

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

# **ВІСНИК**

## **НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

*Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси»*

**№ 21(1130)2015**

Збірник наукових праць

Видання засновано в 1961 р.

Харків  
НТУ «ХПІ», 2015

## **Вісник Національного технічного університету "ХПІ"**

Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси.  
– Х.: НТУ „ХПІ» – 2015р. - №21(1130) –200 с.

### **Державне видання**

**Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України**

**КВ №5256 від 2 липня 2001 року**

Збірник виходить українською та російською мовами.

*Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових Фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р. №1 – 05/4. (Бюлетень ВАК України №6, 2010 р., стор. 3, №20).*

### **Координаційна рада:**

Л. Л. Товажнянський, д-р техн. наук, проф. (**голова**);

К. О. Горбунов, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є. І. Сокол, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.; Є. Є. Александров, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.; Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.; М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.; А. І. Грабчєнко, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.; В. В. Єпіфанов, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.; П. О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.; Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.; В. І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; В. А. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.; М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.; Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф.; Ю. В. Тимофєєв, д-р техн. наук, проф.; М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

### **Редакційна колегія**

**Відповідальний редактор:** Дьомін Д. О., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;

**Відповідальний секретар:** Костик В. О., канд. техн. наук, НТУ «ХПІ»;

**Члени редколегії:** Акімов О. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Березуцький В. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Дмітрєв В. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Дудніков А. А., канд. техн. наук, ПДАА, Полтава, Заблоцький В. К., д-р техн. наук, ДДМА, Краматорськ, Заміховський Л. М., д-р техн. наук, ІФТУНГ, Івано-Франківськ, Євстратов В. О., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, Погрібний М. А., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Пономаренко О. І., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, Соболь О. В., д-р фіз.-мат. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Шоман О. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Jozef Voynarovsky, проф., Сілезького політехнічного інституту, Польща, Rab Nawaz Lodhi, проф. Bahria University Islamabad Pakistan, Пакистан, Меркер Е. Е., д-р техн. наук, проф., Старооскольський технологічний інститут – філія Національного дослідницького технологічного інституту «Московський інститут сталі і сплавів», Росія

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ „ХПІ”

Протокол №2 від «24» лютого 2015 р.

*К. М. МУЗИКА*, канд. техн. наук, , с.н.с., ХНУРЕ, Харків

## «ШТУЧНІ РЕЦЕПТОРИ» НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ МОЛЕКУЛЯРНОГО ІМПРИНТИНГУ В УМОВАХ ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

Досліджено молекулярну взаємодію «штучних рецепторів» з меламіном в умовах поверхневого плазмонного резонансу. На основі отриманих ППР-даних показано, що технологія синтезу молекулярно імпринтованих полімерів на твердій фазі (скляних кульках) дає змогу створити «штучні рецептори» у вигляді МПП-наночасток, які можуть бути дешевою альтернативою антитілам. Найміцніші комплекси у даному випадку стали можливими завдяки особливості просторової будови молекули АМПК, в якій фосфатна та карбонільні групи розташовані таким чином, що є можливість без стеричних перешкод утворювати водневі зв'язки з функціональними групами молекули меламіну.

**Ключові слова:** технологія молекулярного імпринтингу, штучні рецептори, поверхневий плазмонний резонанс, наночастки, молекулярна взаємодія.

**Вступ.** Розробка нових технологічних процесів виробництва приладів електронної техніки, зокрема, нових сенсорних пристроїв з високою точністю, селективністю, чутливістю, швидкодією, надійністю визначення складу речовин у різноманітних об'єктах є важливим завданням приладобудування. Зокрема, використання в сучасних сенсорах біотехнологій на базі антитіл, ферментів, нуклеїнових кислот, як правило забезпечує задовільні аналітичні характеристики і селективність сенсорів, проте проблемою є їх дорожнеча, особливо біосенсорів. При використанні біологічно активних речовин в якості рецепторів актуальною є також проблема підвищення часу функціонування сенсорів на їх основі. Використання технології, відомої як молекулярний імпринтинг, здатне вирішити або знизити гостроту озвучених вище проблем, шляхом створення так званих «штучних рецепторів», на базі молекулярно імпринтованих полімерів» (МППів) [1].

Вперше про явище молекулярного імпринтингу було повідомлено вченим з УРСР, Поляковим, у 1931 р. [2]. Інтерес до застосування технології молекулярного імпринтингу у сенсорах виник наприкінці 90-х років ХХ сторіччя (див. огляд [3]) і активно прогресує і дотепер. Так, за останні роки МППи все більше використовуються у сенсорному аналізі, який безпосередньо межує з псевдоімуноаналізом [4]. Псевдоімуноаналіз є більш дешевою альтернативою імунохімічним методам аналізу. Однак, незважаючи на деякий прогрес у даній області, шлях до створення "штучних рецепторів" – аналогів антитіл – залишається складним і довгим. Для успішного використання "штучних рецепторів" у хімічних сенсорах, необхідними умовами для досягнення високої селективності аналізу є:

- ліганд-селективність "штучних рецепторів" до речовин, які будуть визначатись. Ця характеристика пов'язана з технологією створення МППів;
- чутливий спосіб визначення акту молекулярної взаємодії.

Зазвичай для виявлення комплексу, що утворився, зазвичай в один з компонентів реакційної системи вводиться мітка. Найбільш поширеними є ферментні, флуоресцентні і радіонуклідні мітки і, відповідно, методи аналізу на їх основі [5]. Одним із перспективних шляхів виявлення ліганд-рецепторної взаємодії «штучний рецептор»-аналіт, а, отже, і розробки експрес виявлення різноманітних речовин можливий з використанням оптоелектронних перетворювачів, зокрема, які базуються на ефекті поверхневого плазмонного резонансу (ППР) (surface plasmon resonance, SPR). Сенсори на основі ППР або скорочено "ППР сенсори" – це відносно новий клас сенсорів на відміну від спектрофотометричних і люмінесцентних сенсорів [6]. Основні переваги використання таких систем перед традиційними методами обумовлені можливістю безпосереднього вивчення міжмолекулярних взаємодій і аналізу кінетичних параметрів зв'язування, що дозволяє виявити механізм такого процесу, а також відсутністю необхідності використання дороговартісних міток.

**Сутність явища ППР умови його спостереження.** ППР, полягає в зміні кута мінімальної інтенсивності відбитого плоскополяризованого світла в результаті процесів адсорбції-десорбції молекул на поверхні металевої плівки (рис.1). Поверхневі плазмони – це хвилі змінної щільності електричного заряду, які можуть виникати і поширюватися в електронній плазмі металу уздовж його поверхні або вздовж тонкої металевої плівки. Виявилось, що за певних умов поверхневі плазмони можуть збуджуватися під впливом поляризованого світла. У 1968 р це було про демонстровано в роботі [7]. Схема спостереження ППР, яку стали називати за прізвищем автора "геометрією Кречмана", показана на рис. 1.

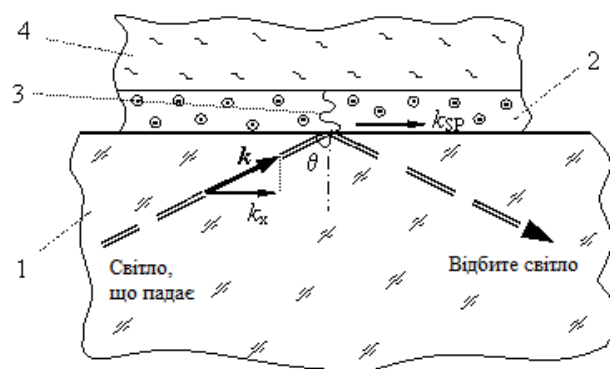


Рис. 1 – Схема оптичного спостереження явища ППР

Світло проходить крізь оптично прозоре середовище 1 з відносно великим показником заломлення,

наприклад, крізь призму зі скла і падає під певним кутом на тонку металеву плівку 2, нанесену на поверхню скла. Кут падіння повинен бути більшим кута повного внутрішнього відображення. Частина світла проникає в метал і поширюється в ньому у вигляді швидко загасаючої електромагнітної хвилі 3. Остання збуджує коливання вільних електронів металу - т.зв. "електронної плазми". У цій плазмі можуть виникати колективні коливальні рухи електронів, які прийнято описувати як квазічастинки - т.зв. "поверхневі плазмони".

Якщо металева плівка 2 досить тонка (<200 нм), то значна частина загасаючої в металі електромагнітної хвилі досягає протилежної поверхні металу. Тоді ППР стає чутливим до властивостей того середовища 4, яке контактує з металом з іншого боку плівки. Імпульс плазмона залежить від процесів, що протікають на поверхні плівки, наприклад адсорбції на ньому різних біомолекул. Імпульс фотона в свою чергу залежить від кута падіння і його енергії, тобто довжини хвилі. У 80-х роках ХХ ст. з'ясувалося, що ППР може стати і чутливим методом виявлення присутності навіть незначної кількості різних біологічних домішок. Для цього на зов-

нішній поверхні тонкої золотої плівки біохімічними методами висаджують ("імобілізують") мономолекулярний шар "ліганда" або "рецептора". Це шар органічних молекул, які вибірково взаємодіють з "аналітом" – тими молекулами (частками), концентрацію яких в розчині ми хочемо вимірювати. Коли молекули (частки) аналіту приєднуються до молекул ліганда (рецептора), створюване останніми електричне поле на поверхні металу дещо змінюється, внаслідок чого резонансний мінімум ППР зміщується. Цей зсув тим більший, чим більше молекул (частинок) аналіту приєдналося до біочутливого шару ліганда. Таким чином, змінюючи величину зсуву мінімуму кривої ППР, у принципі, стало можливим виявляти присутність і вимірювати концентрацію в розчинах багатьох важливих біохімічних речовин і мікрочастинок (вірусів, бактерій, антитіл, ...). А знімаючи залежність величини зсуву від часу, можна вивчити кінетику їх біохімічних взаємодій і її залежність від різних факторів.

**Мета роботи.** Метою роботи є дослідження молекулярної взаємодії «штучний рецептор» - меламін в умовах поверхневого плазмонного резонансу за для оцінки адекватності технології твердофазного синтезу МПП-наночасток, як альтернативи антитілам.

**Методика експериментів.** У попередніх роботах [8-9] з використанням методу теорії функціонала густини на рівні теорії  $RwB97XD/6-31G(d)$  нами було показано, що серед 13 розглянутих функціональних мономерів, акриламід-2-метил-1-пропансульфонова кислота (АМПК) утворює найбільш енергетично вигідний комплекс з меламіном. Крім того, дана кислота формує найміцніші комплекси з меламіном, навіть, у порівнянні з атразином, який належать до того ж хімічного класу. Тому, у даній роботі в якості функціонального мономеру вибрана (АМПК), а в якості шаблону – меламін та атразин, як його структурний аналог.

*Матеріали для підготовки твердої фази:* скляні кульки (75 мкм, Sigma-Aldrich), NaOH, толуол, ацетон, глутаровий альдегід, фосфатно-сольовий буфер (рН 7.2), бідистилят, меламін.

*Передполімеризаційна суміш:* акриламід-2-метил-1-пропансульфонова кислота (Aldrich), атразин (Aldrich), етиленгліколь метакрилат фосфат (Aldrich), триметілолпропантриметакрилат (Aldrich), моногідрат 2-морфоліноетансульфонової кислоти (Fluka), диметилформамід.

Передполімеризаційна суміш заливалась у ємності з підготовленою твердою фазою (скляними кульками), повністю покриваючи її [10]. Після чого ємності розміщувалась в УФ камері. Час УФ-полімеризації тривав 1,5 хв. Потім полімеризаційна суміш промивалась холодними (4 С) розчинниками (ДМФ, ДМФ+ацетонітрил) з метою вимивання низько афінних фракцій полімеру. Для отримання високо афінних фракцій полімеру – МПП-наночасток, остання промивка полімеризаційної суміші здійснювалась за високої температури (60 С) ацетонітрилом.

Об'єм 10 мл з розчином наночасток у ацетонітрилі був сконцентрований до 2 мл. Після чого з використанням спеціального картриджу з мембранним фільтром (Amicon Centriplus®, 30 kDa, Millipore, UK) і центрифуги МПП-наночастки були промиті водним розчином.

*Імобілізація МПП-наночасток на поверхні золотого мікрочипу*

Реактиви: 2- [морфоліно] етансульфонова кислота (МЕК) (буфер), 1-етил-3-[3-диметиламінопропіл] карбодимід (EDC (Product No. 22980).

Чип з золотим шаром (SIA Kit Au, Biacore) був оброблений шляхом занурення у розчин ( $H_2SO_4/H_2O_2$ , 3:1) на 5 хв, ретельно промитий двічі дистильованою водою і залишений в етанолі на ніч. Іммобілізація шаблону проводилась шляхом інкубації чипу у розчині цистеаміну (0.2 мг/мл) за 4 °C протягом 12 год, з подальшим промиванням етанолом і інкубацією протягом 45 хв у 7% розчині глутаральдегіду у фосфатному буфері (pH 7.2). Після чого МПП-наночастки змішувались з EDC за протоколом Thermo Scientific NHS і сульфо-NHS.

У присутності карбодимідів, зокрема EDC (продукт No. 22980), отримуються NHS або сульфо-NHS складні ефіри, які потім можуть реагувати з первинними амінами ( $-NH_2$ ) з утворенням амідних зв'язків (рис. 2).

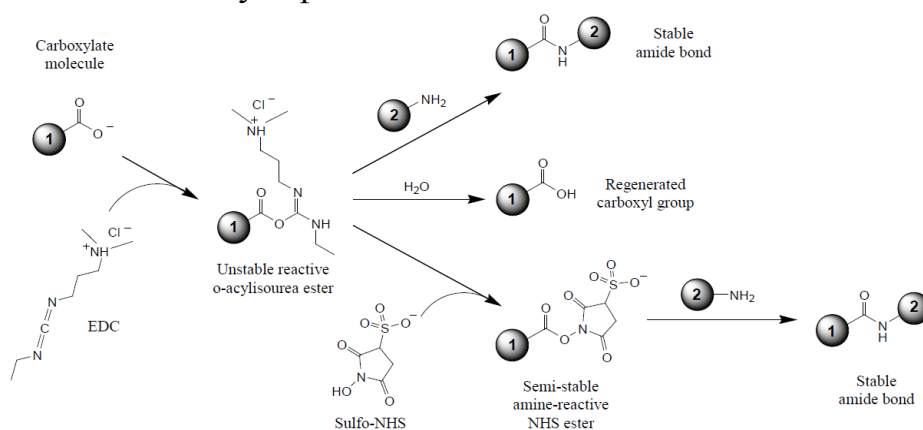


Рис. 2 – Схема хімічної реакції за протоколом Thermo Scientific NHS і сульфо-NHS

NHS-активовані молекули використовуються для оперативної реакції з аміногрупами, що містяться на ефект-роді, таким чином, забезпечуючи іммобілізацію.



Рис. 3 – Фотографія мікрофлюїдного картриджу, що інтегровано у прилад Biacore 3000

#### ППР-дослідження.

ППР-дослідження проводились у мікрофлюїдній системі (рис. 3), яка представляла собою спеціальну мікропроточну комірку, мікроканали якої знаходяться в безпосередньому фізичному контакті з золотим чипом, на якому був іммобілізований шар МПП-наночасток.

У першій фазі вимірювань проточна комірка і чутлива поверхня спочатку промиваються кілька хвилин буферним розчином. Потім (у другій фазі) через комірку (зі швидкістю потоку 35 мкл /хв за температури 25 °C) прокачувався дослідний зразок (об'ємом 100 мкл) рідини з досліджуваним аналітом (меламіном), і проводилось вимірювання. Швидкість потоку підтримувалась однаковою і забезпечувала мінімальну дисперсію зони зразка. Меламін приєднувався до ліганду (шару з МПП-наночастками) не відразу. Тому криву ППР доводилося вимірювати багато разів, кожен раз розраховуючи за результатами вимірювань точне положення мінімуму ППР, і будувати графік його залежності від часу («сенсограму»). В ході наступної (третьої) фази інжекція аналіту припинялась, проте прокачування чистої рідини (буферного розчину) продовжувалось. При цьому процеси приєднання теж практично припинялись, а проходили лише процеси дисоціації.

Хід кривої на цій стадії дозволив обчислити константи цього процесу, які становили ( $K_d = 8.7 \times 10^{-8} \pm 1.5 \times 10^{-9}$  М).

У четвертій фазі через комірку прокачувався розчин елюенту, тобто рідини, яка різко послаблювала хімічний зв'язок меламіну з МПП-шаром, поступово "вимиваючи" меламін, і, практично не впливаючи на МПП-шар. Так відбувалась регенерація чутливої поверхні, в ході якої положення мінімуму ППР повинне було повернутися до початкового.

Після цього було почато новий цикл вимірювань хімічної взаємодії МПП-шару з меламіном, але за іншої концентрації. Так було проведено шість досліджень взаємодії меламіну з МПП-шаром, але за різних концентрацій меламіну (4 нМ, 0.064 нМ, 0.032 нМ, 0.16 нМ, 0.8 нМ, 20 нМ). За даними сенсора прилад Biacore 3000 у режимі реального часу будував криву взаємодії досліджуваного зразка з сенсорним чіпом – сенсограму. За допомогою BIAEvaluation Software v4.1 (Biacore, Sweden) було отримано кінетичні параметри комплексоутворення, які аналізувались із застосуванням моделі (1:1) Ленгмюра, з метою визначення різних параметрів реакції (константи дисоціації / асоціації, концентрації досліджуваної речовини тощо.)

**Обговорення результатів експериментальних досліджень.** Як видно з рис. 4, максимальну концентрацію іммобілізованого (тобто приєднаного до МПП-шару) меламіну було досягнуто лише через кілька хвилин. Кінетика наростання зсуву мінімуму ППР відображає кінетику хімічних реакцій приєднання меламіну до МПП-наночасток. Стаціонарний стан, який врешті-решт встановився, є результатом динамічної рівноваги між хімічними процесами приєднання і дисоціації меламіну і залежить як від констант відповідних реакцій, так і від концентрації аналіту, температури розчину, умов перемішування тощо.

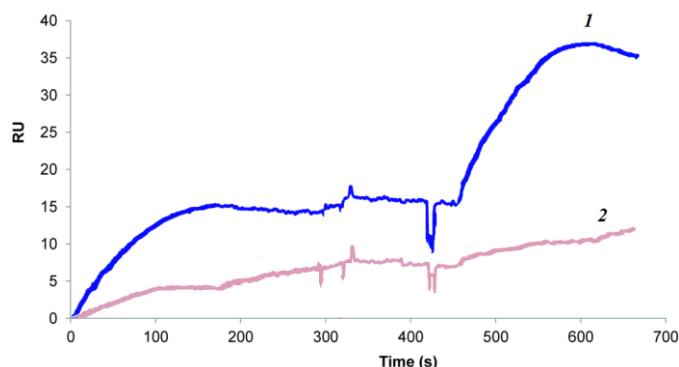


Рис. 4 – Сенсограма взаємодії анти-меламін МПП наночасток з меламіном (1) та атразиним (2)

З рис. 4 видно, що синтезовані анти-меламін МПП- наночастки (з функціонального мономеру – АМПК) мають більшу афінність до меламіну, ніж до атразину, який належить до того ж хімічного класу. Це корелюється з даними наших попередніх теоретичних досліджень [8-9], де вивчалась ліганд-селективність (т. з. псевдо-імуноспецифічність) трьох функціональних мономерів АМПК по відношенню до молекули меламіну та атразину. Крім того, результати молекулярної взаємодії анти-меламін МПП наночасток корелюють з результатами, отриманими за допомогою моноклональних антитіл, з подібними до меламіну гаптенами [11].

**Висновки.** У ході проведених досліджень було отримано кінетичні криві молекулярної взаємодії «штучних МПП-рецепторів» з меламіном. Коефіцієнт дисоціації становив ( $K_d = 8.7 \times 10^{-8} \pm 1.5 \times 10^{-9}$  М). Таким чином, на основі технології синтезу МПП з використанням твердої фази з'явилась можливість отримати нанорозмірні «штучні МПП-рецептори», зокрема, на меламін, з афінністю, близькою до афінності антитіл.

Найміцніші комплекси у даному випадку стали можливими завдяки особливості просторової будови молекули АМПК, в якій фосфатна та карбонільні групи розташовані таким чином, що є можливість без стеричних перешкод утворювати водневі зв'язки з функціональними групами молекули меламіну.

**Подяки.** Автор висловлює подяку проф. Пілецькому (Лестерський університет, Велика Британія) за можливість використання обладнання для ППР – Віасоре 3000 (Віасоре, Швеція) та консультації під час проведення експерименту і при аналізі результатів.

**Список літератури:**1. *Muzyka, K., Piletsky, S. Rozhitskii, M.* Chap. 5 in Handbook of Molecularly Imprinted Polymers, Eds. C. Alvarez-Lorenzo, A. Concheiro, 2013. - P. 197-228.2. *Поляков, М. В.* Абсорбционные свойства силикагеля и его структура [Text] / *М. В. Поляков* // Журнал физической химии / Академия СССР. – 1931. – Т. 2. – С. 799-805.3. *Whitcombe, M. J.* Molecular imprinting science and technology: A survey of the literature for the years 2004-2011 [Text] / *M. J. Whitcombe, N. Kirsch, I. A. Nicholls* // J. of Mol. Rec. – 2014. – Vol. 27. – P. 297–401.4. *Moreno-Bondi, M. C.* Immuno-like assays and biomimetic microchips [Text] / *M. C. Moreno-Bondi, M. E. Benito-Peña, J. L. Urraca, G. Orellana* // Top Curr Chem. – 2012. – Vol. 325. – P. 111-164.5. *Muzyka, K.* (2014). Current Trends in the Development of the Electrochemiluminescent Immunosensors [Text] / *K. Muzyka* // Biosensors and Bioelectronics, – 2014 – Vol. 54. – P. 393–407. DOI: 10.1016/j.bios.2013.11.011.6. *Atar, N.* A molecular imprinted SPR biosensor for sensitive determination of citrinin in red yeast rice [Text] / *N. Atar, T. Eren, M.L. Yola* // Food Chemistry. – 2015 – Vol. 184. – P. 7-11.7. *Ritchie, R. H.* Plasma Losses by Fast Electrons in Thin Films [Text] / *R. H. Ritchie* // Physical Review. – 1957. – Vol. 106 (5). – P. 874–881. 8. *Музыка, К. М.* Метод теорії функціонала густини у дослідженні псевдо-іммунологічної специфічності штучного рецептора на меламін [Текст] / *К. М. Музыка* // Східно-європейський журнал передових технологій. - 2014. – № 5(6). – С. 22-26.9. *Музыка, Е. Н.* "Теоретическое изучение энергетических характеристик "искусственного рецептора" на меламина в предполимеризационной фазе" [Текст] / *Е. Н. Музыка* // Журнал нано- та електронної фізики. - 2015 – Т. 7. – С. 1-5.10. *Muzyka, K.* Optimisation of the synthesis of vancomycin-selective molecularly imprinted polymer nanoparticles using automatic photoreator [Text] / *K. Muzyka, K. Karim, A. Guerreiro, A. Poma and S. Piletsky* // Nanoscale Research Letters. – 2014 – Vol. 9 (1). – P. 154-161.11. *Grant, S. D.* Rapid selection of anti-hapten antibodies isolated from synthetic and semi-synthetic antibody phage display libraries expressed in Escherichia coli [Text] / *S. D. Grant, A. J. Porter, W. J. Harris* // J. Agric. Food Chem. - 1998. – Vol. 47. – P. 340.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Muzyka, K., Piletsky, S. Rozhitskii M.* (2013). Chap. 5 in Handbook of Molecularly Imprinted Polymers, Eds. C. Alvarez-Lorenzo, A. Concheiro, 197-228.2. *Polyakov, M. V.* (1931). Adsorption properties and structure of silica gel SSSR., 2, 799-805.3. *Whitcombe, M. J.* (2014). Molecular imprinting science and technology: A survey of the literature for the years 2004-2011. J. of Mol. Rec., 27, 297–401.4. *Moreno-Bondi, M. C., Benito-Peña, M. E., Urraca, J. L., Orellana, G.* (2012). Immuno-like assays and biomimetic microchips. Top Curr Chem., 325, 111-164.5. *Muzyka, K.* (2014). Current Trends in the Development of the Electrochemiluminescent Immunosensors. Biosensors and Bioelectronics, 54, 393–407. DOI: 10.1016/j.bios.2013.11.011.6. *Atar, N., Eren, T., Yola, M. L.* (2015). A molecular imprinted SPR biosensor for sensitive determination of citrinin in red yeast rice. Food Chemistry, 184, 7-11.7. *Ritchie, R. H.* (1957). Plasma Losses by Fast Electrons in Thin Films. Physical Review, 106, 874–881. DOI:10.1103/PhysRev.106.874.8. *Muzyka, K.* (2014). The method of density functional theory in the study of pseudo-immunological specificity of the artificial receptor on melamine. Easten-European Journal of Enterprise Technologies, 5/6 (71), 22-26.9. *Muzyka, K.* (2015). Theoretical Study of Energy Characteristics of "Artificial Receptor" on Melamine in Pre-Polymerization Phase. Journal of Nano- and Electronic Physics, 7, 1-5.10. *Muzyka, K., Karim, K., Guerreiro, A., Poma, A., Piletsky S.* (2014). Optimisation of the synthesis of vancomycin-selective molecularly imprinted polymer nanoparticles using automatic photoreator. Nanoscale Research Letters, 9 (1), 154-161.11. *Grant, S. D., Porter, A. J., Harris, W. J.* (1998). Rapid selection of anti-hapten antibodies isolated from synthetic and semi-synthetic antibody phage display libraries expressed in Escherichia coli. J. Agric. Food Chem, 47, 340.

Надійшла (received) 21.04.2015



**В. О. МАЗУР**, канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Маріуполь

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА МІКРОСТРУКТУРИ ШВИДКОРІЗАЛЬНИХ СТАЛЕЙ ПІСЛЯ ПЛАЗМОВОГО ПОВЕРХНЕВОГО АЗОТУВАННЯ

Вивчено вплив технологічних параметрів плазмово-хімічної обробки на структуру та властивості швидкорізальних сталей після плазмового азотування. Досліджено розподіл азоту та фаз, що його містять, у зміцненій зоні в залежності від складу плазмоутворюючого газу та методу поверхневого зміцнення (без оплавлення та з оплавленням поверхневого шару). Досліджено структуру та фазовий склад сталі після плазмо-хімічного зміцнення. Отримані результати забезпечують великий ресурс для підвищення експлуатаційних властивостей швидкорізальних сталей, а через це й працездатності інструменту з цих сталей

**Ключові слова:** плазма, азотування, зміцнення, структура, фазовий склад, нітрид, мікротвердість, розподіл, технологія

**Вступ.** Одним з найбільш перспективних напрямів розвитку зміцнюючих технологій в машинобудуванні є поверхнева модифікація сталей і сплавів високонцентрованими джерелами нагріву (ВКИН) - лазерним променем, електронним променем, плазмовим струменем. Завдяки локальній і надшвидкісній тепловій дії створюються можливості набуття більш високих значень твердості, міцності, в'язкості руйнування порівняно з об'ємною обробкою або традиційними способами поверхневого зміцнення. Це обумовлено передусім утворенням в поверхневому шарі високодисперсної метастабільної структури з набагато більш високою щільністю дислокацій. Із способів зміцнення ВКИН економічнішим, продуктивнішим і доступним є плазмове зміцнення [1].

Регулюючи основні технологічні параметри плазмової обробки (величину струму плазмового струменя  $J$ , швидкість переміщення плазмотрона - швидкість обробки  $V$ ), можна реалізовувати різні методи поверхневої модифікації матеріалів - поверхнєве гартування в твердому стані (обробка без оплавлення), поверхнєве гартування з рідкого стану (обробка з оплавленням).

Перспективним напрямом поверхневої плазмової обробки є її поєднання з фізичними і хімічними процесами, що протікають в поверхневому шарі при дії на нього висококонцентрованих джерел нагріву. Прикладом поєднання подібних процесів може виступати плазмохімічна обробка - плазмове азотування, плазмова нітроцементация.

**Мета роботи.** Метою роботи є дослідження структури та властивостей швидкорізальних сталей після комплексної плазмо-хімічної обробки. Вивчення характеру розподілу структурних складових по глибині азотованого та не азотованого шарів зони плазмового впливу.

**Методика експериментів.** Зразки із сталі Р6М3 (0,80 - 0,88 С; 3,8 - 4,4 Сг; 5,5 - 6,5 W; 1,7 - 2,1 V; 3,0 - 3,5 Мо) після стандартної термообробки (гартування від 1220 °С, трикратний відпуск 560 °С, HRC 63-65; мікротвердість 8,5 - 9 ГПа)

піддавалися поверхневому плазмовому зміцненню з одночасним додаванням до плазмоутворюючого газу (аргон) азоту. Вміст азоту в плазмоутворюючому газі варіювався від 5 до 30 %. Глибина азотування і фазовий склад визначалися по зміні мікротвердості (прилад ПМТ-3, навантаження 50 і 100 г).

Для виконання плазмової обробки застосовувався плазмотрон непрямої дії з секціонованою міжелектродною вставкою, розроблений лабораторією плазмових технологій Приазовського державного технічного університету.

Дослідження мікроструктури швидкорізальних сталей після плазмового азотування проводили за допомогою мікроскопів МІМ 8 та Неофот 21 при збільшенні  $\times 1200$ .

**Обговорення результатів досліджень.** На даний момент плазмова хіміко-термічна обробка, в основному, проводиться в тліючому дуговому розряді. Теоретичні положення процесу азотування сформовані ученими школи Лахтіна Ю.М. і ученими німецької школи [2, 3]. Інший принцип сформульований Б.Н. Арзамасовим із співробітниками [4]. Обидві моделі засновані на русі позитивних іонів від анода до катода.

Поєднання плазмової зміцнюючої обробки з азотуванням, на відміну від вище описаного процесу, на даний момент вивчене слабо. Проте цей напрям є перспективним, оскільки дозволяє реалізувати деякі особливості процесу насичення поверхневого шару сталей азотом :

1. Підвищення легованості твердого розчину (розчинення карбідної фази при плазмовому модифікуванні) сприяє збільшенню розчинності азоту в  $\alpha$ -фазі, що сприяє підвищенню твердості. Підвищення розчинності азоту в  $\alpha$ -фазі гальмує утворення на поверхні шару крихких високоазотистих фаз, тим самим сприяє підвищенню міцності [5 – 8].

2. Термоцикування інтенсифікує процес розчинення карбідів і забезпечує високу концентрацію легуючих елементів в перенасиченому  $\alpha$ -твердому розчині термообробленої сталі. Термоцикування збільшує кількість дефектів кристалічної решітки, що полегшує дифузію, активізує процес азотування і забезпечує збільшення товщини дифузійного шару. Нагрів до температури відпуску і тривала витримка в процесі азотування дозволяють створити необхідні фізико-механічні властивості основного металу зміцнюваного виробу.

3. Плазмова обробка високолегованих інструментальних сталей з високим вмістом W, V, Co, V створює передумови для отримання поверхневих шарів з високим рівнем твердості (до 12,5 ГПа).

Важливою умовою якісного азотування є правильне проведення початкової термічної обробки інструменту, належного очищення його поверхні, відсутність знеуглецювання. Швидкорізальні сталі з великим змістом W схильні до विकарбування після азотування.

Як встановлено раніше [10, 11], для високолегованих швидкорізальних сталей максимальний ефект зміцнення може бути досягнутий тільки при комплексній обробці, що включає об'ємне гартування, поверхневу модифікацію і фінішний об'ємний відпуск. У цьому випадку відбувається значне підвищення і твердості і теплостійкості.

При надшвидкісному плазмовому нагріванні ( $10^5$  °C/c) розпад мартенситу попередньо загартованої сталі по флюктуаційному механізму з утворенням феритно-

карбідної суміші не відбувається і  $\alpha \rightarrow \gamma$  перетворення має характер зворотного мартенситного переходу по механізму зрушення. Аустеніт, що утворився при зворотному мартенситному перетворенні успадковує від вихідного мартенситу дефектну структуру, що при подальшому швидкісному гартуванні призводить до підвищення щільності дислокацій [11].

Аналіз мікроструктури показав, що на поверхні зони плазмового азотування при обробці без оплавлення формується структура мартенситу з вмістом залишкового аустеніту. Вміст залишкового аустеніту значно більше, ніж при звичайній плазмовій обробці, через вплив азоту – сильного аустенізатору (рис. 1, а). Нижче знаходиться перехідна зона плазмового гартування з твердого стану та зони де відбувається вплив азоту. Структура складається з мартенситу, залишкового аустеніту та карбідів (рис. 1, б). При обробці з оплавленням на поверхні формується шар, що складається з суміші нітридів вольфраму, молібдену та заліза, та розчину азоту в  $\gamma$ -залізі (рис. 1, в).

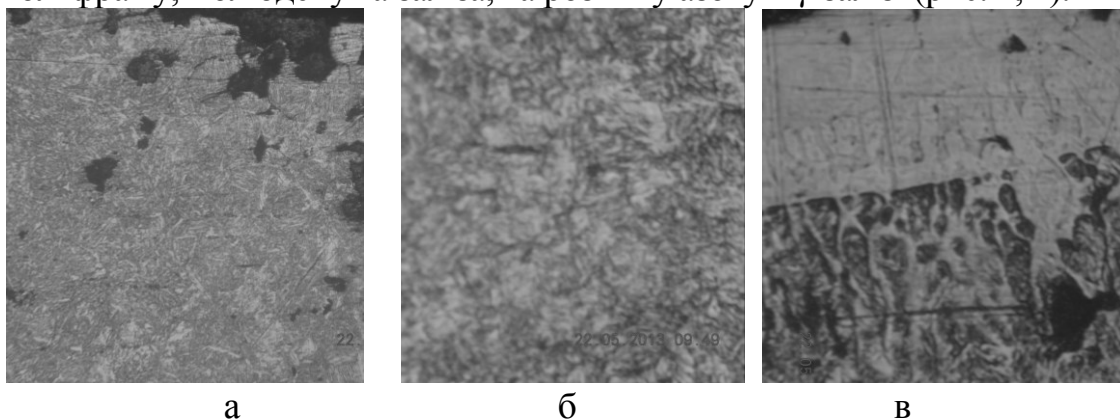


Рис. 1 – Мікроструктура сталі Р6М3 після плазмового азотування: а – обробка без оплавлення; б – перехідна зона між шаром плазмового азотування та плазмового зміцнення в твердому стані; в – зона плазмового азотування з оплавленням поверхні, х 1200

Наступний високий відпуск (550-560 °С/с) призводить до часткового розпаду залишкового аустеніту зони плазмового азотування в твердому стані (рис. 2, а). Нижче розташована зона з меншим впливом азоту на структуру (рис. 2, б). Відпуск опалвленої зони призводить до руйнування шару нітридів легуючих елементів та пересиченого азотом аустеніту. Нітриди та карбонітриди зберігаються частково (рис. 2, в).

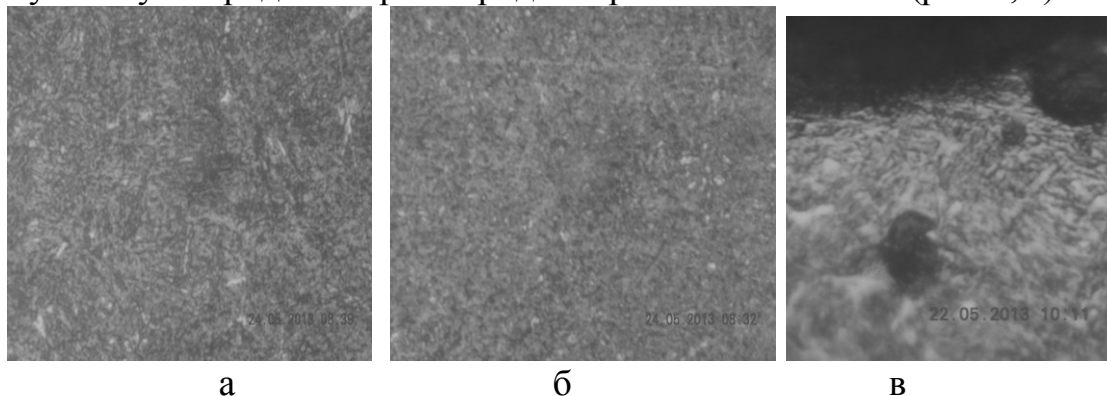


Рис. 2 – Мікроструктура сталі Р6М3 після плазмового азотування та високого відпуску: а – обробка без оплавлення; б – перехідна зона між шаром плазмового азотування та плазмового зміцнення в твердому стані; в – зона плазмового азотування з оплавленням поверхні, х 1200

Характер розподілу мікротвердостей по глибині і ширині зміцненого шару залежно від вмісту азоту в плазмоутворюючому газі показаний на рис. 3 і рис. 4.

Видно, що мікротвердість верхніх шарів, отриманих при температурах близьких до температури плавлення, менше, ніж азотованих при нижчих температурах, за рахунок розпаду  $\epsilon$ -фази, що має більш високу твердість, ніж твердий розчин азоту в залізі. Нитридні фази на поверхні не створюються в помітних кількостях, і збільшення мікротвердості обумовлене головним чином утворенням твердого розчину азоту в залізі.

Характер розподілу мікротвердості по глибині обробки кардинально міняється при переході від обробки без оплавлення до плазмового мікрооплавлення. Завдяки частковому перемішуванню розплавленого шару конвективними потоками від дії плазмового струменя розподіл мікротвердості вирівнюється рис. 5.

Поступово шар плазмового азотування переходить до зони плазмового зміцнення (модифікації) яке відбувається в твердій фазі. Формується мартенсито-аустенітокарбідна структура з вмістом залишкового аустеніту до 30%. При подальшому відпуску основними процесами, що протікають в модифікованому металі, є розпад залишкового аустеніту (збільшується вміст мартенситної фази) і дисперсійне твердіння металу зміцненої зони (збільшується вміст карбідної фази). В умовах концентраційної неоднорідності і пересичення твердого розчину в процесі відпуску виділяються високодисперсні карбідні частинки, рівномірнорозподілені в мартенситній матриці (рис. 6) [12]. Важливу роль при дисперсійному твердінні металу зміцненої зони грає і висока щільність дефектів кристалічної будови. У той же час збереження періоду кристалічної решітки при відпустці після плазмової обробки свідчить про більш високої стійкості до розпаду мартенситу плазмового гартування.

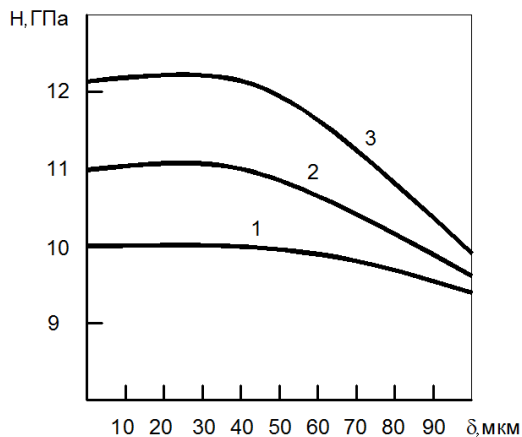


Рис. 3 – Характер розподілу мікротвердості по глибині зміцненого шару залежно від вмісту азоту в плазмоутворюючому газі: 1 – 5 % N<sub>2</sub>; 2 – 15 % N<sub>2</sub>; 3 – 30 % N<sub>2</sub>.

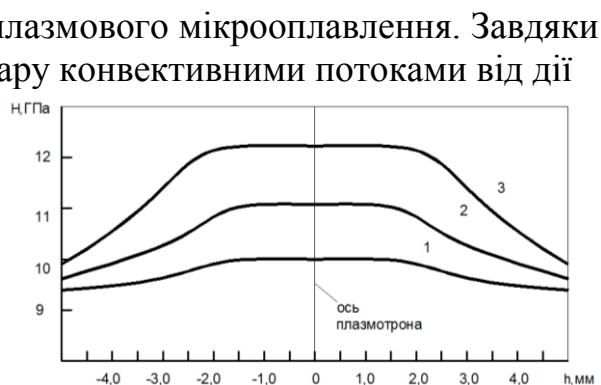


Рис. 4 – Характер розподілу мікротвердості по ширині зміцненої зони залежно від вмісту азоту в плазмоутворюючому газі: 1 – 5 % N<sub>2</sub>; 2 – 15 % N<sub>2</sub>; 3 – 30 % N<sub>2</sub>.

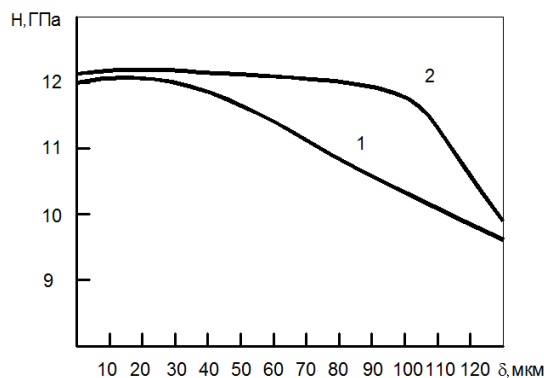


Рис. 5 – Характер розподілу мікротвердості по глибині зміцненого шару залежно від режиму обробки: 1 - плазмова обробка без оплавлення; 2 - плазмова обробка з мікрооплавленням

При відпуску дія твердорозчинного і субструктурного механізмів зміцнення послаблюється - зменшується період кристалічної решітки мартенситу і збільшується розмір блоків. У цьому випадку підвищення експлуатаційних властивостей пов'язано з додатковою дією дисперсійного і дислокаційного механізмів.



Рис. 6 – Мікроструктура сталі Р6М5 після плазмової модифікації без оплавлення з подальшим відпуском

## Висновки

1. Плазмова обробка з одночасним азотуванням поверхні є перспективним напрямом підвищення працездатності різального інструменту. Завдяки високому ступеню насичення твердого розчину вуглецем і легуючими елементами, а також із-за високої щільності дислокацій, що виникає при плазмовій модифікації підвищується швидкість дифузії азоту в сталі.

2. Широкі технологічні можливості плазмової обробки дозволяють отримувати насичені азотом шари глибиною сумірною із стандартною технологією газового і рідинного азотування.

3. При плазмохімічній обробці формується багатшарова композиція, що складається з азотованого шару, та зоні плазмової поверхневої модифікації, загальною глибиною до 4,5 – 5 мм. Це забезпечує великий ресурс для підвищення експлуатаційних властивостей швидкорізальних сталей, а через це й працездатності інструменту з цих сталей.

**Список літератури:** 1. *Самотугин, С. С.* Плазменное упрочнение инструментальных материалов [Текст] / *С. С. Самотугин, Л. К. Лецинский* // Донецк: Новый мир, 2002. – 338 с. 2. *Лахтин, Ю. М.* Теория и технология азотирования: Монография [Текст] / *Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган, Г. Шпис, З. Бемер* // М.: “Металлургия”, 1991.– 320 с. 3. *Edenhofer, B.* Physikalische und metallkundliche Vorgänge beim Nitrieren in Plasma einer Glimmentladung [Text] / *B. Edenhofer* // *Harterei-Technische Mitteilungen*. – 1974. – Vol. Bd. 29, № 2. – P. 105-112. 4. *Арзамасов, Б. Н.* Ионная химико-термическая обработка сплавов: Монография [Текст] / *Б. Н. Арзамасов, А. Г. Братухин, Ю. С. Елисеев, Т. А. Панайоти* // М.: Изд. МГТУ им Баумана, 1999. – 400 с. 5. *Крейндель, Ю. Е.* Об азотировании анода в тлеющем разряде [Текст] / *Ю. Е. Крейндель, Л. П. Пономарёва, В. П. Пономарёв, А. И. Слосман* // *Электронная обработка материалов*. – 1983. – № 4 (118). – С. 32-34. 6. *Tibbets, G. G.* Role of nitrogen atoms in “ion-nitriding” [Text] / *G. G. Tibbets* // *Journal of Applied Physics*. – 1974. – Vol. 45, No. 11. – P. 5072-5073. 7. *Саблев, Л. П.* Двухступенчатый вакуумно-дуговой разряд: характеристики и методы создания [Текст] / *Л. П. Саблев, Н. С. Ломино, Р. И. Ступак, А. А. Андреев, А. М. Чикрыжов* // 6-я Межд. конф. “Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов”, Харьков. – 2005. – Ч. 2. – С.159–169. 8. *Коган, В. С.* Влияние вакуумных условий на формирование структуры конденсатов. Взаимодействие активных газов с металлическими плёнками [Текст] / *В. С. Коган, А. А. Сокол, В. М. Шулаев* // М.: ЦНИИатоминформ, 1987. 9. *Лахтин, Ю. М.* Азотирование стали [Текст] / *Ю. М. Лахтин, Я. Д. Коган* // «Машиностроение», 1976. 256 с. с ил. 10. *Самотугин, С. С.* Поверхностное упрочнение инструментальных сталей и сплавов при нагреве высококонцентрированной плазменной струей [Текст] / *С. С. Самотугин, О. Ю. Нестеров, В. А. Мазур, Д. А. Черевко, О. М. Шеремета* // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2005. – №3. – С. 23 – 28. 11. *Самотугин, С. С.* Плазменная обработка инструментальных материалов / *С. С. Самотугин* // Автоматическая сварка. – 1996. – №8. – с.3-8. 12. *Самотугин, С. С.* Плазменное микро- и наноструктурирование поверхности инструментальных сталей [Текст] / *С. С. Самотугин, В. А. Мазур* // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. - № 4. – С.29 – 37.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Samotugin, S. S.* (2002). Plasma hardening of tool materials. Donetsk, New World, 338. 2. *Lahtin, Y. M., Kogan, J. D., Spiess, G., Boehmer, H.* (1991). Theory and technology of nitriding: Monograph. "Metallurgy", 320. 3. *Edenhofer, B.* (1974). Physikalische und metallkundliche Vorgänge beim Nitrieren in Plasma einer Glimmentladung. Harterei-Technische Mitteilungen, Vol. Bd. 29, № 2, 105-112. 4. *Arzamasov, B. N., Bratukhin, A. G., Yeliseyev, Y. S., Panayotov, T. A.* (1999). Ionic chemical heat treatment of alloys: Monograph. Bauman MSTU, 400. 5. *Kreindel, Y. E., Ponomarev, L. P., Ponomarev, V. P., Slosman, A. I.* (1983). About nitriding anode glow discharge. Electronic data processing materials, № 4 (118), 32-34. 6. *Tibbets, G. G.* (1974). Role of nitrogen atoms in "ion-nitriding". Journal of Applied Physics, Vol. 45, № 11, 5072-5073. 7. *Sablev, L. P., Lomin, N. S., Stupak, R. I., Andreev, A. A., Chikryzhov, A. M.* (2005). The two-stage vacuum-arc: Characteristics and methods of creation 6th Int. Conf. "Equipment and technology of thermal processing of metals and alloys", Kharkov, Part 2, 159-169. 8. *Kogan, V. S., Sokol, A., Shulaev, V. M.* (1987). Effect of vacuum conditions on the structure of the condensates. The interaction of active gases with metal films: Review, CNIAtominform. 9. *Lahtin, Y. M., Kogan, J. D.* (1976) Nitriding steel, "Engineering", 256. 10. *Samotugin, S. S., Nesterov, O. Y., Mazur, V. A., Cherevko, D. A., Sheremeta, O. M.* (2005). Surface hardening of tool steels and alloys by heating the plasma jet of high concentration. Strengthening technology and coatings, 3, 23 - 28. 11. *Samotugin, S. S.* (1996) The plasma processing tool materials. Automatic welding, 8, 3-8. 12. *Samotugin, S. S., Mazur, V. A.* (2013). Plasma micro and nanostructuring of surfaces of tool steels. Strengthening technology and coatings, 4, 29 - 37.

*Надійшла (received) 27.04.2015*

**УДК 691.32**

**А. А. ПЛУГІН**, д-р техн. наук, проф., зав. каф., УкрДУЗТ, Харків;

**О. В. РОМАНЕНКО**, канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ, Харків;

**О. А. КАЛІНІН**, канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ, Харків;

**О. А. ПЛУГІН**, канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ, Харків;

**О. В. АФАНАСЬЄВ**, канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ, Харків

## **ВПЛИВ ДОБАВОК СУПЕРПЛАСТИФІКАТОРІВ І ПРИСКОРЮВАЧІВ ТВЕРДІННЯ НА КІНЕТИКУ НАБОРУ МІЦНОСТІ ЦЕМЕНТНИМ КАМЕНЕМ**

В результаті експериментальних досліджень встановлено кінетику набору міцності цементного каменю з добавками суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння за різних температур. Виконано аналіз впливу добавок суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння на кінетику набору міцності цементним каменем. Обрано комплекс добавок, який забезпечує найбільший приріст міцності в рані строки твердіння, що дає змогу використовувати його для виробництва залізобетонних шпал та отримати найбільшу економію енергоресурсів через скорочення режиму тепловологісної обробки.

