование. – М.: Информ-знание, 2002. – 400с.
2. Глубіш П.А. Хімічна технологія текстильних матеріалів (Завершальне оброблення): Навчальний посібник – К.: Арістей, 2005. – 300 с.
3. Сльозко Г.Ф., Барановський В.І., Міщенко Г.В., Ксенжук Н.І. Ресурсозберігаюча низькотемпературна технологія вибілювання бавовняних тканин // Легка промисловість, 1999, № 4. – С. 57.
4. Поліщук С.О. Прогресивні зміни в кольору ванні текстильних матеріалів під тиском екологічних та економічних вимог // Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины, 2003, № 1 (7). – С. 43-44.
5. Демкович О., Семак Б. Вплив оздоблення сорочково-платтяних льоновомісних тканин на їх екологічну безпечність // Вісник Київського університету технологій та дизайну, 2008, № 5. – С. 278-281.
6. Кириллов Е.А. Цветоведение. Учебное пособие для вузов. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 128 с.
7. Технологические расчеты в химической технологии волокнистых материалов. Учебное пособие для текстильных вузов/ Беленький Л.И., Росинская Ц.Я., Мельников Б.Н. и др. – М.: Высшая школа, 1985. – 240 с.
8. Кричевский Г.Е., Гомбкете Я. Светостойкость окрашенных текстильных изделий. – М.: Легкая индустрия, 1975. – 168 с.
9. Оптимизация ассортимента и качество текстильных материалов/ И.С. Галык, Д.И. Козьмич, Б.Д. Семак и др. – К.: Техника, 1991. – 174 с.

Надійшла 17.12.2009 р.

АНАТОМО-МОРФО-ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРХУ ВЗУТТЯ З НИЗЬКИМ КАБЛУКОМ

У статті розглянуті обґрунтування щодо побудови раціональної конструкції верху взуття з позиції анатомічної будови та функціонування стопи людини

In clause substantiations to construction of a rational design of top of footwear from a position of an anatomic structure and functioning of human foot are considered

Ключові слова: деталі верху взуття, раціональна конструкція, анатомія стопи.

Постановка проблеми

Сучасне автоматизоване проектування та виробництво взуття вимагає від модельєрів-конструкторів більш високі досягнення побудови деталей верху взуття (ДВВ). Конструкція моделі повинна відповідати умовам максимальної автоматизації технологічного процесу її виготовлення та сприяти зниженню собівартості, чим досягається її конкурентоспроможність. Разом з тим, зовнішній вигляд взуття повинен відповідати сучасним віянням моди; при цьому не забуваючи про необхідність пов'язувати питання побудови вишуканої моделі з анатомо-морфо-функціональною роботою стопи, Цьому питанню на жаль, не завжди приділялось достатньо уваги [1, 2].

Лікарі-ортопеди серйозно занепокоєні проблемою відхилення форми стопи, зокрема, патологічними деформаціями і хворобами від дії взуття [3, 4]. Нераціональне проектування деталей верху та взуття в цілому має негативний вплив на здоров'я людини. Незважаючи на вимоги моди, інженери-конструктори зобов'язані завжди пам'ятати про необхідність забезпечення функціональності, легкості й гігієнічних властивостей взуття, а також врахування анатомо-морфо-функціональності стопи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Моделювання – це процес розробки нових моделей і його прийнято вважати складовою загального процесу проектування виробу [1]. При моделюванні та конструюванні ДВВ необхідно суміщувати потреби моди із зручністю розташування стопи у взутті. Взуття запобігає випадковому пораненню стопи та служить захистом від переохолодження чи перегрівання організму, воглопроникнення та опіків. Воно має естетичні та гігієнічні якості, зокрема, відповідність формі і розмірам стопи, а також запобігає зміні габаритів стопи під час ходіння [4]. Оскільки потрібно дотримуватись відповідності форми колодки формі стопи з урахуванням анатомо-функціональності її, тому все частіше для вирішення даної задачі вивчають більш досконало анатомію та біомеханіку стопи [6].

Неправильно спроектоване взуття може обмежити амортизаційну функцію стопи, а також активний відпочинок м'язів, який полягає в чергуванні їхнього напруженого та розслабленого стану. Взуття для споживача будь-якого віку повинно захищати стопу від перевантажень, що часто відбуваються, завдяки неправильно розташованим точкам опори, а також забезпечувати вільний рух м'язів, правильне закріплення п'ятки, а також сприяти зменшенню напруги, пов'язаного з подоланням опору вигину [9].

Велику роль при створенні якісного та конкурентоспроможного взуття відіграє процес конструювання взуття з урахуванням анатомічних точок стопи. Стопа – це важлива складова частина опорно-рухової системи. Її функція й структура з однієї сторони залежить від вище розташованих елементів опорно-рухового апарату, а з іншої – має на них позитивний або негативний вплив. Функція й структура стопи залежить від особливостей системи керування стоянням і локомоціями (від рухового стереотипу) і від умов експлуатації (особливості взуття, особливості і інтенсивності повсякденної рухової активності) [7,8].

Формулювання цілі статті

З огляду на вище зазначене, особливу увагу при конструюванні взуття потрібно приділити змінам фіксації кісткового апарату людини, особливо кісток стопи, а також реально врахувати вплив анатомо-морфо-функціональності стопи при побудові ДВВ за копіювально-графічною системою проектування взуття. Для цього розглянемо положення основних анатомічних елементів стопи (кісток, суглобів, зв'язок, сухожилів, кровоносних судин і т. ін.) у вільному стані та у взутті з низьким каблукком та його вплив на положення конструктивних елементів взуття (швів, проміжних деталей, декоративних прикрас тощо).

Виклад основного матеріалу

Увесь діапазон рухів нижньої кінцівки людини перш за все обумовлений анатомічною будовою кісток [5, 7]. У суглобах нижньої кінцівки вони реалізується у вигляді [4, 8]: згинання-розгинання, приведення-відведення, пронація-супінація. Система кровоносних судин стопи забезпечує доставку кисню та поживних речовин, виведення із неї відходів життєдіяльності. Крім того, стопа виконує важку роботу, вона "потіє", шкіра стопи протягом доби виділяє до 200 мл. рідини.