**Ключові слова:** залізобетонна шпала, бетон, цементний камінь, добавки, суперпластифікатор, прискорювач твердіння, температура твердіння

**Вступ.** Виробництво залізобетонних шпал надто енергоємне, тому розробка складів бетону з добавками, які дозволяють мінімізувати тепловологісну обробку (ТВО) залізобетонних виробів або навіть відмовитись від неї, залишається надто актуальною.

Мета роботи – встановити вплив добавок і температури твердіння на кінетику набору міцності цементним каменем, обрати комплекси добавок для подальших досліджень, спрямованих на розробку складу бетону залізобетонних шпал,

який за мінімальною температурою твердіння забезпечить за 8–10 годин досягнення бетоном передаточної міцності 32 МПа.

Аналіз попередніх досліджень та публікацій [1–13] показує, що забезпечити високу ранню міцність бетону, тобто прискорити тверднення, крім ТВО, можливо трьома способами: 1) застосуванням швидкотверднучого цементу або домелом звичайного цементу; 2) підвищенням кінцевої міцності; 3) введенням добавок – прискорювачів тверднення.

Перший спосіб на заводах залізобетонних шпал (ЗЗБШ) вже частково реалізований шляхом застосування портландцементу ПЦ І-500Н конкретного виробника, який забезпечує максимальну активність після пропарювання і на 2 добу природного тверднення. Забезпечити домел на ЗЗБШ технологічно забезпечити складно й витратно, а його вплив на властивості бетону і шпал, зокрема, тріщиностійкість, вимагає окремого дослідження.

Другий спосіб може бути забезпечений: зниженням водоцементного відношення В/Ц за рахунок зниження витрати води та застосування інтенсивних способів ущільнення, що і так реалізовано у виробництві шпал; зниженням В/Ц за рахунок збільшення витрати цементу, що ще більше підвищить собівартість шпал і може обумовити зниження їх тріщиностійкості; зниженням В/Ц за рахунок зниження витрати води і введення добавок-суперпластифікаторів [7–11]; застосуванням мінеральних мікродобавок [10–12], наприклад мікрокремнезему, у т.ч. крупністю 50–100 нм (нанокремнезему), метакаоліну, кальциту; застосуванням оптимального складу бетону, який крім призначення оптимального низького В/Ц передбачає забезпечення оптимальних коефіцієнтів розсунення зерен крупного заповнювача  $\alpha_{\text{опт}}$  і дрібного заповнювача  $\mu_{\text{опт}}$ , що обумовлюють при помірному підвищенні міцності бетону на стиск істотне підвищення його міцності на розтяг, тріщиностійкості, водонепроникності [13].

Третій спосіб може бути забезпечений використанням високоефективних хімічних добавок, що прискорюють тверднення [1; 11; 14; 15].

Гіпотези дослідження: ранню міцність цементного каменю дозволить підвищити застосування комплексної добавки суперпластифікатора і прискорювачів твердіння. Прискорювачі твердіння – електроліти забезпечать високу ранню міцність цементного каменю за одним із механізмів, розкритих В.Б. Ратіновим [9]. Добавка суперпластифікатор скомпенсує втрату рухливості цементного тіста й бетону від впливу електролітів і навіть дозволить додатково підвищити міцність, у т.ч. ранню, за рахунок зниження В/Ц.

**Результати досліджень та їх аналіз.** Досліджені добавки і цемент наведені у табл. 1, а результати досліджень – у табл. 1 і на рис. 1–8.

Аналіз табл. 1 і рис. 1–5 показав, що не виявили ефекту прискорення в ранні терміни твердіння – 6–8 годин такі добавки:

- окремо застосовані без прискорювачів твердіння добавки суперпластифікатори нафталінформальдегідного і полікарбоксилатного типів;

- застосовані разом із суперпластифікаторами прискорювачі твердіння: нітрат кальцію НК, сульфат натрію СН, у т.ч. у сполученні з НК, хлоридом кальцію ХК, хлорид натрію, сечовина М.





Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,28	-	-	-	-		б/д (21)	8,3	24,2	40,5	107,3		0	0	0	0	0	контр.
	НФ	0,35	НК+НН	1+1		НФ (21)	9,8	23,3	101,6	336,1		17,5	-3,4	150,6	213,3		
0,23			М	1	21	НФ+НК+НН (21)	14,3	41,9	105,2	181,9		71,3	73,3	159,6	69,6		
	ПК	0,4	-	-		НФ+М (21)	4,2	11,9	62,1	286,5		-50,0	-50,9	53,2	167,0		
			ПК+НН	1+1		ПК (21)	6,3	8,8	58,3	153,1		-25,0	-63,8	44,0	42,7		
			М	1		ПК+НК+НН (21)	16,7	39,8	118,8	197,2		100,0	64,7	193,1	83,8		
0,28	-	0	-	0		ПК+М (21)	4,2	6,1	19,0	204,2		-50,0	-74,7	-53,2	90,3		
						б/д (23)	11,1	22,6	48,6	180,7		0	0	0	0		контр.
				0		НФ (23)	12,9	28,3	72,2	156,3		15,9	25,3	48,6	-13,5		
			НК+НН	1+1		НФ+НК+НН (23)	17,6	41,0	63,0	138,9		58,3	81,3	29,6	-23,2		
НФ	0,35		ХК	1		НФ+ХК (23)	42,6	107,8	122,9	154,2		282,6	377,0	152,9	-14,7		
			НК+ХК	1+1		НФ+НК+ХК (23)	117,7	141,7	154,2	168,8		956,1	526,7	217,1	-6,6		
0,23	ПК	1	НК+НН+ХК	1+1+1	23	НФ+НК+НН+ХК (23)	99,5	124,9	167,2	178,3		792,5	452,8	243,9	-1,3		
						ПК+НН+НН+ХК (23)	100,0	115,3	170,8	213,9		797,2	410,0	251,4	18,3		
				0		ПК (23)	5,2	43,1	100,0	166,7		-53,3	90,5	105,7	-7,8		контр.
	ПК	0,4	НК+НН	1+1		ПК+НК+НН (23)	34,2	72,2	130,2	262,5		206,5	219,5	167,9	45,2		
			НК+НН+ХК	1+1+1		ПК+НК+НН+ХК (23)	97,9	170,8	231,3	187,5		778,5	655,8	375,7	3,7		
	НФ	0,35	М	1		НФ+М (24)	4,2	6,3	5,8	168,1	144,8	66,7	50,0	40,0	44,9	-21,0	2
0,23	ПК	0,4	НК+НН+М	1+1+1	24	НФ+НН+НК+М (24)	4,2	5,0	5,0	123,6	131,3	66,7	20,0	20,0	6,6	-28,4	2
				0		ПК (24)	2,5	4,2	4,2	116,0	183,3	0	0	0	0	0	2 ; контр.
			М	1		ПК+М (24)	2,5	4,2	5,8	190,6	246,9	0,0	0,0	40,0	64,4	34,7	2
			НК+НН+М	1+1+1		ПК+НН+НК+М (24)	4,2	4,2	4,2	84,7	134,7	66,7	0,0	0,0	-26,9	-26,5	2

Ц – портландцемент ПЦ І-500Н виробництва ПАТ Євроцемент-Україна (балаклійський);

СП – добавка сулфурпластифікатор: НФ – нафталінформальдегідного типу С-3 (Полипласт СП-1) у вигляді порошку;

НФ<sup>1</sup> – нафталінформальдегідного типу Mugarlast FK48 у вигляді 41% водного розчину

ПК – полікарбонатного типу MS-Powerflow 3100;

ПТ – прискорювач твердіння: СН – сульфат натрію; ХН – нітрит натрію; ХК – хлорид натрію; НК – хлорид кальцію; НК – нітрат кальцію;

М – сечовина (карбамід)

<sup>2</sup> Цемент лежалий 3 місяці (зберігався герметично, без «грудок»), випробувано замість 24 годин і 28и діб на 3 і 10 добу, відповідно

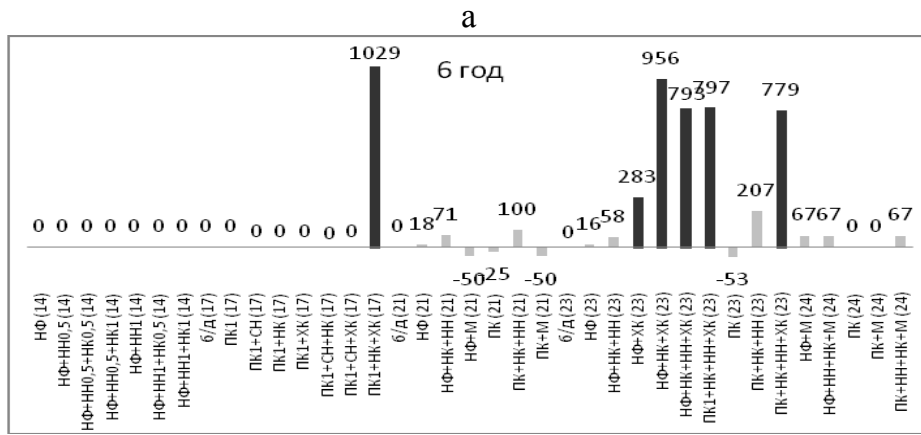
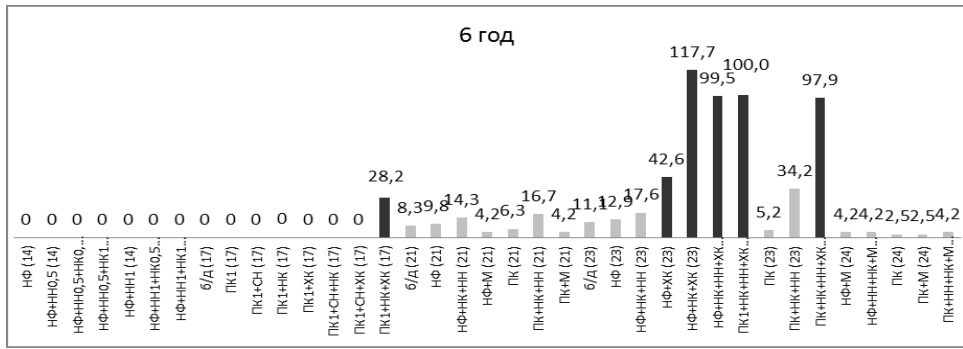


Рис. 1 – Міцність на стиск цементного каменю  $R$ , кгс/см<sup>2</sup> (а) і зміна міцності відносно контролю (каменю без добавок або тільки з суперпластифікатором), % (б) після 6 годин природного твердіння. Більш темним кольором виділені добавки, що містять хлорид кальцію

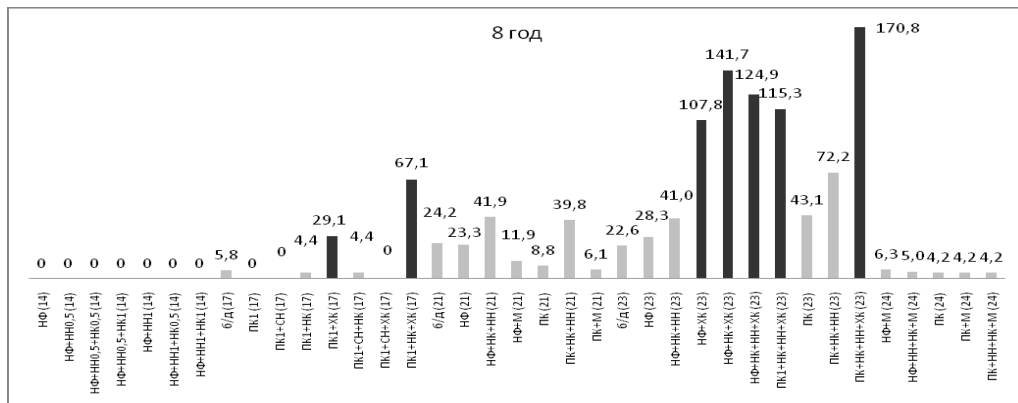


Рис. 2 – Міцність на стиск цементного каменю  $R$ , кгс/см<sup>2</sup> і зміна міцності відносно контролю (каменю без добавок або тільки з суперпластифікатором)

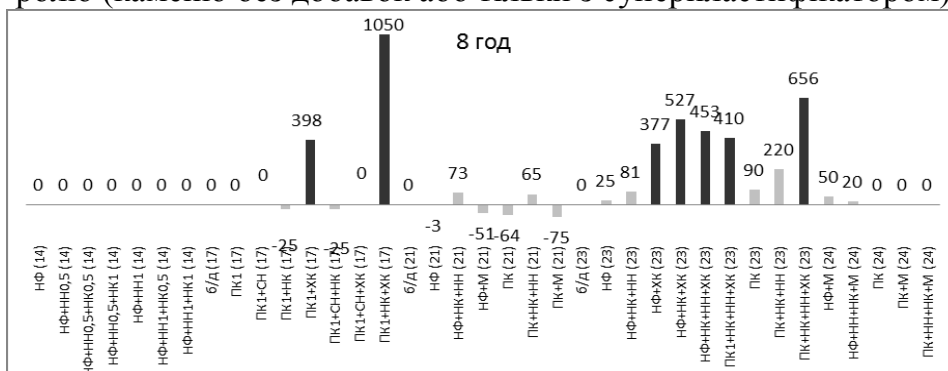
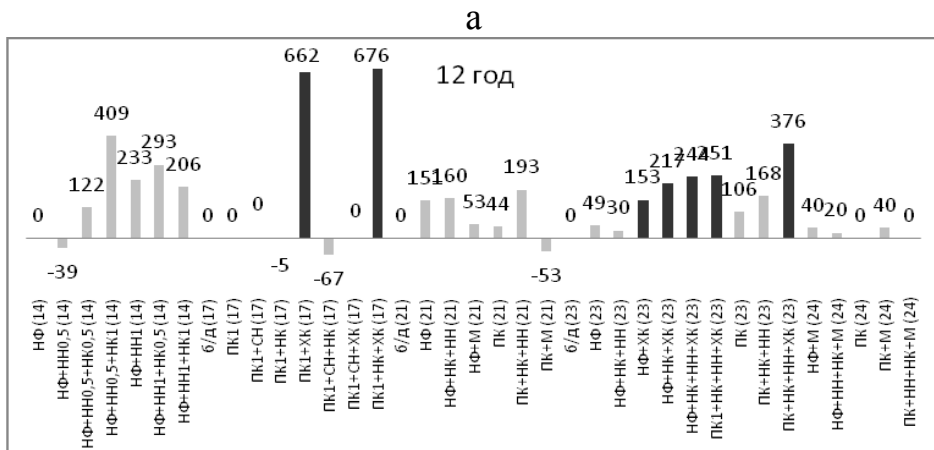
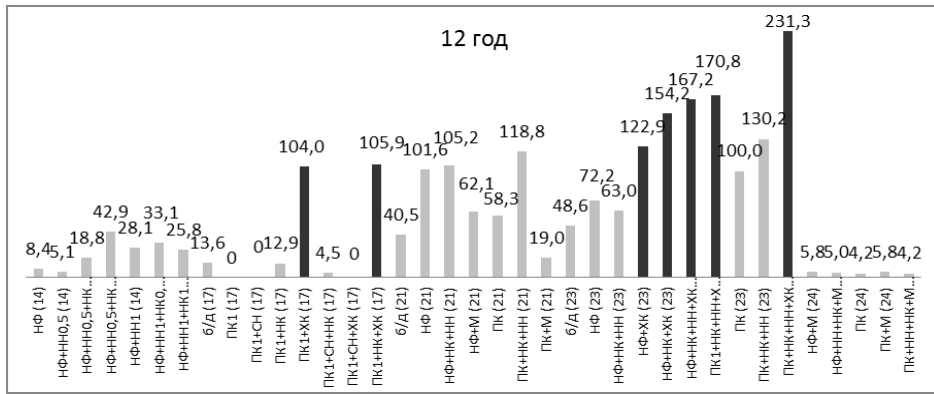


Рис. 3 - Міцність на стиск цементного каменю  $R$ , кгс/см<sup>2</sup> (після 8 годин природного твердіння). Більш темним кольором виділені добавки, що містять хлорид кальцію



б

Рис. 4 – Міцність на стиск цементного каменю і зміна міцності відносно контролю: *a* – міцність на стиск цементного каменю  $R$ , кгс/см<sup>2</sup>, *б* – зміна міцності відносно контролю (каменю без добавок або тільки з суперпластифікатором), % після 12 годин природного твердіння. Більш темним кольором виділені добавки, що містять хлорид кальцію

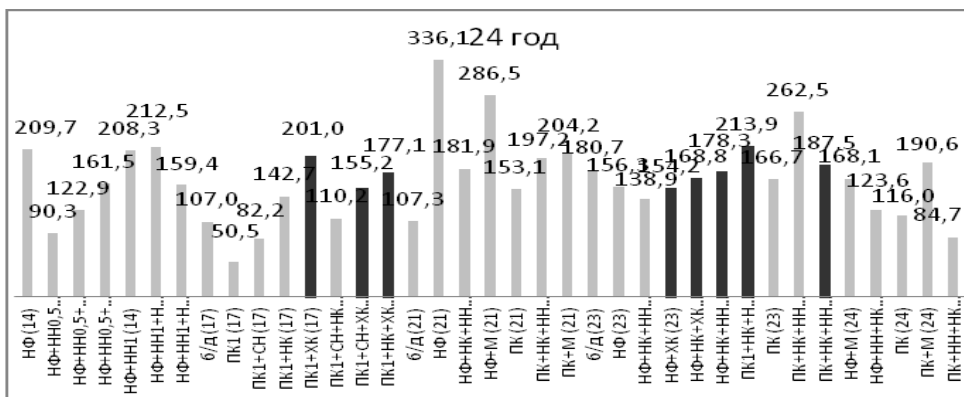
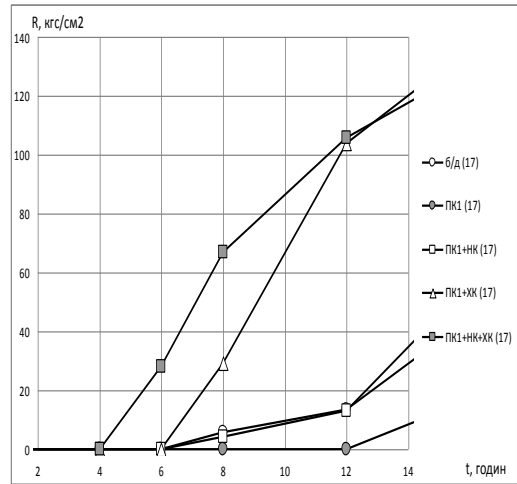
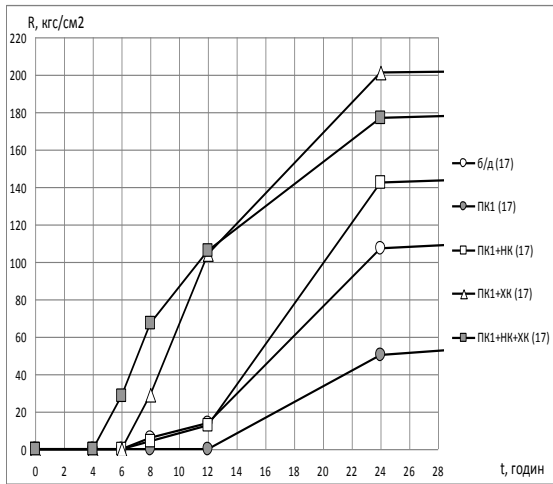


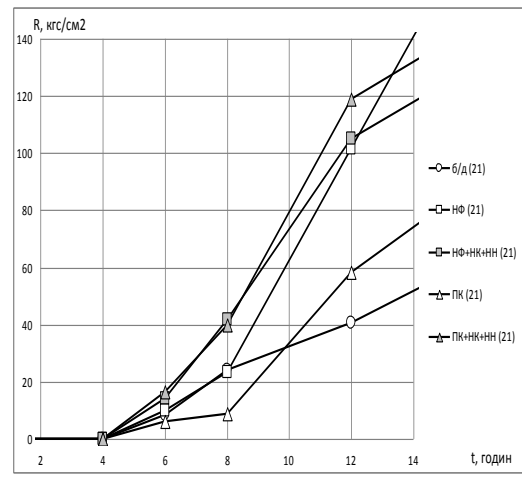
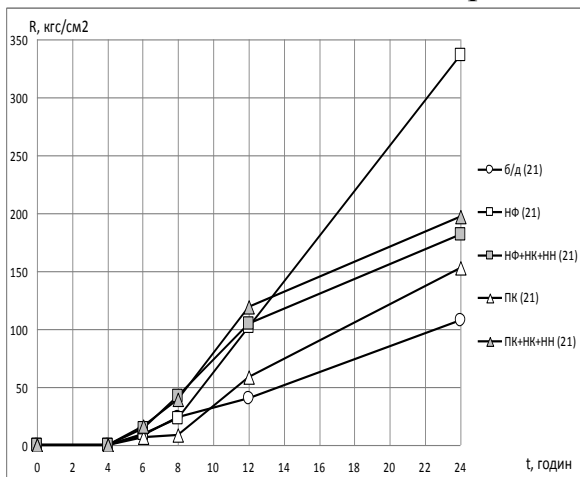
Рис. 5 – Міцність на стиск цементного каменю і зміна міцності відносно контролю: *a* – міцність на стиск цементного каменю  $R$ , кгс/см<sup>2</sup>, *б* – зміна міцності відносно контролю (каменю без добавок або тільки з суперпластифікатором), % після 24 годин природного твердіння. Більш темним кольором виділені добавки, що містять хлорид кальцію



а

б

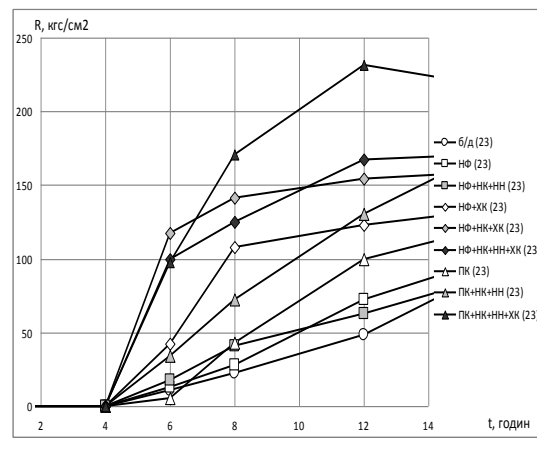
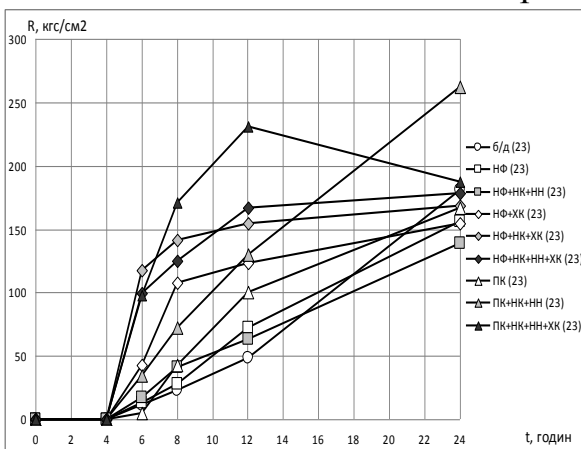
Рис. 6 – Кінетика набору міцності цементним каменем з добавками за температури 17°C за різні інтервали часу: а – в інтервалі часу 0–28 год, б – в інтервалі часу 2–14 год



а

б

Рис. 7 – Кінетика набору міцності цементним каменем з добавками за температури 21°C за різні інтервали часу: а – в інтервалі часу 0–24 год, б – в інтервалі часу 2–14 год



а

б

Рис. 8 – Кінетика набору міцності цементним каменем з добавками за температури 23°C за різні інтервали часу: а – в інтервалі часу 0–24 год, б – в інтервалі часу 2–14 год

Максимальний ефект прискорення в ранні терміни твердіння – 6–8 годин (до 10 разів) виявили добавки, що містять суперпластифікатор нафталінформальдегідного або полікарбоксилатного типу і хлорид кальцію, особливо спільно з нітратом кальцію та нітритом натрію.

Менший, але помітний ефект прискорення в ранні терміни твердіння – 6–8 годин (понад 2 рази) виявили комплексні добавки, що містять суперпластифікатор нафталінформальдегідного або полікарбоксилатного типу і нітрат кальцію та нітрит натрію.

Ефект прискорення у ранні терміни твердіння – 6–8 годин зі зниженням температури, особливо нижче 20°C, зменшується. За температури 14°C ефект прискорення практично не відзначається для всіх досліджених добавок. За температури 17°C ефект прискорення відзначається лише для комплексних добавок, що містять хлорид кальцію. За температури 21–23°C ефект прискорення відзначається для комплексних добавок, що містять хлорид кальцію, а також нітрат кальцію та/або нітрит натрію без хлориду кальцію.

Ефект прискорення у термін твердіння 12 год відзначається для всіх добавок, що містять хлорид кальцію, нітрат кальцію і нітрит натрію. Ефект прискорення у 24 год може відзначатись або не відзначатись, що свідчить про вирівнювання міцності цементного каменю без добавок і з добавками в терміни твердіння 1 доба та/або більше. Отже, застосування добавок є доцільним для отримання передаточної міцності через 6–12 годин твердіння.

Найбільший ефект прискорення має хлорид кальцію, проте через можливий корозійний вплив на арматуру чинні норми забороняють застосовувати його для таких конструкцій, як залізобетонні шпали. У [15] доведено, що хлористий кальцій у помірній кількості (не більше 1 % від маси цементу) повністю зв'язується у продуктах гідратації і в щільних бетонах високих класів за міцністю не спричиняє корозійного впливу на арматуру і зниження питомого електричного опору бетону. У разі заміни для особливо щільних бетонів повної заборони обмеженням кількості хлориду кальцію з контролем його впливу на питомий електричний опір бетону цю добавку доцільно застосувати для отримання безпропарювальних режимів твердіння шпал.

Нітрит кальцію є більш прийнятним, ніж нітрит натрію через корозійний вплив солей натрію на бетони з реакційно здатними заповнювачами. Проте на час проведення досліджень нітрит кальцію був відсутній на ринку України. У разі отримання економічно доцільних складів бетону з добавкою нітриту натрію його бажано замінювати нітритом кальцію імпортного виробництва.

**Висновки.** В результаті експериментальних досліджень встановлено кінетику набору міцності цементного каменю з добавками суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння за різних температур.

Для подальших досліджень і розробки складів бетону для безпропарювальних і малопрогрівних режимів твердіння шпал обрано комплексні добавки у складі суперпластифікаторів нафталінформальдегідного та полікарбоксилатного типу і прискорювачів твердіння нітрату кальцію і нітриту кальцію (натрію).

**Список літератури:** 1. Проведення досліджень з використання хімічних добавок для зниження енергоємності виробництва залізобетонних шпал і розробка ДСТУ на шпали залізобетонні попередньо напружені для залізниць колії 1520 і 1435 мм. Звіт з НДР [Текст] / УкрДАЗТ; наук. керівник

*А. А. Плугін*; виконавці: *А. М. Плугін, О. А. Калінін, О. В. Романенко* [та ін.] – Харків, 2014. – ДР № 0114U006551. – Етап 1. – 34 с.; Етап 2. – 259 с. **2.** ДБН А.3.1-7-96 Виробництво бетонних та залізобетонних виробів [Текст] / Затв. Держкоммістобудування України 24.12.1996. – Київ: Укрархбудінформ, 1997. – 40 с. **3.** Виробництво бетонних та залізобетонних виробів: Посібник до ДБН А.3.1-7-96 [Текст] / Затв. Наук. радою НДІБВ 15.12.1995. – Київ: Укрархбудінформ, 1998. – 94 с. **4.** *Миронов, С. А.* Ускорение твердения бетона [Текст] / *С. А. Миронов, Л. А. Малинина.* – Москва: Стройиздат, 1964. – 347 с. **5.** *Баженов, Ю. М.* Технология бетона [Текст]: Учебное пособие / *Ю. М. Баженов.* – Москва: Высшая школа, 1987. – 415 с. **6.** *Волянський, О. А.* Технологія бетонних і залізобетонних конструкцій. Т.1. Технологія бетону [Текст]: Навчальний посібник / *О. А. Волянський.* – Київ: Вища школа, 1994. – 271 с. **7.** *Баженов, Ю.М.* Пути развития технологии бетона [Текст] / *Ю. М. Баженов* // Сборник научных трудов института строительства и архитектуры. – Москва: МГСУ, 2009. – С.13–17. **8.** *Рамачандран, В. С.* Добавки в бетон [Текст] / *В. С. Рамачандран, Р. Ф. Фельдман, М. Коллепарди* [и др.]. – Москва: Стройиздат, 1988. – 576 с. **9.** *Рашинов, В. Б.* Добавки в бетон [Текст] / *В. Б. Рашинов, Т. И. Розенберг.* – Москва: Стройиздат, 1989. – 188 с. **10.** *Батраков, В. Г.* Модифицированные бетоны. Теория и практика [Текст] / *В. Г. Батраков.* – Москва: Стройиздат, 1998. – 768 с. **11.** *Ушерова-Маршак, А. В.* Химические и минеральные добавки в бетон [Текст] / Под ред. *А. В. Ушерова-Маршак.* – Харьков: Колорит, 2005. – 280 с. **12.** *Дворкін, Л. Й.* Метакеолин в будівельних розчинах і бетонах [Текст] / *Л. Й. Дворкін, Н. В. Лушнікова, Р. Ф. Рунова, В. В. Троян.* – Київ: КНУБА, 2007. – 216 с. **13.** *Плугін, А. Н.* Основы теории твердения, прочности, разрушения и долговечности портландцемента, бетона и конструкций из них: Монография в 3-х тт. [Текст] / *А. Н. Плугін, А. А. Плугін, О. А. Калинин* [и др.]; под ред. *А. Н. Плуцина.* – Киев: Наукова думка. – Т.1. – 2011. – 331 с.; Т.2. – 2012. – 224 с.; Т.3. – 2012. – 288 с. **14.** *Шумик, Д. В.* Суперпластифицированная цементно-водная композиция для ремонта горных тоннелей [Текст]: Дисс... к.т.н.: 05.23.05 / *Д. В. Шумик.* – Харьков: ХарГАЖТ, 2001. – 231 с. **15.** *Романенко, А. В.* Особобыстротвердеющий безпропарочный бетон для изготовления шпал без тепловлажностной обработки [Текст]: Дисс... к.т.н.: 05.23.05 / *О. В. Романенко.* – Харьков: УкрГАЖТ, 2012. – 241 с.

**Bibliography (transliterated):** **1.** *Plugin, A. A., Plugin, A. N., Kalinin, O. A., Romanenko, O. V., et al* (2014). Research of the use of chemical additives for reduce the energy intensity of production of concrete sleepers and the development standart of rainforced concrete sleepers for railway track 1520 and 1435 mm: Report of research work. State reestratoon No 0114U006551. Kharkov, UkrSART. Stage 1, 34 pp. Stage 2, 259. **2.** SBN A.3.1-7-96 (State building norm) Production of concrete and concrete products. Approved 24.12.1996. Kiiiv, Ukrarkhbudininform, 1997, 40. **3.** Production of concrete and concrete products: Guide to the SBN A.3.1-7-96 (1998). Approved 15.12.1995. Kiiiv, Ukrarkhbudininform, 94. **4.** *Myronov, S. A., Malynyna, L. A.* (1964). Acceleration of concrete hardening. Moscow, Strojyzdat, 347. **5.** *Bazhenov, Ju. M.* (1987). Concrete technology. Moscow, Vysshaja shkola, 415. **6.** *Volians'kyj, O. A.* (1994). The technology of concrete and reinforced concrete structures. Vol 1. Concrete Technology. Kiiiv, Vyscha shkola, 271. **7.** *Bazhenov, Yu. M.* (2009) The Way of concrete technology. The collection of scientific works of the Institute of Construction and Architecture. Moscow, MSBU, pp.13-17. [in Russian]. **8.** *Ramachndran, V. S.* et al. (1984). Concrete admixtures handbook. Properties, science and technology Additives to concrete. Park Ridge, New Jersey, Noyes Publications. **9.** *Ratinov, V. B., Rosenberg, T. I.* (1989). Additives to concrete. Moscow, Strojizdat, 188. **10.** *Batratkov, V. H.* (1998). Modified concrete. Theory and practice. Moscow, Strojyzdat, 768. **11.** *Usherov-Marshak, A. V.* (2005). Chemical and mineral additives in concrete. Kharkiv, Kolorit, 280. **12.** *Dvorkin, L. I., Lushnikova, N. V., Runova, R. F., Troian, V. V.* (2007). Metakaoline in building mortars and concretes. Kiiiv, KNUBA, 216. **13.** *Plugin, A. N., Plugin, A. A., Kalinin, O. A., et al.* (2011, 2012) Fundamentals of the theory of hardening, strength, destruction and durability of portland cement, concrete and construction of these. Monograph 3 vols. Kiiiv, Naukova dumka. Vol.1, 331 pp. Vol.2, 224 pp. Vol.3, 288. **14.** *Shumyk, D. V.* (2001). Superplasticized cement-aqueous composition for repairing mountain tunnels. Dissert. of cand. techn. sc. degree. Kharkiv, 231. **15.** *Romanenko, A. V.* (2012) Very fast hardening without steaming concrete for manufacturing concrete sleepers without heat and humidity treatment. Dissert. of cand. techn. sc. degree. Kharkiv, 241.

*Надійшла (received) 27.04.2015*

УДК 004.62

**Т. В. БОДНЕНКО**, канд. пед. наук, доц., Навчально-науковий інститут фізики, математики та комп'ютерно-інформаційних систем, Черкаський національний університет ім. Богдана Хмельницького

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ АМПЛІТУДНО-ІМПУЛЬСНИХ І ЦИФРОВИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ У ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ VISSIM

Стаття присвячена дослідженням елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання у програмному середовищі VisSim. Розглянуто стан використання інструментальних засобів та середовищ (MathCad, MatLab, VisSim тощо) для спрощення процесу моделювання та дослідження автоматизованих виробничих процесів, визначено напрямки їх використання в сучасних умовах. Використано програмне середовище VisSim для автоматизованого регулювання виробничих процесів.

**Ключові слова:** амплітудно-імпульсні системи автоматизованого регулювання, цифрові системи автоматизованого регулювання, програмне середовище VisSim

**Вступ.** Стрімкий розвиток мікропроцесорних засобів призвело до їх широкому використанню для автоматичного керування технологічними процесами в різних сферах виробничої діяльності людини. На сьогодні створені та випускаються серійно вітчизняними і зарубіжними виробниками багато різноманітних технічних засобів, сучасних комп'ютерних технологій.

Для автоматизованого регулювання виробничих процесів, зокрема, дослідження елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання можна у програмному середовищі VisSim.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** Враховуючи стрімкий розвиток обчислювальної техніки у промислових автоматичних процесах на сучасному підприємстві застосовують системи впливу, передачі та перетворення послідовності імпульсів [1].

Це надає можливість автоматизованої системи керування виробничими процесами, що передбачає участь людини у формуванні керуючих дій, зокрема, для створення складних об'єктів автоматизації [2].

Виконанню всіх функцій автоматичного керування без участі людини виконуються автоматичними системами, для обслуговування яких потрібні висококваліфіковані фахівці [2]. Система автоматичного керування (САК) – це система, що складається з об'єкта керування і пристрою керування, в якій керування режимом роботи об'єкта здійснюється автоматично без участі людини [3]. Квантуванням сигналів відносно часу називають імпульсними системами автоматичного керування. Вихідною величиною такого квантування є модульована послідовність імпульсів [4]. Завдяки різноманітним інструментальним засобам та середовищам (MathCad, MatLab, VisSim тощо) спрощується процес моделювання та дослідження автоматизованих виробничих процесів [5].

Дослідженням елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автома-

© Т. В. БОДНЕНКО, 2015

тизованого регулювання можна за допомогою програмного середовища VisSim. Програма VisSim призначена для побудови, дослідження та оптимізації різноманітних моделей технічних об'єктів і систем, зокрема, систем керування [6].

З VisSim можна швидко розробити віртуальні прототипи будь-якої динамічної системи. Основний продукт VisSim, використовується для загального моделювання, імітації та системи управління дизайнерськими програмами [7].

Структура VisSim складається з окремого модуля Simulink, що забезпечує візуальне сприйняття середовища моделювання та проводиться автоматичне формування математичної моделі згідно з запропонованою користувачем структурою досліджуваної системи, її керуючих та технічних параметрів, характеру складових елементів досліджуваної системи та зв'язків між ними. Вхідними даними для побудови моделі в VisSim є структурно-функціональна схема системи, процесу або об'єкта дослідження [8].

Об'єкт досліджень – автоматизоване керування елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання на виробництві. Проведені дослідження ставили за мету розглянути стан використання елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі: розглянути особливості, принцип дії і властивості САР з амплітудно-імпульсними елементами та елементами дискретної дії; визначити напрямки використання елементів амплітудно-імпульсних і цифрових САР, їх властивостей і особливостей, техніки моделювання дискретних ланок у VisSim.

Матеріали та методи досліджень. Використання програмного середовища VISSIM для дослідження елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання. Автоматика – це сфера науки та техніки, що займається розробкою теоретичних методів і технічних засобів, які забезпечать розв'язки завдань дослідження, виготовлення, експлуатації окремих установок, технологічних комплексів на основі їх автоматизації [9].

Імпульсними системами автоматичного керування називають системи, у яких відбувається квантування сигналів з плином часу. Квантування в часі полягає у зміні безперервного у часі сигналу його значеннями в окремі рівновіддалені моменти часу. Квантування в часі здійснюється імпульсним елементом, вихідна величина якого складається із модульованої послідовності імпульсів [10].

Для автоматизованого регулювання виробничих процесів, а саме, дослідження елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання можна у програмному середовищі VisSim.

VisSim – візуальна мова програмування для моделювання динамічних систем та проектування, основане на моделях, для вбудованих мікропроцесорів. VisSim має характерний для Windows інтуїтивний інтерфейс для створення блочних діаграм та потужне моделююче ядро.

Дане середовище розроблене американською компанією Visual Solutions шта-ту Массачусеттс. Мова та програмне середовище VisSim широко використовується для розробки систем керування та цифрової обробки сигналів моделювання та дизайну. Вона складається з блоків для арифметики, булевих та трансцендентних функцій, цифрових фільтрів, передатних функції, чисельного інтегрування та інтерактивного виводу [11].



Програма VisSim призначена для побудови, дослідження та оптимізації віртуальних моделей фізичних і технічних об'єктів, систем управління. VisSim (Visual Simulator) - візуальне, сприйняте зором, середовище і засіб моделювання.

Програма VisSim, розроблена і розвивається компанією Visual Solutions (USA) [12], яка потужна, зручна у використанні, компактна і є сучасним ефективним засобом моделювання фізичних і технічних об'єктів, систем та їх елементів з розвиненим графічним інтерфейсом, де дослідник може створити модель з віртуальних елементів. Це дозволяє створювати, досліджувати та оптимізувати моделі систем широкого діапазону складності. У середовищі VisSim немає необхідності записувати і розв'язувати диференціальні рівняння, програма це зробить сама по запропонованій їй дослідником структурі системи та параметрам її елементів. Результати розв'язання виводяться в наочній графічній формі. Завдяки цьому, програмою можуть користуватися фахівці, які не мають глибоких пізнань в математиці і програмуванні. При використанні VisSim не обов'язково володіти програмуванням на мовах високого рівня або асемблері. В той же час, фахівці, що володіють програмуванням, можуть створювати власні блоки, доповнюючи ними багату бібліотеку стандартних блоків VisSim'a.

Моделювання систем управління це далеко не весь коло завдань, які можна вирішувати в VisSim [13] і саме тому слід використовувати дане середовище для автоматизації виробничих процесів.

У структуру VisSim входить окремий модуль Simulink, завдяки якому забезпечується візуальне сприйняття середовища моделювання та проводиться автоматичне формування математичної моделі згідно з запропонованою користувачем структурою досліджуваної системи, її керуючих та технічних параметрів, характеру складових елементів досліджуваної системи та зв'язків між ними. Вхідними даними для побудови моделі в VisSim є структурно-функціональна схема системи, процесу або об'єкта дослідження [8]. Кожен її елемент описаний типовим диференційно-алгебраїчним рівнянням або операторною функцією де системи та об'єкти складаються з окремих, пов'язаних і взаємодіючих між собою елементів. Для всієї системи в цілому і для її окремих елементів можна вказати місце подачі збуджуючого сигналу, яке називають "входом", і місце прояву реакції системи на вхідний вплив, яке називають «виходом». Модель досліджуваної системи у VisSim формується з окремих елементів – блоків (віртуальний аналог фізичного елемента реальної системи). Взаємодія між цими блоками відображається лініями зв'язку, які вказують напрямком передавання впливів (сигналів) від одного блоку до іншого. Застосування відносних одиниць спрощує математичний опис будь-яких об'єктів та полегшує виконання порівняльних досліджень. Перехід до системи відносних одиниць здійснюється незалежно від форми математичного опису об'єкта. Якщо основою моделі є структурна схема, то доцільно реалізовувати алгоритм для її перекладу до системи відносних одиниць.

Отже, для визначення мінімальної частоти дискретизації отримуємо вікно програми VisSim представлене на рис. 1. Дослідження еквівалентності безперервного і дискретного ланок САР показано на рис. 2.

Перевіримо, чи змінює Vissim коефіцієнти дискретної передавальної функції при зміні кроку дискретизації.

Зменшимо період дискретизації (подвійне клацання по блоку) одного з

дискретних ланок, наприклад, нижнього, з  $dT = 0.1$  до  $dT = 0.01$  сек, не змінюючи значення коефіцієнтів Z-передавальної функції.

Побудуємо дискретний аналог безперервної ланки при кроці дискретизації, рівному 0.01 сек і перевіримо вигляд перехідної функції, як це позначиться на якості моделі (рис. 4).

Можна також збільшувати значення кроку дискретизації  $dT$ , наприклад, втричі з 0.01 сек до 0.03 сек безпосередньо у властивостях блоку, а потім зменшувати, наприклад, вчетверо, з 0.01 до 0.0025 сек при кроці моделювання 0.001 сек, і, запускаючи моделювання встановимо, як впливають ці зміни на перехідну функцію дискретного ланки (рис. 5).

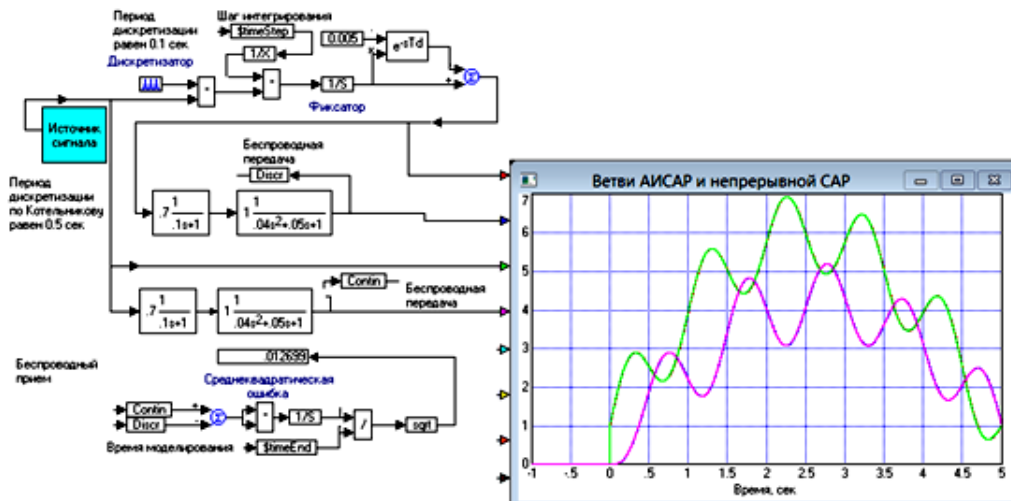


Рис. 1 – Визначення мінімальної частоти дискретизації у VisSim

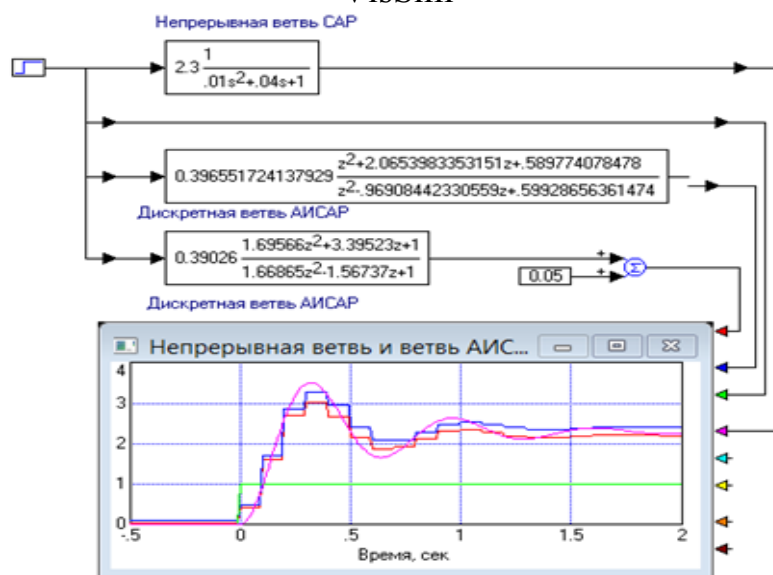


Рис. 2 – Дослідження еквівалентності безперервного і дискретного ланок САР

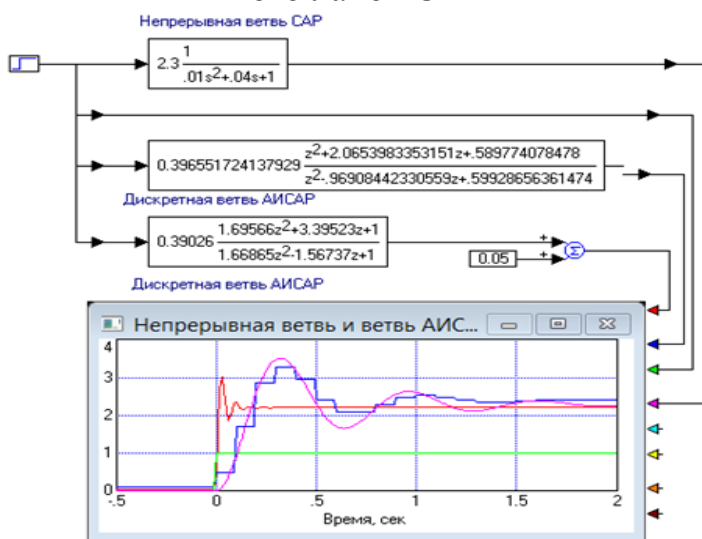


Рис. 3 – Перевірка зміни коефіцієнтів дискретної передавальної функції при зміні кроку дискретизації у VisSim

Також, можна досліджувати квантування-дискретизатора (моделі каналового

цифрового перетворювача (АЦП). Змінюючи крок квантування в межах від 0.1 до 0.5 і запускаючи моделювання визначати відповідне значення СКП (рис. 6).

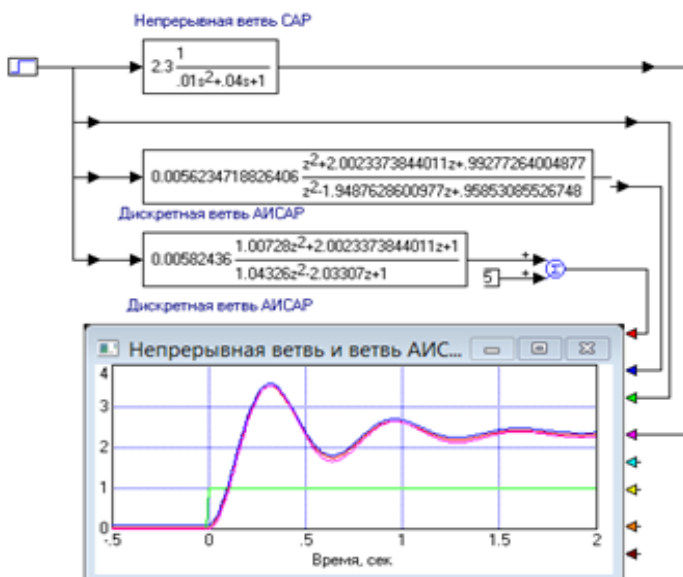


Рис. 4 – Дискретний аналог безперервної ланки

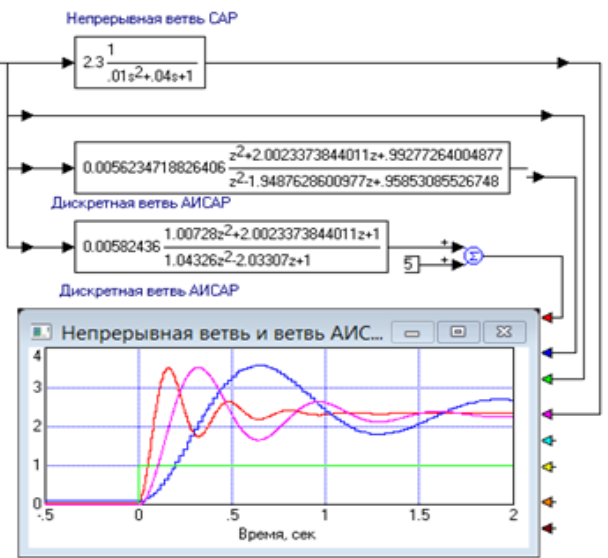


Рис. 5 – Дискретний аналог безперервної ланки із збільшеним значення кроку дискретизації

Наприклад, змінюючи крок дискретизації від 0.2 до 1 сек, при фіксованому кроці квантування, рівному 0.2, визначаємо та будуємо залежність СКП від кроку дискретизації.

квантування	СКП
0,1	0,057789
0,2	0,116516
0,3	0,18132
0,4	0,217248
0,5	0,284429



Рис. 6 – Визначення відповідного значення СКП

Проводимо дослідження відповідності цифрового ПІ-регулятора аналогового (рис. 8).

Використання програмного середовища vissim надає можливість

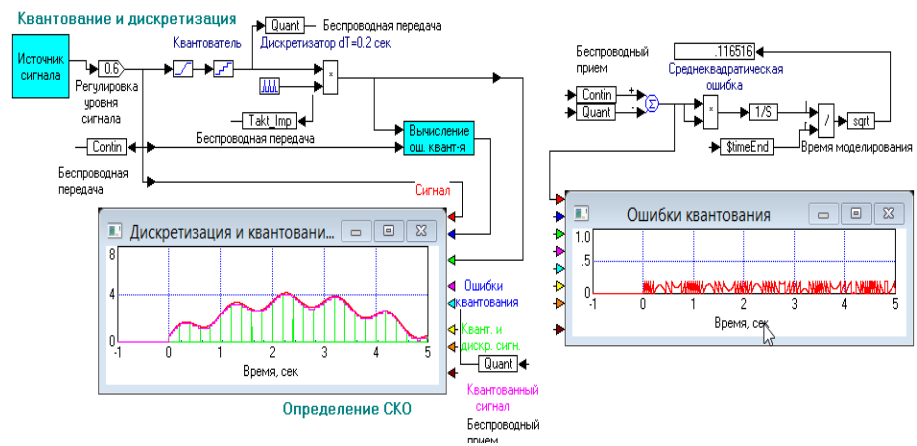


Рис. 7 – Залежність СКП від кроку дискретизації

досліджувати елементи амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизова-

ного регулювання.



Рис. 8 – Відповідність цифрового ПІ-регулятора аналоговому

**Обговорення результатів дослідження. Дослідженням елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання.** У час, коли існує безліч сучасних комп'ютерних та інформаційних технологій для автоматизації виробничих процесів використовується різноманітні інструментальні засоби та середовищам (MathCad, MatLab, VisSim тощо) спрощується процес моделювання та дослідження автоматизованих виробничих процесів.

Для дослідження елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання можна використовувати програмне середовище VisSim, що надасть можливість користуватися навіть фахівцям, які не мають глибоких пізнань в математиці і програмуванні, а фахівцям, що володіють програмуванням – створювати власні блоки та доповнювати ними бібліотеку стандартних блоків VisSim'a.

**Висновки.** Отже, було розглянуто особливості, принцип дії і властивості САР з амплітудно-імпульсними елементами та елементами дискретної дії. Визначено мінімальну частоту дискретизації в амплітудно-імпульсній моделі безперервної ланки. Досліджено еквівалентність безперервної і дискретної ланок САР, квантовач-дискретизатор (модель АЦП). Експериментально досліджено елементи дискретних САР. Побудовано дискретні моделі безперервних ланок у програмі Vissim.

Програмне середовище VisSim можна використовувати для дослідження елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання. Це дасть змогу користуватися фахівцям не з глибокими знаннями в математиці і програмуванні та провідним фахівцям в галузі програмування, що створюватимуть власні блоки з доповням ними бібліотеки стандартних блоків VisSim'a.

**Список літератури:** 1. Імпульсні системи автоматичного керування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: \www/URL: <http://5fan.info/igeyfsigeugmaige.html> 2. Ладанюк, А. Теорія автоматичного керування [Текст] / А. Ладанюк // Курс лекцій для студентів напряму 0925 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології ден. та заочн. форм навчання – (частина перша) – К.: НУХТ, 2004. – 174 с. 3. Сорока, К. Теорія автоматичного керування [Текст] / К. Сорока // Навч. посібник. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 187 с. 4. Дослідження лінійної імпульсної системи [Електронний ресурс]. – Режим доступу: \www/URL: <http://5fan.info/poligeuigpolyfsgas.html>. 5. Моделювання з використанням математичних пакетів. – Режим доступу: \www/URL: [http://posibnyku.vntu.edu.ua/k\\_m/t1/171..htm](http://posibnyku.vntu.edu.ua/k_m/t1/171..htm) 6. Довгань, С. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання [Текст] / С. Довгань. – Дніпропетровськ: НГА України, 2001. – 137 с. 7. VisSim – Modelling and Simulation of Complex Dynamic System. Available:

<http://www.adeptscience.co.uk/products/mathsim/vissim> 8. Клиначёв, Н. Моделирование систем в программе VisSim: справочная система / Н. Клиначёв. – Челябинск, 2004. – 116 с. 9. Попович, М. Теорія автоматичного керування [Текст] / М. Попович, О. Ковальчук // Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 544 с. 10. Власов, К. Теория автоматического управления. [Текст] / К. Власов // Учебное пособие. – Харьков: «Гуманитарный центр», 2007. – 526 с. 11. VisSim. Available: <http://uk.wikipedia.org/wiki/VisSim> 12. Официальный сайт фирмы Visual Solution Inc. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.vissim.com/> . 13. Общее представление о программном комплексе VisSim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: \www/URL: [http://model.exponenta.ru/bt/bt\\_M2\\_0301.html](http://model.exponenta.ru/bt/bt_M2_0301.html)

**Bibliography (transliterated):** 1. Switching automatic control [electronic resource]. Available: \ www / URL: <http://5fan.info/igeyfsigeugmaige.html>. 2. Ladanyuk, A. (2004). Theory of automatic control/ Lectures for students direction 0925 "Automation and Computer-Integrated Technologies den. and correspondence. Learning. (Part One). Kiev .: NUFT, 174. 3. Soroka, K. (2006). Automatic control theory. Training. guide. Kharkov: KSAME, 187. 4. Research linear pulse systems [electronic resource]. Available: \ www / URL: <http://5fan.info/poligeuigpolyfsgas.html>. 5. Modeling using mathematical packages. Available: \ www / URL: [http://posibnyky.vntu.edu.ua/k\\_m/tl/171..htm](http://posibnyky.vntu.edu.ua/k_m/tl/171..htm). 6. Dougan, S. (2001). Study of electric methods of mathematical modeling / S. Dougan. - Dnepropetrovsk, Ukraine NGA, 137. 7. VisSim - Modelling and Simulation of Complex Dynamic System. Available: <http://www.adeptscience.co.uk/products/mathsim/vissim>. 8. Klynachëv, N. (2004). Modeling systems in the program VisSim: Background System. Chelyabinsk, 116. 9. Popovic, M., Kovalchuk, A. (1997). The theory of automatic control. Tutorial. Kiev .: Lybed, 544 10. Vlasov, K. (2007). Theory Automatic management. Uchebnoe posobyie. - Kharkiv: "Humanytarnyy Center", 526. 11. VisSim. Available: <http://uk.wikipedia.org/wiki/VisSim>. 12. The official website of the firm Visual Solution Inc. Available: \ www / URL: <http://www.vissim.com/>. 13. GENERAL predstavlenye O and software complex VisSim. Available: \ www / URL: [http://model.exponenta.ru/bt/bt\\_M2\\_0301.html](http://model.exponenta.ru/bt/bt_M2_0301.html).

*Надійшла (received) 15.04.2015*

**УДК 656.13**

**Т. М. ГРИГОРОВА**, канд. техн. наук, докторант, ХНУМГ, Харків;  
**Ю. О. ДАВІДІЧ**, д-р техн. наук, проф., ХНУМГ, Харків;  
**В. К. ДОЛЯ**, д-р техн. наук, зав. каф., ХНУМГ, Харків

## **ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ВИБІР ПАСАЖИРАМИ ВИДУ ПРИМІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ**

Проведено дослідження факторів, які впливають на вибір пасажирів виду приміського транспорту. На підставі даних натурних обстежень проведено оцінку значущості для пасажирів факторів вибору виду приміського транспорту. Проведено аналіз факторів. Виявлено, що при виборі виду приміського транспорту для пасажирів найбільш важливі час руху, вартість проїзду та час очікування транспорту. Виявлені фактори у подальшому можна використовувати при визначенні закономірностей вибору пасажирів виду приміського пасажирського транспорту.

**Ключові слова:** приміське сполучення, пересування, пасажир, вид транспорту, фактор, коефіцієнт конкордації.

**Вступ.** Метою функціонування пасажирського транспорту є задоволення потреб населення у перевезеннях. Приміське транспортне сполучення в теперішній час не відповідає сучасним вимогам управління транспортними комплексами. Система організації транспортного обслуговування мешканців передмістя зараз знаходиться в стадії реорганізації. Швидкий розвиток міст призводить до концентрації приміських перевезень у найбільших містах. Великий обсяг цих перевезень

обумовлений інтенсивною забудовою приміських районів, створенням міст-супутників, організацією у приміських зонах місць відпочинку та спортивно-оздоровчих закладів, підвищенням матеріального добробуту і культурного рівня населення. В порівнянні з іншими видами сполучення, особливостями організації перевезення пасажирів у приміському сполученні є закономірності формування пасажиропотоків та вибору виду транспорту. Внаслідок цього, удосконалення системи перевезення пасажирів у приміському сполученні набуває вирішального значення для приміських населених пунктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При організації транспортного процесу постійно вирішуються завдання покращення якості перевезень пасажирів за рахунок впровадження заходів, що є найбільш ефективними з точки зору пасажирів і водночас потребують мінімальних витрат [1]. В основі заходів з вдосконалення транспортного процесу лежить прогнозування значень потоків пасажирів. Формування пасажиропотоків є складним явищем, яке базується на виборі пасажиром шляху пересування. Дослідники при опису процесу вибору пасажирів використовують декілька методів. Один з методів ґрунтується на визначенні частоти обслуговування [2, 3], інший використовує розклад руху [4, 5]. При цьому, дослідники визначають, що більш адекватним для опису процесу формування пасажиропотоків на приміських маршрутах є другий метод. Науковці його використовують при низькій частоті обслуговування. Методи формування пасажиропотоків громадського транспорту, у яких час пересування приймається постійним, можливо використовувати при моделюванні мереж із низьким завантаженням. Однак вони не дають змоги отримати точні результати моделювання потоків пасажирів у мережах, в яких спостерігається ефект переповнення. В цих умовах доцільно використовувати рівноважний розподіл. При цьому, вказані моделі не в повному обсязі враховують вплив умов обслуговування на вибір пасажиром шляху пересування.

Для здійснення переміщень у приміському сполученні пасажир постійно проводять вибір між видами транспорту. Дослідники виявили, що вони представлені, в основному, залізничним, автомобільним, а також власним автотранспортом, іноді автомобілями-таксі з міських стоянок або по передчасному замовленню [6]. Раніш проведені дослідження показали, що велике значення при виборі населенням виду транспорту має вартість поїздки, а також надійність і зручність розкладу.

Для пасажирів, які постійно здійснюють поїздки на роботу і навчання, найзручнішим є залізничний транспорт через його велику провізну здатність, надійність і регулярність руху [7]. Залізничний транспорт є основним видом транспорту для здійснення пасажирських перевезень на середні відстані і в приміському сполученні. Це один з найстаріших і основних магістральних видів транспорту в нашій країні. Приміські перевезення здійснюються на всіх дорогах, проте більшість з них зосереджена на ділянках, прилеглих до великих міст і промислових центрів [8]. У великих містах і міських агломераціях велика частина обсягу перевезень у напрямку потужних пасажиропотоків може припадати на приміський залізничний транспорт [9]. Переваги залізничного транспорту при здійсненні приміських пасажирських перевезень визначаються такими властивостями, як незалежність роботи від кліматичних умов, погоди, часу доби, що забезпечує регулярність і безперебійність перевезень, висока провізна здатність, порівняно висока швидкість і порівняно невисока собівартість перевезень [8].

У той же час в малих, середніх і великих містах значну частку приміських сполучень освоює автобусний транспорт. Для їх здійснення використовуються автобуси та маршрутні таксі для регулярного сполучення [9]. Будучи маневреними, приміські автобусні сполучення мають більш розгалужену транспортну мережу і розвиваються більш високими темпами, ніж всі інші види приміського транспорту. Доставка пасажирів автобусами здійснюється в більш близькі до місць призначення пункти, в результаті чого скорочуються витрати часу на поїздку. Разом з тим приміські автобусні перевезення різко поступаються залізничним сполученням через їх провізну здатність та продуктивність транспортних засобів, характеризуються більш високою потребою в трудових ресурсах.

Науковці визначають, що в теперішній час існує загальна потреба в конкретних методиках, що дозволяють кількісно ув'язати попит на перевезення у приміському сполученні з пропозицією транспортних послуг, оцінити вплив на нього як цінкових, так і нецінових факторів. Такі методики необхідні як у теоретичному плані, так і для вирішення практичних завдань управління пасажирським транспортом на рівні транспортних підприємств і державних органів міських і обласних адміністрацій, з метою виявлення ключових факторів, від яких залежить ефективність та якість функціонування транспортної системи [10].

**Мета роботи.** Проведені дослідження ставили за мету визначення значущості для пасажирів факторів, які впливають на їх вибір виду приміського пасажирського транспорту.

**Методика експериментів оцінки значущості факторів, які впливають на вибір приміського пасажирського транспорту.** Фактори, що визначають вибір виду приміського пасажирського транспорту, вимагають визначення всієї сукупності критеріїв, які використовують пасажирів при порівнянні альтернатив. Причому, на значущість критеріїв можуть впливати види пересування - трудові або культурно-побутові. Для розв'язання поставленої задачі було проведено опитування пасажирів, в ході якого від них вимагалось вказати критерії, які вони використовують при виборі виду приміського пасажирського транспорту. Пропоновані пасажирам критерії заносились в спеціально розроблену анкету, яка представлена на рис. 1.

При цьому можлива кількість критеріїв, які вказуються кожним пасажиром, не обмежувалася. Далі була проведена обробка даних опитування. Зважаючи на різне формулювання вказані пасажирами критерії були зведені у групи за спільною ознакою. Результати опитування пасажирів за критеріями вибору приміського пасажирського транспорту представлені у табл. 1.

На наступному етапі була розроблена анкета, з використанням якої була проведена експертна оцінка значущості критеріїв. В якості експертів виступали пасажири, яким пропонувалося оцінити фактори за шкалою від найбільш значущого, тобто присвоїти ранг 1 самому значущому (на думку експерта) фактору, до найменш значущого, в залежності від трудових чи культурно-побутових пересувань. Вид анкети, що використовували при проведенні опитування значущості факторів, наведено на рис. 2.

*Анкета №*

Ви робите поїздки, і можете скористатися будь-яким видом приміського пасажирського транспорту. З яких міркувань ви будете обирати вид пасажирського транспорту?

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_
5. \_\_\_\_\_

Рис. 1 – Анкета опитування пасажирів про вибір виду транспорту

На наступному етапі була виконана обробка матеріалів проведеного обстеження окремо для трудових і культурно-побутових поїздок. Для оцінки узгодженості думок експертів був використаний коефіцієнт конкордації Кендела [11]:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (2.1)$$

де  $m$  - кількість експертів;  $n$  - кількість факторів;  $S$  - сума квадратів відхилень.

Сума квадратів відхилення визначається наступним чином:

$$S = \sum_{j=1}^n (X_j - X_{cp})^2, \quad (2.2)$$

де  $X_j$  - сума рангів по  $j$  - му фактору;  $X_{cp}$  - середня сума рангів, визначається наступним чином:

Таблиця 1 – Результати опитування пасажирів щодо критеріїв вибору виду приміського пасажирського транспорту

№	Критерії	Доля від загальної кількості вказаних критеріїв, %
1	Вартість проїзду	16,4
2	Час руху	18,2
3	Комфортабельність	8,8
4	Місткість, наповненість	8,7
5	Час очікування	15,3
6	Поїздка без пересадки	10,5
7	Час руху до зупиночного пункту	9,8
8	Стан дороги	2,0
9	Культура обслуговування	0,9
10	Зовнішній вигляд транспорту та чистота салону	1,5
11	Безпечність руху	2,6
12	Технічне устаткування транспортного засобу	0,6
13	Зручність висадки-посадки	0,8
14	Екологічність транспортного засобу	0,4
15	Кількість проміжних зупинок	1,2
16	Час простою на проміжних зупинках	1,4
17	Наявність альтернативних засобів пересування	0,5
18	Наявність пілг	0,4



АНКЕТА №

При здійсненні поїздки на приміському пасажирському транспорті ваш вибір виду транспорту залежить від сукупності факторів. Розташуйте зазначені фактори від найбільш значущого, на вашу думку, до найменш

Номер фактора	Фактори	Трудові пересування	Культурно-побутові
1	Вартість проїзду		
2	Час руху		
3	Комфортабельність		
4	Місткість, наповненість		
5	Час очікування		
6	Поїздка без пересадки		
7	Час руху до зупиночного пункту		
8	Стан дороги		
9	Культура обслуговування		
10	Зовнішній вигляд транспорту та чистота салону		
11	Безпечність руху		
12	Технічне устаткування транспортного засобу		
13	Зручність висадки-посадки		
14	Екологічність транспортного засобу		
15	Кількість проміжних зупинок		
16	Час простою на проміжних зупинках		
17	Наявність альтернативних засобів пересування		
18	Наявність пільтр		

Рис. 2 – Анкета опитування пасажирів щодо значущості факторів при виборі виду приміського пасажирського транспорту

$$X_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n} \quad (1)$$

Результати розрахунків представлені в табл. 2. Отримане значення коефіцієнта конкордації вказує на узгодженість думок експертів. Для трудових пересувань  $W = 0,51$ , а для культурно-побутових пересувань  $W = 0,5$ . Для перевірки статистичної ваги коефіцієнта конкордації було розраховано емпіричне значення критерію Пірсона [12] за формулою:

$$\chi^2 = \frac{12S}{mn(n+1)} \quad (2)$$

На наступному етапі було побудовано діаграми рангів для трудових і культурно-побутових пересувань, які представлені на рис. 3, 4. На підставі їх аналізу була визначена значущість факторів. Для визначення статистичної ваги коефіцієнта конкордації при трудових пересуваннях розрахункове значення критерію  $\chi^2 = 347,05$ , а при культурно-побутових  $\chi^2 = 339,99$ , порівнювалось з табличним. Так як розрахункове значення більше табличного ( $\chi^2 = 27,6$ ) для рівня значимості 0,05 і числа ступенів свободи  $m = 17$ , можна вважати, що отриманий коефіцієнт конкордації є значущим і думки експертів не випадкові.

**Обговорення результатів дослідження значущості факторів, які впливають на вибір пасажирів виду приміського пасажирського транспорту.** Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що при виборі приміського па-

сажирського транспорту для трудових і культурно- побутових поїздок для пасажирів в першу чергу важливий час руху. Висока значимість даного фактору пов'язана з тим, що зі зменшенням часу, витраченого на поїздку зростає попит на використання даного способу прямування. Цей фактор є важливим і для трудових і для культурно-побутових пересувань, адже для пасажирів важливим є своєчасне прибуття до місць праці та відпочинку.

Таблиця 2– Результати обробки опитування експертів

Номер та найменування фактору		Вид пересування			
		Трудові		Культурно-побутові	
		$X_j$	$X_{cp}$	$X_j$	$X_{cp}$
1	Вартість проїзду	146	377	148	378
2	Час руху	105		145	
3	Комфортабельність	284		228	
4	Місткість, наповненість	306		277	
5	Час очікування	177		183	
6	Поїздка без пересадки	205		205	
7	Час руху до зупиночного пункту	266		301	
8	Стан дороги	416		394	
9	Культура обслуговування	461		435	
10	Зовнішній вигляд транспорту та чистота салону	526	377	516	378
11	Безпечність руху	338		354	
12	Технічне устаткування транспортного засобу	502		508	
13	Зручність висадки-посадки	470		480	
14	Екологічність транспортного засобу	610		602	
15	Кількість проміжних зупинок	461		462	
16	Час простою на проміжних зупинках	445		477	
17	Наявність альтернативних засобів пересування	518		528	
18	Наявність пільтр	551		562	

Другим за значущістю фактором для обох видів пересувань є вартість проїзду. Це пов'язано із обмеженістю бюджету пасажирів та бажанням якомога менше коштів витратити на пересування. Але за відсутності альтернативних варіантів, пасажир згоден платити достатньо велику ціну аби добратись до місця праці чи відпочинку.

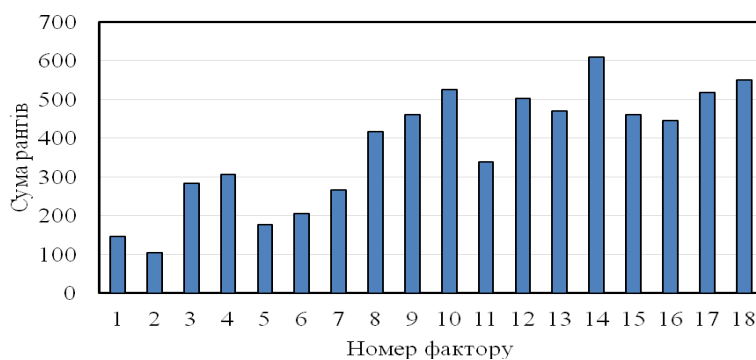


Рис. 3 – Діаграма значущості факторів для трудових пересувань

Наступним за значущістю фактором для трудових і культурно-побутових пересувань є час очікування транспорту.

Значущість даного фактора пов'язана з прагненням пасажирів мінімізувати витрати часу на здійснення пересування.

Кількість пересадок для обох видів пересувань є важливим фактором, так як зі збільшенням пересадок збільшуються витрати часу на пересування та вартість проїзду на маршруті.

Наступним за значущістю фактором для трудових і культурно-побутових пересувань є час руху до зупиночного пункту. Це пов'язано із тим, що пасажир хоче витратити мінімум часу на всю поїздку, включаючи час на підхід до зупиночного пункту. Крім того зі збільшенням витрат часу збільшується і стомлюваність пасажирів.

Далі пасажирів надають перевагу такому фактору, як комфортабельність, а потім і місткість, наповненість, для всіх видів пересувань. Це взаємопов'язані фактори, так як наповненість салону транспортного засобу впливає на комфортабельність поїздки, а отже і на функціональний стан пасажирів після поїздки.

Такий фактор як безпека руху не є останнім для пасажирів, як при трудових, так і при культурно-побутових поїздках. Цей фактор також пов'язаний із наступним за значущістю фактором, а саме, станом дороги. Знаючи, що дорога, якою буде рухатися той чи інший транспортний засіб, знаходиться в незадовільному стані, пасажир обере інший вид транспорту із схожим маршрутом.

Серед інших факторів, для обох видів пересувань, пасажирів також виділяють зовнішній вигляд транспорту та чистоту салону, так як, у випадку незадовільного стану чистоти салону, пасажирів можуть зіпсувати зовнішній вигляд одягу.

Час простою на проміжних зупинках, а також, наступний за значущістю фактор кількість проміжних зупинок, як при трудових, так і при культурно-побутових поїздках, впливає на час на здійснення поїздки пасажирів в цілому. Пасажир, знаючи, що транспортний засіб простоює на зупиночних пунктах багато часу, буде обирати інший вид пересування, аби скоротити витрати часу.

Менш важливим для всіх видів пересувань є такий фактор, як культура обслуговування. Кожна людина прагне до доброго ставлення до себе, але сучасний стан організації транспортного обслуговування не дозволяє людям ставити цей фактор на перше місце.

Наступним фактором для обох видів пересувань є зручність висадки-посадки. Його невелика значущість пояснюється тим, що умови висадки-посадки є майже однаковими на видах транспорту, що розглядалися.

Менш важливим, як при трудових, так і при культурно-побутових поїздках, є такий фактор, як технічне устаткування транспортного засобу.

Наступним є такий фактор, як наявність альтернативних засобів пересування.

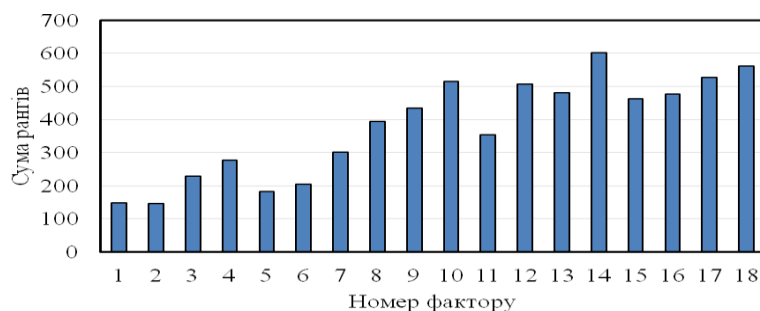


Рис. 4 – Діаграма значущості факторів для культурно-побутових пересувань

Пасажири майже не беруть його до уваги, тому що дуже рідко трапляються збої в роботі приміського пасажирського транспорту.

Ще менш значущість для обох видів пересувань є такий фактор, як наявність пілг, що, в свою чергу, пов'язано із відсутністю пілг на приміському автомобільному транспорті.

Останнім за значущістю фактором, як при трудових, так і при культурно-побутових поїздках є екологічність транспортного засобу. Невисоку значущість даного фактору можна пояснити тим, що в нашій країні екологічні види транспорту мало розповсюджені та поступаються своїми технічними характеристиками неекологічним видам транспорту.

**Висновки.** Проведений аналіз методів управління процесом перевезення пасажирів у приміському сполученні показав, що вони не повністю враховують вплив параметрів транспортного процесу на вибір пасажирами виду транспорту для здійснення переміщення. Проведені дослідження значущості для пасажирів факторів, які впливають на вибір виду приміського пасажирського транспорту, дозволили виявити, що при виборі приміського пасажирського транспорту для пасажирів в першу чергу важливий час руху. Другим за значущістю фактором є вартість проїзду. Наступним за значущістю фактором для трудових і культурно-побутових пересувань є час очікування транспорту. Виявлені фактори у подальшому можна використовувати при визначенні закономірностей вибору пасажирами виду приміського пасажирського транспорту.

**Список літератури:** 1. Воробьева, И. Б. Логистический подход к организации перевозки пассажиров в мегаполисе [Текст] / Воробьева И.Б. // Транспорт российской федерации. – 2006. – №7. – С. 38–40. 2. Hickman, M. D. Transit service and path choice models in stochastic and time-dependent networks [Текст] / M. D. Hickman, D. H. Bernstein // Transportation Science, 1997, vol. 31. – P. 129 – 146. 3. Schmoeker, J. D. A quasi-dynamic capacity constrained frequency-based transit assignment model [Текст] / J. D. Schmoeker, M. G. H. Bell, F. Kurauchi // Transportation Research, 2008, vol. 42B. – P. 925 – 945. 4. Nuzzolo, A. Schedule-based path choice models for public transport networks [Текст] / A. Nuzzolo // Proceedings of Advanced Course on Transit Networks, 2001. – 15 p. 5. Nuzzolo, A. A doubly dynamic schedule-based assignment model for transit networks [Текст] / A. Nuzzolo, F. Russo, U. Crisalli // Transportation Science, 2001, vol. 35. – P. 268 – 285. 6. Організація пасажирських перевезень на приміських і сільських маршрутах [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://studopedia.info/1-31915.html>. 7. Особливості організації приміських залізничних пасажирських перевезень [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://studopedia.info/1-31889.html>. 8. Основы организации пригородного пассажирского движения [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <http://scbist.com/wiki/9011-osnovy-organizacii-prigorodnogo-passazhirskogodvizheniya.html>. 9. Транспортная система Украины [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <http://reisvoer.com/news/118-transport-system>. 10. Кристончук, М. Є. Ефективність пасажирської транспортної системи приміського сполучення [Текст] : дисс. канд. техн. наук / М. Є. Кристончук. – Харків.: ХНАМГ, 2009. – 214 с. 11. Коэффициент конкордации рангов Кендалла [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <http://ixxi.me/raznoe/koefficient-konkordacii-rangov-kendalla>. 12. Критерий хи-квадрат [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php>.

**Bibliography (transliterated):** 1. Vorobyova, I. B. (2006). Logistics approach to transport passengers in the city. Transport of the Russian Federation, №7, 38-40. 2. Hickman, M. D., Bernstein, D. H. (1997) Transit service and path choice models in stochastic and time-dependent networks // Transportation Science, 31, 129–146. 3. Schmoeker, J. D., Bell, M. G. H., Kurauchi, F. (2008). A quasi-dynamic capac-

ity constrained frequency-based transit assignment model // Transportation Research 42B, 925–945. **4.** *Nuzzolo, A.* (2001). Schedule-based path choice models for public transport networks // Proceedings of Advanced Course on Transit Networks, Rome, 15. **5.** *Nuzzolo, A., Russo, F., Crisalli, U.* (2001). A doubly dynamic schedule-based assignment model for transit networks // Transportation Science, 35, 268–285. **6.** Organizatsiya pasazhirskih carried on primiskih i silskih routes. Available: <http://studopedia.info/1-31915.html>. **7.** Osoblivosti organizatsii primiskih zaliznichnih pasazhirskih transported. Available: <http://studopedia.info/1-31889.html>. **8.** Fundamentals of suburban passenger traffic. Available: [http://scbist.com/wiki/9011 - osnovy - organizacii - prigorodnogo - passazhirskogodvizheniya.html](http://scbist.com/wiki/9011_-_osnovy_-_organizacii_-_prigorodnogo_-_passazhirskogodvizheniya.html). **9.** The transport system of Ukraine. Available: <http://reisvoer.com/news/118-transport-system>. **10.** *Kristopchuk, M. J.* (2009). Efektyvnist' pasazhyrs'koyi transportnoyi systemy pry mis'koho spoluchennya. *Kharkiv, KhNAUE*, 214. **11.** Kendall coefficient of concordance ranks. Available: <http://ixxi.me/raznoe/koefficient-konkordacii-rangov-kendalla>. **12.** Chi-square test. Available: <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php>.

*Поступила (received) 28.04.2015*

**УДК 004.89**

**Н. Б. КОПЫТЧУК**, д-р техн. наук, проф., ОНПУ, Одесса;  
**П. М. ТИШИН**, канд. физ.-мат. наук, доц., ОНПУ, Одесса;  
**И. Н. КОПЫТЧУК**, ст. препод., ОНПУ, Одесса;  
**И. Г. МИЛЕЙКО**, канд. техн. наук, доц., ОНПУ, Одесса

## **АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Рассмотрен вопрос описания сигналов возникающих в работе тензометрических систем. Введены базовые термины и утверждения, позволяющие задавать лингвистические описания для знаний этой предметной области. Разработанная лингвистическая модель описания сигналов позволяет определять степень нечеткого равенства нечетких ситуаций, встречающихся в работе тензометрических систем и определять среди них аномальные. Результатом работы является возможность обработки возникающих аномальных ситуаций, которые невозможно определить другими методами.

**Ключевые слова:** нечеткие множества, лингвистические переменные, тензометрические системы, нечеткие ситуации.

**Введение.** В работах [1-3], предложены решения научно - практической задачи построения информационной модели оценки массы объекта при ограниченном времени взвешивания. Подобные задачи ставятся в случае, когда необходимо определить массу движущихся с повышенной скоростью объектов. При практических наблюдениях было выявлено, что в некоторых случаях стохастический высокочастотный шум, образованный динамическими явлениями, происходящими в процессе взвешивания, может сильно отклонить построенную аппроксимирующую кривую от реального сигнала. Это является причиной возникновения повышенной погрешности оценки параметров данной модели тензометрического сигнала.

Поэтому в данной работе добавляется этап экспертной оценки получаемых временных рядов с целью диагностики процессов, происходящих в процессе взвешивания. Экспертную оценку целесообразно строить, применяя методы контроля, основанные на поиске аномалий. Для решения указанной задачи применяется аппарат теории нечетких множеств и нечетких баз знаний. Данный

аппарат применялся в задачах оценки нечетких ситуаций и состоянии предметной области в работах [4, 5].

**Анализ литературных данных и постановка проблемы.** Задача поиска и обнаружения аномалий в процессах является актуальной в широком диапазоне сфер применения: экология, электронная коммерция, анализ технологических процессов, надежность технических и информационных систем, веб-аналитика, выявление знаний и интеллектуальный анализ данных [6,7].

При решении данной задачи с целью диагностики процессов, интерпретированных временными рядами (ВР) [8], целесообразно применять методы, основанные на поиске аномалий в поведении ВР. Так как ВР обычно отображаются графиками, то процесс обнаружения аномалий обычно заключается в наблюдательной деятельности эксперта по обнаружению типичных или нетипичных ситуаций.

**Цель и задачи исследования.** В данной работе предлагается алгоритм определения аномалий при измерении сигналов в процессах, протекающих в условиях неопределенности, на основе анализа сформированной базы эталонов нечетких ситуаций. Результатом работы является возможность обработки возникающих аномальных ситуаций, которые невозможно определить другими методами.

**Разработка методов для определения степени нечеткого равенства.** При описании нечетких параметров необходимо описать нечеткие значения, которые они принимают. Чтобы избежать многозначности трактования семантических значений одного и того же параметра в различных ситуациях, построим полные ортогональные семантические пространства, которые будут служить областями нечетких значений каждого из параметров вне зависимости от рассматриваемой системы.

Для построения полного ортогонального семантического пространства (ПОСП) некоторого нечеткого параметра  $\tilde{p}_i$  определим множества нечетких значений  $\tilde{D}_i = \{\tilde{p}_i^k\}_{k=1..K_i}$ , где  $K_i$  - количество нечетких значений, принимаемых  $i$ -м параметром, в виде нечетких чисел с треугольной функцией принадлежности  $\mu_i^k$ , которая положительно определена на некотором интервале  $(p_{ib}^k, p_{ie}^k)$ , где  $p_{ib}^k, p_{ie}^k \in D_i$  - значения начала и конца интервала соответственно, а  $D_i$  - базовое множество нечетких значений параметра  $\tilde{p}_i$ .

Для того чтобы построенные множества  $\tilde{D}_i$  являлись ПОСП, необходимо, чтобы они удовлетворяли следующим аксиомам [9]:

Аксиома 1 – нормальность: каждая функция принадлежности  $\mu_i^k$  нечетких значений  $\tilde{p}_i^k$  достигает единицы при некотором значении  $p_i^k$  базового множества  $D_i$ .

Аксиома 2 – функция  $\mu_i^k$  не убывает слева от  $p_{ib}^k$  и не возрастает справа от  $p_{ie}^k$ , т. е.

$$\begin{aligned} \mu_i^k(p) &\geq \mu_i^k(p_{ib}^k), & p < p_{ib}^k, \\ \mu_i^k(p) &\leq \mu_i^k(p_{ie}^k), & p > p_{ie}^k. \end{aligned}$$

Аксиома 3 – функции  $\mu_i^k$  не могут иметь более двух точек разрыва первого рода.

Аксиома 4 – полнота: для любого значения  $p$  из базового множества  $D_i$  найдется нечеткое значение  $\tilde{p}_i^k \in \tilde{D}_i$  с ненулевым значением функции принадлежности  $\mu_i^k(p)$  в данной точке, т.е.

$$\forall p \in D_i \quad \exists k \in [1, K_i]: \mu_i^k(p) \neq 0.$$

Аксиома 5 – ортогональность: сумма всех значений функций принадлежности  $\mu_i^k(p)$  в некоторой точке  $p$  базового множества  $D_i$  должна быть равна единице, т.е.

$$\sum_{k=1}^{K_i} \mu_i^k(p) = 1, \quad p \in D_i.$$

Определим каждое нечеткое число  $\tilde{p}_i^k \in \tilde{D}_i$  через функцию принадлежности следующего вида:

$$\tilde{p}_k^i \Rightarrow \mu_k^i(p_i') = \begin{cases} 0, & p_i' \leq p_{kb}^i, p_i' \geq p_{ke}^i \\ \frac{p_i' - p_{kb}^i}{p_k^i - p_{kb}^i}, & p_{kb}^i < p_i' < p_k^i \\ 1, & p_i' = p_k^i \\ \frac{p_i' - p_{ke}^i}{p_k^i - p_{ke}^i}, & p_k^i < p_i' < p_{ke}^i \end{cases}, \quad i=1..\tilde{N}_P, k=1..K_i. \quad (1)$$

При этом, на множестве нечетких значений  $i$ -го параметра, должны выполняться следующие условия:

$$\begin{cases} \mu_k^i(p_i') = 1 - \mu_{k-1}^i(p_i'), p_{kb}^i < p_i' < p_k^i, \\ \mu_k^i(p_i') = 1 - \mu_{k+1}^i(p_i'), p_k^i < p_i' < p_{ke}^i, \end{cases} \quad k=2..(K-1), \quad (2)$$

$$\begin{cases} p_{1b}^i = p_1^i = \min(p_i) \\ p_{Ke}^i = p_K^i = \max(p_i) \end{cases}, \quad i=1..\tilde{N}_P, \quad (3)$$

где  $p_i'$  - некоторое четкое значение  $i$ -го нечеткого параметра,  $p_{kb}^i, p_{ke}^i$  - начальное и конечное значения соответственно интервала значений базового множества  $D_i$ , на котором функция принадлежности  $k$ -го нечеткого значения  $i$ -го параметра положительно определена,  $p_k^i$  - значение, на котором функция принадлежности  $k$ -го нечеткого значения  $i$ -го параметра равна единице.

Можно показать справедливость следующего утверждения:

Теорема 1. Если множество нечетких значений удовлетворяет соотношениям (1-3), то оно является ПОСП.

Рассмотрим теперь множество сигналов  $\{S_{d,j}\}_{d=1}^D \{j=1}^J$ , где  $S_{d,j}$  - сигнал полученный в результате  $d$ -ого измерения в  $j$ -ой системе первичной обработки. При этом  $d=1, \dots, D$ ,  $j=1, \dots, J$ ,  $D$  - количество рассматриваемых сигналов,  $J$  - количество систем первичной обработки. Предположим, что задано множество параметров, которыми описывается множество состояний системы  $S^j = \{s_b^j\}_{b=1..B(j)}$ , где  $B(j)$  - количество состояний системы. Каждое состояние характеризуется некоторыми значениями параметров системы  $s_b^j = (p_{1b}^j, \dots, p_{Mb}^j)$ . Однако, при описании системы  $x_j$  в некоторый момент времени  $t_\xi$  состояния системы  $s^j(t_\xi)$  могут не совпадают с заданными, в связи с неточностью данных либо с нечетким характером параметров, т.е.  $p_m^j(t_\xi) - p_{mb}^j \neq 0, p_m^j(t_\xi) \in P^j(t_\xi)$ , где  $P^j(t_\xi)$  - множество параметров  $j$ -й системы в момент времени  $t_\xi$ . Для формализации нечеткого характера параметров системы,

определим их через лингвистические переменные определенные на определенном ПОСП  $\mathfrak{Z}_m$ . Нечеткость текущего состояния системы  $s^j(t_\xi)$  опишем нечеткой ситуацией  $\tilde{a}^j$ , под которой будем понимать следующее:

Определение 1: Нечеткой ситуацией будем называть нечеткое множество второго уровня [10]:

$$\tilde{a}^j = \left\{ \frac{\mu_{mk}^j(p_m^j(t_\xi))}{p_m^j} \right\}, \quad (4)$$

$$a^j(p_m^j(t_\xi)) = \left\{ \frac{\mu_{mk}^j(p_m^j(t_\xi))}{T_{mk}^j} \right\},$$

где  $\mu_{mk}^j(p_m^j(t_\xi))$  – значение функции принадлежности признака к определенному терму для конкретного значения  $p_m^j(t_\xi)$ .

Предположим теперь, что заданы две нечеткие ситуации:

$$S_i = \left\{ \frac{\mu_{S_i}(p_m)}{p_m} \right\}_{m=1}^M, \quad S_j = \left\{ \frac{\mu_{S_j}(p_m)}{p_m} \right\}_{m=1}^M,$$

где  $\{p_m\}_{m=1}^M$  – набор признаков по которому определяются нечеткие ситуации,

$$\mu_{S_i}(p_m) = \left\{ \frac{\mu_k^i(T_{mk})}{T_{mk}} \right\}_{k=1}^{P(m)},$$

где  $\mu_k^i(p_m)$  степень принадлежности признака  $p_m$  к терму  $T_{mk}$ , а  $P(m)$  – количество термов в терм множестве признака  $p_m$ .

Для определения состояния объекта необходимо сравнивать некоторую входную нечеткую ситуацию  $S_i$  с каждой нечеткой ситуацией  $S_j$ . В качестве меры для определения степени близости нечеткой ситуации  $S_i$  нечеткой ситуации  $S_j$  могут использоваться:

- степень нечеткого включения нечеткой ситуации  $S_i$  в нечеткую ситуацию  $S_j$ ;
- степень нечеткого равенства нечеткой ситуации  $S_i$  и нечеткой ситуации  $S_j$ .

Выбор меры близости определяется особенностями нечеткой ситуации и организацией блока принятия решений.

Определение 2. [10] Степенью включения ситуации  $S_i$  в ситуацию  $S_j$  называется величина  $v(S_i, S_j)$ , определяемая выражением:

$$v(S_i, S_j) = \bigwedge_{m=1}^M v(\mu_{S_i}(p_m), \mu_{S_j}(p_m)), \quad (5)$$

где  $v(\mu_{S_i}(p_m), \mu_{S_j}(p_m))$  вычисляется следующим образом:

$$v(\mu_{S_i}(p_m), \mu_{S_j}(p_m)) = \bigwedge_{m=1}^{P(m)} (\max(1 - \mu_k^i(T_{mk}), \mu_k^j(T_{mk}))). \quad (6)$$

При этом считается, что ситуация  $S_i$  нечетко включается в ситуацию  $S_j$ ,  $S_i \subseteq S_j$  если  $v(S_i, S_j) \geq \lambda$ , где  $\lambda$  – некоторое пороговое значение. Существование двух взаимных включений ситуаций  $S_i$  и  $S_j$ , означает, что при пороге включения  $\lambda$  ситуации  $S_i$  и  $S_j$  примерно одинаковы. Такое сходство ситуаций называется не-



четким равенством, и дается следующее определение.

Определение 3 [10]. Степенью нечеткого равенства ситуации  $S_i$  и ситуации  $S_j$  называется величина  $\mu(S_i, S_j)$ , определяемая выражением:

$$\mu(S_i, S_j) = \nu(S_i, S_j) \wedge \nu(S_j, S_i), \quad (7)$$

где  $\nu(S_i, S_j)$  определяется соотношениями (5) – (6).

Считается, что ситуации  $S_i$  и  $S_j$ , нечетко равны,  $S_i \approx S_j$ , если  $\mu(S_i, S_j) \geq \sigma$ , где  $\sigma$  - некоторое пороговое значение.

Предположим, что есть некоторые нечеткие ситуации, где  $\{p_m\}_{m=1}^M$  - набор признаков по которому определяются нечеткие ситуации. Предположим, что каждый признак  $p_m, m=1, \dots, M$  определен на своем ПОСП  $\mathfrak{Z}_m$ . При этом на множествах значений параметров  $p_m, m=1, \dots, M$  определены множества термов значений  $T_{mk}, k=1, \dots, P(m)$ , где  $P(m)$  - количество термов в терм множестве признака  $p_m$ .

$$S_i = \left\{ \frac{\mu_{S_i}(p_m)}{p_m} \right\}_{m=1}^M, \quad S_j = \left\{ \frac{\mu_{S_j}(p_m)}{p_m} \right\}_{m=1}^M. \quad (8)$$

Тогда справедлива следующая теорема, которую приведем без доказательства.

Теорема 2. Пусть  $S_i$  и  $S_j$  нечеткие ситуации, представимые соотношениями (8) и справедливы условия

1. Каждый признак  $p_m, m=1, \dots, M$  определен на своем ПОСП  $\mathfrak{Z}_m$ .
2. Справедливы представления

$$\mu_{S_i}(p_m) = \left\{ \frac{\gamma_{mi}^k}{T_{mk}} \right\}_{k=1}^{P(m)}, \quad \mu_{S_j}(p_m) = \left\{ \frac{\gamma_{mj}^k}{T_{mk}} \right\}_{k=1}^{P(m)}.$$

Тогда степень нечеткого равенства  $\mu(S_i, S_j)$  задаваемое формулами (7) определяется соотношением

$$\mu(S_i, S_j) = \min_{m=1, \dots, M} \left\{ \max_{k=1, \dots, P(m)} \left( \min(\gamma_{mi}^k, \gamma_{mj}^k) \right) \right\}. \quad (9)$$

**Применение для тензометрических систем.** Предположим, что сигнал представлен в виде:

$$S = \{S_i, t_i\}_{i=1}^n, \quad (10)$$

где  $n$  - количество отсчетов в сигнале,  $i$  - номер отсчета,  $t_i$  - время получения  $i$ -ого отсчета и  $S_i$  - значение  $i$ -ого отсчета.

Для описания сигналов введем следующие параметры:  $\nu_A^{Ch}[d, j]$  - коэффициент пропорциональный максимальному значению  $d$ -ого сигнала в  $j$ -ой системе первичной обработки;  $\nu_T^{Ch}[d, j]$  - длительность  $d$ -ого сигнала в  $j$ -ой системе первичной обработки.

Четкий параметр  $\nu_A^{Ch}[d, j]$  определяется соотношениями

$$\nu_A^{Ch}[d, j] = \left[ \max_{1 \leq i \leq N(d, j)} \{S_i(d, j)\} \right] / 10000, \quad (11)$$

где через  $N(d, j)$  обозначено количество отсчетов в сигнале  $S_{d,j}$ . Причем в рассматриваемой системе данный параметр будет принадлежать наперед задаваемому интервалу  $U_A$ . Поэтому относительно параметра  $v_A^{Ch}[d, j]$  можно выписать соотношение

$$v_A^{Ch}[d, j] \in U_A. \quad (12)$$

Для четкого параметра  $v_T^{Ch}[d, j]$  вводится соотношение:

$$v_T^{Ch}[d, j] = \left[ \max_{1 \leq i \leq N(d,j)} \{t_i(d, j)\} - \min_{1 \leq i \leq N(d,j)} \{t_i(d, j)\} \right] / 10000, \quad (13)$$

где через  $t_i(d, j)$  обозначено время поступления  $i$ -ого отсчета в сигнале  $S_{d,j}$ . По аналогии с параметром  $v_A^{Ch}[d, j]$  данный параметр будет принадлежать наперед задаваемому интервалу  $U_T$ .

$$v_T^{Ch}[d, j] \in U_T. \quad (14)$$

Рассмотрим множество сигналов  $S_{d,j}$  представимых формулой (10), где  $d=1, \dots, D$   $j=1, \dots, J$  и  $D$  - количество рассматриваемых сигналов, а  $J$  - количество систем первичной обработки.

В соответствии с введенными параметрами введем следующие лингвистические переменные:  $v_A[d, j]$  - лингвистическая переменная описания максимального значения  $d$ -ого сигнала в  $j$ -ой системе первичной обработки;  $v_T[d, j]$  - лингвистическая переменная описания длительности  $d$ -ого сигнала в  $j$ -ой системе первичной обработки.

Тогда, в множестве сигналов  $S_{d,j}$  представимых формулой (10), лингвистическое описание сигнала представимо в виде

$$S_{d,j}(L) = (v_A[d, j], v_T[d, j]), \quad (15)$$

где  $d=1, \dots, D$   $j=1, \dots, J$  и  $D$  - количество рассматриваемых сигналов, а  $J$  - количество систем первичной обработки. При этом, некоторый нечеткий параметр  $v \in (v_A[d, j], v_T[d, j])$  представляет собой лингвистическую переменную, носителем которого является соответствующая четкая переменная  $v^{ch}$  принимающая значения на интервале  $(v_{\min}, v_{\max})$ .

Кроме этого, параметр  $v$  определяется набором лингвистических термов:

$$V = \{V_1, V_2, \dots, V_{N_v}\}, \quad (16)$$

где  $V_i$ ,  $i$ -ый лингвистический терм нечеткого параметра  $v$ ,  $i=1, \dots, N_v$ , а  $N_v$  - количество термов введенных при описании нечеткого параметра  $v$ . Причем набор лингвистических термов (16) является ПОСП удовлетворяющим соотношению (1)–(3). Таким образом нечеткий параметр  $v_A[d, j]$ , это лингвистическая переменная описания максимального значения амплитуды сигнала представляющая из себя нечеткое множество носителем которого является переменная  $v_A^{ch}[d, j]$  определяемая формулами (11) – (12). Множество лингвистических термов  $V^A$  определяющих параметр  $v_A[d, j]$  задается соотношением (16), в котором  $N_v = 32$ .