Стопа складається з 26 кісток, 33 суглобів, більше ніж 100 зв'язок, сухожилів і м'язів, покрита шкірою, з боку підошви має унікальну будову, яка дозволяє їй переносити динамічні стискаючі навантаження значної величини зі швидкістю прикладення до 200 кг на секунду [2, 7]. Кістки заплесне, плесно та пальців утворюють кістяк стопи, будова якого показана на рис. 1.

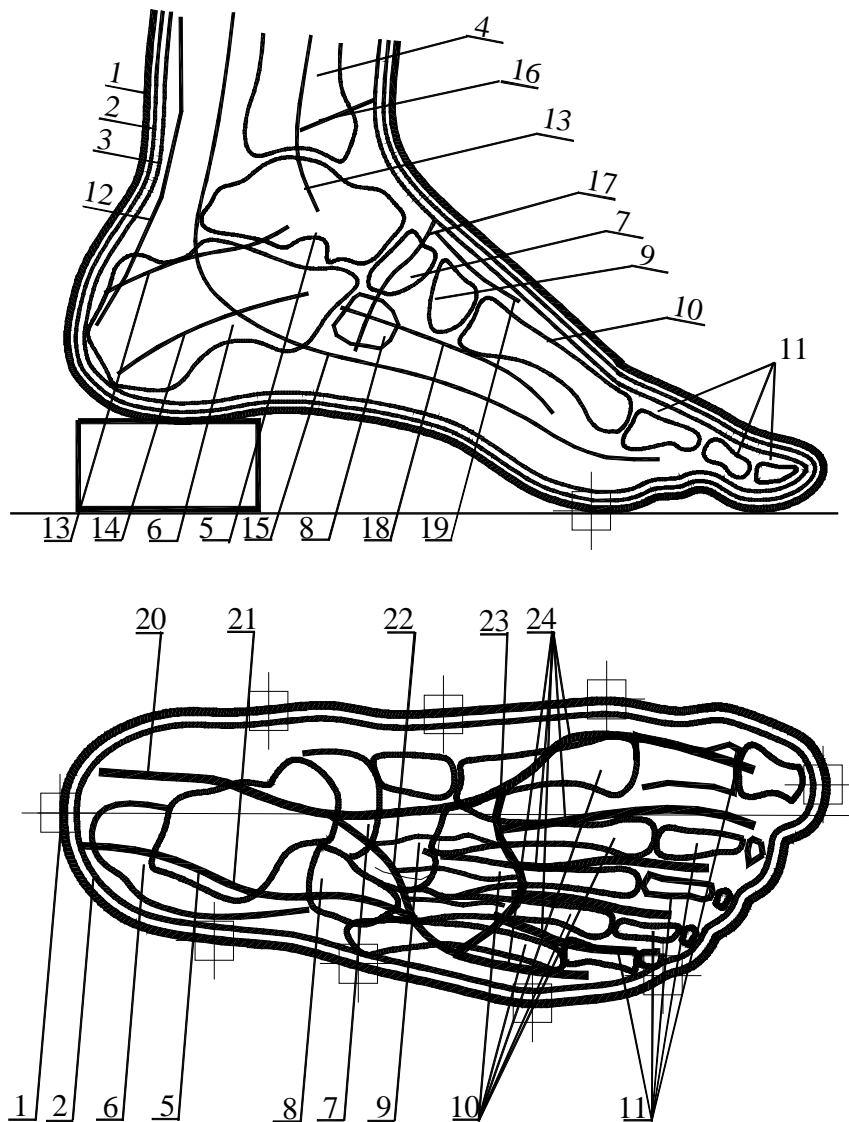


Рис. 1. Внутрішня будова (анатомія) стопи, опертої на низький каблук

На рис. 1 прийнято наступні позначення: 1 – шкіра стопи; 2 – підшкірний простір, 3 – жирова тканина, 4 – медіальна щиколотка, 5 – блок таранної кістки, 6 – п'ятковий бугор, 7 – таранна кістка, 8 – кубоподібна кістка, 9 – клиноподібна кістка, 10 – плеснова кістка, 11 – фаланги стопи, 12 – п'яткове сухожилля (ахіллове), 13 – м'язи маломілкової кістки, 14 – сухожилля щиколотки, 15 – сухожилля маломілкової кістки, 16 – утримувач сухожилля м'язів-розгиначів пальців, 17 – м'яз – короткий розгинач пальців, 18 – сухожилля третього маломілкового м'яза, 19 – сухожилля м'яза – довгого розгинача пальців, 20 – тильна артерія стопи, 21 – латеральна передня щиколоткова артерія, 22 – латеральна передплеснова артерія, 23 – дугоподібна артерія, 24 – тильні плеснові артерії.

Заплюсне утворює задню половину стопи людини і складається з семи кісток, що розміщені в два ряди. До ближчого ряду відносять блок таранної кістки, таранну та п'яткову кістки, а до дальшого – човноподібну, кубоподібну і клиноподібні кістки.

Плесно складається з п'яти плеснових кісток. На кожній з цих кісток розрізняють основу, тіло та головку. Перша кістка плесна, що відповідає першому пальцю, найтовща і найкоротша. Основа всіх кісток плесна майже плоскої форми і з'єднується з кістками заплюсне. Тіла плеснових кісток за формою нагадують тригранну призму, скривлені посередині і дещо опуклі донизу [5-7]. Головки всіх плеснових кісток мають півкулясту форму і зчленовуються з основами фаланг. Кожен палець, за винятком першого, складається з ближчої, середньої та кінцевої фаланг. У першого пальця середньої фаланги немає. На кожній фаланзі розрізняють основу, тіло та головку. Кінцеві фаланги замість головки мають горбкуватість. Основи ближчих фаланг мають суглобові поверхні у вигляді ямок і зчленовуються з головками п'яткових кісток. Основи інших фаланг за формою нагадують блок.