Лингвистические термы составляющие множество  $V^A$  имеет вид представленный на рис. 1.

Нечеткий параметр длительность сигнала  $v_T[d, j]$ , это лингвистическая переменная представляющая из себя нечеткое множество носителем которого является переменная  $v_T^{ch}[d, j]$  определяемая формулами (13) – (14). Множество лингвистических термов  $V^T$  определяющих параметр  $v_T[d, j]$  задается соотношением (16), в котором  $N_v = 4$ .

Лингвистические термы составляющие множество  $V^T$  имеет следующий вид:  $V_1^T = \text{МНС}$ , если длительность сигнала много ниже средней;  $V_2^T = \text{НС}$ , если длительность сигнала ниже средней;  $V_3^T = \text{С}$ , если длительность сигнала средней;  $V_4^T = \text{ВС}$ , если длительность сигнала выше средней. Функции принадлежности переменной  $v_T^{ch}[d, j]$  соответствующим лингвистическим термам  $V_i^T$ , определяются таким образом, чтобы они удовлетворяли формулам (1) – (3).

Определенные таким образом лингвистические переменные  $v_A[d, j]$ ,  $v_T[d, j]$ , которые заданы на терм множествах  $V^A$  и  $V^T$ , позволяют описывать нечеткие ситуации в  $j$ -ой системе первичной обработки.

Рассмотрим теперь две системы первичной обработки, которые измеряют сигнал от одного и того же источника в разные моменты времени. Объединяя результаты для данных систем можно получить описание нечеткой ситуации в виде:

$$S_i = \left\{ \frac{\mu_{S_i}(v_A[d, j])}{v_A[d, j]}, \frac{\mu_{S_i}(v_T[d, j])}{v_T[d, j]}, \frac{\beta_{S_i}(v_A[d, j])}{v_A[d, j]}, \frac{\beta_{S_i}(v_T[d, j])}{v_T[d, j]} \right\}, \quad (16)$$

где

$$\mu_{S_i}(v_A[d, j]) = \left\{ \frac{\gamma_i^k(A,1)}{V_k^A} \right\}_{k=1}^{32}, \quad \mu_{S_i}(v_T[d, j]) = \left\{ \frac{\gamma_i^k(T,1)}{V_k^T} \right\}_{k=1}^4, \quad (17)$$

$$\beta_{S_i}(v_A[d, j]) = \left\{ \frac{\gamma_i^k(A,2)}{V_k^A} \right\}_{k=1}^{32}, \quad \beta_{S_i}(v_T[d, j]) = \left\{ \frac{\gamma_i^k(T,2)}{V_k^T} \right\}_{k=1}^4.$$

Здесь  $\left\{ \gamma_i^k(A, m) \right\}_{k=1}^{32}$ ,  $\left\{ \gamma_i^k(T, m) \right\}_{k=1}^4$  определяют степень принадлежности полученных  $v_A^{ch}[d, j]$ ,  $v_T^{ch}[d, j]$  для обеих систем первичной обработки,  $m=1,2$ . Полученное описание (16)-(17) позволяет сформулировать следующий результат.

**Теорема 3.** Пусть  $S_i$  и  $S_j$  нечеткие ситуации, представимые соотношениями (16)-(17). Тогда степень нечеткого равенства  $\mu(S_i, S_j)$  задаваемое формулами (7) определяется соотношением

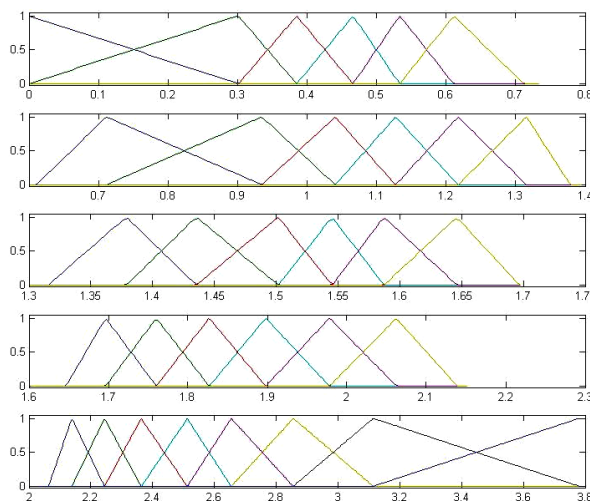


Рис. 1 – Функции принадлежности лингвистических термов множества  $V^A$

$$\mu(S_i, S_j) = \min \left\{ \begin{array}{l} \max(\min(\gamma_i^k(A), \gamma_j^k(A))) \\ \max(\min(\gamma_i^k(T), \gamma_j^k(T))) \\ \max(\min(\beta_i^k(A), \beta_j^k(A))) \\ \max(\min(\beta_i^k(T), \beta_j^k(T))) \end{array} \right\}. \quad (18)$$

Для применения данного результата создается эталонная база нечетких ситуаций, которая составлена по результатам испытаний тензометрической системы для каждой пары систем первичной обработки, измеряющих сигнал от одного и того же источника в разные моменты времени.

Предположим, что описание задаваемое соотношениями (16) – (17) задает все эталоны в созданной эталонной базе нечетких ситуаций.

Тогда алгоритм применяемый для определения аномальной текущей ситуации состоит из следующих этапов:

1. Задается некоторое пороговое значение  $\sigma$ .
2. Выбирается первый эталон в созданной эталонной базе нечетких ситуаций.
3. Для текущей ситуации и выбранного эталона вычисляется величина определяемая соотношением (18).
4. Если вычисленная в пункте 3 величина больше порогового значения  $\sigma$ , то ситуация признается не аномальной и алгоритм заканчивается.
5. Если вычисленная в пункте 3 величина меньше порогового значения  $\sigma$ , то выбирается следующий эталон в созданной эталонной базе нечетких ситуаций и осуществляется переход в пп. 3. При этом производится проверка, если все эталоны уже обработаны, то ситуация признается аномальной и алгоритм заканчивается.

**Выводы.** В данной работе предлагается алгоритм определения аномалий при измерении сигналов в процессах, протекающих в условиях неопределенности, на основе анализа сформированной базы эталонов нечетких ситуаций. Результатом работы является возможность обработки возникающих аномальных ситуаций, которые невозможно определить другими методами.

**Литература:** 1. Копытчук, М. Б. Моделирование інформаційно системних властивостей процесу реалізації вимірювань заданої надійності [Текст] / М. Б. Копытчук, І. Г. Мілейко. – Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 4. – С.31-34. 2. Копытчук, М. Б. Розрахункове оцінювання характеристик похибок вимірювань [Текст] / М. Б. Копытчук, І. Г. Мілейко. – Вісник ЧДТУ. – 2011. – № 4 С.36-38 3. Мілейко, І. Г. К вопросу о достоверности результатов обработки данных в информационно-измерительных комплексах [Текст] / І. Г. Мілейко, Ю. Ю. Сулима, Н. Б. Копытчук, А. В. Дрозд. – Тез. док. 10-ї міжнар. конф. СІЕТ. – 2009. – С. 183 4. Копытчук, Н. Б. Повышение точности метода наименьших квадратов посредством введения весовой функции [Текст] / Н. Б. Копытчук, Е. В. Шендрик // Тр. Одеса. политехи, унта. - Одесса, 2001. - Вып. 2 (14). С. 110 - 112. 5. Копытчук, Н. Б. Исследование эффективности алгоритма метода наименьших квадратов с предварительным преобразованием исследуемых данных [Текст] / Н. Б. Копытчук, Е. В. Шендрик // Праці УНДІРТ. Одеса, 2001. — № 3 (27). — С. 72 - 74. 6. Копытчук, І. Н. Построение аппроксимирующей нечеткой зависимости для определения параметров классификации аномалий тензометрических сигналов [Текст] / І. Н. Копытчук, Н. Б. Копытчук, П. М. Тишин, І. Г. Мілейко // Тр. Одесского политехн. ун-та. Одесса, 2014. - С. 68 —69. 7. Афанасьева, Т. В. Нечеткое моделирование временных рядов и анализ нечетких тенденций [Текст] / Н. Г. Ярушкина, Т. В. Афанасьева. – Ульяновск: УлГТУ, 2009. – С. 299. 8. Рыжов, А. П. Элементы теории нечетких множеств и ее приложений [Текст] / А. П. Рыжов. – Москва,

2003. – С. 81. **10.** Борисов В. В. Нечеткие модели и сети [Текст] / В. В. Борисов, В. В. Круглов, В. В. Федюлом. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – С. 284.

**Bibliography (transliterated):****1.** Kopytchuk, M. B., Mileyko, I. G. (2011). Modelyuvannya informatsiyno systemic vlastivostey processes realizatsii vimiryuvan zadanoi nadiynosti, News CHDTU, 4, 31-34.**2.** Kopytchuk, M. B., Mileyko, I. G. (2011). Rozrahunkove otsynuyannya characteristics pohibok vimiryuvan, News CHDTU, 4, 36-38.**3.** Mileiko, I. G., Sulima, Y., Kopytchuk, M. B., Drozd, A. V. (2009). On the question of reliability of the results of data processing in the information-measurement systems, Abstracts. Doc. 10, mizhnar. Conf. SIET, 183.**4.** Kopytchuk, M. B., Shendrik, E. V., (2001) Improving Accuracy of the least squares method by introducing a weighting function, Proc. Odes. Politekh Unt, Odessa, 2 (14), 110 - 112.**5.** Kopytchuk, M. B., Shendrik, E. V. (2001). Efficacy method of least squares algorithm with a preliminary study of data transformation, Pratsi UNDIRT, Odessa, 3 (27), 72 - 74.**6.** Kopytchuk, I. N., Kopytchuk, M. B., Tishyn P. M., Mileiko, I. G. (2014). Building approximating fuzzy depending on the parameters for determining the classification of anomalies strain gauge signals, Proc. Odessa. Polytechnic Univ, Odessa, 68 -69.**8.** Afanasyev, T. V., Yarushkina, N. G. (2009). Fuzzy modeling of time series analysis and fuzzy trends TV Afanasyev, Ulyanovsk: UISTU, 299.**9.** Ryzhov, A. P. (2003). Elements of the theory of fuzzy sets and its applications, Moscow, 81.**10.** Borisov, V. V., Kruglov, V. V., Fedulom, V. V. (2007). Fuzzy models and network, M: Hotline - Telecom, 284.

*Поступила (received) 28.04.2015*

**УДК 62-1/-9.007.005.1:62-503.5**

**И. А. ЛУЦЕНКО**, д-р техн. наук, доц., проф., Кременчугский национальный университет им. М. Остроградского

## **СИНТЕЗ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ**

Разработана архитектура управляемой системы с возможностью полномасштабной параметрической оптимизации. Установлено, что это возможно, если функции преобразования и буферизации технологического продукта выполняют разные системы. Синтезирована архитектура системы преобразования на примере технологического процесса нагрева жидкости. Установлено, что системы с непрерывной подачей – выдачей сырьевого продукта являются частным случаем полностью управляемых систем с архитектурой, обеспечивающей возможность оптимального управления.

**Ключевые слова:** синтез систем, управляемая система, система преобразования, система буферизации, структура системы

**Введение.** Вопросам оптимизации или оптимального управления посвящено огромное количество публикаций, и число этих публикаций продолжает лавинообразно возрастать. При этом из вида выпускается тот факт, что технология оптимального управления может быть полноценно реализована только в том случае, если для этого имеется вполне определенная системная возможность.

**Анализ литературных данных и постановка проблемы.** Основным описательным документом для разработчиков управляемых систем является руководство по стандартам управления MRP, ERP и CRM [1].

Анализ содержимого этих документов показывает, что в них нет описания концепции построения структуры оптимальной управляемой системы и определения критерия эффективности. Одной из общих тенденций системотехники, является восприятие системы как самостоятельного объекта, процессы которого подлежат оптимизации [2-4]. Конечно, имея внутренние запасы энергетического продукта или доступ к этим запасам, можно управлять их подачей и, тем самым,

изменять расход, занимаясь минимизацией энергопотребления [5-7]. Но, является ли задача параметрической оптимизации энергопотребления целью управления? Глобальная цель управления – обеспечить максимизацию прибыли в рамках определенного интервала времени. И если система функционирует в режиме, который не соответствует минимуму затрат, а увеличивает их например на 5 % и при этом на 20 % увеличивает годовую прибыль, по отношению к режиму жесткой экономии, то что будет делать руководитель? Снизить на 5 % энергетические затраты и на 20 % годовую прибыль?

Вряд ли практики имеющие возможность нащупать в поисковом режиме путь к получению более высоких доходов будут особенно вдаваться в теорию оптимизации по минимуму затрат. Это означает, что предмет исследования находится не внутри исследуемой системы, а за её пределами. Также это означает, что прежде чем решать вопросы параметрической оптимизации, вначале нужно решить задачу синтеза управляемой системы обеспечивающей возможность оптимизации в принципе. В противном случае попытка локальной оптимизации в рамках отдельной системы может привести к глобальному снижению эффективности в рамках управляемой системы в целом. Аналогичные претензии можно высказать в адрес управления, которое ориентировано на минимальное время системной операции [8]. Хорошо известно, что повышение производительности приводит к повышенному износу дорогостоящего оборудования. В целом, анализ обработанных публикаций показывает, что авторы не воспринимают исследуемую систему как один из множества объектов управляемой системы, между которыми циркулируют сигналы управления и технологические продукты, в том числе и системное оборудование как один из технологических продуктов. Кроме того, модели управляемых систем не используют сопоставимые стоимостные величины в качестве масштабирующих коэффициентов. Исключение составляют неудачные попытки выбора оптимальных управленческих решений методом прямого оценивания добавленной стоимости в рамках определенного интервала времени с опорой на экономические показатели. Как отмечают авторы, «это связано со сложностью определения экономических показателей с достаточной степенью точности и достоверности в короткие промежутки времени работы предприятия (смена, сутки, неделя)» [9].

Действительно, метод прямого оценивания неудобен для использования в реальных системах из-за сложности воспроизводства однотипных операций, значительного влияния внешних факторов, а, главное, из-за длительности процесса оценивания. Незаменим он для определения адекватности критериев эффективности в задачах моделирования [10] и является одним из основных инструментов при оценке достижений в задачах синтеза структур оптимальных систем.

Целью данной работы является разработка концептуально единой архитектуры систем оптимального управления базового уровня, которая обеспечивает достижение стратегической цели управления - максимально быстрого увеличения добавленной стоимости системы на определенном временном интервале, за счет полноценной параметрической оптимизации с учетом стоимостных параметров системных продуктов и износа технологического оборудования.

Задачами, решение которых необходимо для достижения поставленной цели, выбраны: синтез структуры системы преобразования с порционной подачей сырьевых продуктов; создание управляемой системы экстремального управления с

порционной подачей сырьевых продуктов; создание систем прямой оценки эффективности технологического процесса; синтез структуры разделительной системы; оптимизация процессов разделительной системы.

**Синтез системы преобразования с порционной подачей сырьевых продуктов.** Первым этапом синтеза структуры, которая предусматривает возможность оптимального управления, является разработка базовой архитектуры управляемой системы, в рамках которой обеспечивается управление внутренними процессами с необходимым количеством степеней свободы. Проведенные экспериментальные исследования показали, что такой свободы можно добиться только в том случае, если функции по достижению заданного качества и по режиму выдачи необходимого количества выходного продукта будут разделены между узкоспециализированными системами. Каждая такая система выполняет только одну системную операцию. В данном случае функцию порционного нагрева выполняет система преобразования, а функцию выдачи необходимого объема готового продукта в единицу времени – система буферизации.

Системы с порционной подачей сырьевых продуктов в научной и учебной литературе обычно называют периодическими системами. Однако системы с порционной подачей продуктов более корректное название, поскольку большую часть времени функционирования эти системы находятся в поисковом режиме и время операции при этом, а, следовательно, и период, непрерывно изменяется.

В качестве сопроводительного примера построения управляемой системы с необходимыми степенями свободы рассмотрим управляемую систему нагрева жидкости. Такой выбор обусловлен инерционностью системы нагрева, простотой модели нагрева и возможностью аналитического определения износа механизма электрического нагрева в зависимости от режима управления. Управляемая система нагрева жидкости состоит из систем подачи холодной жидкости, системы подачи энергетического продукта, системы нагрева и системы буферизации нагретой жидкости (рис. 1). После подачи сигнала задания  $z_{wp}$ , связанного с потребностью пополнения запасов системы буферизации нагретой жидкости, система нагрева формирует сигнал управления  $u_w$  на подачу определённого объема холодной жидкости  $r_w$ . Завершение процесса подачи холодной жидкости приводит к формированию сигнала управления  $u_p$ , обеспечивающего подачу энергетического продукта  $r_p$  с заданной интенсивностью. Это, естественно, приводит к повышению температуры нагреваемой жидкости. При достижении температурой жидкости заданного значения  $z_T$ , формируется сигнал управления  $u_{off}$  на отключение подачи энергетического продукта, и нагретая жидкость  $p_w$  передается в систему буферизации.

Обеспечение потребителя готовой продукцией осуществляется по сигналу потребления  $z'_{wp}$ . Соответствующее количество готового продукта в единицу времени  $p'_w$  передается потребителю от системы буферизации.

Сама система нагрева работает в циклическом режиме, и не может самостоятельно обеспечить потребителя непрерывным потоком нагретой жидкости. Однако в ней имеется возможность независимого выбора интенсивности нагрева порции жидкости, что позволяет управлять скоростью нагрева (расходом энергетиче-

ского продукта, износом механизма нагрева) и, тем самым, выбирать самый выгодный режим нагрева исходя из высших соображений.

В свою очередь, система буферизации уже нагретой жидкости обеспечивает потребителя готовым продуктом, удовлетворяющим его как качественными, так и количественными показателями. Кроме того, система буферизации имеет возможность независимого регулирования, как уровня страхового запаса, так и верхнего уровня своего буферного механизма. Для синтеза внутренней структуры системы преобразования, отобразим взаимодействие её объектов, которые обеспечивают обработку данных и информационный обмен, в виде сети Петри (рис. 2). С целью упрощения восприятия простые переходы не отображаются.

Каждый элемент СП отображает одну простую операцию.

Проверка работоспособности модели осуществлялась в программном конструкторе EFFLI [11]. Для каждого элемента сети Петри были созданы необходимые механизмы, а также системы, без наличия которых функционирование синтезированной системы преобразования невозможно.

**Интерфейсная модель системы в виде объектов EFFLI.** Представление модели управляемой системы в виде объектов EFFLI с именованными входами и выходами, дает возможность построить интерфейсную модель (схему) управле

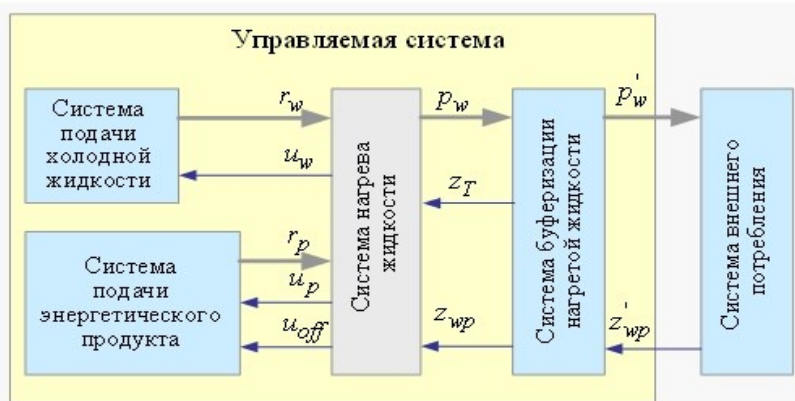


Рис. 1 – Управляемая система нагрева жидкости с возможностью оптимизации целевых операций



Рис. 2 – Управляемая система нагрева жидкости с детализацией синтезируемой системы нагрева: 1 - запуск системы; 2-мультиплексор; 3 - механизм синхронизации подачи данных; 4 - объект формирования-поддачи задающего сигнала относительно объема холодной жидкости; 5 - механизм регистрации момента завершения подачи холодной жидкости; 6 - механизм синхронизации подачи данных; 7 - объект формирования-поддачи задающего сигнала относительно интенсивности энергетического продукта; 8- механизм определения текущего значения температуры нагреваемой жидкости; 9 - компаратор; 10 - механизм подачи эталонного значения температуры нагрева; 11 - механизм регистрации момента завершения подачи нагретой жидкости



мой системы (рис. 3). Объект среды EFFLI (система, подсистема, механизм) имеет объектно-ориентированную структуру.

Принцип объектно-ориентированного подхода состоит в том, что каждый объект «знает» как ему выполнять свою специальную функцию с использованием специализированного механизма. Все необходимые информационные продукты специализированный механизм извлекает из входных секций порта, обрабатывает их и передает в выходную секцию или выходные секции порта.

Таким образом, каждая стрелка интерфейсной модели это, по сути, объект, обеспечивающий функции приема, перемещения и выдачи информационного продукта. Каждая секция порта выполняет функции приема, буферизации и выдачи информационного продукта. Порядок обслуживания объектов EFFLI операционной системой задается в программных настройках.

**Выводы.** Синтезирована внутренняя структура системы преобразования с порционной подачей одного технологического продукта.

Разработанная архитектура управляемой системы с максимально возможным количеством степеней свободы.

Установлено, что система преобразования с порционной подачей – выдачей сырьевых продуктов в комплексе с системой буферизации технологического продукта, обеспечивает возможность независимого изменения подачи энергетического продукта при независимой установке в системе буферизации страхового запаса и верхнего уровня запасов. При этом обеспечивается возможность передачи готового продукта с заданными потребительскими качествами и в необходимом количестве системе потребления.

Экспериментально установлено, что системы с непрерывной подачей – выдачей сырьевого продукта являются частным случаем полностью управляемых систем с архитектурой обеспечивающей возможность оптимального управления.

**Список литературы:** 1. *Gavrilov, D. A.* Upravlenie proizvodstvom na baze standarta MRP [Text] / D. A. Gavrilov. – Izdatelskiy dom «Piter», 2002. – 320 p. 2. *Kirk, E.* Optimal Control Theory: An Introduction (Dover Books on Electrical Engineering) [Text] / E. Kirk. – Dover Publications. – 2004. – 464 p. 3. *Athans, M.* Optimal Control: An Introduction to the Theory and Its Applications [Text] / M. Athans, L. Falb. – Dover Publications, 2006. – 879 p. 4. *Zhang, S.* Optimal Control Strategy Design Based on Dynamic Programming for a Dual-Motor Coupling-Propulsion System [Text] / S. Zhang, C. Zhang, G. Han, Q. Wang // The Scientific World Journal. – 2014. – Vol. 2014. – P. 1–9. doi: 10.1155/2014/958239 5. *Pierre, A.* Optimization Theory with Applications [Text] / A. Pierre. – Donald Courier Dover Publications. 1986. – 612 p. 6. *Everett, E.* Operations Change Interactions in a Service Environment: Attitudes, Behaviors, and Profitability [Text] / E. Everett // Journal of Operations Management. – 1981. – Vol. 2, Issue 1. – P.63-76. doi: 10.1016/0272-6963(81)90036-x 7. *Frederic, D.* Systems modeling: analysis and operations research [Text]

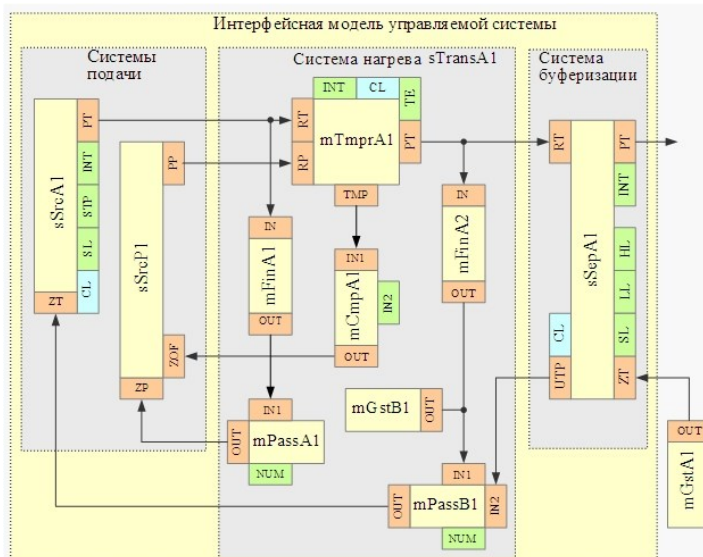


Рис. 3 – Интерфейсная модель управляемой системы нагрева

/ D. Frederic // Modeling and Simulation Fundamentals: Published Online. – 2010. – Vol. 6. – P. 147–180. doi: 10.1002/9780470590621.ch6 **8. Crassidis, L.** Optimal Estimation of Dynamic Systems [Text] / L. J. Crassidis, L. J. Junkins. – E-book Google, 2004. – 608 p. **9. Kagramanyan, S. L.** Modelirovanie i upravlenie gornorudnyimi predpriyatiyami [Text] / S. L. Kagramanyan, A. S. Davidkovich, V. A. Malyishev, O. Burenzhargal, Sh. Otgonbileg. – Nedra, 1989. – 360 p. **10. Lutsenko, I. A.** A practical approach to selecting optimal control criteria [Text] / I. A. Lutsenko // Technology audit and production reserves. – 2014. – Vol. 2/1(16). – P. 32–35. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/23432/20906>. **11. Lutsenko, I. A.** Samples [Electronic resource] / I. A. Lutsenko. – Krivoy Rog, 2014. – Available at: <http://uk.effli.info/index.php/systems-engineering-samples>

**Bibliography (transliterated):** **1. Gavrilov, D. A.** (2002). Upravlenie proizvodstvom na baze standarta MRP. Izdatelskiy dom «Piter», 320. **2. Kirk, E.** (2004). Optimal Control Theory: An Introduction (Dover Books on Electrical Engineering). Dover Publications, 480. **3. Athans, M., Falb, L.** (2006). Optimal Control: An Introduction to the Theory and Its Applications. Dover Publications, 879. **4. Zhang, S., Zhang, C., Han, G., Wang Q.** (2014). Optimal Control Strategy Design Based on Dynamic Programming for a Dual-Motor Coupling-Propulsion System. The Scientific World Journal, 2014, 1–9. doi: 10.1155/2014/958239 **5. Pierre, A.** (1986). Optimization Theory with Applications. Donald Courier Dover Publications, 612. **6. Everett, E.** (1981). Operations Change Interactions in a Service Environment: Attitudes, Behaviors, and Profitability. Journal of Operations Management, 2 (1), 63–76. doi: 10.1016/0272-6963(81)90036-x **7. Frederic, D.** (2010). Systems modeling: analysis and operations research. Modeling and Simulation Fundamentals: Published Online, 6, 147–180. doi: 10.1002/9780470590621.ch6 **8. Crassidis, L., Crassidis, L., Junkins, L.** (2004) Optimal Estimation of Dynamic Systems. E-book Google, 608. **9. Kagramanyan, S. L., Davidkovich, A. S., Malyishev, V. A., Burenzhargal, O., Otgonbileg Sh.** (1989). Modelirovanie i upravlenie gornorudnyimi predpriyatiyami. Nedra, 360. **10. Lutsenko, I. A.** (2014). A practical approach to selecting optimal control criteria. Technology audit and production reserves, 2/1(16), 32–35. Available at: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/23432/20906> **11. Lutsenko, I. A.** (2014) Samples. Krivoy Rog Available at: <http://uk.effli.info/index.php/systems-engineering-samples>

Надійшла (received) 21.04.2015

УДК 620.179

**Т. В. НІМЧЕНКО**, канд. техн. наук, доц., Інститут інформаційно-діагностичних систем, НАУ, Київ

## ЗАСТОСУВАННЯ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ ЯК ОДНОГО З ЗАСОБІВ ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ

Розглянуто використання методу акустичної емісії в системах технічного захисту інформації. Розглянуто структуру акустичних сповіщувачів руйнування скла. Представлено структуру блоку реєстрації та обробки сигналів акустичної емісії під час руйнування скла. Наведено схему підсилювального тракту сигналів акустичної емісії та схему амплітудного детектора. Запропоновані апаратні засоби дозволяють реєструвати сигнал акустичної емісії з високою чутливістю.

**Ключові слова:** акустична емісія, охоронні системи, технічний захист, підсилювач, сигнал, руйнування, сповіщувачі

**Вступ.** Метод акустичної емісії (АЕ) набув широкого значення та застосовується у різних галузях до яких належить і технічний захист інформації. АЕ – це випромінювання пружних хвиль при деформуванні мікроструктурних елементів під зовнішнім силовим навантаженням, що містять в собі інформацію про кінетику фізичних процесів при терті, деформуванні та руйнуванні матеріалів.

Спочатку АЕ використовували для визначення моменту початку росту тріщин у зразках з надрізом, особливо при повільному зростанні тріщин, коли відхилення від лінійної залежності навантаження-переміщення може бути викликано або зростанням тріщини, або пластичним перебігом матеріалу у кінчика тріщини [9, 10].

© Т. В. НІМЧЕНКО, 2015

При цьому вирішували головним чином питання про наявність кількісного зв'язку між параметрами сигналу АЕ і величиною підростання тріщини.

На даний момент, одним з напрямків теоретичних досліджень акустико-емісійного випромінювання, є дослідження процесів формування сигналів акустичної емісії (АЕ) при деформації і руйнуванні матеріалів [1, 9]. Існує безліч засобів захисту інформації, до яких належать і охоронні системи захисту, серед яких певну нішу посідають акустичні сповіщувачі руйнування скла (АСРС), в основу роботи яких покладено принцип акустичної емісії. АСРС з'явилися на вітчизняному ринку охоронної сигналізації в 90-х роках. З тих пір вони значно розширили свої функціональні можливості, підвищили вірогідність виявлення і завадостійкість.

**Аналіз літературних даних і постановка проблеми.** Після проведених в НДЦ "Охорона" наукових досліджень і на підставі періодичних (в міру появи нових виробів) порівняльних випробувань АСРС для використання у позавідомчій охороні відбираються тільки ті сповіщувачі, які дійсно сумісні з найпоширенішими на території видами і типорозмірами будівельних стекол. При цьому вони повинні повною мірою забезпечувати заявлені вимоги по дальності дії і ймовірності виявлення при різних способах руйнування скла, а також вимоги завадостійкості при неруйнівних ударах по склі з різними способами їх закріплення, при впливі акустичних шумів побутового характеру, перешкод від роботи встановлених на об'єкті звукоізлучаючих пристроїв (сповіщувачів, дзвінків, сирен) і т. п. Крім того, сповіщувачі повинні безумовно задовольняти комплексу вимог зі стикування і сумісності з об'єктовим і пультовим обладнанням, мати сучасний дизайн і прийнятну вартість, бути зручними в установці, експлуатації та обслуговуванні [5–7].

В основу роботи АСРС покладено метод АЕ. Апаратна та програмна база засобів для реєстрації АЕ відрізняється широким асортиментом модифікацій [1; 2]. Більшу частину серед апаратних засобів складають дорогі та великогабаритні комплекси АЕ, а також апаратура для лабораторних досліджень. Особливістю апаратури є універсальність її застосування, можливість проведення діагностики складних конструкцій, виробів та об'єктів, технологічних процесів виробництва [3; 4]. Вся апаратура може забезпечувати відбір АЕ інформації як по одному тракту реєстрації та обробки, так і одночасно по декількох каналах. Однак, в своїй більшості, апаратні засоби, вже фізично та морально застаріли. Тому актуальність проблеми апаратного забезпечення для проведення контролю та діагностики руйнування інструментів та матеріалів заключається в розробці портативної та універсальної апаратури.

**Постановка задачі дослідження.** Одною з важливих задач при дослідженні неперервної акустичної емісії – є моделювання та розробка блоків реєстрації та обробки сигналів АЕ, що дозволяють виявити корисний сигнал (сигнал від руйнування скла) в присутності шумів. В роботі буде наведено загальний принцип дії АСРС та запропоновані апаратні засоби для реєстрації АЕ під час руйнування скла.

Загальний принцип дії АСРС. АСРС для свого функціонування використовують поле акустичних хвиль, що утворюються при руйнуванні охороняється заскленої конструкції (вікно, вітрина) і поширюються в повітряному середовищі приміщення. При цьому діапазон використовуваних для аналізу частот, як правило, розташовується в чутої людиною області. Самі сповіщувачі для реалізації

функції виявлення ніяких сигналів не виробляють. Тому їх стандартну назву - сповіщувачі охоронні пасивні звукові [5].

На першому етапі розвитку АСРС використовувався одноканальний метод аналізу акустичних сигналів. Алгоритм виявлення був орієнтований на характерний, знайомий всім високочастотний звук розбиття скла, ефективна частина спектра якого знаходиться в діапазоні від одиниць до сотен кГц (людина може чути максимум до 15-18 кГц, залежно від віку та індивідуальних особливостей його органів слуху). Однак, як з'ясувалося пізніше, звуки, подібні цьому, можуть виникати не тільки при руйнуванні заклої конструкції, але і при падінні зв'язки ключів або скляних предметів, співударі металевих деталей, роботі дзвінків або сирен і впливі інших імпульсних звукових сигналів. Тому завадостійкість таких сповіщувачів була не дуже високою.

Черговим кроком у розвитку АСРС стало використання двоканальної обробки сигналу. Це обумовлено тим, що звичний для нас високочастотний звук розбиття скла є хоча і досить характерним, але все ж вторинним. При руйнівному ударі по склу на першому етапі відбувається невеликий прогин скляного полотна і його вібрація, в результаті якої виникають низькочастотні звукові коливання в діапазоні від одиниць до сотень Гц (залежно від розмірів скла, способу його руйнування, особливостей розміщення несучої конструкції). У цей момент у склі виникає внутрішнє напруження. Якщо воно перевищує критичний рівень, то відбувається розлом матеріалу, що супроводжується утворенням і поширенням тріщин. Виникає при цьому акустична емісія породжує той самий характерний високочастотний звук розбиття скла.

Деякі виробники поділяють ці два (основних) діапазону на піддіапазони, деякі використовують інфразвукові й ультразвукові області спектра сигналу. На їхню думку, така диференціація дозволяє більш чітко групувати критерії корисного сигналу по різних типоразмерах стікол і способах їх руйнування, використовуючи, наприклад, мажоритарну логіку. Однак, як показує практика, ускладнення алгоритму роботи сповіщувача не завжди виправдано. При розумному формуванні набору інформаційних ознак корисного сигналу і критеріїв їх аналізу цілком достатньо двох основних частотних діапазонів, обраних з урахуванням фізичних особливостей процесу руйнування скла [5].

На рис. 1. наведено узагальнену функціональну схему АСРС, де: 1 - чутливий елемент (датчик АЕ); 2 - блок обробки сигналу АЕ; 3 - блок індикації; 4 - блок формування сповіщень; 5 - блок живлення; 5' - контроль напруги живлення.

У процесі функціонування АСРС приймають участь звукові сигнали (сигнали АЕ), які фіксуються за допомогою чутливого елемента – датчика АЕ (п'єзоелек-

тиричний перетворювач) (1), що перетворює їх в електричні сигнали, що надходять в блок обробки (2). У цьому блоці здійснюється підсилення сигналів та їх аналіз за виділеними ознаками. При ідентифікації сигналу як звуку від розбитого скла на виході блоку обробки (2) виробляється керуючий сигнал, переданий в блок формування сповіщень, який видає сигнал тривоги в лінію зв'язку. Крім того, блок формування сповіщень управляє роботою вбудованих світлових індикаторів (3), що відображають стан сповіщувача. Блок живлення (4) забезпечує електроживленням інші функціональні частини сповіщувача.

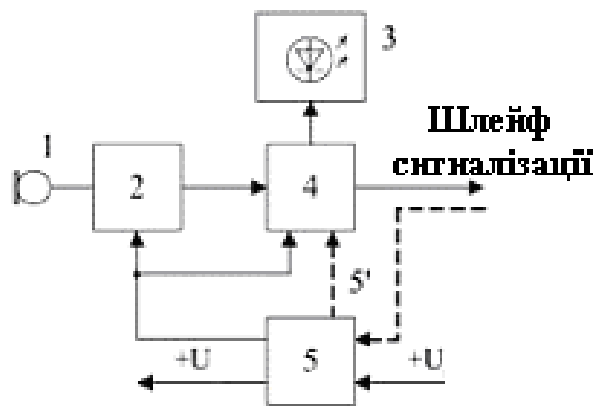


Рис. 1 – Узагальнена функціональна схема АСРС

Основними вузлами, визначальними сумісність сповіщувача з іншими технічними засобами системи сигналізації, є блоки живлення (5) і формування сповіщень (4). Параметри стиків: "сповіщувач-джерело електроживлення", "сповіщувач-шлейф сигналізації (ШС), або лінія пульта централізованого спостереження" визначені в нормативних документах.

Запропоновані апаратні засоби АЕ, що можуть бути використані під час руйнування стікол в АСРС. Найпростішу структурну схему каналу реєстрації сигналу АЕ при руйнуванні поверхні, можливо уявити наступним чином рис. 2: ДАЕ – датчик АЕ, УС – узгоджуючий підсилювач, АЦП – аналого цифровий перетворювач та ПК – персональний комп'ютер.

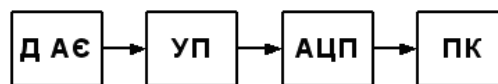


Рис. 2 – Структурна схема каналу реєстрації АЕ

Датчик або групу датчиків АЕ розташовують на поверхні скла, яке підлягає контролю.

В основному, виготовляють датчики двох видів: закритого та відкритого типу. Корпус датчика забезпечує екранування від наводок електромагнітних завад та захист активного елемента від механічних пошкоджень, що підвищує його строк експлуатації [8].

Одним з найбільш простих конструктивних рішень є застосування двох половинок протилежно поляризованих дисків, які лежать на заземленому електроді. Для прийому поверхневих хвиль необхідно, щоб діаметр п'єзоелементів був менше чи рівний половині довжини поверхневої хвилі. Диференційний перетворювачі з трьох однакових п'єзодисків більш зручні по конструкції, так як зовнішні поверхні крайніх дисків заземлені.

Головною характеристикою датчиків АЕ є ширина смуги робочих частот. Ця характеристика визначає чутливість та дозволяючу здатність, діапазон та точність вимірювання фізичних параметрів.

Перспективним способом розширення смуги робочих частот датчиків АЕ є демпфування активного елемента – п'єзопластини, та оптимальне акустичне узгодження. Таким чином, загальна вимога до демпфера є використання матеріалів, які мають акустичний імпеданс, який близький до імпедансу п'єзокераміки.

На виході датчика АЕ формується електричний сигнал, який потребує подальшого підсилення та обробки.

Згідно вимог до АЕ апаратури, амплітудно-детектуючий тракт повинен мати низький рівень шумів, високий вхідний опір та працювати в широкому частотному діапазоні. Тому для побудови АЕ тракту було використано наступні операційні підсилювачі: AD 8055 фірми Analog Devises в підсилювальному та детектуючому каскадах, та операційний підсилювач ОРА 604 фірми Burr-Brown в якості повторювача напруги.

Запропонований підсилювальний каскад АЕ (рис. 3) забезпечує коефіцієнт підсилення аналогового сигналу приблизно в 100 разів, та зменшує наявність похибок в широкому діапазоні частот.

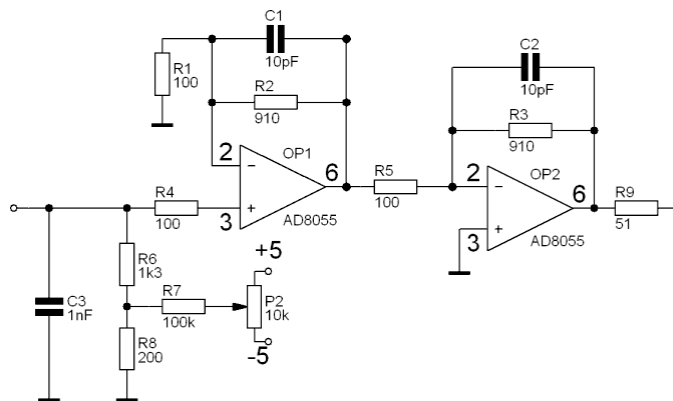


Рис. 3 – Схема підсилюючого тракту сигналів АЕ

Як запам'ятовуючий елемент у більшості детекторів

використовується конденсатор. Якість амплітудного детектора в режимі вибірки можливо визначити по двох параметрах – часу вибірки й похибки вибірки.

Запропоновано амплітудний детектор, який працює в діапазоні малих напруг та має високу чутливість (рис. 4). Він складається з двох основних частин: перетворювача середньовипрямлених значень і фільтра. На відміну від пасивних випрямлячів, де використовуються діоди з напругою відкриття р-п переходу, при низьких рівнях сигналу запропонований амплітудний детектор АЕ має значно меншу похибку, а використання сучасного високочастотного операційного підсилювача дозволило створити детектор з високим коефіцієнтом підсилення.

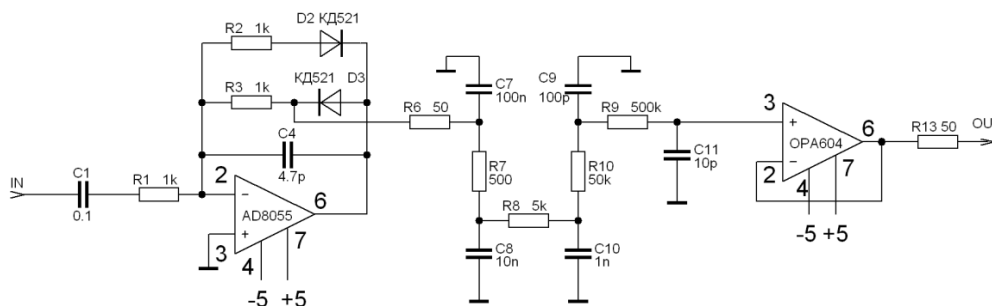


Рис. 4 – Схема амплітудного детектора

Всі мікросхеми в підсилювально-детектуючому АЕ тракті живляться напругою  $\pm 5V$ . Оскільки, ставилася задача розробки системи здатної працювати в польових умовах, було вирішено використовувати живлення  $+5V$  від USB. Для отримання відповідної напруги та гальванічної розв'язки між двома блоками та ПК а також двохполярного живлення було використано два DC-DC перетворювача фірми Yuan Dean Scientific 10D-05S05N. Причому вихід  $+5V$  одного перетворювача з'єднувався з виходом  $-5V$  іншого, утворюючи цим з'єднувальний загальний провід.

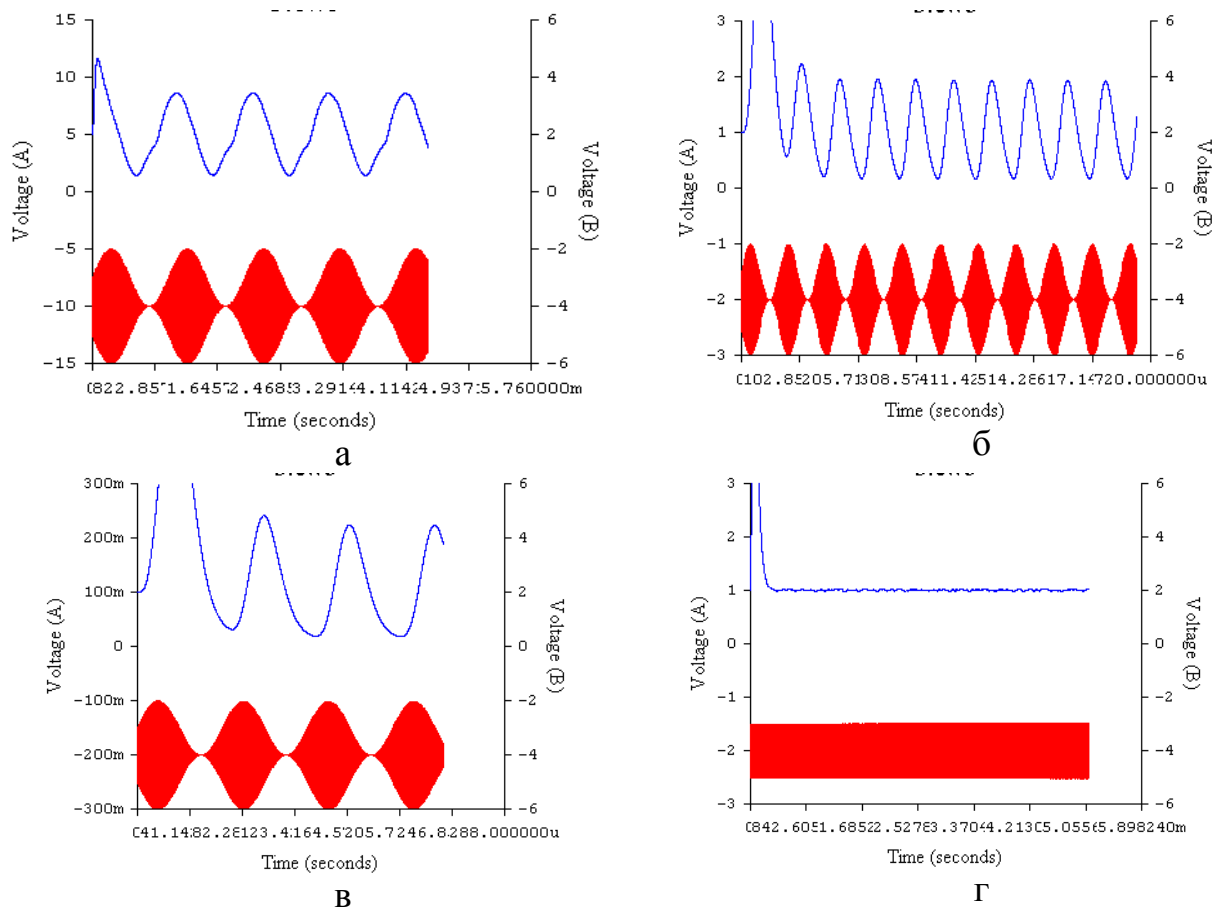


Рис. 5 – Осцилограми вхідного і вихідного сигналу: *а* – частота вхідного сигналу 100 кГц, частота модуляції 1кГц; *б* – частота вхідного сигналу 500 кГц, частота модуляції 1кГц; *в* – частота вхідного сигналу 2000 кГц, частота модуляції 1кГц; *г* – частота вхідного сигналу 100 кГц, модуляція відсутня

Представлені апаратні засоби забезпечують дослідження сигналів АЕ з високою чутливістю, близькою до 100 мкВ, в широкому частотному діапазоні. Оскільки даний пристрій працює на високих частотах, то для зменшення на нього впливу завад, в конструкції використана сучасна SMD база елементів. Малий розмір компонентів та відсутність ніжок на них зменшують паразитний високоіндуктивний вплив ніжок звичайних вивідних елементів. Моделювання в пакеті Electronics Workbench схеми (рис. 4) дозволило отримати осцилограми для контролю роботи схеми та дослідити роботу детектора з різними характеристиками вхідного сигналу. Як видно з осцилограм на рис. 5, а - г, схема виконує детектування вхідного сигналу в заданому діапазоні від 100 кГц до 2 МГц [3].

**Висновки.** Розроблені апаратні засоби для реєстрації та обробки сигналів АЕ можуть бути застосовані в системах технічного захисту. Вони мають високу чутливість, малі габарити завдяки використанню сучасних SMD технологій та широкий частотний діапазон.

**Список літератури:** 1. Німченко, Т. В. Сучасні апаратні та програмні засоби для дослідження сигналів акустичної емісії [Текст] / Т. В. Німченко, А. П. Стахова // Наука і молодь. Прикладна серія: збірник наукових праць. – 2009. – С. 84–87. 2. Німченко, Т. В. Моделювання апаратури ІВС для реєстрації неперервної акустичної емісії [Текст] / Т. В. Німченко, А. П. Стахова // Електроніка та системи управління. – 2007. – №4. – С. 112–115. 3. Німченко, Т. В. Використання сучасних SMD технологій при побудові підсилювально-детектуючого тракту сигналів акустичної емісії [Текст] / Т. В. Німченко, Д. П. Орнатський, О. М. Лободенко // Збірник наукових праць “Захист інформації”. –

2008. – Спеціальний випуск. – С. 77–80.**4. Девин, Л. Н.** Акустико-эмиссионная измерительная система для контроля за состоянием режущих инструментов [Текст] / Л. Н. Девин, Т. В. Нимченко, А. А. Осадчий // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ “ХПІ”. – 2008. – Вип.2 (17). – С. 105–108.**5. Каталог "Охранная и охранно-пожарная сигнализация".** – №2005. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.tehbezpeka.com.ua/papers/papers> 30.php. – 2005.**6. Хорев, А. А.** Способы и средства защиты информации. / А. А. Хорев – М.: МО РФ, 2000. – 316 с.**7. Хорошко, В. О.** Методы и средства защиты информации [Текст] / В. О. Хорошко, А. А. Чекатков – К.: Издательство Юниор, 2003. – 504 с.**8. Нимченко, Т. В.** Исследование демпфирующих способностей вставок датчиков акустической эмиссии на основе никелида титана [Текст] / Т. В. Нимченко, Л. Н. Девин, Л. А. Борковская // Вісник інженерної академії України. - 2007. - №3,4. - С.174–177.**9. Филоненко, С. Ф.** Акустическая эмиссия. Измерение, контроль, діагностика [Текст] / С. Ф. Филоненко – К.: КМУГА, 1999. – 312 с.**10. Filonenko, S.** Two approaches to the description of acoustic emission signals in the kinetic model of composite destruction [Text] / S. Filonenko, V. Kalita, T. Nimchenko // AVIATION 2011. – 2011. – P. 31–37.

**References (transliterated):** **1. Nimchenko, T. V., Stakhova, A. P.** (2009). Modern hardware and software tools for the study of acoustic emission signals. Science and youth. Applied series: a collection of scientific papers, 84–87.**2. Nimchenko, T. V., Stakhova, A. P.** (2007). Modeling IBC equipment to record continuous acoustic emission. Electronics and management, 4, 112–115. **3. Nimchenko, T. V., Ornatskyy, D. P., Lobodenko, A. M.** (2008). The use of modern technologies in the construction of SMD-intensive detektuyuchoho tract acoustic emission signals. Collected Works "Data Protection", Special Issue, 77–80.**4. Devin, L. N., Nimchenko, T. V., Osadchiy, A. A.** (2008). Acoustic emission measurement system for monitoring the state of cutting tools / LN Devin T. Nimchenko, // High Technology in Mechanical Engineering : collection of scientific papers NTU "KPU", 2 (17), 105–108.**5. Catalog "Security and fire alarm system."** (2005). <http://www.tehbezpeka.com.ua/papers/papers> 30.php. **6. Horev, A. A.** (2000). Ways and means of information protection. M.: RF Ministry of Defense, 316.**7. Horoshko, V. O., Chekatkov, A. A.** (2003). Methods and means of information protection. K. : Publishing Junior, 504.**8. Nimchenko, T.V., Devin, L. N, Borkovskaya, L. A.** (2007). Investigation of the damping capacity of acoustic emission sensors inserts TiNi. Bulletin of Engineering Academy of Sciences of Ukraine, 3–4, 174–177.**9. Filonenko, S. F.** (1999). Acoustic emission. Measurement, control, diagnostika. K. : KMUGA, 312. **10. Filonenko, S, Kalita, V., Nimchenko, T.** (2011). Two approaches to the description of acoustic emission signals in the kinetic model of composite destruction . AVIATION 2011, 31–37.

Надійшла (received) 21.04.2015

УДК 621.1016-001.57

**О. С. САВЕЛЬЕВА**, д-р техн. наук, проф., ОНПУ, Одесса;

**Г. В. НАЛЕВА**, канд. техн. наук, доц., Одесская национальная морская академия

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ СТРУКТУРНОЙ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой и применением для расчета показателей надежности ускоренных методов моделирования. Предложено для оценки структурной отказоустойчивости сложных систем, структурная модель которых может быть сведена к нейроподобной, использовать информационную структурную статистическую модель. На примере очистительных сооружений показана возможность сравнивать выбранные конструкции по полученным значениям показателя структурной отказоустойчивости.

**Ключевые слова:** ускоренное моделирование, информационные модели, показатель отказоустойчивости, проектирование, структурные статистические модели.

© О. С. САВЕЛЬЕВА, Г. В. НАЛЕВА, 2015



**Введение.** При разработке любого технического объекта проектировщику приходится сталкиваться с проблемой выбора на различных этапах проектирования его схем (кинематической, электрической, гидравлической, структурной и пр.), вида резервирования, материалов и т.д. Принятие многих конструкторских решений обуславливается соответствующими расчетами, опытом проектной команды, данными анализа рекламаций потребителей по аналогичным объектам. Однако, зачастую такой информации недостаточно для определения показателей надежности объекта.

Обеспечение специалиста требуемой информацией является достаточно трудоемким процессом, поскольку речь идет о необходимом количестве статистических данных по исследуемому объекту, которые не всегда возможно получить, особенно, когда речь идет о оценке надежности нового технического объекта, с большой номенклатурой комплектующих, затратного с точки зрения организации натуральных испытаний [1].

Необходимые данные в этом случае специалист, разрабатывающий вопросы надежности проектируемого объекта, устанавливает исходя из собственного опыта, а конечный результат полученных количественных характеристик будет зависеть от его квалификации и корректности применяемых методов и моделей.

Современные технические объекты являются сложными системами, состоящими порой из большого количества разнородных элементов. И одновременно, становятся все жестче требования к эффективности функционирования и качеству технических объектов, поскольку выход из строя нескольких (или даже одного) из элементов системы может привести к значительным материальным потерям вследствие сбоя выпуска требуемого объема продукции, нарушения ритмичности технологического процесса, потерь сырья, необходимости проведения ремонтных работ [2]. Для обеспечения решения задач надежной работы технического объекта на всех этапах его жизненного цикла насущной задачей является применение единого информационного подхода, удовлетворяющего требованиям CALS-технологий, использование и применение соответствующего математического и программного аппарата, позволяющего значительно сократить временные затраты на проектирование и обслуживание изделия [3 – 6].

**Цель и задачи работы.** Целью работы является разработка и внедрение информационной структурно-статистической модели для определения вероятности безотказной работы сложной системы, обеспечивающей поддержку принятия решений на всех этапах ее жизненного цикла.

**Информационные основы работы структурно-статистической модели.** Для решения задачи оптимизации системы по критерию надежности необходимо обладать быстродействующим методом анализа надежности, который позволяет строить оценки высокой точности, как для ненадежных систем, так и для систем высокой надежности. Правильный выбор структурной модели сложной системы обеспечивает в дальнейшем не только оптимальный подбор элементов, узлов, оборудования, но и позволит в дальнейшем минимизировать затраты на запасные части, проведение ремонтов или гарантировать отказоустойчивость на протяжении требуемого промежутка времени [7].

Статистическое моделирование в инженерной практике является одним из наиболее востребованных инструментов оценки различных качеств функциониро-

вания сложных систем. Для его эффективной реализации и повышения качества моделирования активно развиваются такие методы ускоренного моделирования как метод существенной выборки [8, 9], аналитико-статистический [10 – 12], метод расслоенной выборки [13, 14] и множество других [15].

Для систем с нагруженным резервированием процесс проектирования связан с огромным количеством дискретных операций выбора среди различных типов компонент на основании показателей их надежности или вклада в общую отказоустойчивости системы. Оптимизация таких систем с сетевой структурой, включающей несколько подсистем с резервированием  $k$ -из- $n$  является  $NP$ -сложной задачей [15].

С точки зрения классических моделей в теории надежности, как правило, система изучается изолированно от окружающей среды. Такой подход и сетевое представление модели позволяет предложить для оценивания надежности сложной системы информационную структурно-статистическую модель (ИССМ), использующую аппарат теории вероятностей и математической статистики [1]. Модель представляет собой сеть интеллектуальных нейроподобных элементов. Программная реализация модели позволяет построить структурную модель, обучить ее, установить возможные места повреждений, организовать обработку статистики повреждений и на выходе получить число – показатель структурной отказоустойчивости сложной системы  $K_{CO}$  (рис. 1). По величине такого показателя можно

осуществлять предварительную оценку структурной отказоустойчивости системы при проектировании, использовать в информационной технологии диагностирования или восстановления структуры технического объекта. Т.о., для получения значения  $K_{CO}$  ИССМ позволяет осуществить статистически обоснованное количество экспериментов в режиме реального времени, при этом на каждом шаге эксперимента из модели удаляется по одному элементу и среднестатистической величине вероятности безотказной работы рассчитывается

сам показатель. Т.о., повреждения структуры объекта возможно рассматривать на модельном уровне. В результате, при рассмотрении возможных вариантов структуры проектируемого объекта такой подход позволяет их сравнивать по величине  $K_{CO}$  (рис. 2).

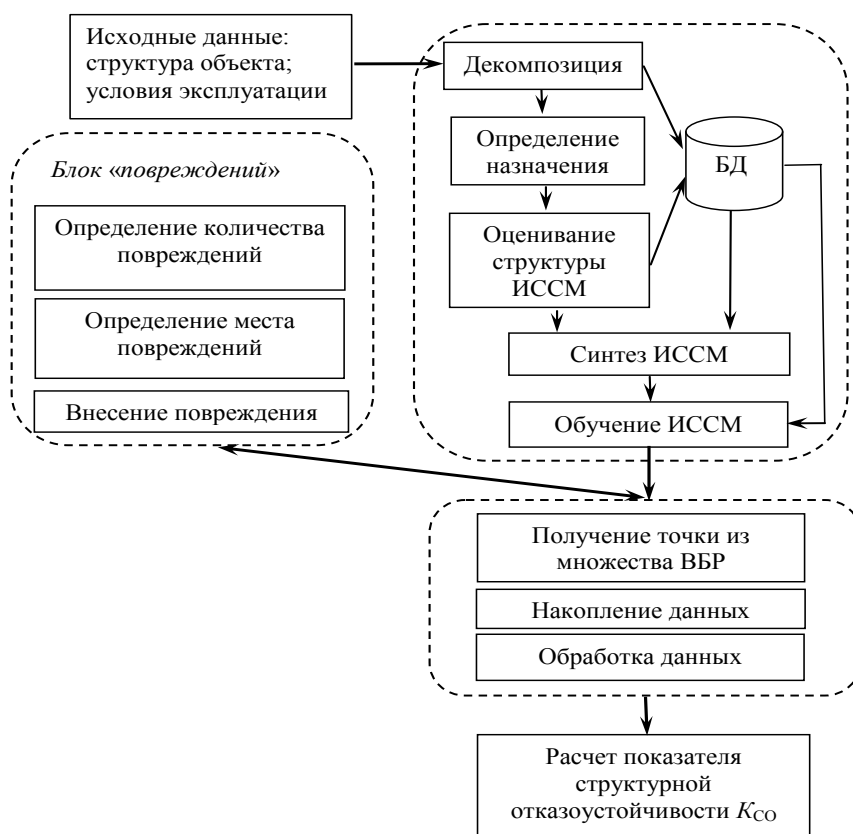


Рис. 1 – Схема процесса получения значения показателя структурной отказоустойчивости при помощи ИССМ

На входе информационной технологии сравнения предложены варианты структуры объекта и заданная нагрузка на объект. Первые необходимы для построения соответствующих вариантов структуры ИССМ, а последняя – для решения подзадачи

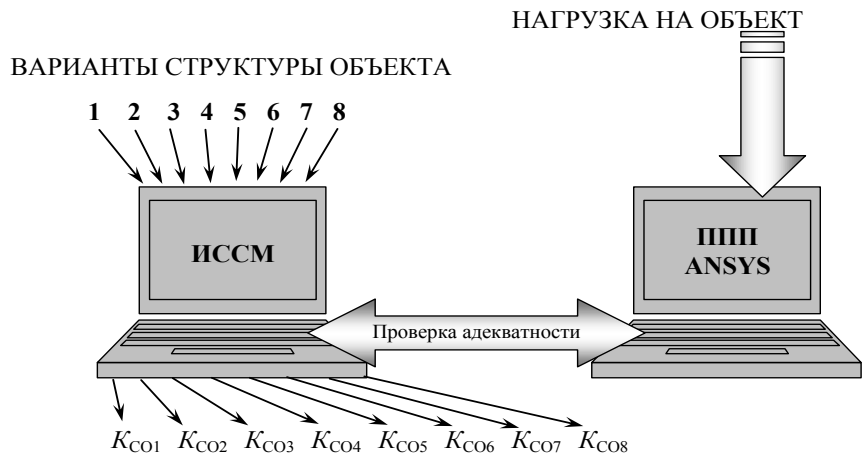


Рис. 2 – Схема информационной технологии сравнения вариантов на этапе структурного проектирования

проверки адекватности модели, если такая необходимость возникает в результате реализации технологии сравнения.

Кроме того, поскольку в составе информационной технологии работает Блок прогнозирования повреждений, возникающих на протяжении будущего жизненного цикла, то становится возможным определять значения  $K_{CO}$  и по факту изменения состояния или исчерпания некоторого ресурса (времени, пробега и т.п.).

**Использование ИССМ для поддержки принятия решения на этапе выбора конструктивной схемы.** Для иллюстрации возможностей применения  $K_{CO}$  как дополнительного параметра при поддержке решения о выборе наиболее оптимальной с точки зрения отказоустойчивости структурной схемы рассмотрим пример разработки конструктивной схемы очистного комплекса станции очистки балластных вод [16]. Процесс очистки сточных вод обеспечивается вследствие последовательного прокачивания загрязненной жидкости через накопительный бак, теплообменник, фильтры, сепаратор (очищенная жидкость и отделенные нефтепродукты выводятся отдельно). Структурная схема может быть представлена в следующем виде (рис. 3, а), а набор вариантов структур с нагруженным резервированием представлены на рис. 3 (б) и рис. 3 (в), соответственно.

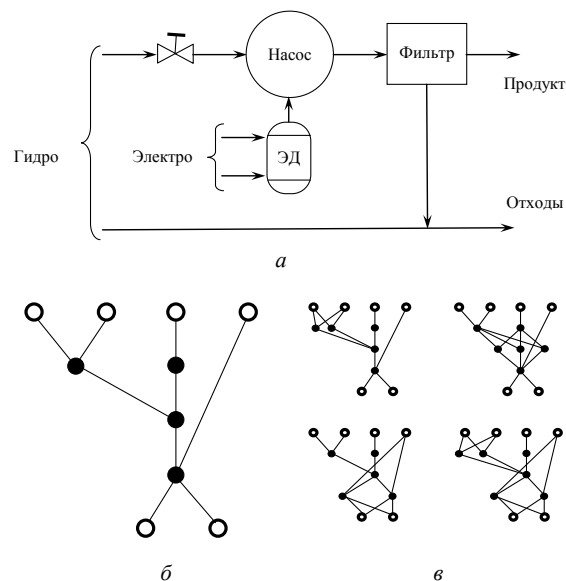


Рис. 3 – Пример преобразования конструктивной схемы объекта в исходный граф и варианты структур с резервными элементами: а – пример преобразования конструктивной схемы объекта, б – исходный граф, в – варианты структур с резервными элементами

Для решения о выборе структуры и установления нагруженного резервирования соответствующего элемента конструкции, при построении ИССМ в соответствии с приведенной на рис. 1 схемой, было рассмотрено 8 вариантов структур. Для каждого варианта рассчитано значение  $K_{CO}$  (табл. 1) [1, 16].

Таблица 1 – Результаты расчетов показателя структурной отказоустойчивости при проектировании очистных сооружений

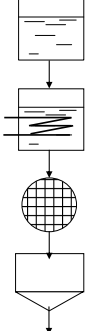
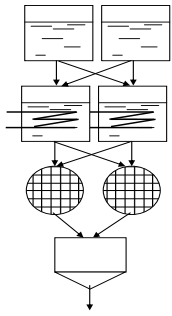
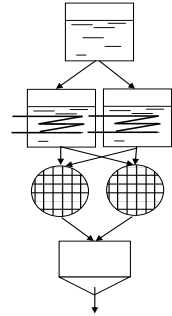
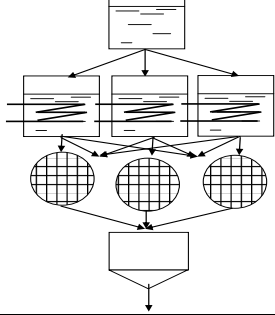
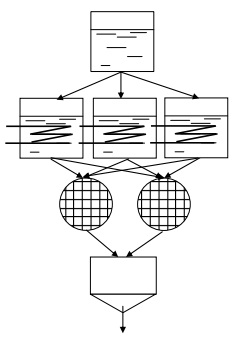
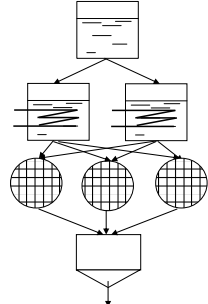
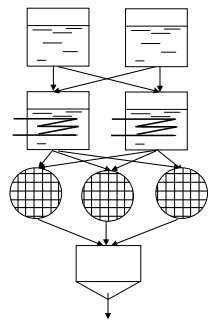
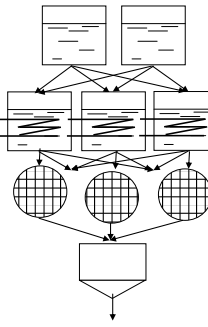
№№ пп	Описание варианта конструктивного решения	Структура варианта	Расчетное значение показателя структурной отказоустойчивости
1	2	3	4
1	Исходный без резервирования		0,451
2	Двойное резервирование бака, теплообменника, фильтра		0,454
3	Двойное резервирование теплообменника и фильтра		0,462
4	Тройное резервирование теплообменника и фильтра		0,559
5	Тройное резервирование теплообменника и двойное фильтра		0,561

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4
6	Двойное резервирование теплообменника и тройное фильтра		0,562
7	Двойное резервирование теплообменника и бака, тройное фильтра		0,562
8	Тройное резервирование теплообменника и фильтра, двойное бака		0,556

Как видно из таблицы, наилучшие показатели имеет шестой вариант структуры. Однако значение  $K_{CO}$  для этого варианта существенно не отличается от предыдущего, а дополнительная структурная сложность объекта при этом очевидна. Эти данные могут быть учтены при принятии соответствующего проектного решения. Для данного примера на этом этапе оценивания структурной отказоустойчивости был принят лучшим вариант 5.

Предложенная ИССМ не только позволяет определить отказоустойчивость еще не существующего объекта по его структуре (например, на этапе проектирования), а следовательно реализует возможность сравнивать эти варианты по расчетным показателям структурной отказоустойчивости, и при принимать участие в прогнозировании течения будущей эксплуатации этих объектов.

Так для рассмотренных вариантов структурных схем очистных сооружений по данной методике на ресурсном интервале  $\tau$  произведен расчет  $K_{CO}$  (рис. 4).

Для рассмотренных вариантов структурных схем при моделировании их повреждений и расчете структурной отказоустойчивости на ресурсном интервале, полученное значение  $K_{CO}$  позволяет осуществить аргументированный выбор определенной структурной схемы как на начальном этапе проектирования, так и выполнить оценку структурной отказоустойчивости при прогнозировании их стояний на ресурсном интервале.

**Выводы.** Таким образом, ИССМ не только позволяет определить структурную отказоустойчивость еще не существующего объекта, а и предоставляет возможность сравнивать выбранные конструкции по полученным значениям показателя структурной отказоустойчивости. Кроме того, предложенная методика может быть использована и для прогнозирования течения будущей эксплуатации этих сложных систем. На практике предложенный информационный статистический метод прогнозирования повреждений и идентификации отказов был испытан в рамках автоматизированной системы проектирования на станции очистки балластной воды Одесского морского порта, что позволило улучшить глубину фильтрации на 0,05 мг нефтепродуктов на 1 л балластной воды и уменьшить на 35 % расходы на эксплуатацию и ремонт технологического оборудования.

**Список литературы:** 1. Савельева, О. С. Экспресс-модель надежности сложных систем в САПР [Текст] / О. С. Савельева // Праці Одеськ. політехн. ун-ту: наук. та наук.-виробн. зб. – Одеса: ОНПУ, 2011. – Вип. 2 (36). – С. 174 – 178. 2. Краснянский, М. Н. Надежность функционирования процессов и аппаратов многоассортиментных химических производств [Текст] / М. Н. Краснянский. – М.: Машиностроение, 2010. – 116 с. 3. Гадьяцкая, О. А. Оптимизация структуры сети по критерию минимума математического ожидания числа несвязанных пар узлов [Электронный ресурс] / О. А. Гадьяцкая. – Эл. научн. журнал «Исследовано в России», 2008. – С. 195 – 202 с. – Режим доступа: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2008/015.pdf>. 4. Glynn, P. W. Importance Sampling for Stochastic Simulations [Text] / P. W. Glynn, D. L. Iglehart // Manag. Science. – 1989. – 35, № 10. – P. 1367 – 1392. 5. Smith, P. J. Quick Simulation: A Review of Importance Sampling Techniques in Communications Systems [Text] / P. J. Smith, M. Shafi, H. Gao // IEEE Selected Areas Commun. – 1997. – 15, № 4. – P. 597–613. 6. Kovalenko, I. N. Mathematical Theory of Reliability of Time Dependent Systems with Practical Applications [Text] / I. N. Kovalenko, N. Yu. Kuznetsov, Ph. A. Pegg – Chichester: Wiley, 1997. – 303 p. 7. Андон, Ф. И. Структурные статистические модели: инструмент познания и моделирования [Текст] / Ф. И. Андон, А. С. Балабанов // Систем. дослідж. та інформ. технології. – 2007. – № 1. – С. 79 – 98. 8. Kumamoto, H. Daggestsampling Monte Carlo for System Unavailability Evaluation [Text] / H. Kumamoto, K. Tanaka, K. Inone, E. S. Henley // IEEE Trans. Reliab. – 1980. – R-29, № 2. – P. 122 – 125. 9. Шумская, А. А. Ускоренное моделирование коэффициента неготовности восстанавливаемой системы с ограниченной относительной погрешностью оценки [Текст] / А. А. Шумская // Кибернетика и системный анализ. – 2003. – № 3. – С. 45 – 58. 10. Кожешкурт, В. И. Применение ускоренного моделирования для расчета оптимального количества запасных элементов, обеспечивающих требуемую надежность системы [Текст] / В. И. Кожешкурт, В. Б. Осташевский, Н. Ю. Кузнецов // Регстрація, зберігання і обробки даних, 2008. – Т. 10. – № 1. – С. 69 – 79. 11. Glasserman, P. Multilevel Splitting for Estimating Rare Event Probabilities [Text] / P. Glasserman, Ph. Heidelberger, P. Shahabuddin, T. Zajic // Oper. Research. – 1999. – 47, № 4. – P. 585 – 600. 12. Fox, B. L. Discrete-Time Conversion for Simulating Finite-Horizon Markov Processes [Text] / B. L. Fox, P. W. Glynn // SIAM J. Appl. Math. – 1990. – 50, № 5. – P. 1457 – 1473. 13. Glasserman, P. Multilevel Splitting for Estimating Rare Event Probabilities [Text] / P. Glasserman, Ph. Heidelberger, P. Shahabuddin, T. Zajic // Oper. Research. – 1999. – 47, № 4. – P. 585 – 600. 14. Шнак, В. Д. Аналитико-статистические оценки для обрывающихся процессов восстановления и их эффективность [Текст] / В. Д. Шнак // Кибернетика и системный анализ. – 2005. – № 1. – С. 138 – 155. 15. Кочкаров, А. А. Обеспечение стойкости сложных систем. Структурные аспекты [Текст] / А. А. Кочкаров, Г. Г. Малинецкий // Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science. – Москва, 2005. – 32 с. 16. Плачинда, О. Е. Методы оценки отказоустойчивости сложных технических систем [Текст] / О. Е. Плачинда, А. Л. Становский, О. С. Савельева // Зб. наук. праць Одеськ. ін-ту сухоп. військ. – Одеса: ОІСВ, 2007. – № 14. – С. 106 – 109.

**Bibliography (transliterated):** 1. Saveleva, O. S. (2011). Express model of reliability of complex systems in CAD. PratsI Odesk. polItehn. un-tu: nauk. ta nauk.-virobn. zb. Odesa, V. 2 (36), 174 – 178. 2. Krasnyanskiy, M. N. (2010). Reliability of the processes and devices mnogoassortimentnyh chemical

production. – Moscow: Mashinostroenie. – 116.**3. Gadyatskaya, O. A.** (2008). Optimization of network structure on the criterion of the minimum expected number of bound pairs of nodes. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2008/015.pdf>. **4. Glynn, P. W. Iglehart D. L.** (1989). Importance Sampling for Stochastic Simulations. *Manag. Science.* 35, № 10, 1367 – 1392.**5. Smith, P. J. Shafi, M. Gao, H.** (1997). Quick Simulation: A Review of Importance Sampling Techniques in Communications System. *IEEE Selected Areas Commun.* 15, № 4, 597 – 613.**6. Kovalenko, I. N. Kuznetsov, N. Yu. Pegg, Ph. A.** (1997). *Mathematical Theory of Reliability of Time Dependent Systems with Practical Applications* Chichester: Wiley, 303.**7. Andon, F. I. Balabanov, A. S.** (2007). Structural statistical models: a tool for learning and modeling. *Sistem. doslidzh. ta inform. tehnologiyi.* № 1, 79 – 98.**8. Kumamoto, H. Tanaka, K. Inone, K. Henley, E. S.** (1980). Daggestsampling Monte Carlo for System Unavailability Evaluation. *IEEE Trans. Reliab.* R-29, № 2, 122 – 125.**9. Shumskaya, A. A.** (2003). Accelerated simulation of availability of renewable systems with limited relative error of assessment. *Kibernetika i sistemnyi analiz.* № 3, 45 – 58.**10. Kozheshkurt, V. I. Ostashevskiy, V. B. Kuznetsov, N. Yu.** (2008). The use of rapid modeling to calculate the optimal amount of spare elements to ensure the required reliability. *ReestratsIya, zberIgannya i obrobka danih,* V. 10, № 1, 69 – 79.**11. Glasserman, P. Heidelberger, Ph. Shahabuddin, P. Zajic, T.** (1999). Multilevel Splitting for Estimating Rare Event Probabilities. *Oper. Research.* 47, № 4, 585 – 600.**12. Fox, B. L. Glynn, P.W.** (1990). Discrete-Time Conversion for Simulating Finite-Horizon Markov Processes. *SIAM J. Appl. Math.* 50, № 5, 1457 – 1473.**13. Glasserman, P. Heidelberger, Ph. Shahabuddin, P. Zajic, T.** (1999). Multilevel Splitting for Estimating Rare Event Probabilities. *Oper. Research.* 47, № 4, 585 – 600.**14. Shpak, V. D.** (2005). Analytical and statistical estimates for terminating the processes of recovery and their effectiveness. *Kibernetika i sistemnyi analiz,* № 1, 138 – 155.**15. Kochkarov, A. A. Malinetskiy, G. G.** (2005). Ensuring the stability of complex systems. *Structura***16. Plachinda, O. E., Stanovskiy, A. L., Saveleva, O. S.** (2007). Methods for assessing fault tolerance of complex technical systems. *Zb. nauk. prats Odesk. In-tu suhop. viysk. Odesa,* № 14, 106 – 109.

*Поступила (received) 18.04.2015*

## УДК 681.5.01

**А. І. ЖУЧЕНКО**, д-р техн. наук, проф., зав. каф., НТУУ «КПІ» Київ;  
**В. С. ЦАПАР**, ст. викл., НТУУ «КПІ» Київ

### СИНТЕЗ СПОСТЕРІГАЧА СТАНУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

В даній роботі проведено синтез спостерігачів стану температурного режиму скловарної печі на базі різних модифікацій фільтра Калмана. Проведено імітаційне моделювання роботи скловарної печі із синтезованими спостерігачами. Досліджено результати моделювання та зроблено висновки щодо доцільності використання даних спостерігачів при різних видах збурень. Показано, що найкраще працює модифікований фільтр Калмана з фільтрами шумів, що діють на стан об'єкту.

**Ключові слова:** спостерігач, фільтр Калмана, імітаційне моделювання, математична модель, скловарна піч.

**Вступ.** Основним технологічним процесом у виробництві скляної продукції є процес скловаріння. Ефективність даного процесу визначається його температурним режимом [1]. Температура скломаси є найважливішим технологічним параметром, що визначає процеси розплавлення, очищення, гомогенізації, повторного очищення та термічної однорідності скла. Це обумовлює потребу створення досконалої системи контролю та керування температурами скломаси та газового середовища у скловарній печі.

© А. І. ЖУЧЕНКО, В. С. ЦАПАР, 2015

**Аналіз існуючих систем контролю та керування температурного режиму процесу скловаріння.** На протязі останніх десятиліть для розробки систем керування температурного режиму застосовуються новітні здобутки теорії автоматичного керування. Опису розроблених систем керування присвячена значна кількість робіт вітчизняних та закордонних авторів.

У роботі [2] автором було досліджено різноманітні підходи до моделювання та керування скловарною піччю, та був зроблений висновок про більш доцільне використання прогнозувального керування з нелінійними моделями. Робота [3] присвячена опису та дослідженню результатів роботи системи керування ЕНАС (Extended Horizon Adaptive Controller), у висновках йдеться про задовільний результат роботи даної системи по подоланню височастотних збурень. У роботах [4,5] запропоновано системи керування температурним режимом скловарної печі на базі нечітких регуляторів. Також поширеними є системи керування побудовані на базі класичних та модифікованих ПІД регуляторів [6,7].

**Постановка задачі дослідження.** Розглянуті системи контролю та керування температурним режимом скловарної печі передбачають вимірювання температур у певних її точках. Кількість таких точок досить обмежена, що не дозволяє сформувати повну картину температурного поля скловарної печі. Дана обставина погіршує контроль за процесом та його діагностування, що може призвести до передаварійних і навіть аварійних ситуацій. Крім того, ефективність систем керування, побудованих на обмеженій інформації про температурне поле, може виявитися нижче за можливу.

У цій ситуації альтернативою є використання спостерігачів, зокрема фільтра Калмана [8], який дозволяє за виміряними вхідними та вихідними даними розрахувати (оцінити) значення температур у будь-якій точці скловарної печі, використовуючи математичну модель процесу, що розглядається. На практиці різниця між оцінками вимірювань та реальними вимірюваннями процесу (термопарами) мають місце завдяки збуренням процесу, похибкам моделі, з одного боку, та неточності датчиків або їх похибками, з другого боку. З часом ці різниці, які є похибками оцінювання вихідних змінних  $\varepsilon_y(t) = y(t) - \hat{y}(t)$  можуть зростати і призводити до великих неузгоджень між прогнозами моделей та реальними значеннями змінних процесу.

Якщо математична модель, що використовується, адекватно описує реальний процес скловаріння, то відхилення прогнозованих за моделлю значень температур від вимірюваних значень можна вважати такими, що викликані збуреннями з відомими стохастичними властивостями, то спостерігач може бути синтезований за умови мінімізації математичного сподівання середньоквадратичної норми (СКН) похибки  $\varepsilon = T - \hat{T}$  між температурним полем, що вимірюється  $T$ , та його оцінкою  $\hat{T}$ :

$$\|\varepsilon\|_{СКН} = (\lim_{k \rightarrow \infty} E\{\varepsilon^T(k)\varepsilon(k)\})^{1/2},$$

де  $E\{\varepsilon^T(k)\varepsilon(k)\}$  - математичне сподівання випадкової величини  $\varepsilon(k)$ .

При цьому будемо вважати, що вимірювання температур скломаси виконуються періодично через  $\Delta t$  одиниць часу. Вимірювання у  $k$ -момент часу значень  $y(t)$  позначимо як  $y(k) = y(t_k) = y(k\Delta t)$ . На рис. 1 схематично показана процедура оцінювання, яка використовується у даному дослідженні.



Як видно з рис. 1, у процесі дослідження розглядаються два види збурень:  $d_1(k)$  – збурення, що безпосередньо впливають на стан процесу скловаріння та  $d_2(k)$  – збурення, які спостерігаються у вихідних вимірюваннях.

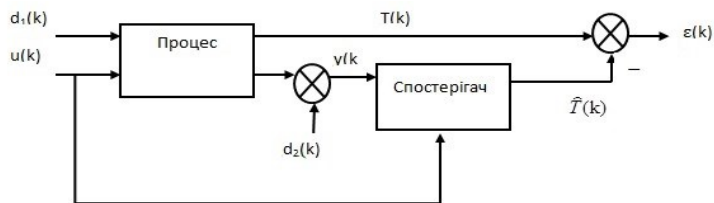


Рис. 1 – Структурна схема процедури оцінювання

При синтезі стандартного фільтра Калмана як збурення, що діють на стан процесу, так і похибки вимірювання вважають сигналом типу «білий шум» [9]. Однак, з практики скловаріння відомо, що існують збурення, які змінюються повільно у межах частот самого процесу і які суттєво впливають на сам процес. Прикладом таких повільно змінюваних збурень є зміна числа Редокса скломаси, що суттєво впливає на теплопровідність останньої. Дані збурення спостерігаються на вимірюваних виходах. У зв'язку з цим сигнали збурення при синтезі спостерігача треба розглядати як послідовність кольорових шумів.

Таким чином, метою даної статті є синтез фільтра Калмана для процесу скловаріння з урахуванням збурень у вигляді послідовності кольорових шумів.

**Розширений фільтр Калмана.** Фільтр Калмана може бути розширений за рахунок фільтрів шуму для покращення функціонування у присутності низькочасотних збурень, які у виробничих умовах варіння скла мають не менш важливе значення, ніж високочастотні збурення. На рис. 2 показана схема оцінювання фільтром Калмана з двома фільтрами шуму  $F_1$  та  $F_2$ . Збурення  $d_1(k)$  та  $d_2(k)$  є послідовністю кольорових шумів, яка формується як результат фільтрації послідовності білих шумів  $v_1$  та  $v_2$

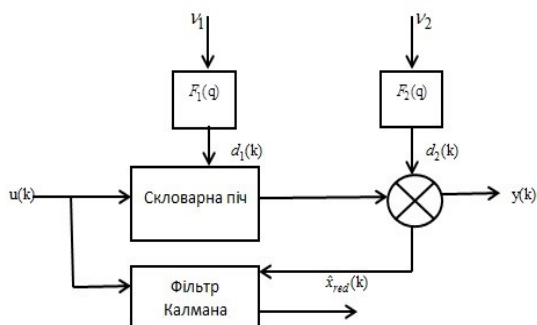


Рис. 2 – Схема оцінювання фільтром Калмана з двома фільтрами шуму

$$d_1 = F_1(q)v_1 \quad d_2 = F_2(q)v_2$$

де,  $q$  - оператор зсуву назад;  $F_1(q) \in \mathbb{R}^{n_{d,1} \times n_{d,1}}$  та  $F_2(q) \in \mathbb{R}^{n_{d,2} \times n_{d,2}}$  - лінійні фільтри, а сигнали  $v_1$  та  $v_2$  є незалежними та нормально розподіленими

$$v_1(k) \in N(0, I_{n_{d,1}}) \quad v_2(k) \in N(0, I_{n_{d,2}})$$

для всіх  $k$ .

Відхилення температури  $\Delta T(k) = T(k) - \bar{T}$  від заданої робочої точки  $\bar{T}$  та вимірювані виходи  $y(k)$  розраховуються за моделлю

$$\begin{aligned} x(k+1) &= \mathbf{A}x(k) + \mathbf{B}u(k) + \mathbf{G}_1 d_1(k), \\ y(k) &= \mathbf{C}_y x(k) + \mathbf{G}_2 d_2(k), \\ \Delta T(k) &= \mathbf{C}_T x(k), \end{aligned} \quad (1)$$

з вектором станів  $x(k) \in \mathbb{R}^{n_x}$  моделі, матрицями параметрів  $\mathbf{A} \in \mathbb{R}^{n_x \times n_x}$ ,  $\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{n_x \times n_u}$ ,  $\mathbf{C}_y \in \mathbb{R}^{n_y \times n_x}$ ,  $\mathbf{C}_T \in \mathbb{R}^{n_x \times n_x}$  та ваговими матрицями  $\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2$  збурень  $d_1(k)$  та  $d_2(k)$ . Елементи матриць  $\mathbf{G}_1, \mathbf{G}_2$  вибираються на основі припущень щодо точності моделі, шумів датчиків та збурень самого процесу.

У подальшому вважаємо керування  $u(k)$  та збурення  $d_1(k)$  і  $d_2(k)$  незалежними, а невідомий початковий вектор стану  $x(0) = x_0 \in N(0, Q_0)$  є нормально розподіленою випадковою величиною з невідомою матрицею коваріації  $Q_0$ .

Фільтри шуму  $F_1$  та  $F_2$  можуть бути представлені моделлю у просторі станів

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{F_1}(k+1) &= \mathbf{A}_{F_1} \mathbf{x}_{F_1}(k) + \mathbf{B}_{F_1} \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{d}_1(k) &= \mathbf{C}_{F_1} \mathbf{x}_{F_1}(k) + \mathbf{D}_{F_1} \mathbf{v}_1 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_{F_2}(k+1) &= \mathbf{A}_{F_2} \mathbf{x}_{F_2}(k) + \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{B}_F^F & 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}_{F_2}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{v}_2^F(k) \\ \mathbf{v}_2^{NF}(k) \end{bmatrix}}_{\mathbf{v}_2(k)} \\ \mathbf{d}_2(k) &= \mathbf{C}_{F_2} \mathbf{x}_{F_2}(k) + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & \mathbf{D}_F^{NF} \end{bmatrix}}_{\mathbf{D}_{F_2}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{v}_2^F(k) \\ \mathbf{v}_2^{NF}(k) \end{bmatrix}}_{\mathbf{v}_2(k)} \end{aligned} \quad (3)$$

де  $x_{F_1} \in R^{n_{d_1}}$ ,  $x_{F_2} \in R^{n_{d_2}}$  – змінні стану фільтрів,  $\mathbf{A}_{F_1} \in R^{n_{d_1} \times n_{d_1}}$ ,

$\mathbf{B}_{F_1} \in R^{n_{d_1} \times n_{d_1}}$ ,  $\mathbf{C}_{F_1} \in R^{n_{d_1} \times n_{d_1}}$ ,  $\mathbf{D}_{F_1} \in R^{n_{d_1} \times n_{d_1}}$ ,  $\mathbf{A}_{F_2} \in R^{n_{d_2} \times n_{d_2}}$ ,  $\mathbf{B}_{F_2}^F \in R^{n_{d_2} \times n_{d_2}}$ ,  $\mathbf{C}_{F_2} \in R^{n_{d_2} \times n_{d_2}}$ ,  $\mathbf{D}_{F_2}^{NF} \in R^{n_{d_2} \times n_{d_2}}$  – матриці параметрів моделей двох фільтрів збурень.

Вектор збурення  $\mathbf{v}_2$  розбитий на дві складові: вектор  $\mathbf{v}_2^F(k)$ , що фільтрується, та вектор  $\mathbf{v}_2^{NF}(k)$ , що не фільтрується (білий шум вимірювачів). Вважається, що ці вектори незалежні один від одного. Параметри моделі визначаються дослідником (можуть бути задані) та використовуються для налаштування фільтра Калмана.

Математичний опис фільтрів (2) та (3) підставимо замість  $G_1 d_1(k)$  та  $G_2 d_2(k)$  у рівняння (1):

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}(k+1) \\ \mathbf{x}_{F_1}(k+1) \\ \mathbf{x}_{F_2}(k+1) \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{C}_{F_1} & 0 \\ 0 & \mathbf{A}_{F_1} & 0 \\ 0 & 0 & \mathbf{A}_F \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}^{(E)}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{x}_{F_1}(k) \\ \mathbf{x}_{F_2}(k) \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}^{(E)}(k)} + \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{B} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_{\mathbf{B}^{(E)}} \mathbf{u}(k) + \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{D}_{F_1} & 0 \\ \mathbf{B}_{F_1} & 0 \\ 0 & \mathbf{B}_F \end{bmatrix}}_{\mathbf{G}_1^{(E)}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{v}_1(k) \\ \mathbf{v}_2(k) \end{bmatrix}}_d \quad (4)$$

$$\mathbf{y}(k) = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{C} & 0 & \mathbf{C}_{F_2} \end{bmatrix}}_{\mathbf{C}^{(E)}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{x}(k) \\ \mathbf{x}_{F_1}(k) \\ \mathbf{x}_{F_2}(k) \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}^{(E)}(k)} + \mathbf{D} \mathbf{u}(k) + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & \mathbf{D}_{F_2} \end{bmatrix}}_{\mathbf{G}_2^{(E)}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{v}_1(k) \\ \mathbf{v}_2(k) \end{bmatrix}}_d \quad (5)$$

Математична модель (4) та (5) може бути записана у вигляді

$$\mathbf{x}^{(E)}(k+1) = \mathbf{A}^{(E)} \mathbf{x}^{(E)}(k) + \mathbf{B}^{(E)} \mathbf{u}(k) + \mathbf{G}_1^{(E)} \mathbf{v}^{(E)}(k), \quad (6)$$

$$\mathbf{y}(k) = \mathbf{C}^{(E)} \mathbf{x}^{(E)}(k) + \mathbf{D} \mathbf{u}(k) + \mathbf{G}_2^{(E)} \mathbf{v}^{(E)}(k). \quad (7)$$

Далі фільтр Калмана може бути синтезований відомими методами [10] з використанням матриць  $\mathbf{A}^{(E)}$  та  $\mathbf{C}^{(E)}$  для розв'язання рівнянь Рікатті.

Розглянемо 4 типи фільтра Калмана:

1. Стандартний фільтр Калмана:  $\mathbf{C}_{F_1} = 0$ ,  $\mathbf{C}_{F_2} = 0$  (ФК).

2. Модифікований фільтр Калмана з фільтрами шумів, що діють на стан об'єкту (ФКСО):  $\mathbf{C}_{F_1} = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{n_y} & 0 \end{bmatrix}^T$ ,  $\mathbf{C}_{F_2} = 0$ . При цьому передбачається, що збурення,

які діють на стан об'єкту змінюються повільно (так, як «день\ніч» ефекти, зміна числа Редокса тощо).

3. Модифікований фільтр Калмана з фільтрами шумів, що діють на вході об'єкту (ФКВхО):  $C_{F_1} = [V^T \ 0]^T$ ,  $C_{F_2} = 0$ . У цьому випадку, збурення, що діють на стан об'єкту, впливають так само, як і вхідні змінні.

4. Модифікований фільтр Калмана з фільтрами, що діють на виході об'єкту (ФКВиО)  $C_{F_1} = 0$ ,  $C_{F_2} = I_{n_y}$ . Цей випадок відповідає повільним змінам збурень, що впливають на вимірювання вихідних змінних.

**Імітаційне моделювання.** Мета імітаційного моделювання – дослідити ефективність запропонованих модифікацій фільтра Калмана у порівнянні із стандартним фільтром для оцінювання температур у різних точках скловарної печі. Як контрольні точки вибрані шість точок, розташованих біля дна скловарної печі. У якості керувань використовуються відхилення  $\Delta T(k)$  температури своду скловарної печі від заданого значення та витрати скломаси  $S(k)$ , що відбирається.

Для розрахунку «вимірюваних» температур використовувалась математична модель у вигляді

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(k+1) &= \mathbf{A}\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}\mathbf{u}(k), \\ \mathbf{y}(k) &= \mathbf{C}_y\mathbf{x}(k), \\ \mathbf{T}(k) &= \mathbf{C}_T\mathbf{x}(k). \end{aligned} \quad (8)$$

Ця модель демонструє зв'язок вектора температур  $\mathbf{T}(k)$  з вектором виходів  $\mathbf{u}(k) \in R^2$  та вектором вимірюваних температур  $\mathbf{y}(k) \in R^6$ . Вектор стану  $\mathbf{x}(k) \in R^8$  характеризує пам'ять моделі і не має безпосереднього фізичного змісту. Матриці  $\mathbf{A} \in R^{8 \times 8}$ ,  $\mathbf{B} \in R^{8 \times 2}$ ,  $\mathbf{C}_y \in R^{6 \times 8}$  та  $\mathbf{C}_T \in R^{11628 \times 8}$  є матрицями параметрів моделі.

Виберемо  $\mathbf{A}_{F_1} = \mathbf{I}_{n_{d1}}$  та  $\mathbf{A}_{F_2} = \mathbf{I}_{n_{d2}}$  одиничними матрицями. Матриці  $\mathbf{B}_{F_1} = \gamma_{d_{1,Fit}} \mathbf{I}_{n_{d1}}$  та  $\mathbf{B}_{F_2}^F = \gamma_{d_{2,Fit}} \mathbf{I}_{n_{d1}}$  є одиничними матрицями, помноженими на вагові коефіцієнти  $\gamma_{d_{1,Fit}}$  та  $\gamma_{d_{2,Fit}}$ . Матриці  $\mathbf{D}_{F_1} = \gamma_{d_1} \mathbf{I}_{n_{d1}}$  та  $\mathbf{D}_{F_2} = \gamma_{d_2} \mathbf{I}_{n_{d2}}$  також вибираємо як одиничні, помножені на вагові коефіцієнти  $\gamma_{d_1}$  та  $\gamma_{d_2}$ .

У процесі імітаційного моделювання скловарної печі досліджувалась реакція останньої східчасті вхідні сигнали.

До вхідних сигналів додавалась послідовність сигналів шумів у вигляді фільтрованого білого шуму, а до вимірюваних виходів додавалися сигнали типу білий шум.

Температури в усіх 6 контрольних точках оцінювались, використовуючи 4 вище описаних фільтра Калмана. Далі аналізувалась похибка оцінювання  $\varepsilon(k) = T(k) - \hat{T}(k)$ . Результати дослідження представлені на рис. 3, а-е.

З отриманих результатів випливає, що фільтр Калмана працює достатньо ефективно, коли збурення подаються на входи та діють на стан об'єкту керування. Помилковим виявилось припущення про кольоровість збурень, які діють на виході, що може призвести до значних похибок оцінювання.

Дані результати дають можливість вважати, що низькочастотні збурення у скловарній печі діють на вході і впливають на стан об'єкта керування.

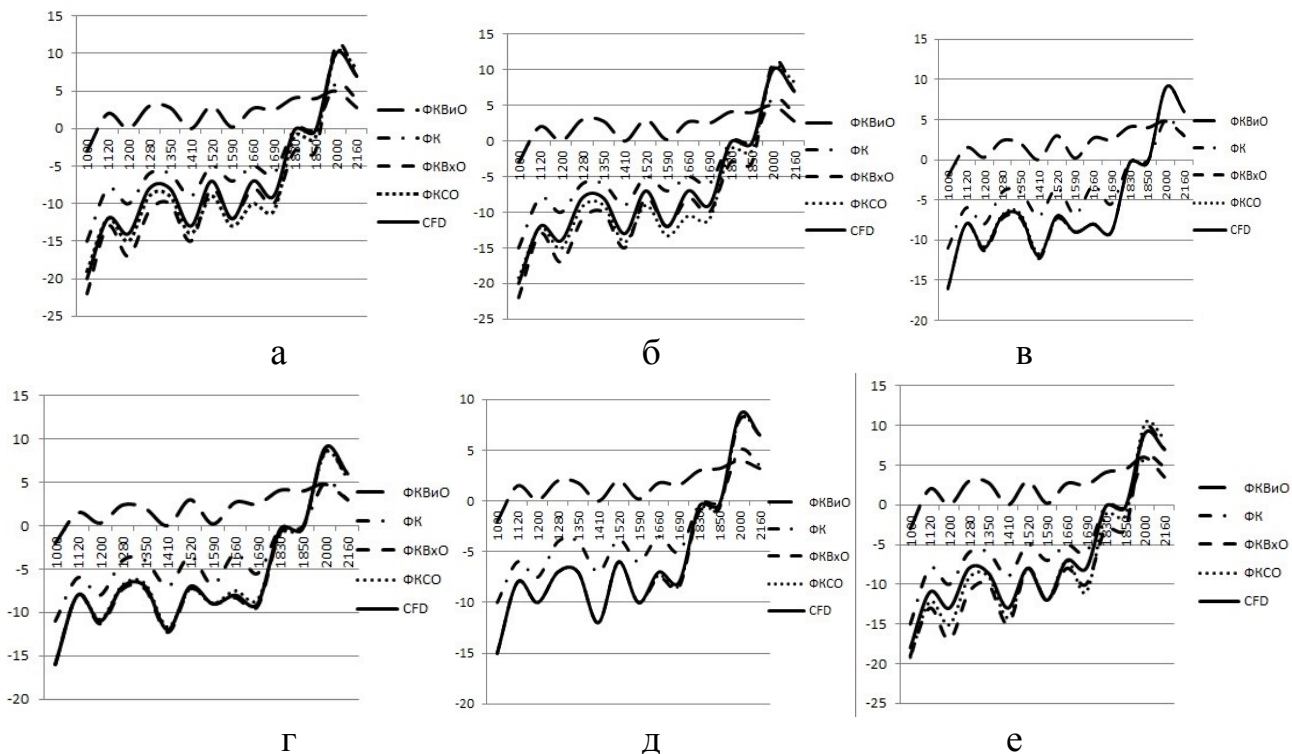


Рис. 3 – Відхилення оцінок температур від «вимірюваних» значень у точках 1–6: відповідно а – е

**Висновки.** В даній роботі було синтезовано спостерігачі стану температурно-го режиму скловарної печі на базі чотирьох модифікацій фільтра Калмана. Проведено імітаційне моделювання, котре показало значну ефективність модифікацій фільтра Калмана для прогнозування змін температури в точках котрі безпосередньо не вимірюються. Як видно з отриманих результатів, найкраще працює модифікований фільтр Калмана з фільтрами шумів, що діють на стан об'єкту.