Суглоби стопи утворені суглобовими поверхнями всіх кісток та основ ближчих фаланг. Суглобові капсули фіксуються бічними і підшовними зв'язками, а також глибокою поперечною плесною зв'язкою. Суглоби мають кулясту форму. Рухи, які можливі в суглобах – згинання та розгинання і незначні розведення пальців.

М'язи нижніх кінцівок поділяють на м'язи тазового поясу і м'язи вільної нижньої кінцівки [7]. М'язи, що приводять в рух стопу й пальці, розміщені на гомілці. Найбільший з них – литковий, який у

людини досягає найбільшого розвитку, бо вся маса тіла припадає на ноги, також згинає стопу. Серед м'язів гомілки виділяють передню, латеральну й задню групи м'язів. До передньої групи ставляться переважно розгиначі стопи, до латерального – згиначі і пронатори стопи, до заднього – згиначі й супінатори стопи. Передній великогомілковий м'яз розгинає стопу.

М'язи стопи підходяться на групу м'язів тильної поверхні стопи, до яких ставляться переважно розгиначі, і групу м'язів підошовної поверхні стопи, що складає зі згиначів.

Вени нижньої кінцівки поділяються на глибоку і поверхневу системи [5, 7]. Останню ще називають системою підшкірних вен. Обидві ці системи пов'язані між собою різноманітними венами – перфорантами, які несуть кров від підшкірних вен до глибоких. Тильна артерія стопи дає медіальні й латеральні передплеснові артерії, що приймають участь в утворенні тильної судинної мережі стопи. Також від її відходить дугоподібна артерія, що розгалужується на чотири тильні плеснові артерії, кожна з яких, у свою чергу, ділиться на дві тильні пальцеві артерії, що поставляють кров до тильних поверхонь ІІ-V пальців стопи. Кінцевими галузями тильної артерії є перша тильна плеснова артерія, що розгалужується на тильні пальцеві артерії, дві з яких постачають кров'ю І палець, а одна – медіальну поверхню ІІ пальця, і глибока підошова відгалуження, що виходить через перший міжкістковий проміжок на підошовну поверхню стопи й приймаючи участь в утворенні підошовної артеріальної дуги.

Сформулюємо основні вимоги щодо врахування наведеної вище анатомо-морфо-функціональної структуризації стопи при конструюванні ДВВ. Стопа є складним біомеханічним комплексом, що виконує три важливі завдання при забезпеченні функції опори й руху людини [7-9, 11]:

- забезпечення опори й рівноваги при стоянні і ходьбі;
- поглинання енергії удару в момент "приземлення" і додання тілу вертикального імпульсу в момент відштовхування від опори, що характерні для реалізації природних рухів (ходьба, біг, стрибки);
- захист опорно-рухової системи від можливих травм і перевантажень.

При проектуванні взуття необхідно враховувати пружно-еластичну властивість стопи та її вразливість при перевантаженнях, адже іноді нераціональне членування контурів деталей заготовки спричинює концентрацію тиску в місцях швів, що може порушувати крово- та лімфообмін, викликати появу мозолів тощо [9].

Велику увагу при розробці конструкції взуття слід приділяти зміні фіксації опорно-рухового апарату, особливо положенню анатомічних точок стопи.

Запропоновані автором методи та пристрої проведення обміру стопи [10] дають можливість отримувати антропометричної інформації, але при цьому необхідно визначити основні анатомічні точки, які потрібні для побудови якісного взуття. В основу антропометричних досліджень стопи необхідно закласти принцип врахування положення характерних анатомічних точок стопи й параметрів відповідно до систем проектування колодок і взуття, зокрема побудови контурів деталей верху.

Правильний вимір певних ліній на стопі й гомілці вимагає точного знання розташування точок обмірювання (анатомічних розпізнавальних точок). Це дозволяє легко й однозначно визначити їх при виконанні обмірів.

Конструкція взуття визначається її видом, що характеризується кроєм заготовки. Крім принципових відмінностей моделей верху взуття, необхідно завжди враховувати чутливі ділянки стопи, які потрібно захищати від тиску й тертя швами або потовщеннями деталей, що з'єднують. На рис. 2 показані ділянки стопи, які підлягають найбільшій силовій дії з боку стопи.

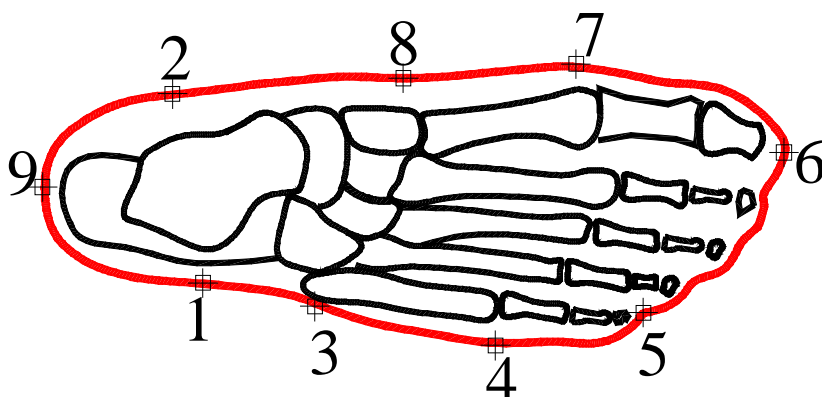


Рис. 2. Основні ділянки стопи, що сприймають силову дію взуття

При дослідженні анатомо-морфо-функціональності стопи потрібно враховувати розташування точки центра зовнішньої 1 та внутрішньої шиколотки 2 й п'яtkового заокруглення 9, котрі необхідні для встановлення та визначення висоти берця черевика, а також висоти задинки й задника. Положення точки 3 відростка п'ятої фаланги необхідно досліджувати з метою правильного та раціонального проектування зовнішніх та проміжних деталей верху взуття, оскільки неякісно спроектоване взуття призводить до деформації та різноманітних порушень нормального функціонування нижньої кінцівки.