**Список літератури:** 1. Товажнянський, Л. Л. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве [Текст] / Л. Л. Товажнянський, В. М. Кошельник и др. // Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. –628 с. 2. Havel, P. Overview of automatic control of glass furnaces. [Text] / P. Havel // Ceramics-Silikáty. – 2006. – № 50(1). – P. 1–56. 3. Hill, J. H. Adaptive control of an industrial float glass process [Text] / J. H. Hill, B. E. Ydstie, Y. Jiao // Int. Journal of Adaptive Control and Signal Processing. – 2004. 4. Суликова, В. А. Алгоритм нечеткого управления процессом варки стекла [Текст] / А. В. Суликова // ВЕСТНИК ОГУ. – 2014. – № 3(164). – С. 173–179. 5. Moon, U. Hybrid algorithm with fuzzy system and conventional PI control for the temperature control of TV glass furnace [Text] / U. Moon, K.Y. Lee. // Control Systems Technology, IEEE Transactions. – 2003. – № 11(4). – p. 548–554. 6. Jianling, Q. Design of Glass Furnace Control System Based on Model-Free Adaptive Controller [Text] / Qi Jianling, Ma Guang // Computer Modeling and Simulation, 2010. ICCMS '10. Second International Conference. – 2010. – № 4. – p. 130–133. 7. Rajarathinam, K. Decentralised PID control tuning for a multivariable glass furnace by genetic algorithm [Text] / K. Rajarathinam, J. B. Gomm, Y. DingLi, A. S. Abdelhadi // Automation and Computing (ICAC), 2014 20th International Conference. – 12-13 September, 2014. – p. 14–19. 8. Синицын, И. Н. Фильтры Калмана и Пугачева [Текст] / И. Н. Синицын // М.: Университетская книга, Логос, 2006. –640 с. 9. Колос, М. В. Методы оптимальной линейной фильтрации [Текст] / М. В. Колос, И. В. Колос // Под ред. В. А. Морозова. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 102с. 10. Балакришнан, А. В. Теория фильтрации Калмана [Текст] / А. В. Балакришнан // Изд-во «Книга по Требованию», 2012. – С.164.

**Bibliography (transliterated):** 1. Tovazhnyanskiy, L. L. (2008). Integrated energy savingthermotehnologi glass industry. Kharkov: NTU «HPI», 628 s. 2. Havel, P. (2006). Overview of automatic

control of glass furnaces. *Ceramics-Silikáty*, № 50(1), 1–56. **3.** Hill, J. H. (2004). Adaptive control of an industrial float glass process. *Int. Journal of Adaptive Control and Signal Processing*. **4.** Sulikova, V. A. (2014). Fuzzy control algorithm glass melting process. *VESTNIK OGU*, № 3(164), 173–179. **5.** Moon, U. (2003). Hybrid algorithm with fuzzy system and conventional PI control for the temperature control of TV glass furnace. *Control Systems Technology, IEEE Transactions*, № 11(4), 548–554. **6.** Jianling, Q. (2010). Design of Glass Furnace Control System Based on Model-Free Adaptive Controller. *Computer Modeling and Simulation*, № 4, 130–133. **7.** Rajarathinam, K. (2014). Decentralised PID control tuning for a multivariable glass furnace by genetic algorithm. *Automation and Computing (ICAC)*, 14–19. **8.** Sinitsyn, I. N. (2006). Kalman and Pugachev filters. M.: Universitetskaya kniga, Logos, 640 s. **9.** Kolos, M. V. (2000). Methods of optimal linear filtering. Pod red. V. A. Morozova. – Moscow.: Izd-vo MGU, 102 s. **10.** Balakrishnan, A. V. (2012). Kalman filtering theory. Izd-vo «Kniga po Trebovaniyu», 164 p.

*Надійшла (received) 29.04.2015*

## УДК 665.9

**Т. Б. ШАТОВСЬКА**, канд. техн. наук, доц., ХНУРЕ, Харків  
**І. В. КАМЕНЄВА**, канд. техн. наук, доц., ХНУРЕ, Харків

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ BDD-ФРЕЙМВОРКІВ У ТЕСТУВАННІ БЕЗПЕКИ WEB- ОРІЄНТОВАНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

На сьогоднішній день особливо важливі технології та методології, які дозволяють оперативного та ефективно створювати нові інструменти, при цьому на перше місце виходять технології та методології, які дозволяють з мінімальними затратами досягати бізнес-цілей замовника. Дана тема особливо актуальна в умовах поточної економічної кризи, істотно обмежує ІТ-бюджети і підсилило конкуренцію на ринку розробки замовленого програмного забезпечення. Виявлені деякі слабкості bdd-фреймворків у тестуванні безпеки web-орієнтованого програмного забезпечення

**Ключові слова:** bdd-фреймворк, web-додаток, Agile, модель, програмне забезпечення.

**Вступ.** Проекти розробки систем автоматизації, як і будь-які інші проекти, мають стандартний набір обмежень: терміни, ресурси, бюджет, якість. Як і в інших проектах, у проектах розробки програмного забезпечення стоїть завдання оптимізації цих показників.

Аналіз оптимізації процесу розробки систем автоматизації здійснюється за рахунок більш ефективного використання ресурсів, підвищення якості виконання робіт та зниження термінів шляхом застосування методології Agile, пропонованої як розширення методологій, побудованих за ітеративному принципом і націленої на швидку і ефективну розробку інноваційних продуктів.

**Аналіз ефективності моделей розробки.** Проекти розробки систем автоматизації, як і будь-які інші проекти, мають стандартний набір обмежень: терміни, ресурси, бюджет, якість. Як і в інших проектах, у проектах розробки програмного забезпечення стоїть завдання оптимізації цих показників.

Дана тема особливо актуальна в умовах поточної економічної кризи, істотно обмежує ІТ-бюджети і підсилило конкуренцію на ринку розробки замовленого програмного забезпечення.

Зараз особливо важливі технології та методології, які дозволяють оперативного та ефективно створювати нові інструменти, при цьому на перше місце виходять

© Т. Б. ШАТОВСЬКА, І. В. КАМЕНЄВА, 2015

технології та методології, які дозволяють з мінімальними затратами досягати бізнес-цілей замовника. Зміни що відбуваються на ринку вимагають впровадження нових підходів до створення програмного забезпечення. Якщо раніше представники замовника працювали з виділеними аналітиками, які передавали їхні вимоги розробникам, то тепер компанії прагнуть безпосередньо залучати зацікавлені сторони в дискусію з перших же етапів планування та розробки ПЗ. Активні узгодження на підставі бізнес-цілей дають можливість оперативно виявляти потреби замовника. Таким чином, виробляється нова стратегія, що передбачає спільну роботу над вимогами. Чим раніше - на етапах планування архітектури, розробки дизайну - виявляються помилки, тим дешевше обходиться їх виправлення і вартість всієї розробки ПЗ. Аналіз оптимізації процесу розробки систем автоматизації здійснюється за рахунок більш ефективного використання ресурсів, підвищення якості виконання робіт та зниження термінів шляхом застосування методології Agile, запропонованої як розширення методологій, побудованих за ітеративному принципом і націленої на швидку і ефективну розробку інноваційних продуктів. Agile характеризується полегшеними, неформальними і високо адаптивними процесами розробки, що беруть основу в теорії хаосу, теорії систем, системному мисленні, системній динаміці, теорії подвійних циклів навчання, навчальних організацій, адаптивних систем і базується на чотирьох основних принципах: ітеративна розробка, отримання зворотнього зв'язку, обмеження числа учасників команд розробки, гнучкість технологій розробки.

В даний час методологія Agile досить популярна і може сприйматися як шлях вирішення більшості проблем, що існують в проектах розробки ПЗ, проте, це далеко не так - дана методологія ефективна далеко не завжди. У розумінні і застосуванні ключових принципів Agile існують серйозні проблемні зони. При впровадженні необхідно уникнути ризику погоні за неможливим і спрямувати зусилля в напрямку, що дає реальні результати.

Мета аналізу - вироблення критеріїв, що дозволяють визначити ефективність застосування методології Agile в проектах розробки систем автоматизації. В роботі проводиться порівняльний аналіз методологій розробки з точки зору застосування в різних умовах, дані конкретні рекомендації із застосування методології Agile в проектах розробки система автоматизації та розібрані типові помилки і проблеми, що виникають при впровадженні Agile.

Методологічною базою для досліджень стали публікації в літературі, методики з впровадження методологій розробки програмного забезпечення, а також публікації у відкритих джерелах і статистичні дослідження, дані про хід виконання проектів провідних компаній світу. Хоча спектр методологій розробки програмного забезпечення та систем автоматизації дуже широкий, але так чи інакше, всі вони зводяться до 2 моделей: Водоспадної і ітеративної. Якщо розглядати методології не з точки зору розбиття на стадії виділення ролей і артефактів, що виробляються в процесі розробки, а з точки зору отримання значущих результатів та ефективності, має сенс порівнювати методології по мірі ітеративності, а також ступеня формальності в оформленні розробки.

Якщо розглянути найбільш поширені на даний момент у галузі методології розробки, то можна отримати наступний розподіл (табл. 1).

Таблиця 1 – Аналіз рівня ітеративності та формалізації методологій розробки ПЗ

Методології	Ступінь ітеративності	Ступінь формалізації
Структурні методології	Низька	Висока
ГОСТи 19, 34	Низька	Висока
ГОСТ 12207	Середня	Середня
RUP	Висока	Середня
MSF	Висока	Середня
Гнучкі (Agile) методології	Висока	Низька

Ілюстрація статистики поліпшень показників якості у результаті застосування Agile практик приведена у наступному блоці (табл. 2):

Таблиця 2 – Ефективність застосування Agile

Джерело	Результати застосування	Кіл-сть ре-спондентів
2008 Version One	76% Agile-проектів є успішними 56% - приріст більш ніж 25% показника time-to-market 55% - зниження більш 25% вартості проектів 30% - зниження більш 25% дефектів	2319
2007 University of Maryland University college, UMUC	26% - приріст якісних показників на рівні 50%	250
2006 Version One	86% - приріст показника time-to-market 87% - підвищення показників продуктивності 92% - висока готовність до зміни пріоритетів	722
2006 Amby Soft	44% - поліпшення показників вартості, продуктивності, якості 38% - ріст показника задоволеності клієнтів	4232

**Класифікація можливих загроз WEB-додатків.** Виділимо до дослідження необхідну групу класів можливих загроз для проведення подальшого прототипування та тестування базуючись на класифікації WEB-загроз від WEB-appsec. Та поділимо їх на дві групи як приведено у таблиці нижче (табл. 3):

Таблиця 3 – Класи загроз

Уразливості	Слабкості
1	2
Зловживання функціональними можливостями	Недостатня аутентифікація
Підбір	Недостатня авторизація
Підмна вмісту	Відсутність таймаута сесії
Передбачуване значення ідентифікатора сесії	Недостатня протидія автоматизації
Міжсайтове виконання сценаріїв	Недостатня перевірка процесу

1	2
Відмова в обслуговуванні	Індексування директорій
Зворотній шлях в директоріях	Витік інформації
Передбачуване розташування ресурсів	-
Фіксація сесії	-
Ін'єкція SQL	-
Ін'єкція SSI	-
Ін'єкція XPath	-
Атака на функції форматування рядків	-
Ін'єкція LDAP	-
Виконання команд операційної системи	-
Логічні атаки	-
Небезпечне відновлення паролів	-
Переповнення буферу	-

**Аналіз засобів об'єктно-поведінкових специфікацій.** Застосування методів формального опису вимог є невід'ємною частиною сучасного процесу розробки складних програмних систем. Тестування не гарантує виявлення всіх помилок у продукті та не дає однозначної відповіді, чи відповідає продукт поставленим вимогам. Зважаючи на те, що обсяги і складність розробок постійно зростають, а кількість вимог досягає десятків тисяч, проблема автоматичної верифікації (перевірки правильності) набуває значної актуальності в індустріальних проектах. У цьому сенсі формальні методи мають найважливіше значення. Вони дозволяють створювати формальні вимоги й моделі поведінки систем з подальшою автоматичною верифікацією, генерацією програмного коду та набору тестів за заданими критеріями. Коректність отриманих результатів гарантується математичним апаратом, що опирається на досягнення алгебри, логіки і дискретної математики.

Перевірка на моделі – техніка, яка застосовується до моделей із скінченною множиною станів і перевіряє, що задані властивості виконуються на цій моделі. Тобто перевірка здійснюється як повний перебір простору станів, який має гарантовано закінчитися на скінченній моделі.

Сучасні розробки поєднують перевірку на моделі з доведенням теорем, а також застосовують статичний аналіз (аналіз програмного коду або моделі системи без моделювання її поведінки) для побудови абстракцій та тверджень певної логіки з подальшими доведеннями. Такими розробками є PVS (символьна перевірка на моделі, автоматичні доведення з використанням BDD, техніка переписування), STeP (перевірка на моделі з інтерактивним доведенням теорем на базі BDD), SLAM (перевірка на моделі з використанням методу предикатних абстракцій), Vandera (аналіз анотованих Java програм, для доведення тверджень використовуються алгоритми Нельсона – Опена), Verisoft (аналіз програм на мовах C, C++, Java, використовується скорочення часткового порядку).



Основна мета формальних методів – допомога інженерам у розробці більш якісних систем. Але формалізми, з якими працюють наведені інструменти, досить часто є більш математичними і складними для розуміння інженерами, що стає перешкодою для їх впровадження в процес розробки програмного забезпечення. Тому актуальною проблемою є використання інженерних мов як вхідних формалізмів для систем верифікації. У даній роботі ця проблема вирішується завдяки розробленим алгоритмам трансляції таких розповсюджених стандартизованих мов моделювання, як MSC, SDL та UML, в мову базових протоколів, яка є основним формалізмом у роботі. Для розв'язання задач верифікації моделей, описаних базовими протоколами, використовуються методи алгебраїчного та інсерційного програмування, засоби автоматичного доведення теорем та перевірки на моделі. Велика ступінь ітеративності сприяє мінімізації ризиків, пов'язаних з часом виходу продукту і відповідності очікуванням замовника. Велика ступінь формалізації сприяє отриманню заздалегідь відомого результату, дає можливість здійснення формального контролю, однак, не дає гарантій відповідності результатів реальним потребам на момент закінчення розробки. Тому BDD-концепт обраний як можливий шлях оптимізації вимог та максимальної відповідності вимог до реальної поведінки системи (рис. 1).

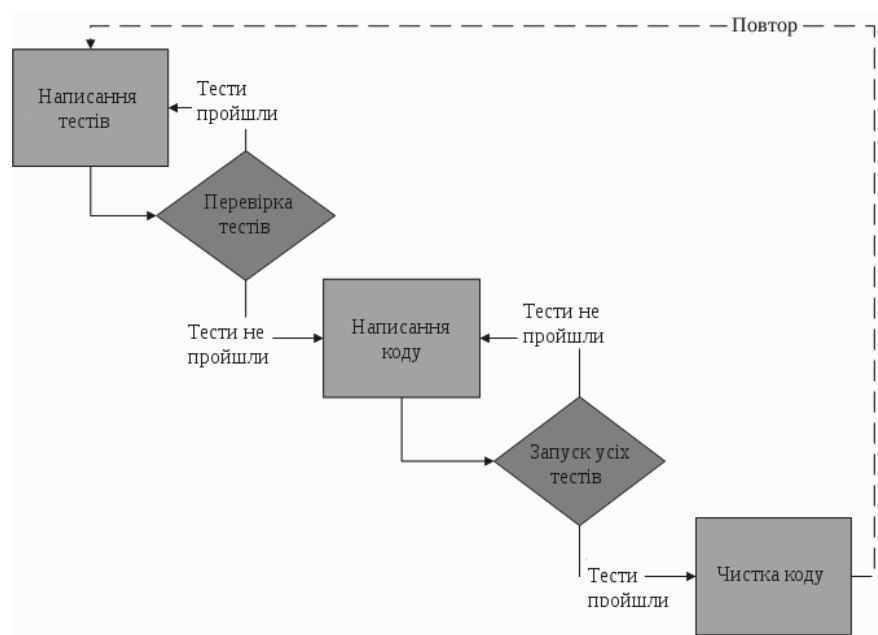


Рис. 1 – Графічна презентація циклу розробки TDD

**Знайомство із BDD-концептом.** Тестування, яке виконується розробником - це очевидно корисна річ. Тестування на ранній стадії, наприклад, під час написання коду - ще краще, особливо коли воно призводить до підвищення якості коду. Напишіть тести заздалегідь - і ви маєте шанс виграти "блакитну стрічку" переможця регати. Додаткові можливості для перевірки функціонування коду та його попередньої налагодження, без всякого сумніву, підвищують швидкість розробки. Але навіть знаючи все це, ми ще дуже далекі від того часу, коли написання тестів до написання коду стане загальним стандартом. Точно так само як TDD стало наступним етапом еволюції розвитку екстремального програмування (XP) і висунуло на перший план інфраструктури для Unit-тестування, наступний стрибок еволюції буде зроблено з того рівня, де знаходиться TDD. У цьому місяці пропонується зробити подібний стрибок в еволюції від TDD до його інтуїтивного родичу: behavior-driven development (BDD) - розробці, заснованої на функціонуванні.

Хоча підхід з попереднім тестуванням працює у багатьох, він підходить не для всіх. На кожного розробника програм, з успіхом застосовує TDD, знайдеться декілька розробників, які активно заперечують цей підхід. Незважаючи на числен-

ність інфраструктур тестування, таких як TestNG, Selenium і FEST, все одно знаходиться багато причин не виконувати тестування коду. Дві звичайні причини відмови від TDD - "у нас недостатньо часу для тестування" і "код занадто складний і важко перевіряється". Іншою перепорою для програмування з попередніми написанням тестів є сама концепція "тест пишеться до коду". Більшість розглядає тестування як відчутну дію, швидше конкретне, ніж абстрактне. Досвід підказує, що неможливо перевірити те, що ще не існує. Для деяких розробників, що залишаються в рамках цієї концепції, ідея попереднього тестування - просто оксюморон (рис. 2).



Рис. 2 – Діаграма TDD-методології

Але що якщо замість того, щоб думати в термінах написання тестів і тестування компонентів, почати думати про функціональність? Говорячи про функціональність, я маю на увазі як додаток повинен вести себе, фактично його специфікацію (рис. 3).



Рис. 3 – Діаграма BDD-методології

Якщо відволіктися від конкретної предметної області (структури даних) і замінити цю область іншою, наприклад, додатком для call-центру, суть процесу залишиться тією ж. Замовник або експерт в предметній області - каже, що саме система, функція або додаток повинні робити, а хтось на кшталт розробника використовує BDD для перевірки, що він правильно почув і реалізував вимоги клієнта.

Для багатьох розробників перехід від розробки, заснованої на тестах, до BDD виявиться досить розумним кроком. У розробці, заснованої на поведінці, немає необхідності думати про тести, досить сконцентруватися на вимогах до додатка і зробити так, щоб поведінка додатка відповідала цим вимогам. У цьому випадку використання BDD і JBehave допомогло легко реалізувати працюючу версію стека, засновану на специфікації замовника. Потрібно було просто слухати, що він говорить, а потім розробити стек, що відповідає його вимогам, думаючи при цьому в термінах поведінки. В ході процесу також вдалося виявити кілька аспектів стека, про які замовник забув. Беручи до уваги увесь рядок BDD-фреймворків розроблений засновником концепції (Деном Норсом у 2003 році) можна виділити найбільш швидкий та прийнятний для опису термінів поведінки (табл. 4).

Таблиця 4 – Аналіз BDD-фреймворків

Технологія	Компіляція / Інтерпритація	Легкість кастомізації
RSpec / RBehave / Cucumber (Ruby)	Інтерпритація	Середня
JBehave (Java)	Компіляція	Низька
Lettuce (Python)	Інтерпритація	Висока
CBehave (C)	Компіляція	Низька
Spock (Groovy)	Компіляція	Середня
Speckflow (.NET)	Інтерпритація	Низька
Behat (PHP)	Інтерпритація	Середня

**Висновки.** У час вивчення ефективність застосування bdd-фреймворків були виявлені такі уразливості: зловживання функціональними можливостями, підбір, підміна вмісту, передбачуване значення ідентифікатора сесії, міжсайтове виконання сценаріїв, відмова в обслуговуванні, зворотній шлях в директоріях, передбачуване розташування ресурсів, фіксація сесії, ін'єкція SQL, ін'єкція SSI, ін'єкція XPath, атака на функції форматування рядків, ін'єкція LDAP, виконання команд операційної системи, логічні атаки, небезпечне відновлення паролів, переповнення буферу.

Також, під час тестування були виявлені деякі слабкості bdd-фреймворків у тестуванні безпеки web-орієнтованого програмного забезпечення, такі як: недостатня аутентифікація, недостатня авторизація, відсутність таймаута сесії, недостатня протидія автоматизації, недостатня перевірка процесу, індексування директорій, витік інформації.

**Список літератури:** **1.** Бек К. Екстремальне програмування [Текст] / К. Бек. – Санкт-Петербург: Видавництво “Питер”, 2003. – 224 с.**2.** Фаулер М., Маккавеев С. Рефакторинг. Покращення існуючого коду [Текст] / М. Фаулер, С.Маккавеев – М.: Символ-плюс, 2008. – 432 с.**3.** Бек К., Чеботарев А. Шаблиони реалізації корпоративних додатків [Текст] / К. Бек, А. Чеботарев – М.: Вільямс, 2008. – 176с.**4.** Попендик М., Попендик Т., Меженной О. Безперервна інтеграція. Поліпшення якості програмного забезпечення і зниження ризику [Текст] / М. Попендик, Т. Попендик, О. Меженной – М.: Вільямс, 2008. – 240 с.**5.** Попендик М., Попендик Т., Меженной О. Бережливе виробництво програмного забезпечення. Від ідеї до прибутку [Текст] / М. Попендик, Т. Попендик, О. Меженной – М.: Вільямс, 2010. – 256 с.**6.** Кон М., Красиков И. Scrum. Гнучка розробка ПЗ [Текст] / М. Кон, И. Красиков – М.: Вільямс, 2011. – 576 с.**7.** Хамбл Д., Фарли Д, Сисонюк А. Безперервне розсортування ПЗ. Автоматизація процесів збору, тестування та поставки нових версій програм [Текст] / Д. Хамбл, Д. Фарли, А.Сисонюк – М.: Вільямс, 2011. – 432 с.**8.** Субраманиам В., Хант С., Лукач Е. Етюди на тему швидкої розробки програмного забезпечення [Текст] / В. Субраманиам, С. Хант, Е. Лукач – М.: Вільямс, 2009. – 208 с.**9.** Відкрита вікі-енциклопедія, “Всесвітня павутина” - Режим доступу: [www/ url: http://uk.wikipedia.org/wiki/WWW](http://uk.wikipedia.org/wiki/WWW)**10.** Відкрита вікі-енциклопедія, “Програмний каркас” - Режим доступу: [www/ url: http://uk.wikipedia.org/wiki/Каркас\\_\(програмування\)](http://uk.wikipedia.org/wiki/Каркас_(програмування))**11.** Відкрита вікі-енциклопедія, “Структури вирішення комплексних задач” - Режим доступу: [www/ url: http://uk.wikipedia.org/wiki/Фреймворк](http://uk.wikipedia.org/wiki/Фреймворк)

**Bibliography (transliterated):****1.** Beck, K. (2003). Ekstremalne programuvanny. St. Petersburg: Vidavniststvo "Peter", 224.**2.** Fowler, M., Refactoring, S. Maccabees (2008). Improving existing code. Moscow: Symbol Plus, 432.**3.** K. Beck, Chebotarev (2008). Templates implementation of enterprise applications. Moscow.: Williams, 176.**4.** Popenidik, M. Popenidik T., O. Mezhenaya (2008). Continuous Integration. Improving software quality and reduce the risk. M.: Williams, 240.**5.** Popenidik, M. Popenidik, T., O. Mezhenaya (2010). Lean manufacturing software. From idea to. Moscow: Williams, 256.**6.** Cohn, M., Krasikov, I. Scrum. (2011). Flexible software development Moscow: Williams, 576.**7.** Humble, D., Farley, D., Sisonyuk, A. (2011). Continuous deployment of software. Process automation assembly, testing and implementation of new versions of software. Moscow: Williams, 432.**8.** Subramaniam, V., Hunt, Je., Lukacs, E. (2009). Study on rapid software development. M.: Williams, 208.**9.** Vidkrita viki-Enzyklopädie "Vsesvitnya pavutina" - Mode of access: [www / url: http://uk.wikipedia.org/wiki/WWW](http://uk.wikipedia.org/wiki/WWW)**10.** Vidkrita viki-Enzyklopädie "software framework" - Mode of access: [www / url: http://uk.wikipedia.org/wiki/Karkas\\_\(programming\)](http://uk.wikipedia.org/wiki/Karkas_(programming))**11.** Vidkrita viki-Enzyklopädie, "Structure virishennya complex tasks" - Mode of access: [www / url: http://uk.wikipedia.org/wiki/framework](http://uk.wikipedia.org/wiki/framework)

Надійшла (received) 29.04.2015

**В. А. ШЕВЧЕНКО**, канд. техн. наук, доц., ХНАДУ, Харьков

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТРАЕКТОРИЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Рассмотрена модель информационной технологии формирования индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов. Формализован процесс формирования индивидуальных траекторий с помощью продукционных моделей. Приведено подтверждение эффективности внедрения в учебный процесс моделей и методов технологии формирования индивидуальных траекторий обучения.

**Ключевые слова:** информационная технология, продукционные модели, индивидуальные траектории, самостоятельная работа, прогнозирование, кластерный анализ.

**Введение.** В современном обществе образование стало одной из самых обширных сфер человеческой деятельности. Образование, особенно высшее, рассматривается как главный, ведущий фактор социального и экономического прогресса. Вместе с тем, в последние годы произошло стремительное развитие средств информатизации, в основе которого лежит быстрый прогресс и внедрение в различные области человеческой деятельности, в том числе и в педагогическую практику, информационных технологий. Именно информационные технологии представляют собой инструмент для организации эффективного обучения каждого студента, и модернизировать педагогический труд в соответствии с уровнем развития науки и техники на современном этапе. Настоящая статья посвящена новым возможностям использования современных информационных технологий в сфере управления процессом обучения на основе теории принятия решений, эвристических методов представления знаний, теории искусственного интеллекта, теории нечетких множеств и других методов.

**Цель работы.** Целью работы является повышение эффективности обучения студентов за счет внедрения в учебный процесс современных информационных технологий.

**Постановка задачи.** Для достижения поставленной цели проведен анализ существующей методики преподавания в ВУЗе на примере дисциплины «Информатика» [1]. В результате составлена модель существующей технологии обучения в ВУЗе (рис. 1). Также было выявлено, что студенты приходят в ВУЗ с различным уровнем подготовки. Принимая во внимание личные особенности каждого студента, в частности, способности студентов к обучению, сделан вывод, что для успешной подготовки всех студентов необходимо внедрение индивидуализированных технологий в процесс обучения [2]. Принцип индивидуализации предусматривает такую технологию организации

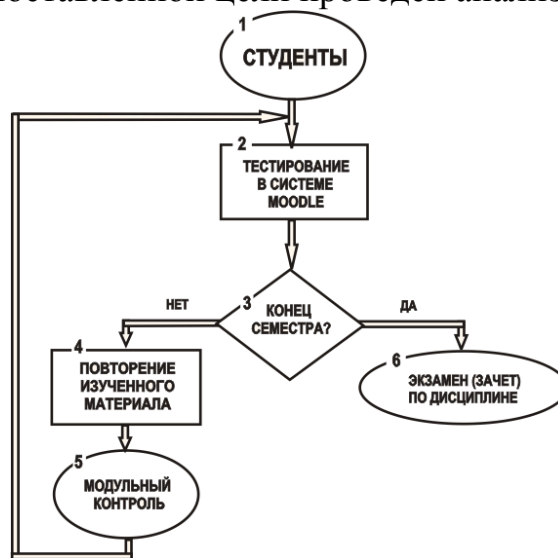


Рис. 1 – Модель существующей технологии обучения в ВУЗе

усвоения знаний, умений и навыков, которая дает возможность каждому студенту обучаться и развиваться по индивидуальному плану и программам. Однако в настоящее время для реализации задачи индивидуализации обучения не существует четкого и научно обоснованного методического руководства. Преподаватели ВУЗов зачастую работают с потоком студентов большой численности, вследствие чего преподаватель физически не имеет возможности составить индивидуальную траекторию работы каждому студенту из потока. Следовательно, для внедрения принципов индивидуализации в процесс обучения преподавателю необходим инструмент для формирования индивидуальных траекторий обучения студентов. С другой стороны, при групповом методе обучения, каждый студент не сможет заниматься по индивидуальной траектории. Таким образом, принципы индивидуализации обучения возможно реализовать во время самостоятельной работы студентов. Для реализации принципов индивидуализации обучения предлагается модель информационной технологии формирования индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов (рис. 2).

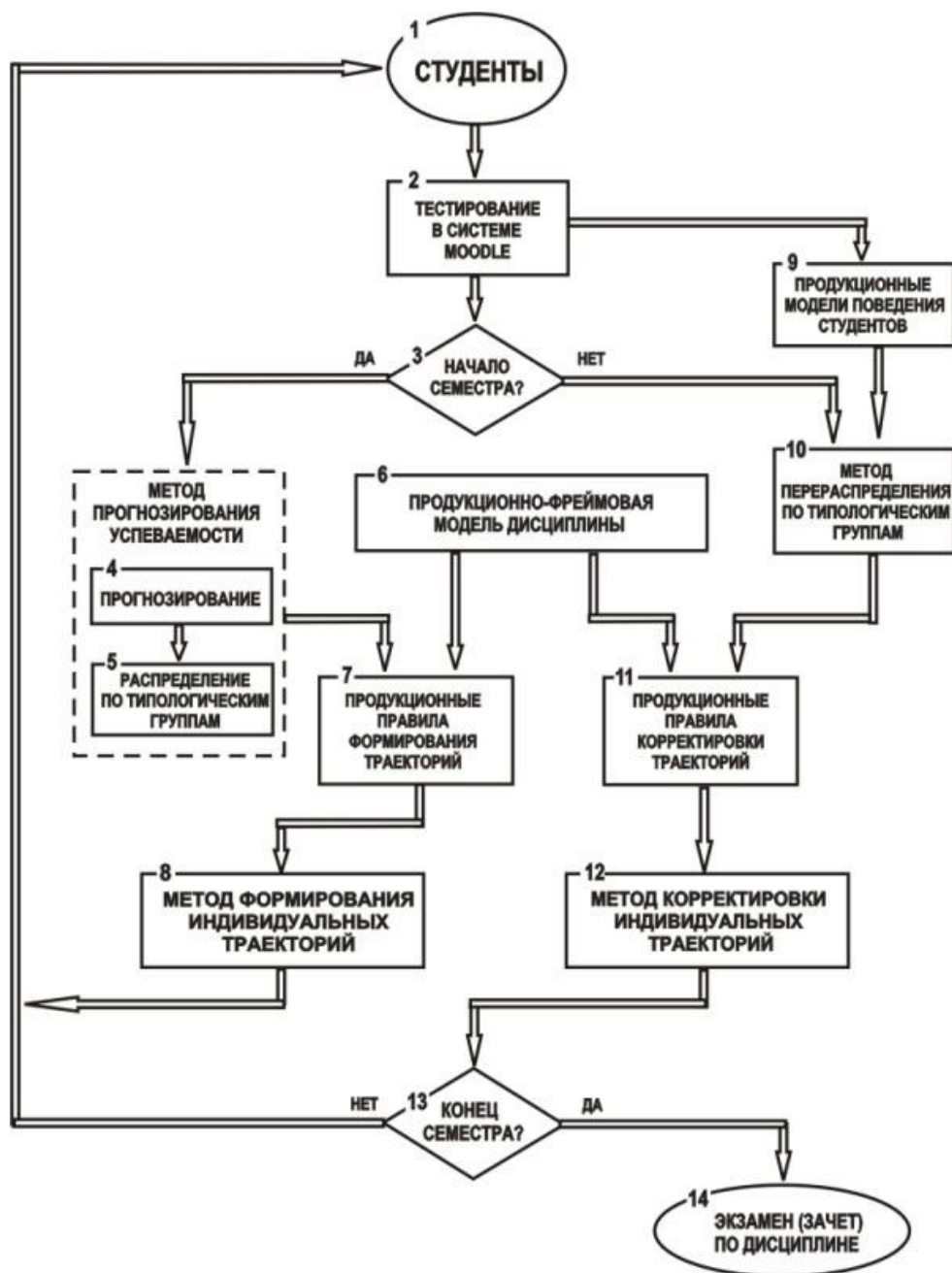


Рис. 2 – Модель информационной технологии формирования индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов

**Обсуждение результатов.** Рассмотрим модели и методы, из которых состоит информационная технология.

Метод прогнозирования успеваемости предназначен для оценки успеваемости студентов на первых занятиях изучения дисциплины с целью организации индивидуализированного подхода в обучении студентов.

Для реализации процедуры прогнозирования в качестве исходных данных были отобраны факторы, влияющие на успеваемость студентов [3]. К таким факторам отнесли:

1. Уровень начальных знаний студентов.
2. Уровень компетенций, сформированных у студентов по каждой теме дисциплины.
3. Количество пропусков занятий студентами.
4. Уровень компетенций с учетом забывания изученного материала.
5. Уровень компетенций с учетом повторения изученного материала.

Уровень начальных знаний и уровень компетенций, сформированных у студентов по каждой теме дисциплины, оценивается тестированием в системе Moodle в 100-балльной системе.

Для оценки значимости выбранных факторов построена имитационная модель формирования компетенций у студентов в ходе обучения [4].

Модель была опробована в ХНАДУ для обработки данных потока студентов, изучающих дисциплину «Информатика». Обработка результатов моделирования показала, что максимальное отклонение моделируемой оценки от зачетной не превышает 15%. Следовательно, выбранные факторы могут быть использованы в качестве исходных данных для прогнозирования успеваемости студентов.

Достоверность результатов моделирования была проверена методами непараметрической статистики [5]. Критерий Колмогорова-Смирнова подтвердил с вероятностью 0,95, что результаты моделирования и экспериментального тестирования подчиняются одинаковым законам распределения измеряемых величин, что подтверждает достоверность результатов моделирования. Следовательно, выбранные факторы могут быть использованы в качестве исходных данных для прогнозирования успеваемости студентов.

Метод прогнозирования успеваемости основан на методах кластерного анализа. Решается задача распределения студентов на четыре типологические группы в зависимости от их успеваемости. Для решения данной задачи проведена модификация метода k-средних Мак-Кина [6].

Модификация метода k-средних Мак-Кина заключается в том, что для каждого кластера определены эталонные значения параметров как усредненные данные по каждой типологической группе студентов, полученные экспериментальным путем. Данные эталоны являются центрами будущих типологических групп. Вокруг эталонов собираются объекты, близкие по своим параметрам. В качестве объектов кластеризации в данной задаче выступают студенты, а в качестве параметров – факторы, значения которых можно оценить в начальный момент изучения дисциплины:

- уровень начальных знаний студентов;
- уровень компетенций, сформированных у студентов по первой теме дисциплины;
- количество пропусков занятий студентами на момент составления прогноза.

Метод прогнозирования успеваемости был опробован экспериментально [7]. Результаты проведенного эксперимента показали, что прогнозируемая успеваемость студентов отличается от реальной не более, чем на 3,3%. Следовательно, процедура на основе модифицированного метода k-средних Мак-Кина работоспособна и может использоваться для прогнозирования успеваемости студентов.

Продукционно-фреймовая модель дисциплины предназначена для формального представления структурной организации каждой темы дисциплины с целью выявления взаимосвязи между изучаемыми вопросами. На основе продукционно-фреймовой модели дисциплины производится выбор индивидуальных методик для формирования индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов с учетом вопросов и тем, по которым у студента выявлены низкие знания. Пример фрейма i-той темы дисциплины «Информатика»:

$$\begin{aligned}
 \tilde{F} & \left\{ T_i \left\{ L_{1,T_i} : \left\langle \overbrace{V_{1,L_1} : (\mu : D \rightarrow [0,1])}^{sv_1}, \dots, \overbrace{V_{q_1,L_1} : (\mu : D \rightarrow [0,1])}^{sv_{q_1}} \right\rangle \right\rangle \rightarrow [0,1], \dots, \right. \\
 & \dots, \left\langle \overbrace{L_{m,T_i} : \left\langle \overbrace{V_{1,L_m} : (\mu : D \rightarrow [0,1])}^{sm}, \dots, \overbrace{V_{q_m,L_m} : (\mu : D \rightarrow [0,1])}^{sm} \right\rangle} \right\rangle \rightarrow [0,1] \times \\
 & \times \left\{ LR_{1,T_i} : \left\langle \overbrace{Z_{1,LR_1} : (\mu : D \rightarrow [0,1])}^{sz_1}, \dots, \overbrace{Z_{k_1,LR_1} : (\mu : D \rightarrow [0,1])}^{sz_{k_1}} \right\rangle \right\rangle \rightarrow [0,1], \dots, \\
 & \dots, \left\langle \overbrace{LR_{j,T_i} : \left\langle \overbrace{Z_{1,LR_j} : (\mu : D \rightarrow [0,1])}^{sj_1}, \dots, \overbrace{Z_{k_j,LR_j} : (\mu : D \rightarrow [0,1])}^{sj_{k_j}} \right\rangle} \right\rangle \rightarrow [0,1] \right\} \rightarrow \\
 & \rightarrow [0,1] \left\langle \overbrace{T^t : \langle t_r : z_{t_r} \rangle, \dots, \langle t_{r_g} : z_{t_{r_g}} \rangle \langle t_{l_r} : z_{t_{l_r}} \rangle, \dots, \langle t_{l_{r_g}} : z_{t_{l_{r_g}}} \rangle}^{st} \right\rangle \times \left\langle \overbrace{\langle \langle \emptyset \rangle, \dots, \langle \emptyset \rangle \rangle} \right\rangle \Bigg\},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $\tilde{F}$  – фрейм дисциплины;  $T_i$  – название i-ой темы дисциплины,  $i = \overline{1,7}$ ;  $L_{1,T_i}, L_{m,T_i}$  – название первой и последней лекции i-ой темы дисциплины,  $m$  – количество лекций в i-ой теме;  $V_{1,L_1}, V_{q_1,L_1}$  – название первого и последнего вопроса первой лекции,  $q_1$  – количество вопросов в первой лекции;  $V_{1,L_m}, V_{q_m,L_m}$  – название первого и последнего вопроса последней лекции,  $q_m$  – количество вопросов в последней лекции;  $LR_{1,T_i}, LR_{j,T_i}$  – название первой и последней лабораторной работы по i-ой теме,  $j$  – количество лабораторных работ по i-ой теме;  $Z_{1,LR_1}, Z_{k_1,LR_1}$  – название первого и последнего задания в первой лабораторной работе,  $k_1$  – количество заданий в первой лабораторной работе;  $Z_{1,LR_j}, Z_{k_j,LR_j}$  – название первого и последнего задания в последней лабораторной работе,  $k_j$  – количество заданий в последней лабораторной работе;  $\mu$  – функция принадлежности;  $D$  – учебный материал соответствующего слота;  $T^t$  – интервал времени, выделенный на изучение дисциплины;  $t_r$  – интервалы времени, выделенные на изучение учебного материала лекций согласно расписанию занятий;  $t_{l_r}$  – интервалы времени, выделенные на выполнение лабораторных работ согласно расписанию занятий;  $\langle \emptyset : \emptyset \rangle$  – пустые слоты для имитации процесса накопления знаний студентами на дополнительных занятиях по индивидуальной программе.

Метод формирования индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов предназначен для выбора соответствующих индивидуальных методик на основе результатов прогнозирования с учетом «проблемных» для студента тем, другими словами, с учетом уровня начальной подготовки и способностей к изучению дисциплины каждого студента. Продукционные правила формирования индивидуальных траекторий:

$$\begin{aligned} \text{ПФО} &= \langle K_o \rightarrow M_o \rangle; \\ \text{ПФХ} &= \langle K_x \ \& \ V_i \rightarrow M_x \ \& \ M_i \rangle; \\ \text{ПФУ} &= \langle K_y \ \& \ V_i \rightarrow M_y \ \& \ M_i \rangle; \\ \text{ПФП} &= \langle K_n \ \& \ V_i \rightarrow M_n \ \& \ M_i \rangle, \end{aligned} \tag{2}$$

где ПФО, ПФХ, ПФУ и ПФП – правила формирования индивидуальных траекторий для класса «Отлично», «Хорошо», «Удовлетворительно» и «Плохо» соответственно;  $K_o, K_x, K_y, K_n$  – условие принадлежности к соответствующему классу;  $V_i$  – вопросы первой темы дисциплины, по которым студент имеет неудовлетворительную оценку;  $M_o, M_x, M_y, M_n$  – индивидуальная методика для самоподготовки студентов соответствующего класса;  $M_i$  – методика, направленная на изучение «проблемных» для студента тем.

Предлагаемый метод применен при изучении информатики студентами в ХНАДУ. Проведенный эксперимент показал, что использование индивидуальных траекторий на основе прогнозирования успеваемости студентов позволяет повысить успеваемость студентов. Однако методы непараметрической статистики, в частности, критерий Колмогорова-Смирнова, с вероятностью 0,95 не подтвердил эффективность применения индивидуальных траекторий.

Продукционные модели поведения студентов разработаны с целью повышения эффективности метода формирования индивидуальных траекторий и учитывают предпочтения студентов по оценке их компетенций, сформированных при изучении дисциплины. При построении продукционных моделей поведения студентов результат проведенной кластеризации студентов представлен в виде нечеткой функции. Графическим методом определены возможности перераспределения студентов из одной типологической группы в другую. Выделены пять моделей поведения студентов при подготовке к экзамену (зачету) с учетом их предпочтений по оценке их компетенций. На основе продукционных моделей поведения студентов определено множество недоминирующих альтернатив, определяющее подгруппы студентов, у которых предпочтения по успеваемости не соответствуют возможностям [8, 9].

Метод перераспределения студентов по типологическим группам разработан для повышения эффективности применения индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов. Процедура перераспределения производится по модифицированному методу  $k$ -средних Мак-Кина с учетом пяти факторов, о которых шла речь выше.

Метод корректировки индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов также предназначен для повышения эффективности применения индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов. Корректировка выполняется по результатам процедуры перераспределения студентов по типологи-



ческим группам с учетом множества недоминирующих альтернатив возможности перераспределения студентов и продукционных моделей поведения студентов.

Формализован процесс корректировки индивидуальных траекторий в виде модели сформированных у студентов компетенций:

$$MK = \langle KA, KC \Pi(K) \rangle, \quad (4)$$

где МК – модель сформированных компетенций у студентов по дисциплине «Информатика»; КА – компетенции, сформированные у студентов на аудиторных занятиях; КС – компетенции, сформированные у студентов при самостоятельной работе по индивидуальным траекториям;  $\Pi(K)$  – продукционное правило, определяющее выбор методики  $m \in M$  для самостоятельной работы студентов.

Сформулированы продукционные правила корректировки индивидуальных траекторий:

$$\begin{aligned} ПП &= \langle K_{\Pi} \& T_i \& M_{\Pi} \rightarrow M_i \& M_c \rangle, \quad i = \overline{1,7}, \\ ПУ &= \langle K_y \& T_i \& M_y \rightarrow M_i \& M_c \rangle, \quad i = \overline{1,7}, \\ ПХ &= \langle K_x \& T_i \& M_x \rightarrow M_i \& M_c \rangle, \quad i = \overline{1,7}, \end{aligned} \quad (5)$$

где ПП, ПУ, ПХ – продукционные правила корректировки индивидуальных траекторий для самоподготовки студентов типологического класса «Плохо» «Удовлетворительно» и «Хорошо» соответственно;  $K_{\Pi}$ ,  $K_y$ ,  $K_x$  – условие принадлежности студента к соответствующему классу,  $T_i$  – тема дисциплины, по вопросам которой студент имеет неудовлетворительную оценку;  $M_{\Pi}$ ,  $M_y$ ,  $M_x$  – индивидуальная методика для самоподготовки студентов соответствующего класса;  $M_i$  – скорректированная методика с углубленной подготовкой по  $i$ -й теме дисциплины;  $M_c$  – скорректированная методика с учетом предпочтений студента по оценке его компетенций.

Метод корректировки индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов был опробован экспериментально. Результаты эксперимента показали, что студенты, обучающиеся по скорректированным индивидуальным траекториям имеют более высокую успеваемость, чем студенты, обучающиеся по традиционной технологии.

Эффективность метода корректировки индивидуальных траекторий СРС подтверждена методами непараметрической статистики. Критерий Колмогорова-Смирнова подтвердил эффективность применения метода корректировки индивидуальных траекторий СРС с вероятностью 0,95 [10].

**Выводы.** В ходе проведенных исследований и экспериментов было доказано, что предложенная модель информационной технологии формирования индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов позволяет автоматизировать процесс подбора и контроля индивидуальных траекторий для самостоятельной работы с учетом мотиваций и личных способностей студентов. Внедрение моделей и методов информационной технологии формирования индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов в учебный процесс ХНАДУ экспериментально подтвердило повышение успеваемости студентов, обучающихся с применением скорректированных индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов.

Применение информационной технологии формирования индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов, во-первых, дает возможность пре-

подавателю организовать, контролировать и направлять самостоятельную работу студентов, что приводит к рациональному использованию времени, выделенному на самостоятельной работы студентов, повышает эффективность самостоятельной работы студентов и в целом успеваемость студентов.

Во-вторых, разработанные методы прогнозирования успеваемости и перераспределения студентов по типологическим группам освобождают преподавателя от трудоемкого процесса сбора и анализа информации об успеваемости каждого студента и повышают мотивацию студентов в изучении дисциплины, так как предоставляют оперативный прогноз их успеваемости.

В-третьих, использование методов формирования и корректировки индивидуальных траекторий повышает продуктивность профессиональной деятельности преподавателя за счет автоматизации процесса подбора теоретических и практических материалов для самоподготовки, что особенно актуально при работе с потоком студентов большой численности.

**Список литературы:** 1. Шевченко, В. А. Анализ восприятия дисциплины «Информатика» студентами первого курса [Текст] / В. А. Шевченко // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – Вып. 24. – С. 116–119. 2. Шевченко, В. А. Индивидуализация обучения дисциплине «Информатика» [Текст] / В. А. Шевченко // Вестник ХНАДУ: сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2011. – Вып. 53. – С. 10–12. 3. Шевченко, В. А. Определение влияющих факторов для построения модели накопления знаний [Текст] / В. А. Шевченко // Экспертные оценки элементов учебного процесса: материалы XI межвуз. науч.-практ. конф. – Харьков: НУА, 2009. – С. 66 – 68. 4. Шевченко, В. А. Концепция построения модели приобретения знаний студентами по дисциплине «Информатика» [Текст] / В. А. Шевченко / Вестник ХНАДУ: сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – Вып. 56. – С. 26–29. 5. Шевченко, В. А. Проверка достоверности результатов моделирования методами непараметрической статистики [Текст] / В. А. Шевченко // Вісн. нац. техн. ун-ту «ХПИ». – 2012. – № 34. – С. 75 – 79. 6. Шевченко, В. А. Распределение студентов на типологические группы с помощью кластерного анализа в зависимости от факторов, влияющих на успеваемость [Текст] / В. А. Шевченко / Проблеми інтеграції національних закладів вищої освіти до Європейського освітнього середовища: зб. матеріалів міжнародної наук.-метод. конф. – Харків: ХНАДУ, 2012. – Т. 2. – С. 120 – 123. 7. Шевченко, В. А. Прогнозирование успеваемости студентов с помощью методов кластерного анализа. [Текст] / В. А. Шевченко // Экспертные оценки элементов учебного процесса: материалы XV межвуз. науч.-практ. конф. – Харьков: НУА, 2013. – С. 112 – 115. 8. Метешкин, К. А. Нечеткое представление результатов кластеризации студентов [Текст] / К. А. Метешкин, В. А. Шевченко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2012. – Вып. 56. – С. 162 – 168. 9. Шевченко, В. А. Графическое представление функции принадлежности студентов к типологической группе в зависимости от успеваемости [Текст] / В. А. Шевченко // Вісн. нац. техн. ун-ту «ХПИ». – 2015. – № 14 (1123). – С. 15 – 20. 10. Шевченко, В. А. Проверка эффективности обучения студентов с помощью методов непараметрической статистики [Текст] / В. А. Шевченко // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – Харьков: ХНАДУ, 2013. – Вып. 60. – С. 18 – 21.

**Bibliography (transliterated):** 1. Shevchenko, V. A. (2009). Analysis of comprehension of the discipline “Informatics” by the first year student. Automobile Transport: collection of scientific works. Kharkov, KhNAHU, 24, 116 – 119. 2. Shevchenko, V. A. (2011). Individualization of teaching the discipline “Informatics”. Vestnik KhNAHU: collection of scientific works. Kharkov, KhNAHU, 53, 10 – 12. 3. Shevchenko, V. A. (2009). Determination of the influencing factors for the model of knowledge accumulation. Expert assessments of the elements of the educational process: Materials XI Interuniversity scientific and practical conference. Kharkov: NUA, 66 – 68. 4. Shevchenko, V. A. (2012). The concept of creating the model of knowledge acquisition on the discipline “Informatics”. Vestnik KhNA-

HU: collection of scientific works. Kharkov, KhNAHU, 56, 26 – 29. **5. Shevchenko, V. A.** (2012). Validation of the simulation results of nonparametric statistics methods. Vestnik NTU «KPI». Kharkov, NTU «KPI», Issue. 34, 75 – 79. **6. Shevchenko, V. A.** (2012). Distribution of students into typological groups by means of cluster analysis, depending on the factors influencing the students progress, Collection of scientific works of the international scientific and methodological conference “The problems of Integration of National Higher Educational Institutions into the European Educational Medium“. V. 2 “Modern Approaches Concerning Higher Education Quality Provision”. Kharkov, KhNAHU, 120 – 123. **7. Shevchenko, V. A.** (2013). Predicting student performance using the methods of cluster analysis. Expert assessments of the elements of the educational process: Materials XI Interuniversity scientific and practical conference. Kharkov: NUA, 112 – 115. **8. Meteshkin, K. A., Shevchenko, V. A.** (2012). Vague understanding of students clusterization results. Public information and computer integrated technologies : collection of scientific works. Kharkov, KhAI, 56, 201 – 208. **9. Shevchenko, V. A.** (2015). Graphical representation of the function of student typological group membership, depending on the academic performance. Vestnik NTU «KPI». Kharkov, NTU «KhPI», 14 (1123), 15 – 20. **10. Shevchenko, V. A.** (2013). Checking the effectiveness of teaching students using the method of nonparametric statistics. Vestnik KhNAHU: collection of scientific works. Kharkov, KhNAHU, 60, 18 – 21.

*Надійшла (received) 29.04.2015*

**УДК 004.91**

**О. В. БІСІКАЛО**, д-р техн. наук, проф., декан, ВНТУ, Вінниця;

**А. І. ЛІСОВЕНКО**, аспірант, ВНТУ, Вінниця;

**О. В. ЯХИМОВИЧ**, магістр, ВНТУ, Вінниця;

**С. С. ТРАЧЕНКО**, студент, ВНТУ, Вінниця

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІСТОВНИХ ОЗНАК ТЕКСТУ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ ЛЕКСИЧНИМИ ОДИНИЦЯМИ**

Визначено змістовні ознаки і характеристики англomовного тексту на основі дослідження зв'язків між лемами та синсетами, що розпізнано лінгвістичними пакетами. Результати у вигляді списків ключових слів, елементів онтологій та змістовних кластерів понять отримано на прикладі «Address by President of the Russian Federation 2013/2014». Проведене дослідження було здійснено за допомогою пакетів DKPro Core та NLTK.

**Ключові слова:** лема, синсет, зв'язок, ключові слова, стоп-слово, елемент онтології, гіпероніми, кластер, DKPro, NLTK.

**Вступ.** Вилучення знань з природно-мовних текстів стає одним з найбільш актуальних напрямів досліджень в комп'ютерній лінгвістиці завдяки надшвидкому збільшенню обсягів електронної інформації та рівня її доступності через мережу Інтернет. Найбільш відомі дослідження в цьому напрямку проведено на основі статистичного аналізу закономірностей розподілу слів природно-мовного тексту. Більш релевантні результати досягаються за допомогою додаткового лінгвістичного аналізу тексту – найкращу ситуацію маємо з практично завершеним морфологічним аналізом, значно слабші результати демонструє синтаксичний аналіз речень, а в семантичному аналізі і до цього часу не вирішено низку проблемних питань. Такий підхід пояснюється не тільки легкістю фіксації окремого символу/слова у текстовому файлі, але й, у більшій мірі, пануючими лінгвістичними концепціями, що надають слову основоположне значення.

© О. В. БІСІКАЛО, А. І. ЛІСОВЕНКО, О. В. ЯХИМОВИЧ, С. С. ТРАЧЕНКО, 2015

Альтернативним шляхом до розв'язання проблеми вилучення знань з текстової інформації може стати підхід до формалізації методів образного аналізу та синтезу природно-мовних конструкцій [1]. Відмінністю підходу є перенесення акцентів з аналізу окремих лексичних одиниць на аналіз зв'язків між цими одиницями як наслідок результатів моделювання асоціативного образного мислення людини. Внаслідок цього з'являється можливість а) введення додаткового образного рівня аналізу та синтезу до традиційної лінгвістичної тріади морфологія–синтаксис–семантика [2] та б) технологічної підтримки цього рівня завдяки реалізованим у сучасних лінгвістичних пакетах функціям визначення синтагматичних та парадигматичних зв'язків між словами/словоформами/лемами речення. Потребують подальшого розвитку та прозорої перевірки формальні методи визначення ключових слів [3] на основі запропонованого підходу, у т.ч. з залученням синсетів з *WordNet*.

**Мета роботи.** Метою роботи є формальне визначення змістовних ознак і характеристик англomовного тексту на основі досліджень зв'язків між лемами та синсетами на прикладі «Address by President of the Russian Federation 2013/2014». Розпізнавання лексичних одиниць та зв'язків між ними необхідно здійснити за допомогою лінгвістичних пакетів *DKPro Core* та *NLTK*.

**Методика експериментів.** Для проведення експерименту було обрано тексти «Presidential Address to the Federal Assembly 2013» [4] та «Presidential Address to the Federal Assembly 2014» [5]. Додатковим аргументом на користь такого вибору є визначення формальних ознак тих актуальних суспільно-політичних змін в Україні, які відбулися за останній рік і відношення до яких потенційно має відобразитися у офіційних текстах звернень президента Росії 2013 та 2014 років. Певне порівняння запропонованої виключно формальної обробки текстів можна зробити з експертною оцінкою на основі частотного словника [6], яка, власне і стала поштовхом для проведення даного дослідження.

З метою технологічної реалізації експерименту було розроблено програмне забезпечення у межах двох відомих лінгвістичних пакетів – *DKPro Core* на мові *Java* [7] та *NLTK* на мові *Python* [8]. Обидва пакети належать до *Open Source* та мають у своєму складі розвинені бібліотеки з функціями, достатніми для реалізації задач дослідження.

*Java*-програму для визначення ключових слів засобами *DKPro Core* було розроблено на основі [9]. Ключові слова визначалися 2-ма способами – традиційним, на основі визначення частотного словника без стоп-слів та альтернативним, на основі зв'язків між словами/лемами тексту. Схема алгоритму роботи програми на основі зв'язків представлена на рис. 1.

Визначення ключових слів запропонованим алгоритмом відбувається за декількома послідовними



Рис. 1 – Схема алгоритму роботи програми визначення ключових слів на основі *DKPro Core*

етапами:

- а) створення багаторівневої розмітки тексту;
- б) синтаксична розмітка у межах кожного речення, що враховує складні залежності між парами лем;
- в) заміна займенників в отриманих парах на відповідні до них іменники;
- г) розбиття пар на окремі слова (леми) і визначення загальної кількості зв'язків, що відповідають кожному такому слову;
- д) вибір перших  $n$  слів з найбільшою кількістю зв'язків, де  $n$  – кількість потрібних ключових слів.

Внаслідок реалізації експерименту на основі пакету *NLTK* на мові *Python* було побудовано онтології обох обраних текстів. Побудова онтології відбувалась наступним чином: із текстів природної мови було вилучено усі *SynSet* (синсети) на основі бібліотеки [10]. Далі, із кожного синсету було вилучено усі гіпероніми, що представляються також класом *SynSet*. Після чого перевірялось, чи є в отриманому списку гіперонімів ті синсети, які було розпізнано в тексті раніше. Якщо так, то його вага (кількість входжень даного синсету як гіпероніму інших) збільшується на одиницю. На виході отримуємо відсортований список синсетів, що представляють базові поняття тексту, що було подано на вхід.

З метою порівняння для обох текстів визначалися аналогічні відсортовані списки синсетів, в яких було враховано всі зв'язки, що підтримуються класом *SynSet*, а не тільки гіперонімічні. Окрім того, шляхом фільтрування за найбільшою вагою в графічному вигляді визначалися кластери найбільш тісно пов'язаних між собою синсетів.

#### **Обговорення експериментальних даних.**

а) *Результати, отримані з використанням програмного забезпечення на основі пакету DKPro Core.*

Для тексту «Presidential Address to the Federal Assembly 2013» [4] отримані перші 10 ключових слів з вагами від 343 до 80 за власною розробкою – разом зі стоп-словами це: we, need, work, I, make, be, system, have, authorities, development, ask, people. З них be і have – стоп-слова. Перші 10 ключових слів разом зі стоп-словами (ваги від 143 до 32), для частотного словника: that, is, we, will, I, our, be, are, must, it, have, not, all, their, work, Russia, need, should, also, Russian, system. Стоп-слова для частотного словника: that, is, will, be, are, it, have, not, their, should, also. З результатів пошуку ключових слів видно, що при знаходженні однакової кількості ключових слів власна розробка має 2 стоп-слова, а частотний словник 11. Однаковими ключовими словами є 5, проте їх ваги суттєво відрізняються we (343/111), I (138/92), work (155/44), need (157/42), system (119/32).

Окрім того, власна розробка виявила 3 найбільш вагомі словосполучення – We need (36), I ask (22) та We make (11).

Для тексту «Address by President of the Russian Federation 2014» [5] перші 10 ключових слів за власною розробкою з вагами від 287 до 54 (разом із стоп-словами): right, people, Russia, have, be, work, I, do, provide, create, support, make, this, like. Де have, be, do, this – стоп-слова. Перші 10 ключових слів зі стоп-словами (ваги від 106 до 19) для частотного словника: that, we, will, I, be, is, Russia, our, are, have, it, should, not, all, people, must, has, their, was, also, its, they, who, Russian, them, work, national, can, what, course. Стоп-слова для частотного словника: that, will, be,

is, our, are, have, it, should, not, has, their, was, also, its, they, who, them, can, what. З результатів видно, що при знаходження однакової кількості ключових слів власна розробка має 4 стоп-слова, а частотний словник 20. Однаковими ключовими словами, проте з різними вагами є такі 4: I (105/87), Russia (178/65), people (194/39), work (108/20).

На відміну від 2013 року власна розробка не виявила найвагоміших сталих словосполучень, проте найбільш часто в знайдених зустрічалися слова I, right та like. На думку авторів цікавим для семантичного аналізу результатом формального дослідження є власне склад перших п'ятирок ключових слів у зверненнях президента РФ до власного народу – у 2013 році йшлося про we, I, work, need, system; у 2014 році вже чуємо – I, Russia / Russian, people, work – акценти зрозумілі та доповнюють висновки з [6].

б) *Результати, отримані з використанням програмного забезпечення на основі пакету NLTK.*

Із представлених текстів «Presidential Address to the Federal Assembly 2013/2014» [4, 5] за допомогою пакету NLTK було відібрано ті синсети, які мають найбільшу «вагу» по входженню в список гіперонімів інших синсетів (табл. 1). Гіперонімічний зв'язок було обрано тому, що гіперонім як поняття в ставленні до інших понять виражає загальнішу сутність (родове поняття) та грає роль основи онтології тексту.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця гіперонімічних синсетів з «Presidential Address to the Federal Assembly 2013/2014»

№	2013 рік		2014 рік	
	SynSet	Вага SynSet	SynSet	Вага SynSet
1	Synset('event.n.01')	98	Synset('event.n.01')	102
2	Synset('organization.n.01')	18	Synset('person.n.01')	71
3	Synset('move.v.02')	17	Synset('change.v.01')	26
4	Synset('change.v.01')	16	Synset('move.v.02')	19
5	Synset('property.n.02')	12	Synset('organization.n.01')	16
6	Synset('evaluate.v.02')	10	Synset('property.n.02')	13
7	Synset('thing.n.12')	8	Synset('thing.n.12')	9
8	Synset('sum.n.01')	6	Synset('decide.v.01')	8
9	Synset('district.n.01')	6	Synset('evaluate.v.02')	6
10	Synset('adult.n.01')	6	Synset('mechanism.n.05')	6
11	Synset('method.n.01')	5	Synset('asset.n.01')	6
12	Synset('gain.n.04')	5	(Synset('choose.v.01'))	5
13	Synset('decide.v.01')	4	Synset('equipment.n.01')	5

На основі даних таблиці отримані синсети та ваги зв'язків між ними на рис. 2, з представлено графами онтологічних кластерів.

Проведений аналогічний експеримент для побудови упорядкованого списку з усіма вагами зв'язків класу SynSet показав, що гіперонімічний зв'язок є визначальним, оскільки 5 ключових синсетів виявилися однаковиими для всіх 4-х списків –

це event, organization, change, property, thing (позначені у таблиці 1 жирним шрифтом). Тільки три дієслова move, decide та evaluate (жирний шрифт з нахилом) не увійшли до загальних списків на відміну від гіперонімічних, але в останніх також співпали.

У більшості 13 перших елементів кожного гіперонімічного списку склали іменники, які доповнюють 4 дієслова у 2013 році та 5 дієслів у 2014 році, що також свідчить про онтологічну сутність отриманих даних таблиці 1 та кластерів з рисунків 2 та 3. Характерно, що у кожному рисунку маємо по 2 кластери з 13 синсетів, хоча для 2013 року вони розподіляються як 7 + 6 синсетів, а у 2014 році – 9 + 4 синсети.

Проте основи кожного кластеру з незмінних для двох списків 8-ми синсетів збігаються, що може свідчити про єдність авторського стилю. Тоді логічно, що переміщення акцентів викладеної в текстах інформації має знайти своє відображення у відмінностях топології кластерів. Формально з синсетів sum, district, adult, method та gain 2013 року переходимо до asset, person, mechanism, choose та equipment 2014 року – отримані дані потребують експертної інтерпретації.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** В даній роботі було проведено формальне визначення змістовних ознак і характеристик англomовного тексту на основі досліджень зв'язків між лемами та синсетами на прикладі «Address by President of the Russian Federation 2013/2014». З цією метою розроблено програмне забезпечення на основі лінгвістичного пакету *DKPro Core* для визначення 2-ма способами ключових слів досліджуваного тексту та проведено порівняльну побудову онтологій тексту на основі бібліотек платформи *NLTK*.

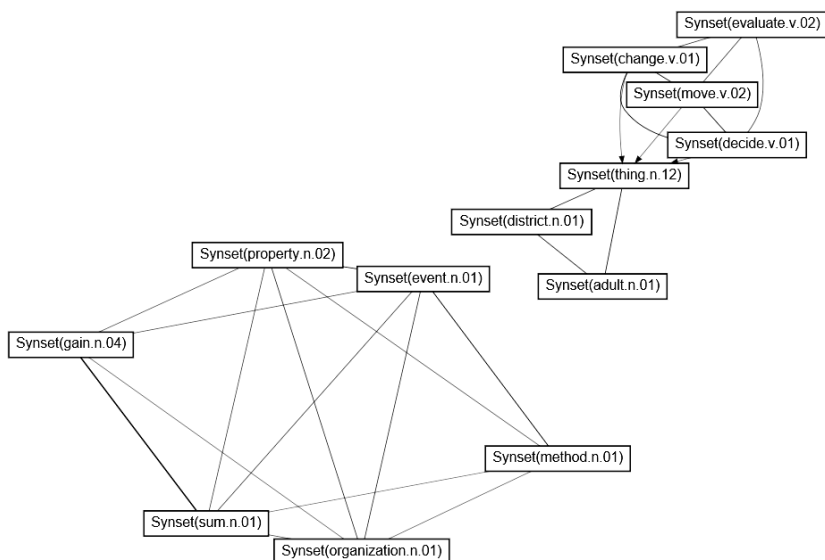


Рис. 2 – Граф зв'язків «найважчих» SynSet в «Presidential Address to the Federal Assembly 2013»

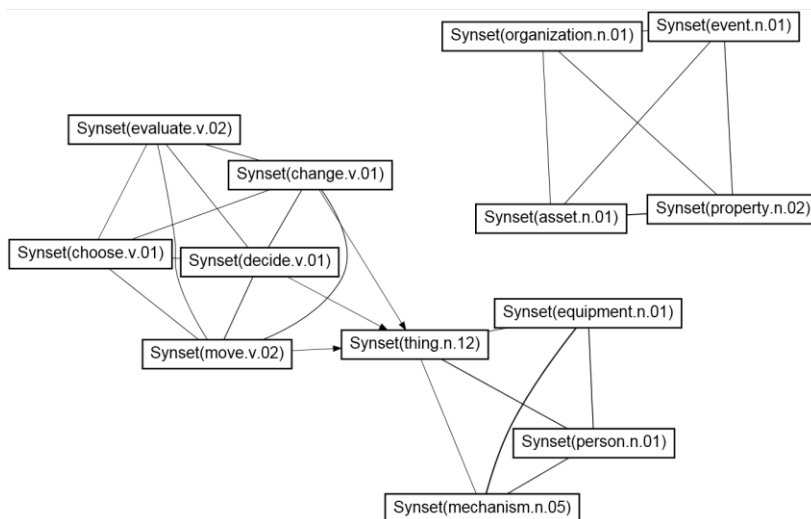


Рис. 3 – Граф зв'язків «найважчих» SynSet в «Presidential Address to the Federal Assembly 2014»

За результатами експериментів визначено, що реалізований у *DKPro Core* підхід на основі врахування зв'язків між лемами більш точно та більш повно визначає списки ключових слів у порівнянні з відомим методом на основі частотного словника тексту. Зокрема, у запропонований спосіб кількість стоп-слів англomовного тексту менша в 5 разів від відомого, а ваги однакових ключових слів суттєво більші (у 1,5–6 разів). Додатково власна розробка може виявляти найбільш вагомі словосполучення тексту, що, у сукупності, є формальною підставою для подальшої експертної інтерпретації щодо змісту та акцентів текстової інформації.

За допомогою програмного забезпечення, написаного на мові Python у додаток до бібліотек платформи *NLTK* було створено таблицю порівняння гіперонімів та побудовано зв'язані граfi досліджуваних офіційних текстів. Виявлено, що гіперонімічний зв'язок є визначальним для кластерного представлення онтології загальної лексики тексту, що дозволяє у першому наближенні не враховувати усі ваги зв'язків класу *SynSet*. За складом та топологією кластерів отримано потенційні формальні ознаки єдності авторського стилю, а також змін тональності викладеної інформації, проте цей висновок потребує більш масштабних експериментів.

Подальшого дослідження також потребують порівняння отриманих списків ключових слів з авторськими на різних категоріях текстів. Корисно було б також застосувати інші типи відношень, наприклад, метонімічні для побудови онтологій тексту.

**Список літератури:** 1. Бісікало О. В. Формальні методи образного аналізу та синтезу природномовних конструкцій : монографія [Текст] / О. В. Бісікало // – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 316 с. – ISBN 978-966-641-528-1. 2. Бісікало О. В. Формальне введення образного рівня до традиційної лінгвістичної тріади морфологія–синтаксис–семантика [Текст] / О. В. Бісікало, І. В. Богач // Бйоника інтелекта. – 2013. – № 2 (81). – С. 27–30. 3. Бісікало О. В. Метод визначення ключових слів англomовного тексту на основі DKPro Core [Текст] / О. В. Бісікало, О. В. Яхимович // Технологический аудит и резервы производства: Информационные технологии. – 2015. – Том 1, № 2(21). – С. 26–30. 4. Address by President of the Russian Federation [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://en.kremlin.ru/events/president/news/19825>. – 12.12.2013. 5. Address by President of the Russian Federation [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://en.kremlin.ru/events/president/news/47173>. – 04.12.2014. 6. Matlack, Carol. To Understand Putin, Try Counting His Words [Electronic resource]. – Bloomberg Businessweek, December 11, 2014. – Available at: \www/URL: <http://www.bloomberg.com/bw/articles/2014-12-11/counting-how-many-times-putin-said-russia>. 7. Natural Language Processing: Integration of Automatic and Manual Analysis [Electronic resource]. – Technischen Universität Darmstadt, 2014. – Available at: \www/URL: <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/4151/1/rec-thesis-final.pdf>. – 21.04.2015. 8. Bird, Steven. Natural Language Processing with Python Analyzing Text with the Natural Language Toolkit [Electronic resource] / Steven Bird, Ewan Klein, Edward Loper. – O'Reilly, – 2010. Available at: \www/URL: <http://victoria.lviv.ua/html/fl5/NaturalLanguageProcessingWithPython.pdf>. 9. Gurevych, I. Darmstadt Knowledge Processing Repository Based on UIMA [Electronic resource] / I. Gurevych, M. Muhlhauser, Ch. Muller, J. Steimle, M. Weimer, T. Zesch. – February 9, 2007. – Available at: \www/URL: [https://www.ukp.tu-darmstadt.de/fileadmin/user\\_upload/Group\\_UKP/publikationen/2007/gldv-uima-ukp.pdf](https://www.ukp.tu-darmstadt.de/fileadmin/user_upload/Group_UKP/publikationen/2007/gldv-uima-ukp.pdf). – 21.04.2015. 10. Banerjee, Satanjeev and Pedersen, Ted. An Adapted Lesk Algorithm for Word Sense Disambiguation Using WordNet, Lecture Notes In Computer Science. – Vol. 2276, Pp. 136-145, 2002. – ISBN 3-540-43219-1.

**Bibliography (transliterated):** 1. Bisikalo O. V. (2013). Formal'ni metody obraznoho analizu ta syntezu pryrodno-movnykh konstruksij : monohrafiia [Formal methods imagery analysis and synthesis of natural language constructions: monograph]. Vinnitsa, VNTU, 316. ISBN 978-966-641-528-1. 2. Bisikalo O. V., Bohgach I. V. (2013).



Formal'ne vvedennia obraznoho rivnia do tradytsijnoi linhvistychnoi triady morfolohiia–syntaksys–semantyka [The formal introduction of the traditional figurative linguistic triad morphology-syntax-semantics]. Bionics intelligence, 2 (81), 27-30. 3. Bisikalo O. V, Yahimovich O. V. (2015). Metod vyznachennia kliuchovykh sliv anhlomovnoho tekstu na osnovi DKPro Core [The method of determining keywords at English text based on the DKPro Core]. Technology Audit and Reserves Production. Information Technology., Vol. 1 № 2 (21), 26-30. 4. Address by President of the Russian Federation. Available at: <http://eng.kremlin.ru/transcripts/6402>. 5. Address by President of the Russian Federation. Available at: <http://eng.kremlin.ru/news/6889>. 6. Matlack, Carol. (2014) To Understand Putin, Try Counting His Words. Bloomberg Businessweek. Available at: <http://www.bloomberg.com/bw/articles/2014-12-11/counting-how-many-times-putin-said-russia>. 7. Natural Language Processing: Integration of Automatic and Manual Analysis. Darmstadt. Technischen Universität. 2014. Available at: <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/4151/1/rec-thesis-final.pdf>. 8. Steven Bird, Ewan Klein, Edward Loper. (2010) Natural Language Processing with Python Analyzing Text with the Natural Language Toolkit. O'Reilly. Available at: <http://victoria.lviv.ua/html/fl5/NaturalLanguageProcessingWithPython.pdf>. 9. Gurevych I, Muhlhauser M., Muller Ch., Steimle J., Weimer M., Zesch T. (2007) Darmstadt Knowledge Processing Repository Based on UIMA. Available at: [https://www.ukp.tu-darmstadt.de/fileadmin/user\\_upload/Group\\_UKP/publikationen/2007/gldv-uima-ukp.pdf](https://www.ukp.tu-darmstadt.de/fileadmin/user_upload/Group_UKP/publikationen/2007/gldv-uima-ukp.pdf). – 21.04.2015. 10. Banerjee, Satanjeev and Pedersen, Ted. (2002). An Adapted Lesk Algorithm for Word Sense Disambiguation Using WordNet. Lecture Notes In Computer Science, 2276, 136-145. ISBN 3-540-43219-1.

Поступила (received) 26.04.2015

УДК 004.8: 681.51

**О. В. ГЕРАСИНА**, канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ

## АЛГОРИТМИ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Запропоновано для підвищення точності прогнозування процесів гірничо-металургійного виробництва використовувати адаптивні фільтри-апроксиматори на основі нечіткої кластеризації, а також проводити налаштування їх параметрів за допомогою методів глобальної оптимізації. Визначено ефективність запропонованого підходу на прикладі прогнозування технологічних процесів крупного дроблення і доменного виробництва.

**Ключові слова:** прогнозування, фільтр-апроксиматор, нечітка логіка, кластеризація, глобальна оптимізація, крупне дроблення, доменне виробництво.

**Вступ.** З позицій керування складними об'єктами керування (ОК) є динамічні об'єкти з нестационарними параметрами, нелінійними залежностями і стохастичними змінними. До них відносяться технологічні процеси доменного виробництва (ДВ) і рудопідготовки (процеси дроблення, здрібнювання руд), витрати на які складають значну частину собівартості гірничо-металургійного виробництва [1, 2]. Тому актуальним є вирішення задач прогнозування цих процесів, що дозволяє підвищити якість управління за рахунок підвищення точності оцінки їх стану.

Підвищення якості керування процесом крупного дроблення (ККД) на гірничо-збагачувальних комбінатах призводить до поліпшення якості наступного за ним процесу здрібнювання, і як наслідок – продуктів збагачення, що неможливо без ефективного прогнозування.

Одним з основних показників ДВ є тепловий стан доменної печі, оцінювати

© О. В. ГЕРАСИНА, 2015

зміну і регулювати який дозволяє прогнозування вмісту кремнію у чавуні на випуску (управління знизу).

Для прогнозування нелінійних процесів гірничо-металургійного виробництва найбільш актуальним є використання побудованих на основі методів систем штучного інтелекту (нейронних мереж (НМ) і систем з нечіткою логікою) адаптивних фільтрів-апроксиматоров (АФА) [3].

У роботах [4, 5] запропоновано для прогнозування процесів гірничо-металургійного виробництва використовувати нейронні і нечіткі АФА. Разом з тим, у роботах [4, 5] не розглядається використання нечіткої кластеризації для побудови АФА й не передбачено налаштування параметрів фільтрів за допомогою методів глобальної оптимізації.

**Мета роботи.** Метою роботи є підвищення точності прогнозування процесів гірничо-металургійного виробництва шляхом застосування фільтрів-апроксиматоров на основі нечіткої кластеризації, а також налаштування їх параметрів за допомогою методів глобальної оптимізації.

**Алгоритми нечіткої кластеризації.** В АФА процес адаптації полягає в оцінюванні потрібного виходу фільтра і коригування його параметрів в залежності від значень вихідної похибки [5].

АФА з нечіткою логікою ґрунтуються на твердженні, що функція належності елемента множині може приймати значення в інтервалі  $[0, 1]$ . Чим це значення ближче до 1, тим більше відповідність елементу універсальної множини властивостям нечіткої. Переваги таких АФА – прозорість процесу отримання висновків, виходячи зі словесного опису експертних знань про процес, а також стійкість до шумів. Недоліки – відсутність автоматичного набуття знань, обмежена кількість вхідних змінних [6, 7].

Задача кластеризації полягає в об'єднанні безлічі об'єктів у групи (кластери) на основі подібності ознак для об'єктів однієї групи і відмінностей між ними. Більшість алгоритмів кластеризації можуть використовуватись в умовах майже повної відсутності інформації про закони розподілу даних. Вихідною інформацією для кластеризації є матриця спостережень [7]:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{\Theta 1} & x_{\Theta 2} & \dots & x_{\Theta p} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $p$  – значення ознак одного з  $\Theta$  об'єктів кластеризації.

Найбільш відомими методами кластеризації, заснованими на врахуванні того чи іншого виду невизначеності, є: субтрактивна кластеризація (Genfis2) – поліпшена версія методу гірничої кластеризації [8] та нечітка кластеризація С-середніх (Genfis3) [9].

Алгоритми Genfis2 і Genfis3 представлено на рис. 1, 2.

**Методи глобальної оптимізації.** Оскільки задача вибору параметрів АФА та їх налаштування є полімодальною, то це вимагає використання методів глобальної оптимізації, серед яких найбільш ефективними є пошукові методи. В них алгоритм пошуку оптимального рішення пов'язує наступні один за одним рішення  $\Psi_s(j+1) = F[\Psi_s(j)]$ , де  $F$  – алгоритм пошуку, що показує які операції слід зробити

на кроці  $j$  при вирішенні  $\Psi_s(j)$ , щоб отримати нове рішення  $\Psi_s(j+1) \succ_s j$ . Тут знак переваги  $\succ$  при мінімізації функціоналу має сенс:

$$C[\Psi_s(j+1)] < C[\Psi_s(j)]. \quad (2)$$

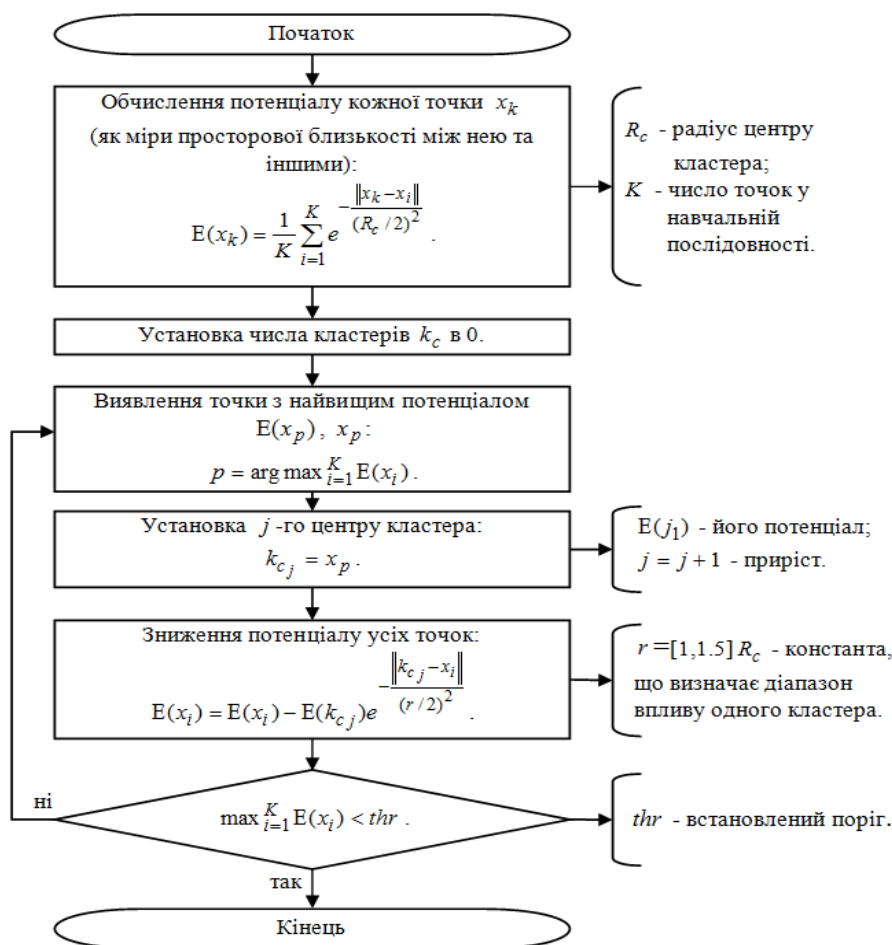


Рис. 1 – Алгоритм Genfis2

В алгоритмах прямого випадкового пошуку (ПВП) задаються напрями пошуку й визначаються значення функціоналу  $C$  у точках  $\Psi_s(j) \pm \gamma\zeta$ . Рішення полягає у виборі кроку в напрямку зменшення цього функціоналу:

$$\Psi_s(j+1) = \Psi_s(j) - \omega\zeta \{C[\Psi_s(j) + \gamma\zeta] - C[\Psi_s(j) - \gamma\zeta]\}, \quad (3)$$

де  $\omega, \zeta, \gamma$  – параметри, що визначають сфери прийняття рішення ( $\omega$ ), збору інформації ( $\gamma$ ) та одиничний випадковий напрямок ( $\zeta$ ). У загальному випадку параметри в (3) можуть змінюватися (адаптуватися) до процедури пошуку та виду гіперповерхні прийнятого функціоналу.

Розвитком методу ПВП є метод імітації відпалу (МІВ), що відображає поведінку розплавленого матеріалу при затвердінні із застосуванням процедури керованого охолодження (відпалу). У процесі відпалу кристалізація розплаву супроводжується глобальним зменшенням його енергії, проте допускається її зростання на деякий час. Завдяки цьому можливий вихід з пасток локальних мінімумів енергії, що виникають при реалізації процесу.

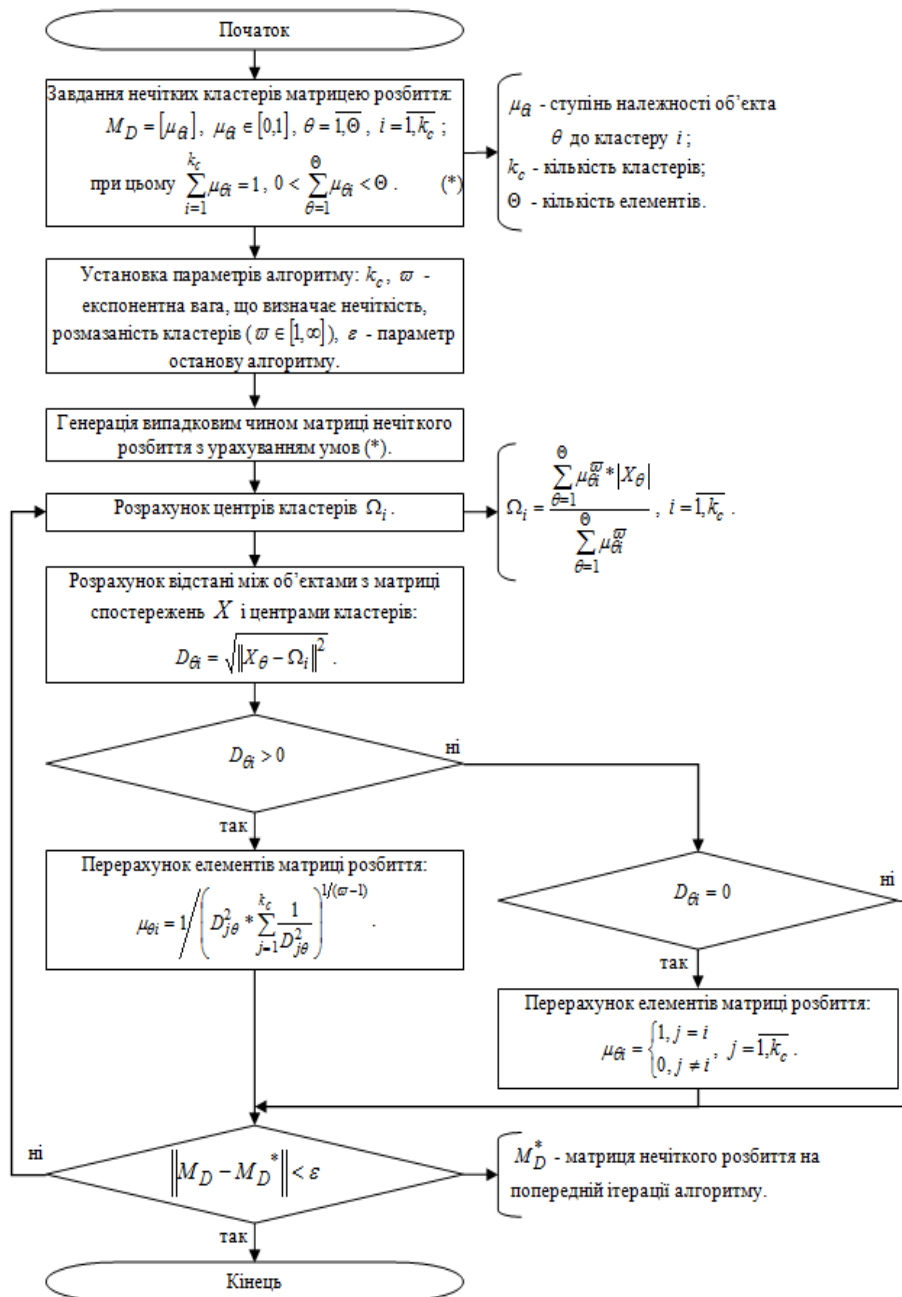


Рис. 2 – Алгоритм Genfis3

В алгоритмах МІВ задаються напрямки пошуку і визначаються значення функціоналу  $C$  у точках  $\Psi_s(j) \pm \nu\tau$ . Рішення полягає у виборі кроку в напрямку зменшення цього функціоналу:

$$\Psi_s(j+1) = \Psi_s(j) - \omega\nu\{C[\Psi_s(j) + \nu\tau] - C[\Psi_s(j) - \nu\tau]\}, \quad (4)$$

де  $\omega, \nu, \tau$  – параметри, що визначають сфери прийняття рішення ( $\omega$ ), зміни поточного рішення ( $\nu$ ) і зменшення температури ( $\tau$ ).

Метод порогового прийняття (МПП) використовує підхід, схожий із МІВ, але замість того, щоб обрати нові точки, які оптимізують критерій із певною ймовірністю, цей метод обирає усі нові точки нижче за встановлений поріг. Таким чином, поріг і температура систематично знижені, що дозволяє уникнути імовірнісних обчислень, й може визначити оптимум швидше, ніж у МІВ.

Розвитком пошукових методів є еволюційні алгоритми, серед яких найбільш поширені генетичні алгоритми (ГА), що моделюють розвиток біологічної популяції на рівні геномів: мутації структури і параметрів  $\delta\Psi_s$ , їх схрещування [11]:

$$\Psi_s(j+1) = \Psi_s(j) + \delta\Psi_s(j), \quad (5)$$

і правило відбору для виявлення їх сприятливих варіацій, за допомогою яких будується послідовність поліпшених рішень.

Більшість задач, що вирішуються за допомогою ГА, мають один критерій оптимізації. Багатокритеріальна оптимізація (БО) заснована на знаходженні рішення, одночасно оптимізуючого більш ніж одну функцію. При БО, що використовує ГА обирається не одна хромосома, що представляє собою оптимальне рішення у звичайному сенсі, а безліч хромосом, оптимальних у сенсі Парето. Користувач має можливість обрати оптимальне рішення з цієї безлічі [11]:

$$\kappa \cdot \Psi_s(j+1) = \kappa \cdot (\Psi_s(j) + \delta\Psi_s(j)), \quad (6)$$

де  $\kappa \geq 2$  – число розглянутих критеріїв.

**Прогнозування процесів гірничо-металургійного виробництва.** Прогнозування процесів гірничо-металургійного виробництва виконувалось за допомогою розроблених програм у середовищі Matlab на основі експериментальних даних: для процесу ККД – вмісту класу +100 мм у вихідній руді, отриманого в умовах Інгулецького ГЗК, для процесу ДВ – вмісту кремнію у чавуні на випуску, отриманого в умовах ДП-3 ММК ім. Ілліча.

З особливостей цього процесу глибина прогнозу була прийнята 5 тактів, а глибина пам'яті 4. Як глобальні методи оптимізації використовувались ГА, БО, ПВП, МІВ, МПП.

Критерієм параметричної оптимізації було обрано критерій регулярності, що обчислюється на перевіірочній вибірці [12]:

$$C_{рег} = \frac{\|Y_B^*[m+n] - \hat{Y}_B[m+n]\|}{\|Y_B^*[m+n]\|}, \quad (7)$$

а критерієм глобальної оптимізації – комбінований критерій:

$$C_{комб} = 0,2 \cdot C_{рег} + 0,8 \cdot C_{зм}, \quad (8)$$

де  $C_{зм}$  – критерій незміщеності (мінімуму зсуву), заснований на аналізі рішень [12]:

$$C_{зм} = \frac{\|\hat{Y}_A[m+n] - \hat{Y}_B[m+n]\|}{\|Y^*[m+n]\|}. \quad (9)$$

Результати глобальної оптимізації для знаходження параметрів АФА для прогнозування процесу ККД наведено на рис. 3 (а-д), а для ДВ – на рис. 4 (а-д).

Метод БО використовував ГА для знаходження безлічі оптимальних за Парето рішень. ПВП мав адаптивний крок пошуку і повний пошук навколо поточної ітерації, МІВ і МПП – обмежену область перевідпалу, ГА – одноточечне схрещування, селективний вибір батьків, формування нової популяції із витісненням. Кількість ітерацій для ПВП, МПП і МІВ (для ГА і БО поколінь) обмежувалось на рівні 100, а розмір простору пошуку для ПВП (для ГА і БО розмір популяції, для МПП і МІВ розмір області перевідпалу) – 30.

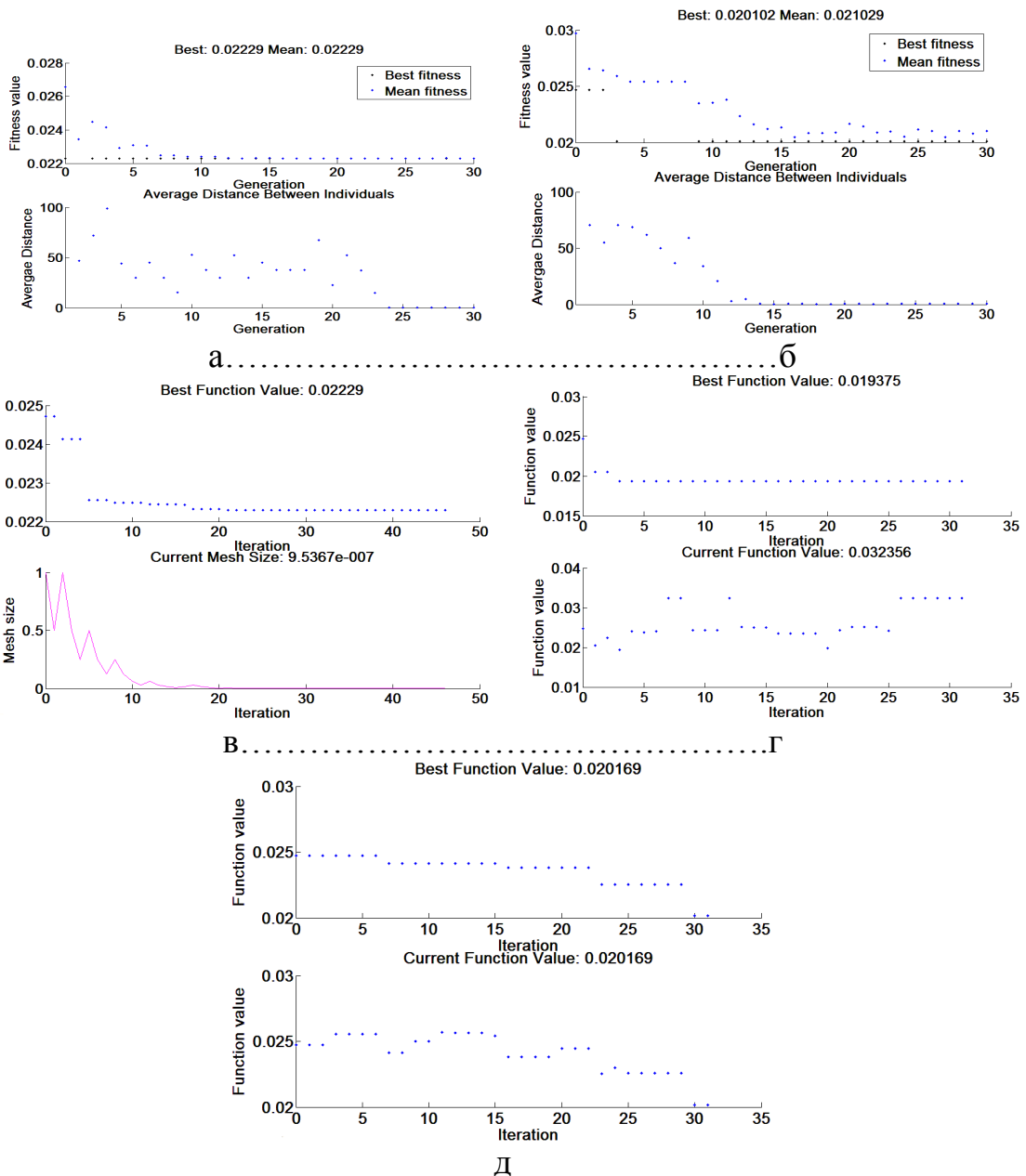


Рис. 3 – Результати оптимізації параметрів АФА для прогнозування процесу ККД за допомогою: а – ГА, б – БО, в – ПВП, г – МІВ, д – МПП

При глобальній оптимізації варіювались наступні параметри АФА:

- тип АФА – Genfis2 або Genfis3;
- для Genfis2 – діапазон впливу кластерного центру  $R_c$  (рис. 1);
- для Genfis3 – алгоритм нечіткої логіки (Мамдані або Сугено [7]) і число кластерів  $k_c$  (рис. 2).

У результаті моделювання для процесу ККД (див. рис. 3 (а-д)) встановлено, що ГА, БО і МІВ мають найвищу швидкість збіжності (ГА і БО виходять в область оптимальних рішень на перших поколіннях, МІВ – перших ітераціях, ПВП – у середньому після 15 ітерацій, МПП – після 25). Алгоритм МІВ виявив найвищу швидкодію (1 с на ітерацію при 2 с на ітерацію в МПП, 3 с на ітерацію в ПВП, 10 с на покоління в ГА і 12 с на покоління в БО). При цьому алгоритм МІВ також ви

явив найкращу збіжність (значення критерію [8] при його використанні склали 0,019, на відміну від 0,02 при МПП, 0,021 при БО та 0,022 при ГА і ПВП).

У результаті моделювання для процесу ДВ (див. рис. 4 (а-д)) встановлено, що БО, ПВП і МПП мають найвищу швидкість збіжності (БО виходить в область оптимальних рішень на перших поколіннях, ПВП і МПП – перших ітераціях, ГА – у середньому після 5 поколінь, МІВ – 5 ітерацій). Алгоритм ПВП виявив найвищу швидкодію (3 с на ітерацію при 15 с на ітерацію в МПП, 21 с на ітерацію в МІВ, 103 с на покоління в ГА і 315 с на покоління в БО). При цьому алгоритм ПВП також виявив найкращу збіжність (значення критерію [8] при його використанні склали 0,056, на відміну від 0,12 при ГА, БО, МІВ і МПП).

Результат прогнозування процесу ККД і ДВ наведено на рис. 5 (а-б). Встановлено, що для процесу ККД мінімуму критерію [8] відповідають

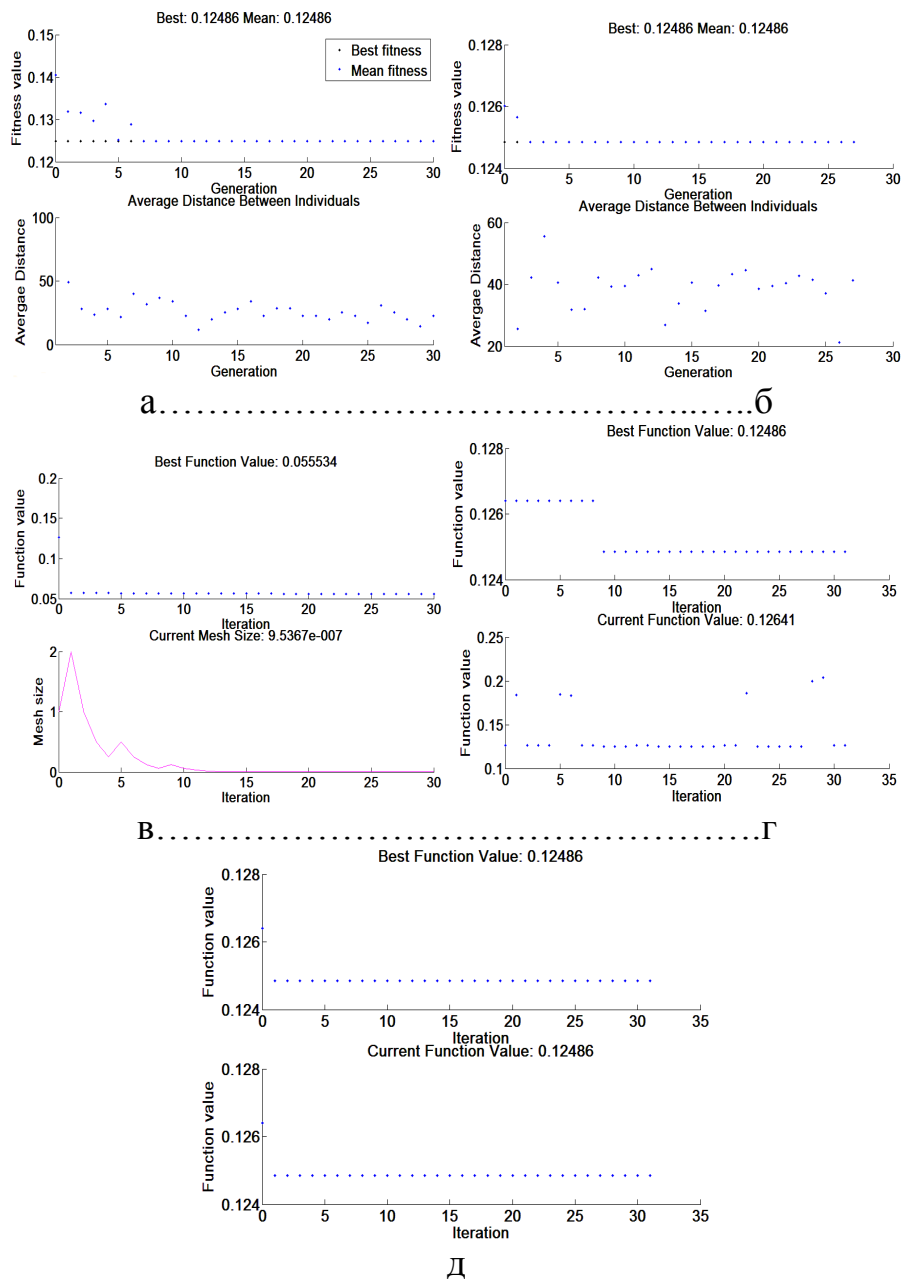


Рис. 4 – Результати оптимізації параметрів АФА для прогнозування процесу ДВ за допомогою: а – ГА, б – БО, в – ПВП, г – МІВ, д – МПП

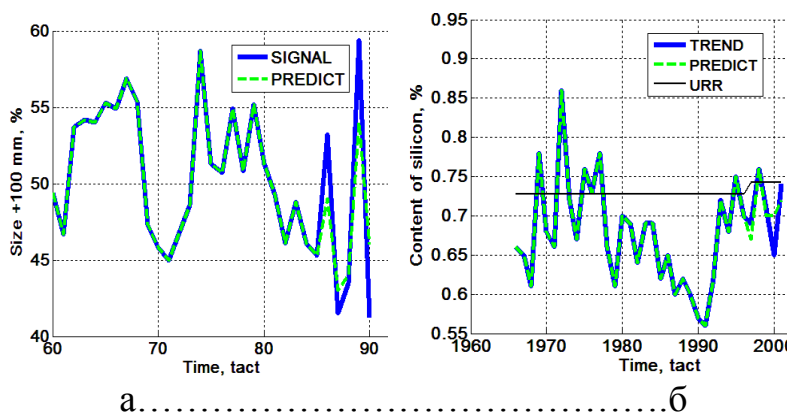


Рис. 5 – Результат прогнозування процесу: а – ККД, б – ДВ

АФА Genfis3 з використанням алгоритму Сугено і 4 кластерами, а для процесу ДВ – АФА Genfis2 з діапазоном впливу кластерного центру рівним 0,3. Значення критеріїв [7] для ККД і ДВ склали 0,0349 і 0,0389, відповідно, що менше похибок АФА, отриманих у роботах [4, 5].