Як відомо, в області пучків при ходьбі відбувається найбільше й часте згинання стопи, а отже, і взуття. Тому при дослідженні стопи необхідно враховувати положення точки 4, 7 розміщення центрів пучків. Розміщення на цих ділянках з'єднань деталей утрудняє згинання взуття, послабляє ниткові або клейові з'єднання.

Точка закінчення мізинця 7 потрібна для встановлення точки носкової частини при проектуванні конструкції верху взуття. Як відомо, при ходьбі п'ятова частина стопи обертається відносно осі, яка проходить через голівки фалангових кісток. Найбільш виступаюча частина п'ятого пальця змішена відносно осі обертання. Якщо ж змінити положення даної точки, то край носка, стикаючись із тильною частиною стопи або фалангами, буде завдавати болю та деформуватися в процесі носіння такого взуття

Точка 6 закінчення великого пальця показує розміщення стопи у взутті.

Точки середини стопи й згину 8 її необхідні для обґрунтованої побудови контуру берця для черевика, висоти берця для напівчеревика й напрямку черезпідйомного ремня для туфель і сандалій. Також необхідно звертати увагу при проектуванні деталей взуття на плюсно-фалангові зчленування, оскільки саме тут знаходиться область найбільших деформацій, у зв'язку із чим можливо швидке руйнування ниткового шва союзки.

При дослідженні анато-морфо-функціональності стопи та при раціональному проектуванні деталей верху взуття необхідно враховувати розташування сухожиль, м'язів та вен, які розташовані на тильній поверхні стопи, оскільки перетискування вен спричиняє порушення кровоплину стопи та призводить до відмирання тканин нижньої кінцівки [11].

Взуття потрібне для ходьби, тому всі спроби зробити взуття витонченим і незвичайної краси повинні бути в строгих рамках відповідного стандарту. У цьому полягає й мистецтво модельєра й здоровий вибір користувача взуттєвої продукції.

Висновки

1. Здійснений аналіз внутрішньої будови та взаємодії елементів стопи вказує на важливість їх урахування при розробці підходів та методик проектування взуття.
2. Запропоновані основні вимоги щодо врахування анато-морфо-функціональної структуризації стопи в процесі проектування раціональної конструкції верху взуття.

Література

1. Бегняк В. І. Основи конструювання і проектування виробів із шкіри: Навч. посібник. – Хмельницький, 2002. – 260 С.
2. Слюсарев А. О. та ін. Біологія: Навч. Посібник: за ред. В.О.Мотузного. – К.: Вища шк., 2002. – 122 с.
3. http://anatomium.ru/photo_anat/
4. Ченцова К.И. Стопа и рациональная обувь / К.И.Ченцова. – М.: «Легкая индустрия», 1974. – 216 с.
5. Основи прикладної антропології та біомеханіки. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. – Хмельницький: ХДУ, 2004. – С. 19-22.
6. www.v-ugnivenko.narod.ru/
7. Анатомія людини: навч. посібник / О. М. Очкуренко, О. В. Федотов- [2-ге вид.]. – К.: Вища шк., 1992. – С. 286 – 289.
8. Харклесс Л.Б. Секреты голеностопного сустава и стопы / Л. Б. Харклесс, К. Фелдер-Джонсон. – Бином-Пресс. 2007. – 320 С.
9. Лыба В. П. Теория и практика проектирования комфортной обуви: дне.... докт. техн. Наук. – М., 1996. – 413 С.
10. Надопта Т. А. Досвід автоматизації процесів обміру стопи та проектування деталей взуття Вісник Хмельницького національного університету. – 2009, № 5. – С. 68-73
11. Ключникова В. М. Антропологические и биомеханические основы конструирования изделий из кожи / В.М. Ключникова, Т.С. Кочеткова, А.Н. Калита. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 191С.

Надійшла 12.12.2009 р.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ І УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ КРІОЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАКЕТІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ОДЯГУ

В статті представлено розробку методики і устаткування для вивчення кріозахисних властивостей пакетів спеціального одягу, залежно від теплофізичних характеристик і товщин матеріалів, що входять до його структури, теплообмінних процесів T1 і T4 та часу їх впливу.

In article is presented the development of strategy and equipment for study of cryogenic protection possibilities of packages of special cloth, depending on physical features and thicknesses of material, which fall into its structure, heat transfer processes T1 and T4 and time of their influence.

Ключові слова: кріозахисні властивості, спеціальний одяг.

При проведенні аналізу методів оцінки теплозахисних властивостей спеціальних матеріалів очевидно, що математичне тлумачення тепломасопереносу в об'єктах із кристалічною структурою описується законом Фур'є. Але оскільки текстильні матеріали відносяться до анізотропних, то це приводить до створення певних застережливих умовностей та обмежень при вивченні їх властивостей. Так, наприклад, в процесі визначення теплового потоку по методу стаціонарного режиму, обов'язковою умовою повинна бути постійна різниця тільки додатних температур двох поверхонь між якими розміщується проба матеріалу. Окрім цього зазначається, що стаціонарний тепловий потік настає через 2-5 годин і тільки тоді можна отримати коректні показники, не враховуючи того, що за цей час проба текстильного матеріалу може змінити вихідні показники (вологість, жорсткість, діелектричну проникність тощо), які суттєво впливають на теплозахисні властивості взірця.

До другої групи методів, які засновані на принципі нестационарного (регулярного) теплового режиму, слід віднести прилад ПТС-225, що включений до стандарту [1-2].

Сутність нестационарного теплового режиму, згідно теорії проф. Кондратьєва Г.М., полягає в тому, що регулярний режим температурного поля, який настає з початком охолодження, характеризується тим, що одночасно з моментом його настання, логарифм різниці між температурою в будь-якій точці проби і температурою навколишнього середовища змінюється в часі за лінійним законом, причому швидкість цієї зміни однакова для всіх точок [1]. Похідна від логарифму надлишкової температури за часом буде величиною постійною і називається темпом нагрівання або охолодження проби [2]. Але оскільки регулярний режим настає через певний час, то в початковий момент необхідно виконати умову при якій різниця між температурою влюбій точці проби і температурою навколишнього середовища була однакового знаку [3], тобто додатною.

Тому, якщо зважити на умови експлуатації нашого виробу, а саме захист від впливу мінус 30°C, то стає очевидно, що використати діючі методики, прилади і устаткування, які відносяться до стаціонарного або нестационарного режиму для оцінки кріозахисних властивостей пакетів є проблематичним. В зв'язку з відсутністю указаних методичних основ, це питання вирішується шляхом визначення такої теплофізичної характеристики багат шарових пакетів як тепловий опір, про що уже було зазначено. Окрім цього, в роботі [4] особлива увага акцентується на тому, що тепловий опір R пакета різного призначення, волокнистого складу, об'ємної маси, структури та при відсутності повітряних потоків, змінюється тільки прямопропорційно його товщині, а коефіцієнт теплопровідності залишається величиною постійною, рівною 0,045-0,049 Вт/м·град, незалежно від товщини, повітропроникнення матеріалів тощо. В даній роботі одночасно нагадується, що при збільшенні товщини пакету тепловий опір теж збільшується, але указана залежність відноситься до складних. Так, якщо товщина пакета більше ніж 23 мм, то інтенсивність зростання теплового опору зменшується [4].

Таким чином, приведені аналіз свідчить про недосконалість методів та приладів, в тому числі і стандартних, які використовуються для оцінки теплозахисних властивостей матеріалів або пакетів, що з них виготовляються. Основна причина в різному поясненні залежностей теплофізичних характеристик полягає у відсутності єдиної методики та устаткування, які дали б можливість максимально моделювати не всі фактори від яких залежать теплозахисні функції багат шарового пакета, а основні. Так, наприклад, в нашому випадку спеціальний одяг, згідно технічних вимог підприємства і умов праці робітників-вантажників, які більшу частину робочого часу (до 68 %) знаходиться в приміщенні холодильних камер і вагонів-рефрижераторів, повинен на протязі майже $18 \cdot 10^3$ с (5 годин) захищати від впливу низької (мінус 30°C) температури. При цьому один цикл «навантаження-розвантаження» сировини, або готової продукції в середньому триває $24 \cdot 10^2$ с і таких циклів за робочий час, тобто за 5 годин, може бути від 2 до 4. Отже ефективний захист повинен тривати не весь робочий день, а один цикл.

Таким чином, для наукового обґрунтування теплозахисного пакета з необхідними теплофізичними і геометричними характеристиками (коефіцієнт теплопровідності λ , теплопередачі K, тепловий опір R) автором роботи були вибрані два основних фактори – температура (мінус 30°C) та час захисту від її впливу на протязі одного циклу - $24 \cdot 10^2$ с.

Указані фактори, що діють на пробу безперервно, повинні інтегруватись в критерій оцінки придатності розробленого захисного пакета. Таким критерієм оцінки слід вважати температуру, що дорівнює плюс 32°C, тобто середньозважену температуру людського організму.

Розроблена гіпотеза методики була перевірена теоретично, з використанням математичної моделі процесу тепломасопереносу і результатів наукових досліджень [5]. Практичне випробування проводилось на устаткуванні, яке, на відміну від описаного в роботі [5], було удосконалене.

Блок-схема устаткування для вивчення кріозахисних властивостей пакетів спеціального одягу складається з камери 1 додатної температури, камери 3 від'ємної температури, джерела 4 додатної температури, джерела 5 від'ємної температури, блоки 6 керування, датчика 7 додатної температури, потенціометра 8, та датчика 9 від'ємної температури (рис.1).

Удосконалення методики, а відтак і устаткування полягає в тому, що джерело 5 від'ємної температури спеціально не розроблялося, а представляє собою стандартний холодильник від приладу МИРМ, який згідно ГОСТ 20876-75 [6] використовується для вивчення морозостійкості штучних шкір в динамічних умовах. До складу указанного технічного вузла входить ємність Дьюара з рідким азотом і електромагнітним клапаном, та системою термопар (датчик 9 від'ємної температури), які забезпечують метрологічні вимоги щодо отриманих результатів дослідження. Окрім цього, на відміну від умов проведення експериментів, які зазначені в роботі [5], де камери «холоду» і «тепла» з'єднуються між собою захисним пакетом з герметичними шторками що відкриваються при досягненні необхідних температурних значень, в нашому випадку проба матеріалу постійно закріплюється на зрізі камери 1 додатної температури – камера 3 від'ємної температури при цьому знаходиться на відстані. Коли температури указаних камер досягнуть своїх (заданих) значень, їх герметично з'єднують, включаючи в роботу потенціометр 8, або комп'ютер.

Слід зазначити також, що джерело 4 додатної температури метрологічно забезпечене, оскільки представляє собою нагрівальну систему стаціонарної термошафи.

Точність виміру додатної температури знаходиться в межах $\pm 1,0^\circ\text{C}$, що складає похибку, яка дорівнює 3,0%, а від'ємної температури - $\pm 1,5^\circ\text{C}$ і 5,0% відповідно.

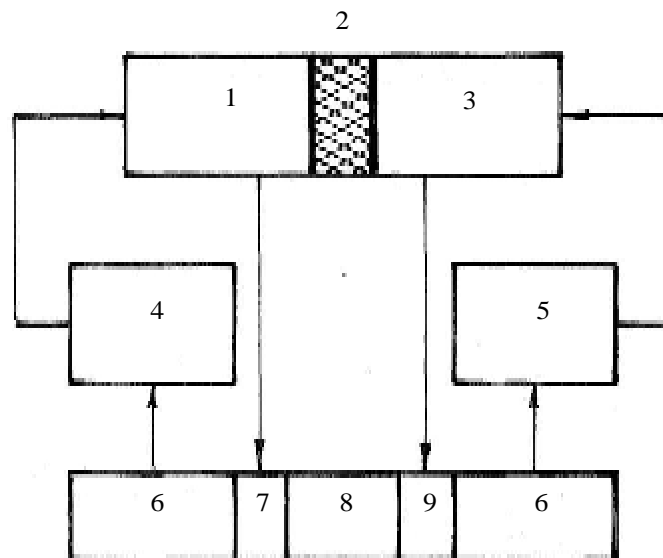


Рис. 1. Блок – схема устаткування для вивчення кріозахисних властивостей пакетів спеціального одягу:

- 1 – камера додатної температури; 2 – пакет; 3 – камера від'ємної температури;
4 – джерело додатної температури; 5 – джерело від'ємної температури; 6 – блок керування;
7 – датчик високої температури; 8 – потенціометр; 9 – датчик низької температури

Сутність методу полягає в тому, що пакет, конструкція якого розроблена на основі теплофізичних і геометричних характеристик матеріалів вершу, утеплювача і підкладки піддають впливу низької температури, контролюючи темп охолодження камери додатної температури.

Для проведення експериментів кріозахисний пакет 2 закріплюється своєю зворотною стороною до зрізу камери 1 додатної температури. Камера 2 від'ємної температури знаходиться на відстані.

З допомогою блока 6 керування джерел 4 і 5 додатної та від'ємної температури відповідно, камера 1 підігривають до плюс 32°C, а камеру 3 – охолоджують до мінус 30°C, контроль за температурами в камерах 1 і 3 ведуть за допомогою датчиків 7 і 9 та потенціометром 8 (рис.1.).

Після досягнення необхідних температур, устаткування ще працює 7-10 хв, а потім камеру 1 герметично приєднують до камери 3. При цьому слід пам'ятати, що в момент їх з'єднання джерело 4 додатної температури виключається, а джерело 5 від'ємної температури працює постійно, тобто до закінчення експерименту. Такий режим роботи устаткування є найоптимальніший, оскільки дозволяє максимально приблизити умови проведення досліджень по вивченню кріозахисних властивостей пакетів, а відтак і спеціального одягу, до умов їх експлуатації. Окрім цього, рекомендований критерій оцінки, а це стабільне значення середньозваженої температури ($+32^\circ\text{C}$) людського організму в часі ($t = 24 \cdot 10^2$ с), дає

можливість прогнозувати вибір матеріалів за їхніми геометричними (товщина), фізико-механічними (повітропроникнення, розривальні навантаження, стійкість до стирання по площині тощо), та теплофізичними характеристиками (коефіцієнти теплопровідності, теплопередачі і теплового опору).

Зміну температури в камері 1 можливо контролювати постійно і дискретно, наприклад, через кожні 300 с від початку експерименту, але протягом $24 \cdot 10^2$ с. Отримані результати використовують для побудови графічної залежності зміни температури в камері 1 від часу або для представлення в таблиці.

Слід зважити на те, що пакет вважається придатним для вирішення поставлених задач, якщо за указаний час температура в камері 1 зменшилась від плюс 32°C до плюс 30°C , що знаходиться в межах комфортності людського організму.

Окрім цього, кріозахисні властивості пакетів, в залежності від часу експозиції, рекомендується вимірювати в град/с, а для розрахунку їх оцінки і порівняння ввести таке термінологічне поняття як рівень втрати кріозахисту – $A_{\text{кз}}$.

Сутність указанного показника полягає в тому, що в залежності від структури пакета (природа утеплювача, товщина, матеріали верхньої і зворотної сторони), зміна температури в камері від часу може мати різний характер і значення, яке обраховується за формулою:

$$A_{\text{кз}} = \frac{T - T_{\text{к}}}{t} [\text{град/с}] \quad (1)$$

де T – попередня температура в камері 1, град;
 $T_{\text{к}}$ – температура в камері 1 на момент її контролю, град;
 t – час проведення експерименту, 300 с.

Якщо за конкретний час експозиції було встановлено, що задана температура T_1 не змінюється (а це скоріше за все не зменшується), тобто $T_{\text{к}} = T_1$, то це свідчить про відсутність втрати рівня кріозахисту ($A_{\text{кз}} = 0$), а створений пакет відповідає вимогам.

На основі результатів установчих експериментів відносно захисту до впливу низьких температур був зроблений висновок про те, що окрім вивчення таких показників як тепловий опір R і коефіцієнт теплопередачі K , розроблені пакети доцільно характеризувати коефіцієнтом кріозахисту $K_{\text{кз}}$.

Указаний показник представляє собою відношення дійсної температури $T_{\text{к}}$ в камері 1 (рис. 1) до заданої температури T_1 в будь-який момент часу і вираховується за формулою:

$$K_{\text{кз}} = \frac{T_{\text{к}}}{T_1} \cdot 100 [\%] \quad (2)$$

Таким чином, якщо проаналізувати формули (1 і 2), то очевидно, що відсутність рівня втрати кріозахисту ($A_{\text{кз}}$) і максимальне значення коефіцієнта кріозахисту ($K_{\text{кз}}$) буде спостерігатись тоді, коли $T_1 = T_{\text{к}}$. Критеріями оцінки кріозахисних властивостей пакетів слід вважати такі, як рівень втрати кріозахисту $A_{\text{кз}}$ (град/с), та коефіцієнт кріозахисту $K_{\text{кз}}$ (%). Указані термінологічні поняття обґрунтовані і обраховуються з допомогою приведених формул.

Література

- ГОСТ 20489-75
- Кондратьев Г.М. Регулярный тепловой режим. –М.: Гостехиздат, 1954. – 408 с.
- Лабораторный практикум по материаловедению швейного производства: Учебн.пособие для вузов / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова, Д.Г. Петропавловский и др. Изд. 4-е, перераб. и доп. –М.: Легпромбытиздат, 1991. – 432 с.
- Колесников П.А. Основы проектирования теплозащитной одежды. – М.: Легкая индустрия, 1971. – 112 с.
- Мычко А.А. Разработка методов оценки защитных свойств и выбора текстильных материалов для специальных изделий в экстремальных условия. Дис. ... докт. техн. наук: 05.19.01 – С-Пб., 1997. – 394 с.
- Кожа искусственная. Метод определения морозостойкости в динамических условиях: ГОСТ 20876-75. – [Введен 01.01.75]. –М.: 1975. – 5 с. (Изд-во стандартов).

Надійшла 12.12.2009 р.

АНАЛІЗ ЕНЕРГОЄМКОСТІ ДОБУТКУ БЛОКІВ ПРИРОДНОГО КАМІННЯ

В статті наведено аналіз енергоємності добутку блоків природного каменю, виходячи з оптимальних витрат енергії.

In a current article ware discussed questions about gathering or natural stones.

Ключові слова: видобування блоків природного каменю, фактичні витрати енергії, оптимальні витрати енергії.

Протягом останніх років на кар'єрах природного каменю намітилася тенденція до оновлення видобувного устаткування. Разом з традиційними способами добутку блоків граніту та габро використовується алмазне різання. Природно, що постає питання раціонального поєднання способів добутку. Найбільш вагомими в структурі витрат при добуванні блоків являються енерговитрати.

В літературі досить повно висвітлені теоритичні та експериментальні основи аналізу фактичних енерговитрат при масовому добутку та первинній обробці корисних копалин. Розглянуті питання оптимізації процесів буріння, екскавації та транспортування за критерієм питомих енерговитрат [1].

Процеси видобутку блоків природного каменю якісно та кількісно відрізняються від таких при масовому видобутку корисних копалин [2]. Тому отримані результати не можуть бути використані для аналізу енергоємності технології видобутку блоків. Вивчення енерговитрат при видобутку блоків має не лише науково-технічний інтерес, але і практичний, адже майже на всіх кар'єрах України використовується фізично та морально застаріле технологічне устаткування. Пошук нових технологічних рішень та раціональне використання існуючих неможливі без оцінки їх енергоємності.

Для оцінки ефективності технологічних рішень необхідно знайти корисні та фактичні витрати енергії. При видобуванні блоків природного каменю корисні витрати енергії складаються з витрат енергії на відділення блоків від масиву та їх переміщення по підшві уступу:

$$U_k = U_b + U_n, \quad (1)$$

де U_b , U_n - питомі витрати енергії при відділенні блоків від масиву та їх переміщенню по підшві уступу.

Мімальні витрати енергії на відділення блоків від масиву мають місце при утворенні по контуру блока тріщин. Питому енергоємність відколу блоку від масиву по трьох гранях визначимо через критичну інтенсивність вивільнення енергії деформації при тріщиноутворенні:

$$U = G_{ic} \frac{LH + WH + LW}{LHW}, \quad (2)$$

де G_{ic} - критичне значення інтенсивності вивільнення енергії деформації; L , H , W - розміри блока.

При утворенні тріщин в площині відколу блока за схемою нормального відриву та при умові плоского деформованого стану критичне значення інтенсивності вивільнення енергії деформації буде визначатися [3]:

$$G_{ic} = (1 - \nu^2) \frac{K_{ic}^2}{2E}, \quad (3)$$

де ν - коефіцієнт Пуасона; E - модуль Юнга; K_{ic} - критичне значення коефіцієнта інтенсивності напружень.

Підставивши значення 3 в 2 та виконавши спрощення, отримаємо:

$$U = (1 - \nu^2) \frac{K_{ic}^2}{2E} \left(\frac{1}{W} + \frac{1}{L} + \frac{1}{H} \right) + fg\Delta. \quad (4)$$

В таблиці 1 наведені результати розрахунків критичної інтенсивності вивільнення енергії тріщиноутворенні для основних типів природного каменю. Значення пружних характеристик запозичено з роботи [4]. З результатів розрахунків видно, що критична інтенсивність вивільнення енергії деформації не перевищує 80 Дж/м².

Питомі витрати енергії на переміщення блока по підшві уступу дорівнюють:

$$U_n = \frac{1}{LHW} \int_0^{\Delta} F(x) dx \quad (5)$$

де $F(x)$ - сила опору переміщення блока; Δ - величина переміщення блока.

Приймаючи, що сила опору при русі блока стала і дорівнює силі тертя, а підшва уступу горизонтальна отримаємо:

$$U_n = fg\Delta \quad (6)$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання блока по підшві уступу; γ – питома вага природного каменю.

Таблиця 1

Критична інтенсивність вивільнення енергії при тріщиноутворенні в породах

№	Порода	E, Гпа, [4]	ν , [4]	γ , кН/м ³ , [4]	K/c, МПа*м ^{1/2}	C_{ic} , Дж/м ²
1	Базальт	64	0,23	26,1	0,62-1,60	5,68-37,88
2	Габро	96	0,27	29,3	1,89 [5]	34,5
3	Граніт	65	0,23	26,5	1,17 [5]	19,94
4	Діорит	71	0,26	27,7	0,89-1,77 [6]	10,4-41,14
5	Долеріт	65	0,20	25,5	1,58-2,22 [6]	36,86-72,78
6	Періодит	55	0,22	27,1	1,24-1,77 [6]	26,6-54,2
7	Уртит	60	0,27	27,5	1,3 [7]	26
8	Селікатне скло	67	0,25	25	1,7 [5]	20
9	Органічне скло	2,95	0,35	11,8	2,9 [5]	1250
10	Сталь 40ХН	220	0,28	81	71,47 [5]	10699

При розробці родовищ з великою потужністю пласта горизонтальні тріщини створюють контурним підживлянням. В таких випадках при русі блока має місце сухе тертя. При розробці родовищ з явно вираженою системою горизонтальних тріщин, останні, як правило заповнені зволоженою пісчаноглинистою сумішшю. Виходячи з цього, виконані дослідження коефіцієнта тертя. Для дослідження використані зразки Янцівського та Корнінського родовищ, а в якості наповнювача тріщин - вольський пісок. Результати досліджень наведені в таблиці 2.

Таблиця 2.

Значення коефіцієнта тертя

Характер обробки поверхні	Умови контактування поверхонь	Коефіцієнт тертя спокою	Коефіцієнт тертя ковзання
Поліровка	Сухі	0,27	0,18
	Зволожені	0,60	0,58
Алмазне шліфування	Сухі	0,49	0,42
	Зволожені	0,51	0,49
	Шар сухого піску	0,40	0,38
	Шар зволоженого піску	0,58	0,56
Штріпсовий розпіл	Сухі	0,70	0,60
	Зволожені	0,73	0,71
	Шар сухого піску	0,60	0,58
	Шар зволоженого піску	0,75	0,73

З отриманих результатів видно, що при збільшенні жорсткості та зволоженні контактуючих поверхонь коефіцієнт тертя збільшується. Вплив мінерального складу граніту на величину коефіцієнту тертя в експерименті не зафіксовано.

Підставляючи 4 та 5 в 1, отримаємо величину корисних витрат енергії на підготовку блоків до виїмки:

$$U_k = (1 - n^2) \frac{K_{ic}^2}{2E} \left(\frac{1}{W} + \frac{1}{L} + \frac{1}{H} \right) + fg\Delta. \quad (6)$$

Наведені значення фізико-механічних параметрів дозволяють дати кількісну оцінку енергоємності підготовки блоків до виїмки. При видобуванні гранітних блоків з $L=1$ м., $M=1$ м., $H=1$ м., $f=0,75$, та $\Delta=0,5$ м

питомі енергоємкості операції будуть дорівнювати:

- відкол блоку від масиву - 59,84 Дж/м³;
- переміщення блока - $99,4 \cdot 10^2$ Дж/м.

Висновки

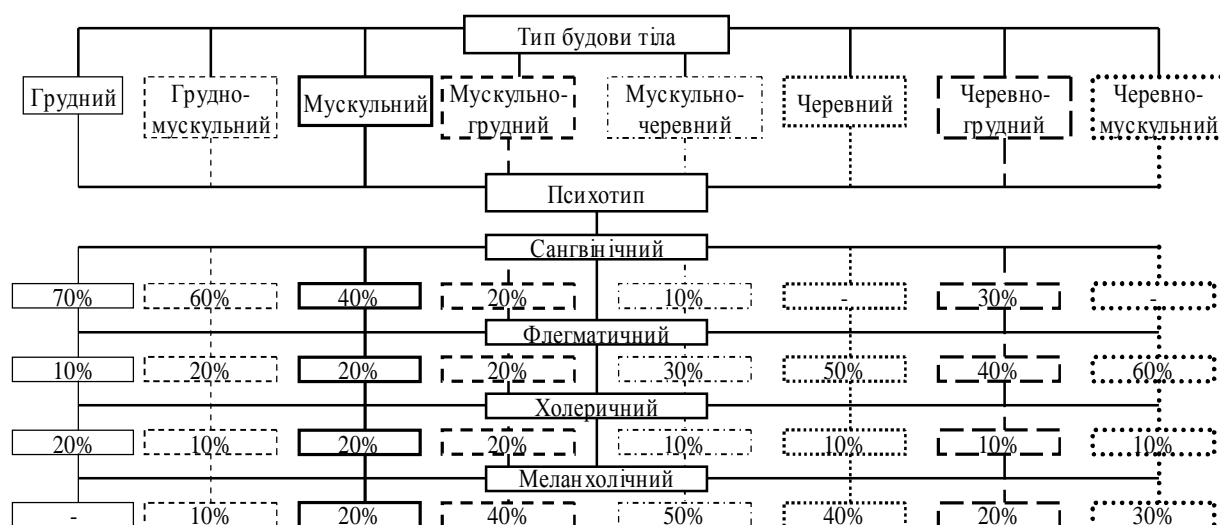
к видно з результатів розрахунків енергомискість відколу блоку на два порядки менша енергоємкості його переміщення. В реальних умовах операція відколу блоку являється найбільш трудоемкою. Таким чином, при видобуванні блоків має місце парадоксальна ситуація: найменш енергоємкій операції відповідають найбільші трудовитрати. Для розкриття змісту цієї ситуації необхідно продовжити аналіз в напрямку визначення фактичних енерговитрат при підготовці блоків до виємки.

Література

1. Танганаев И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. - М: Недрa, 1986.-230с.
2. Бакка М.Т. , Кузьменко О.Х., Сачков Л.С. Видобування природного каменю. 4.2. Технологія та комплексна механізація видобування природного каменю. - Київ: ШСДО, 1994. - 448с.
3. Механика разрушения и прочность материалов : Справочное пособие в 4т., Т.3/С. Е. Ковчик, Е.М. Морозов. - Киев: Наук. Думка, 1988. - 425с.
4. Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород: Справочное пособие/М.М. Протодьяконов, Р.Т. Тедер, Е.И.Ильницкая и др. - М:Недрa, 1981. - 192с.
5. Осипенко Я.М. Определение критического коэффициента интенсивности напряжений для горных пород на образцах с надрезами. - М.:1970. -23с.
6. Тарасян Р.И. О механизме хрупкого разрушения уртитов. Физ.-хим.механика материалов. -1980, №2.-с.107-108.

Надійшла 22.12.2009 р.

В №5'2009 допущена помилка. В статті авторів *С.О. Верховій, А.Л. Славінська* "Розробка класифікації чоловіків молодшої вікової групи за антропо-психологічними ознаками" (с. 207), рис. 3 слід читати так:



За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису <http://visniktup.narod.ru/rules/>

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 5 від 27.01.2010 р.

Підп. до друку 26.11.2009 р. Ум. друк. арк. 18,26 Обл.-вид. арк. 22,65
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого редакцією журналу "Вісник Хмельницького національного університету" редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63