Адекватність отриманих АФА перевірялась за непараметричним критерієм знаків. Було встановлено, що для рівня значущості 0,01 розроблені АФА адекватні експериментальним реалізаціям процесів ККД і ДВ.

**Висновки.** Запропоновано для прогнозування процесів гірничо-металургійного виробництва використовувати АФА на основі нечіткої кластеризації, а також проводити вибір їх параметрів з використанням методів глобальної оптимізації. Побудовані таким чином АФА мають підвищену точність.

Подальші дослідження повинні бути спрямовані на розробку методик прогнозування та ідентифікації процесів гірничо-металургійного виробництва.

**Список літератури:** 1. Каганов, В. Ю. Автоматизация управления металлургическими процессами [Текст] / В. Ю. Каганов, О. М. Блинов, А. М. Беленький. – М. : Металлургия, 1974. – 416 с. 2. Марюта, А. Н. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик [Текст] / А. Н. Марюта, Ю. Г. Качан, В. А. Бунько. – М. : Недра, 1983. – 277 с. 3. Kornienko, V. Methods and principles of control over the complex objects of mining and metallurgical production [Text] / V. Kornienko, A. Gerasina, A. Gusev // Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems: Taylor & Francis Group, London. – 2013. – P. 183-192. 4. Герасина, А. В. Структурно-параметрическая идентификация процессов дробления и измельчения руд [Текст] / А. В. Герасина, В. И. Корниенко. – Д. : Национальный горный университет, 2013. – 101 с. 5. Kornienko, V. Identification, prediction and control of complex multiply technological objects [Text] / V. Kornienko, I. Gulina, Yu. Rybalchenko // Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems: Taylor & Francis Group, London. – 2015. – P. 168-179. 6. Дьяконов, В. П. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник [Текст] / В. П. Дьяконов, В. В. Круглов. – СПб. : Питер, 2001. – 480 с. 7. Штовба, С. Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab [Текст] / С. Д. Штовба. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с. 8. Yager, R. Essentials of Fuzzy Modeling and Control [Text] / R. Yager, D. Filev. – USA : John Wiley & Sons. – 1984. – 387 p. 9. Bezdek, J. C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms [Text] / J. C. Bezdek. – New York : Plenum Press. – 1981. – 272 p. 10. Nelles, O. Nonlinear System Identification: From Classical Approaches to Neural and Fuzzy Models [Text] / O. Nelles. – Berlin : Springer, 2001. – 785 p. 11. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с. 12. Ивахненко, А. Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами [Текст] / А. Г. Ивахненко. – К. : Техніка, 1975. – 312 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Kaganov, V. Yu., Blinov, O. M., Belen'kiy, A. M. (1974). Automating the management of metallurgical processes. Moscow, Russia: Metallurgy, 416. 2. Maryuta, A. N., Kachan, Yu. G., Bun'ko, V. A. (1983). Automatic control of technological processes of processing plants. Moscow, Russia: Nedra, 277. 3. Kornienko, V., Gerasina, A., Gusev A. (2013). Methods and principles of control over the complex objects of mining and metallurgical production. Energy Efficiency Improvement of Geotechnical Systems. London: Taylor & Francis Group, 183-192. 4. Gerasina, A., Kornienko, V. (2013) Structural-parametrical identification of processes for crushing and grinding of the ores. Dnepropetrovsk, Ukraine: National Mining University, 101. 5. Kornienko, V., Gulina I., Rybalchenko, Yu. (2015). Identification, prediction and control of complex multiply technological objects. Power Engineering, Control and Information Technologies in Geotechnical Systems. London: Taylor & Francis Group, 168-178. 6. Dyakonov, V. P., Kryglov, V. V. (2001). Mathematical expansion packs MATLAB. Special handbook. St. Petersburg, Russia: Piter, 480. 7. Shtovba, S. D. (2007). Design



of Fuzzy Systems with MATLAB. Moscow, Russia: Goryachaya liniya – Telekom, 288.**8.** *Yager, R., Filev, D.* (1984). Essentials of Fuzzy Modeling and Control. USA: John Wiley & Sons, 387. **9.** *Bezdek, J. C.* (1981). Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York: Plenum Press, 272. **10.** *Nelles, O.* (2001). Nonlinear System Identification: From Classical Approaches to Neural and Fuzzy Models. Berlin: Springer, 785.**11.** *Rutkovskaya, D., Pilinskiy, M., Rutkovskiy, L.* (2006). Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems. Moscow, Russia: Goryachaya liniya – Telekom, 452.**12.** *Ivakhnenko, A. G.* (1975). Long-term forecasting and control of complex systems. Kiev, Ukraine: Tehnika, 312.

*Поступила (received) 26.04.2015*

**УДК 004.724**

**Ю. О. КУЛАКОВ**, д-р техн. наук, проф., НТУУ «КПІ», Київ;  
**А. М. КОРОНЕНКО**, аспірант, НТУУ «КПІ», Київ

## **СПОСІБ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ СТІЛЬНИКОВОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ З РОЗПОДІЛЕННЯМ КАНАЛІВ**

Запропонована нова схема розподілення загального пулу каналів між голосовими викликами та даних в стільникових мережах зв'язку. В схемі на першому етапі відбувається балансування каналів, які обслуговують голосові виклики та дані для нових викликів. На другому етапі прогнозується загальна кількість хендвер викликів та використовуючи адаптивний фільтр перерозподіляється кількість зарезервованих каналів.

**Ключові слова:** мобільна мережа, хендвер виклики, трафік, QoS.

**Вступ.** Завдяки механізмам резервування можна гарантувати якість обслуговування впродовж виклику, в той час як всі інші механізми контролю надходження викликів (локальні, основані на вимірах чи розрахунках ресурсів) приймають одноразове рішення перед встановленням виклику на основі інформації про поточний стан мережі. Оскільки довжина черги залежить від кількості зарезервованих складним чином каналів. Для підвищення якості необхідно розрахувати кількість каналів при заданих параметрах довжини черги.

В роботі [1] показано, що відома модель з балансуванням навантаження по необхідних значеннях показників, що пов'язано з мінімізацією коефіцієнта максимального використання каналів мережі, підтвердила, що при зростанні навантаження мережі значення коефіцієнта лінійно збільшується, внаслідок чого в чисельних значеннях основних показників QoS гарантовано відсутні коливання. В роботі [2] було проведено дослідження, де потокова модель з балансуванням навантаження по необхідних значеннях показників максимального використання каналів мережі не в усіх випадках дозволяє максимально покращити показники QoS. В роботах [3, 4] в межах аналітичного виразу пов'язано кілька показників якості з ціллю надання мережею гарантованої якості обслуговування. Аналіз поточкових моделей, в яких передбачено втрати викликів, показав, що ці моделі не придатні для передбачення зони хендвера та резервування каналів для обслуговування хендвер викликів.

**Мета роботи.** Мета роботи полягає в розробці способу балансування каналів в стільникових мережах, що дозволяє вирішити задачу підтримки QoS.

© Ю. О. КУЛАКОВ, А. М. КОРОНЕНКО, 2015

**Методика натуральних експериментів (логістична регресія).** Відомо два підходи до резервування каналів: в першому випадку використовується константа для задання максимального числа каналів, які будуть виділені для роботи мережі, коли кількість викликів буде перевищувати кількість каналів, тоді виклики будуть відкидатися; другий випадок - це використання функціональних рядів, наприклад, усереднення за рік або розкладання усередненого в функціональний (гармонічний) ряд, коли відома статистика на певний проміжок часу і виділення каналів відбувається відповідно до заданих попередніх параметрів. Але такий варіант непридатний для випадків, коли навантаження стає погано прогнозованим, оскільки при цьому необхідно розрізняти короточасні зміни (ефект Доплера), пов'язані з відносно швидким переміщенням мобільних пристроїв та довгочасні зміни, пов'язані з принциповими змінами в мережі зв'язку.

Для зменшення можливості виникнення конфліктних ситуацій ефективними є стратегії доступу, засновані на схемах поділу всього пулу каналів між різнотипними викликами. Для підтримки та підвищення QoS необхідно динамічно змінювати число зарезервованих каналів для голосових викликів і даних.

Більшість відомих алгоритмів, заснованих на гауссівських процесах, не можуть розрізняти день і ніч для трафіка, хоч і мали б включати всю попередню інформацію про регулярність часових рядів і використовувати контекстну інформацію, таку, як наявність свят. На відміну від відомих методів, де не враховується різниця між динамікою голосового трафіка та даних протягом доби, не можна очікувати значного підвищення QoS в ранкові та вечірні години. Статичне резервування каналів для перехідних викликів не дозволить наблизити навантаження каналів до оптимальної й зрівняти QoS для постійних абонентів стільника і для перехідних викликів. До основних недоліків цих методів можна віднести те, що у випадку статичного розподілу максимальна довжина черги у моменти пікових навантажень росте і залишається на високому рівні, поки не знизиться навантаження. Тому використання прогнозу було б виправдано в цьому випадку.

Найбільш популярною моделлю для прогнозування є моделі авторегресії та проінтегрованого ковзного середнього (ARIMA) [5, 6]. Для того, щоб отримати адекватну модель, необхідно виявити параметри, що дозволять зробити прогноз зміни кількості хендовер викликів в стільнику мобільної мережі. Особливістю дослідження є те, що прогнозна модель ARIMA вперше застосована до фрактального трафіка. Найефективніше буде вирішити цю задачу комплексно, розділивши умовно весь пул каналів на типи викликів. Для більш ефективної роботи мережі потрібно використовувати резервування каналів під виклики, тому є сенс виділити їх. Поділ всіх викликів у каналах, які надходять на базову станцію (БС) по категоріях та на типи рис. 1.

Як видно з рисунку, ми маємо поділ каналів всього пулу каналів на такі,

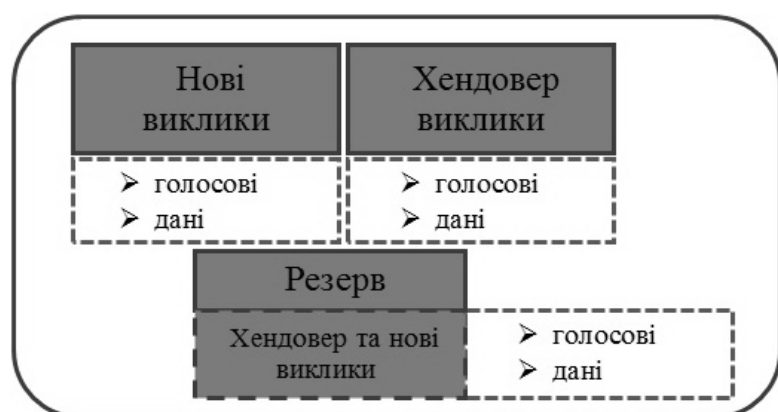


Рис. 1 – Розподіл викликів по каналах

що відведені під нові виклики, під хендовер виклики та резерв, який містить зарезервовані канали, що очікують хендовер викликів і нових викликів. Кожна категорія поділена також на такі типи викликів як голосові виклики та дані.

Динамічне резервування каналів підвищує QoS. Для того, щоб це робити, необхідно використовувати динамічні методи, такі як, наприклад, нейронні мережі або методи адаптивної фільтрації. На сьогоднішній день найбільшого поширення набули статичні методи виділення каналів, коли їхня кількість, що обрана на основі статистики за певний звітний період, виділяється один раз при налаштуванні БС в мережі. Недоліком таких методів [8] є те, що не враховуються такі зміни навантаження мережі, як експоненціальне зростання трафіка під час свят, великого скупчення МП, роумінг і т. д. Тому ці методи не підходять під тип мобільних мереж. Наступний метод - це розкладання в гармонічний ряд. Це більш складний метод, який відповідно до часу доби або тижня, як вказано, виділяє певну кількість каналів (також середнє значення за певний звітний період). Недоліком цього методу є неможливість динамічно враховувати значне коливання навантаження в певний період, що призводить до меншої ефективності всієї мережі. Отже, методом, який враховуватиме недоліки статичних методів та додатково даватиме можливість прогнозувати навантаження, було обрано метод адаптивної фільтрації. За основу буде взято гармонічний ряд (існуючу статистику або базову модель) та порівнюватиметься з наявним навантаженням, якщо воно змінюватиметься в напрямку зростання або спадання, то відбуватиметься відповідна корекція.

Стрімке зростання обчислювальних можливостей для складних високопродуктивних мереж дало можливість для використання адаптивних алгоритмів.

Для вирішення нашої задачі взято адаптивний алгоритм, який лежить в основі фільтрації на основі найменших квадратів (оптимального фільтра Вінера). Оскільки параметри фільтра автоматично підлаштовуються під проаналізовані статистичні властивості мережі, це дозволяє успішно функціонувати мережі, коли наперед невідомі статистичні властивості. Це дозволяє в режимі реального часу резервувати канали під хендовер виклики, більш ефективним ніж існуючі способом. Отже, для підтримки заданої QoS необхідно використовувати підлаштування параметрів мережі. Недолік адаптивної фільтрації у тому, що передбачається те, що стан мережі буде незмінним певний час, який необхідний для порівняння з базовою моделлю. Сумісне використання моделі для прогнозування зміни кількості викликів разом з адаптивним фільтром дозволяє передбачувати зміни стану мережі та адаптуватись до реальних змін. На рис. 2 наведено спосіб організації розподілення трафіка в мобільних мережах.



Рис. 2 – Умовна схема розподілу каналів

**Обговорення отриманих результатів.** Було запропоновано спосіб розподілення каналів, на рис.3 представлена блок-схема способу розподілення каналів в стільниковій мережі. Як видно з рисунку на першому етапі відбувається перевірка на те чи новий виклик надійшов, якщо «так», то відбувається наступна перевірка на те чи достатня кількість вільних каналів, якщо «так», то ці канали займаються. Якщо на при перевірці на достатню кількість вільних каналів отримано негативну відповідь, то займаються всі вільні канали і відбувається перехід до резервних каналів. Наступною перевіркою є перевірка на достатню кількість резервних каналів, якщо «так», то займаємо канали. Якщо «ні», то займаємо всі вільні канали і переходимо до резервних каналів, що відносяться до хендовер викликів. Остання перевірка на цьому етапі, це перевірка на те чи достатня кількість резервних каналів, що відносяться до хендовер викликів, якщо «так», то канали займаються. Якщо «ні», то займаються канали, а надлишкові виклики, відкидаються.

Якщо на першому етапі перевірки було виявлено, що надійшов не новий виклик, а хендовер виклик. то переходимо до другого етапу розподілу каналів, перевіряємо ймовірність блокування хендовер викликів. Якщо при перевірці на те чи може бути оброблений виклик відповідь «так», то займаємо канали. Якщо ні, то відбувається балансування каналів та корегується прогноз числа викликів.

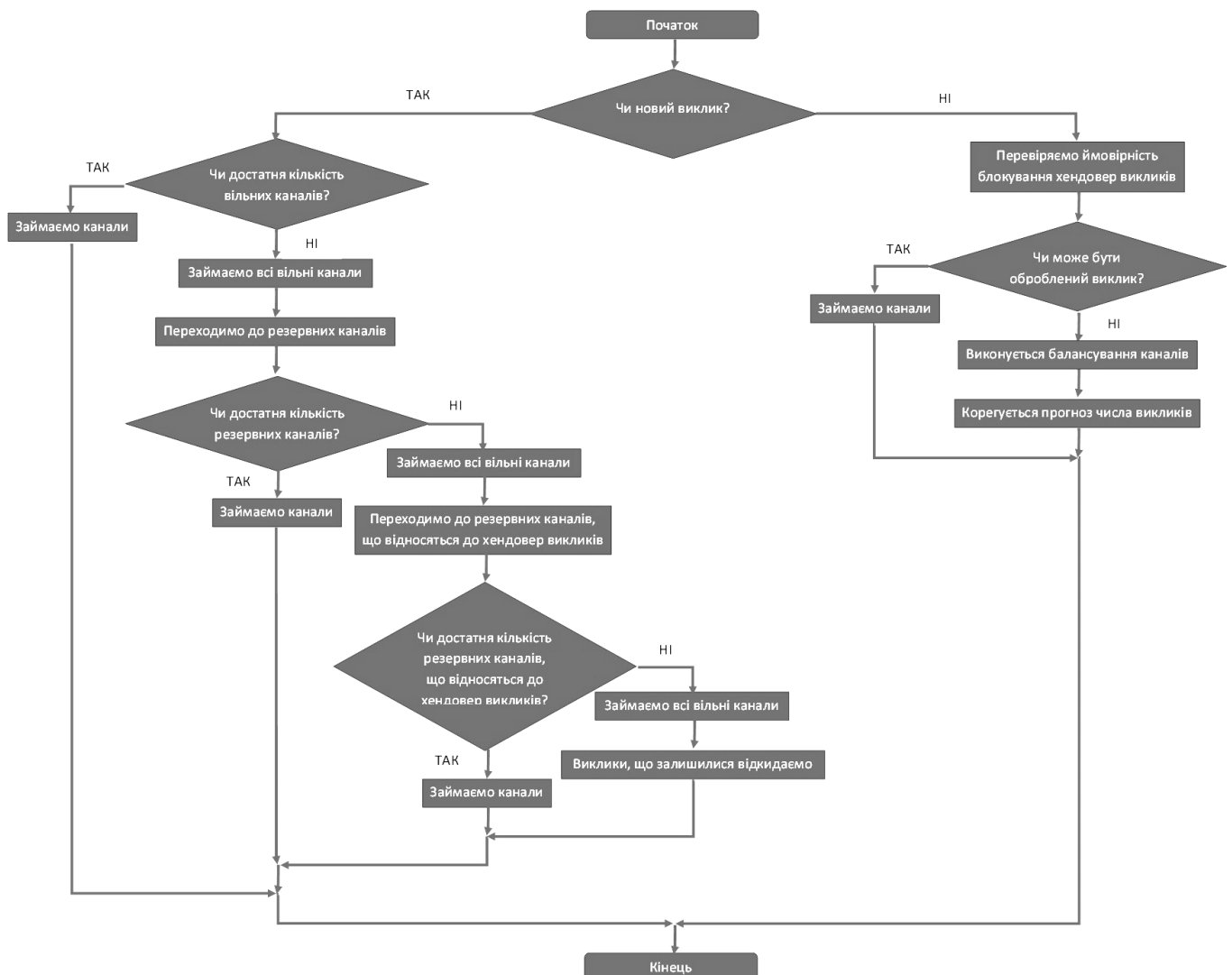


Рис. 3 – Блок схема розподілу каналів

Отже спосіб балансування каналів передбачає два етапи, які відображені на рис. 4, 5.



Рис. 4 – Метод балансування черги по типу викликів



Рис. 5 – Спосіб балансування каналів, що відведення для хендовер викликів

Для досягнення поставленої мети було вирішено наступні завдання:

1. Проведений аналіз останніх методів розподілу та резервування каналів показав, що основними проблемами при розподіленні каналів є незбалансованість каналів.

2. Було запропоновано та обґрунтовано спосіб, що, враховуючи фрактальність та зону хендовера, дає більш глибокий прогноз динаміки по викликах та більш чіткі правила розподілення пулу каналу.

3. Було висунуто наступні гіпотези:

- Що динамічне розподілення каналів дозволить підвищити QoS.
- Прогноз числа хендовер викликів дозволить більш ефективно виділяти канали під хендовер виклики.

- Використання адаптивного фільтру дозволить передбачувати зміни стану мережі та адаптуватись до реальних змін.

Були проведені експерименти, що підтверджують наші гіпотези, в основу вхідних даних лягла окремо знята статистика з двох організацій, що спеціалізуються на мобільних мережах.

Перший експеримент відбувався з метою прогнозування зміни кількості хендовер викликів в стільнику мобільної мережі. Дата експерименту: 8 грудня 2014 року на БС, що розміщена в м. Києві по бул. І. Кудрі, дані надано ТОВ «ТРИМОБ», дослідження тривали протягом доби, всього було отримано 96 спостережень.

Зауваження №1: у зв'язку з технічними обмеженнями, під час експерименту, не було можливості розділити тривалість викликів в статистиці рівня радіомережі

на вхідні/вихідні, тому тривалість викликів в кожному інтервалі заміру була представлена одним числом.

Зауваження №2: статистика по хендоверу містить кількість спроб хендовера з розбивкою по напрямку. В кожному інтервалі заміру приведено всі можливі напрямки в стільнику як по вхідних, так і по вихідних хендоверах.

Зауваження №3: мінімально доступні інтервали заміру на обладнанні, що використовувалось – 15 хвилин.

Для наступного експерименту на мережі оператора мобільного зв'язку PEOPLE.net досліджувався характер усього навантаження, що обслуговується протягом квітня 2014 року; статистика знімалась безперервно щодня кожні 5 хвилин. Вказане дослідження проводилося в м. Києві на вулицях Берковецькій та Підгірній. На момент проведення дослідження проводилися масові заходи, при проведенні яких кількість абонентів перевищувала пропускну здатність стільника. Проведення вимірів навантаження здійснювалося шляхом зняття облікової інформації, що надійшла.

Зауваження №4. Ці дані відображають тільки ту частину викликів, які обслуговуються оператором. Однак у випадках, коли абонент зайнятий або він не відповідає, тобто коли виклик не завершений тарифікованою розмовою абонентів, ця частина викликів залишається неврахованою. Таким чином, якщо порівняти враховане, тобто навантаження, що було опрацьоване, то воно виявиться менше того, що реально надійшло. При можливості локального перевантаження мережі найбільш ймовірні випадки отримання відмови в обслуговуванні, коли мережа зайнята через відсутність вільних каналів (тобто зайняті всі або зарезервовані для хендоверних абонентів канали). В цьому випадку виклик, що надійшов, взагалі залишиться незафіксованим навіть за допомогою програмного забезпечення.

Для третього експерименту, що підтверджує, що зі зростанням навантаження ймовірність блокування кожної категорії викликів (нових та хендовер викликів) спадає, що означає, що в цьому діапазоні навантаження для кожної категорії викликів буде достатньо ресурсів. Дослідження проводилось для двох БС в м. Києві по вул. Берковецька та вул. Синьоозерна.

Зауваження №5. У зоні хендовера рух мобільного пристрою (МП) в напрямку сусіднього стільника супроводжується погіршенням якості зв'язку. МП може провести в зоні хендовера деякий час, що залежить від таких параметрів системи, як розмір стільника, швидкість і напрямок руху абонента. За час перебування МП в зоні хендовера відбувається пошук вільного радіоканалу на БС сусіднього стільника.

Будемо вважати, що, потрапивши в зону хендовера, МП не може змінити напрямок руху так, щоб повернутися на територію стільника, через БС якої підтримується поточне з'єднання. Тоді можливі три варіанти:

- передача обслуговування поточного з'єднання на один з вільних каналів БС сусіднього стільника;

- успішне завершення обслуговування поточного з'єднання з причини закінчення розмови абонентом під час перебування в зоні хендовера;

- вимушений розрив поточного з'єднання на території сусіднього стільника – блокування хендовера, яке відбудеться, якщо в момент перетину абонентом меж зони хендовера передача обслуговування від поточного з'єднання БС до сусіднього стільника неможлива.

**Висновки.** В статті запропоновано спосіб розподілення каналів, який, враховуючи фрактальні властивості мережі, підвищує якість прогнозування та дозволяє отримати більш чіткі правила для розрахунку кількості каналів мультимедійного трафіка. Для підвищення ефективності балансування черги пропонується використовувати адаптивні алгоритми та прогнозування. Використання найпростіших методів адаптивної фільтрації дозволяє врахувати характеристики мобільної мережі та організувати підлаштування фільтра для ефективною корекції в режимі реального часу резервування каналів під хендовер виклики за допомогою мінімізації помилки відтворення базової моделі. Для вирішення задачі найбільше підходить застосування методів прогнозування моделі ARIMA, адаптивного фільтру Вінера, розроблених методів балансування черги [9].

**Список літератури:** 1. *Mérindol, P.* Improving Load Balancing with Multipath Routing [Text] / *Mérindol, P., Pansiot, J., Cateloin, S.* // Proc. of the 17th International Conference on Computer Communications and Networks, IEEE ICCCN. – 2008. – P.54–61. 2. *Лемешко, А. В.* Усовершенствование потоковой модели многопутевой маршрутизации на основе балансировки нагрузки [Электронный ресурс] / *А. В., Лемешко, Т. В., Вавенко* // Проблемы телекоммуникаций. – 2012. – № 1 (6). – С. 12–29. – Режим доступа: [http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/121\\_lemeshko\\_multipath.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/121_lemeshko_multipath.pdf). 3. *Mantar, H. A.* A scalable model for interbandwidth broker resource reservation and provisioning [Text] / *H. A., Mantar, J., Hwang, I. T., Okumus [and other]* // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2004. – Vol. 22, Issue 10. – P. 2019–2034. 4. *Aukia, P.* RATES: a server for MPLS traffic engineering [Text] / *P., Aukia, M., Kodialam, P. V. N. Koppol [and other]* // IEEE Network. – 2000. – Vol. 14, Issue 2. – P. 34 – 41. 5. *Гребенников, А. В.* Моделирование сетевого трафика и прогнозирование с помощью модели ARIMA [Текст] / *А. В., Гребенников, Ю. А., Крюков, Д. В., Чернягин* // Системный анализ в науке и образовании. – 2011. – №1. – С. 1-11. 6. *Крюков, Ю. А.* ARIMA – модель прогнозирования значений трафика [Текст] / *Ю. А., Крюков, Д. В., Чернягин* // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2011. – №2. – С.41-49. 7. *Кулаков, Ю. О.* Аналіз методів прогнозування та розрахунків прогнозу зміни числа хендовера в стільникову мультисервісної мобільної мережі [Текст] / *Ю. О., Кулаков, А. М., Короненко* // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2015. – № 62. 8. *Zaragoza, D.* Experimental validation of the ON–OFF packet-level model for IP traffic [Електронний ресурс] / *D., Zaragoza, C., Belo* // Computer Communications. – 2007. – Volume 30, Issue 5. – P. 975–989. – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366406003379>. 9. *Короненко, А. М.* Метод ефективного динамічного розподілення каналів між голосовими викликами та даними [Текст] / *А. М., Короненко* // Electronics and Communications – 2014. – 4(81) – С. 83-89. 10. *Айвазян, С.А.* Прикладная статистика. Основы эконометрики. Том 2. [Текст] / *С. А., Айвазян* – М. : Юнити-Дана, 2001. – 432 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Mérindol, P.*(2008). Improving Load Balancing with Multipath Routing. Proc. of the 17th International Conference on Computer Communications and Networks, IEEE ICCCN, 54–61. 2. *Лемешко, А. В.* (2012). Усовершенствование потоковой модели многопутевой маршрутизации на основе балансировки нагрузки. Проблемы телекоммуникаций, № 1 (6), 12–29. [http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/121\\_lemeshko\\_multipath.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2012/1/1/121_lemeshko_multipath.pdf). 3. *Mantar, H. A.* (2004). A scalable model for interbandwidth broker resource reservation and provisioning. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 22, Issue 10, 2019–2034. 4. *Aukia, P.* (2000). RATES: a server for MPLS traffic engineering. IEEE Network, Vol. 14, Issue 2, 34 – 41. 5. *Гребенников, А. В.* (2011). Моделирование сетевого трафика и прогнозирование с помощью модели ARIMA. Системный анализ в науке и образовании, №1, 1-11. 6. *Крюков, Ю. А.* (2011). ARIMA – модель прогнозирования значений трафика. Информационные технологии и вычислительные системы, №2, 41–49. 7. *Кулаков, Ю. О., Короненко, А. М.* (2015). Аналіз методів прогнозування та розрахунків прогнозу зміни числа хендовера в стільникову мультисервісної мобільної мережі. Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка, № 62. 8. *Zaragoza, D.* (2007). Experimental

validation of the ON-OFF packet-level model for IP traffic. Computer Communications, Volume 30, Issue 5, 975–989. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366406003379>. 9. Короненко, А. М. (2014). Метод ефективного динамічного розподілення каналів між голосовими викликами та даними, Electronics and Communications, 4(81), 83-89. 10. Айвазян, С.А. (2001). Прикладная статистика. Основы эконометрики. Том 2. М. : Юнити-Дана, 432.

Надійшла (received) 27.04.2015

УДК 533:519.6:621.64.029

**В. Ф. ЧЕКУРІН**, д-р фіз.-мат. наук, проф., зав. від., Інститут прикладних проблем механіки і математики НАН України, Львів;  
**О. М. ХИМКО**, канд. техн. наук, доц., НУ «Львівська політехніка»

## ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПОТОКАМИ ГАЗУ В ДОВГОМУ ТРУБОПРОВОДІ

В рамках моделі газової динаміки сформульовані задачі оптимального керування стаціонарними режимами транспортування газу в довгому газопроводі. Запропоновані алгоритми чисельного розв'язування сформульованих задач. Розглянута можливість застосування розробленого математичного апарату для управління магістральними газопроводами.

**Ключові слова:** газова динаміка, магістральні газопроводи, оптимальне керування

**Вступ.** Магістральний газопровід можна розглядати як систему довгих трубопроводів (сегментів), послідовно з'єднаних через компресорні станції. Режим транспортування газу в такій системі визначається роботою компресорних станцій і супроводжується затратами енергії та зниженням ресурсу обладнання. Тож будь-якому режимові транспортування газу можна поставити певні енергетичні та амортизаційні витрати. У зв'язку із цим постає проблема вибору режимів, за яких ці витрати задовольнятимуть певні критерії.

**Мета роботи.** Метою статті є формулювання задач оптимізації керування режимами транспортування газу в магістральних газопроводах та розроблення алгоритму їхнього розв'язування.

**Рівняння динаміки газу довгому трубопроводі.** Для опису транспортування газу застосуємо модель газової динаміки, яка описує нестационарний рух газу в циліндричній трубі сталого діаметру [1-3]. Обмежимося тут ізотермічним випадком, вважаючи температуру  $T$  газу незалежною від часу  $t$  та координати  $x$  уздовж осі труби. Вихідними диференціальними рівняннями для кожного сегмента у цьому випадку є рівняння балансу маси

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial J}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

та рівняння балансу імпульсу

$$\frac{\partial J}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial \rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{J^2}{\rho} \right) + \frac{\lambda}{2D} \frac{|J|J}{\rho} + g \frac{dH}{dx} \rho = 0. \quad (2)$$

Тут  $P$  та  $\rho$  — тиск та густина маси газу,  $V$  — осереднена в перерізі труби осьова компонента його швидкості руху,  $g$  — прискорення земного тяжіння,



$h = h(x)$  — параметр, що визначає зміну висоти осі труби над рівнем моря,  $f_R$  — густина осередненої в перетині труби сили тертя.

Густина  $\rho_i$  газу пов'язана з його тиском  $P_i$  та температурою  $T$  рівнянням стану реального газу

$$P = R/\mu_g z \rho T = c_0^2 z \rho, \quad c_0^2 \equiv RT/\mu_g, \quad (3)$$

де  $R$  — універсальна газова стала,  $\mu_g$  — молярна маса газу,  $z$  — коефіцієнт надстисливості газу.

Відомі формули, які визначають  $z$  як функцію параметрів стану  $P$  та  $T$ :  $z = z(P, T)$  [4-6], де  $z(\dots)$  — функція, яку визначають емпірично. Без зниження загальності можна розглядати коефіцієнт надстисливості як функцію параметрів стану  $\rho$  та  $T$ :  $z = z(\rho, T)$ . Тоді рівняння стану (3) виражає тиск природного газу  $P$  через його густину  $\rho$  та температуру  $T$ :

$$P = \mu_g R z(\rho, T) \rho T. \quad (4)$$

Розв'язуючи рівняння (4), стосовно густини  $\rho$  можемо записати рівняння стану у вигляді залежності  $\rho = \rho(P, T)$ .

За високих швидкостей сила  $f_R$  виражається формулою [2]

$$f_R = \frac{\lambda |V|}{2D} \rho V. \quad (5)$$

Тут  $\lambda$  — коефіцієнт гідравлічного опору, який визначається шорсткістю внутрішньої поверхні труби та її внутрішнім діаметром  $D$ .

З урахуванням (4), (5), математична модель (1), (2) зводиться до нелінійної системи диференціальних рівнянь у частинних похідних стосовно двох скалярних функцій  $\rho(x, t)$  та  $J(x, t) \equiv \rho V$ :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial J}{\partial x} = 0, \quad (6)$$

$$\frac{\partial J}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial \rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{J^2}{\rho} \right) + \frac{\lambda}{2D} \frac{|J|J}{\rho} + g \frac{dH}{dx} \rho = 0. \quad (7)$$

На підставі формули (4) маємо

$$\frac{\partial P}{\partial \rho} = c_0^2 Z(\rho, T), \quad Z(\rho, T) \equiv z(\rho, T) + \rho \frac{\partial z(\rho, T)}{\partial \rho}. \quad (8)$$

За відомими  $\rho$  та  $J$  неважко підрахувати тиск  $P$ , швидкість  $V$  та об'ємні витрати  $Q$  [ $m^3/s$ ]:

$$P = c_0^2 z(\rho, T) \rho, \quad V = J/\rho, \quad Q = S J/\rho_n, \quad (9)$$

де  $S = \pi D^2/4$ ,  $\rho_n$  — густина газу за нормальних умов.

Перейдемо до безрозмірних змінних

$$\xi = 2x/L - 1, \quad \tau = t/t_0, \quad \tilde{\rho} = \rho/\rho_0, \quad \tilde{j} = J/J_0, \quad \tilde{p} = P/P_0, \quad \tilde{v} = V/V_0, \quad (10)$$

де  $t_0 \equiv L/c_0$ ,  $\rho_0$  — густина, що відповідає характерному тискові  $P_0 = c_0^2 z(\rho_0) \rho_0$ ,  $V_0 = J_0/\rho_0$  — характерна швидкість.

У результаті система (6), (7) набуває вигляду

$$\frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \tau} + Ma \frac{j}{\partial \xi} = 0, \quad (11)$$

$$\frac{\partial j}{\partial t} + \frac{1}{Ma} Z(\tilde{\rho}, \frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial \xi}) - Ma \frac{(j^2)}{\partial \xi} \tilde{\rho} - Ma \beta \frac{(j^2)}{\tilde{\rho}} \frac{d\gamma}{d\xi} \tilde{\rho} = 0. \quad (12)$$

Тут  $Ma = J_0/(\rho_0 c_0) = V_0/c_0$ ,  $\beta = \lambda L/(2D)$ ,  $\gamma = H/Y_0$ ,  $H_0 = c_0 V_0/g$ .

Таким чином визначальними параметрами нестационарного процесу є функції  $\tilde{\rho}(\xi, \tau)$  та  $j(\xi, \tau)$ ,  $\xi \in [-1, 1]$ ,  $\tau \in \Theta \subset \mathbf{R}^+$ .

**Моделі керування стаціонарними потоками.** У подальшому обмежимося розглядом стаціонарних режимів транспортування газу. У цьому випадку  $\partial \tilde{\rho} / \partial \tau = j \partial \tau = 0$ . Із рівняння (11) випливає, що  $j_i(\xi) = const$ , а рівняння (12) набуває вигляду

$$\frac{d\tilde{\rho}}{d\xi} = - \frac{Ma^2 \beta j^2 \tilde{\rho} - Ma \frac{d\gamma}{d\xi} \tilde{\rho}}{Z(\tilde{\rho}, T, \tilde{\rho}) - Ma j^2}. \quad (13)$$

Отже, за заданих густини потоку  $j$  та функції профілю висот  $\gamma_i(\xi)$  стаціонарний процес визначає в функція безрозмірної густини газу  $\tilde{\rho}(\xi)$ ,  $\xi \in [-1, 1]$ , яка визначає розподіл тиску газу у трубопроводі.

Нехай  $P_{in}$  та  $P_{out}$  — тиски, які діють на вході і виході трубопроводу. Густини  $\rho_{in}$  та  $\rho_{out}$ , які їм відповідають знаходимо із співвідношення (9)<sub>1</sub>, в якому надстисливість  $z$  розглядаємо як функцію змінних  $P$  та  $T$ :

$$\rho_{in} = P_{in} / (c_0^2 z(P_{in}, T)), \quad \rho_{out} = P_{out} / (c_0^2 z(P_{out}, T)). \quad (14)$$

Тискам  $P_{in}$  та  $P_{out}$  і густинам  $\rho_{in}$  та  $\rho_{out}$  відповідають безрозмірні параметри:  $p_{in} = P_{in}/P_0$  та  $p_{out} = P_{out}/P_0$  і  $\tilde{\rho}_{in} = \rho_{in}/\rho_0$  та  $\tilde{\rho}_{out} = \rho_{out}/\rho_0$ .

Звідси впливають крайові умови для функції  $\tilde{\rho}(\xi)$ :

$$\tilde{\rho}_{\xi=-1} = \tilde{\rho}_{in}, \quad \tilde{\rho}_{\xi=1} = \tilde{\rho}_{out}, \quad (15)$$

де  $\tilde{\rho}_{in} = P_{in} / (c_0^2 \rho_0 z(P_{in}, T))$ ,  $\tilde{\rho}_{out} = P_{out} / (c_0^2 \rho_0 z(P_{out}, T))$ .

Розглядаючи рівняння (13) разом із однією з умов (15), отримаємо коректне формулювання задачі Коші, яку можна проінтегрувати чисельно, використовуючи, наприклад, метод Рунге-Кутти [7].

На рис. 1, а показаний розподіл  $\tilde{\rho}$  за заданого безрозмірного потоку  $j = 0.8$  та трьох різних значень тиску на вході, яким відповідають значення безрозмірної густини  $\tilde{\rho}_{in} = 0.85, 1.0$  (криві 1, 2, 3 відповідно). На рис. 1, б) показаний розподіл густини  $\tilde{\rho}$  за фіксованого нульового тиску на виході та трьох різних значень потоку  $j = 0.8, 1.0, 1.2$  (криві 1, 2, 3 відповідно). Залежності, рис. 1, а, отримані шляхом

інтегрування методом Рунге-Кутти четвертого порядку [8] задачі (13), (15)<sub>1</sub>. Залежності, показані на рис. 1, б, отримані шляхом інтегрування (із застосування того ж методу) задачі (13), (14)<sub>2</sub> для однорідної крайової умови (15)<sub>2</sub>.

Розрахунок проведено для горизонтального трубопроводу ( $\partial\gamma/\partial\xi \equiv 0$ ) і значення безрозмірного потоку  $j = 0.8$ . Розглядали газову суміш у складі: метан – 98,6 %, етан – 0,15 %, двоокис вуглецю – 0,31 %, азот – 1,24 %. Приймали наступні значення параметрів задачі:  $L = 100$  км,  $D = 1,338$  м,  $P_0 = 6,65$  МПа,  $T = 300$  К,  $J_0 = 468$  кг/м<sup>2</sup>с,  $\lambda = 9,22 \cdot 10^{-3}$ .

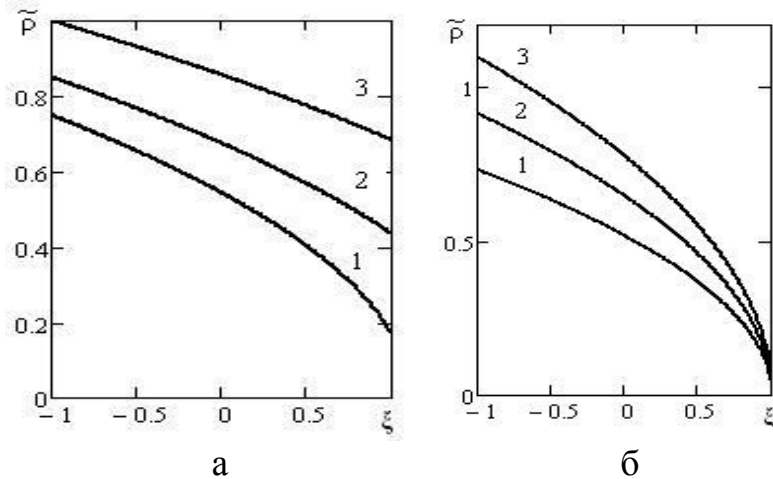


Рис. 1 – Розподіл густини газу в трубопроводі: а – за різних значень тиску на вході та фіксованої густини потоку, б – за різних значень густини потоку та нульового значення тиску на вході

Із проведених досліджень випливає, що кожному заданому значенню густини потоку  $J$  відповідає деяке мінімальне значення вхідного тиску  $P_{in}^{min} = P_{in}^{min}(J)$ :

$P_{in}^{min} = c_0^2 \rho_0 \tilde{\rho}_{,\xi=-1} z'(\rho_{,\xi=-1}, T)$ , де  $\tilde{\rho}, \xi$  – розв'язок задачі (13), (15)<sub>2</sub> для значень  $j = J/J_0, \tilde{\rho}_{out}$ .

Максимальне значення вхідного тиску для будь-якого значення потоку  $J$  визначається тиском  $P^*$ , допустимим для даного трубопроводу за критерієм його міцності:  $P_{in}^{max} = P^*$ . Максимально допустимий тиск на виході трубопроводу  $P_{out}^{max} = P_{out}^{max}(J)$  залежить від  $P^*$  і величини потоку  $J$ . Його знайдемо із розв'язку  $\tilde{\rho}, \xi$ , задачі (13), (15)<sub>1</sub> для значень  $j = J/J_0, \tilde{\rho}_{in}, \tilde{\rho}_{in} P_{in}''(c_0^2 \rho_0 z(P^*, T))$ :  $P_{out}^{max} = c_0^2 \rho_0 \tilde{\rho}_{,\xi=1} z'(\rho_{,\xi=1}, T)$ .

Максимально допустиме значення  $J^*$  потоку  $J$  знайдемо із умови  $P_{in}^{min} = P^*$ . Для цього необхідно розв'язати стосовно  $j$  нелінійне неявно задане рівняння  $\tilde{\rho}_{,\xi=-1} = \tilde{\rho}$ , де  $\tilde{\rho} = P_{in}''(c_0^2 \rho_0 z(P^*, T))$ ,  $\tilde{\rho}, \xi$  – розв'язок задачі (13), (15)<sub>2</sub> для значень  $j = J/J_0, \tilde{\rho}_{out}$ .

Це рівняння можна розв'язувати варіаційно методом мінімізації нев'язки [9], тоді розв'язок матиме вигляд  $J^* = J_0 j^*$ , де

$$j^* = \arg \min_j \left( \tilde{\rho}_{,\xi=-1}, \tilde{\rho}, \xi, \begin{pmatrix} d\tilde{\rho} & Ma^2 \beta j^2 \tilde{\rho} & Ma \frac{d\gamma}{d\xi} \tilde{\rho} \\ d\xi & Z(\tilde{\rho}, T, \tilde{\rho}) & Ma j^* \tilde{\rho}_{,\xi=1} \end{pmatrix} \right)$$

Таким чином, виходячи із математичної моделі (13), (15), встановлені області зміни параметрів  $P_{in}, P_{out}$  та  $J$  і відповідних їм безрозмірних змінних  $\tilde{\rho}_{in}, \tilde{\rho}_{out}$  та  $j$ :

$\tilde{\rho}_{in} \in D_{in}^{\rho} = [\tilde{\rho}_{in}^{\min}, \tilde{\rho}_{in}^{\max}]$ ,  $\tilde{\rho}_{out} \in D_{out}^{\rho} = [\tilde{\rho}_{out}^{\min}, \tilde{\rho}_{out}^{\max}]$ ,  $j \in D^j \equiv [j^{\min}, j^*]$ , де  $j^{\min}$  визначається із умов експлуатації компресорної станції.

Відповідно до моделі (13), (15) розглядатимемо дві моделі керування потоками газу в довгому трубопроводі за заданого. У першій моделі рівняння (12) розглядається з умовою (15)<sub>1</sub>. Змінною керування тут є  $\tilde{\rho}_{in}$ . У другій моделі рівняння (13) розглядається з умовою (15)<sub>2</sub>, а змінною керування є  $\tilde{\rho}_{out}$ .

За стаціонарного режиму потужність компресорних станцій необоротно витрачається на подолання сил тертя газу, які враховує доданок  $f_R$  у рівнянні (2). Потужність  $W_{f_R}$  сил тертя визначає інтеграл  $W_{f_R} = \pi D^2/4 \int_0^L f_R(x) V(x) dx$ , який у безрозмірних параметрах має вигляд

$$W_{f_R} = W_0 j^3 \int_{-1}^1 \frac{d\xi}{\tilde{\rho}_{in} \tilde{\rho}_{out} \xi}, \quad W_0 \equiv \beta \frac{\pi D J_0^3}{8 \rho_0^2}. \quad (16)$$

Для обчислення потужності, яку споживає компресорна станція, необхідно врахувати її коефіцієнт корисної дії  $\eta$ . За стаціонарного режиму роботи компресора його коефіцієнт корисної дії залежить від перепаду тиску  $\Delta P = P_{out}^c - P_{in}^c$ , який він створює, та потоку  $J$ , що перетікає через нього. Тут  $P_{in}^c$  та  $P_{out}^c$  — тиски на вході та виході компресора. Оскільки  $P_{out}^c = P_{in}^c$ , то за заданого тиску  $P_{in}^c$  на вході, перепад тиску  $\Delta P$  визначає вхідний тиск у трубопроводі  $P_{in}$ . Тому розглядатимемо  $\eta$  як функцію вхідного тиску у трубопроводі  $P_{in}$  і потоку  $J$ , або відповідних їм безрозмірних параметрів  $\tilde{\rho}_{in}$  та  $j$ :  $\eta = \eta(\tilde{\rho}_{in}, j)$ .

Сформулюємо першу задачу оптимізації режиму транспортування газу: задано потік  $J$  та тиск  $P_c$  на вході у компресорну станцію: знайти значення тиску  $P_{in}$ , створюваного компресорною станцією на вході у магістраль, за якого споживана нею потужність  $W = W_{f_R} / \eta$  є мінімальна.

Розв'язування цієї задачі зводиться до мінімізації функціоналу

$$W_1(\tilde{\rho}_{in}, W_{f_R}, \tilde{\rho}_{out}, \eta, \tilde{\rho}_{in}, j), \quad (17)$$

на множині  $S_1(\tilde{\rho}_{in}, \tilde{\rho}_{out}, \tilde{\rho}_{in}, \tilde{\rho}_{out}, \xi, \xi) \in [-1, 1]$  задачі Коші (13), (15)<sub>1</sub> для усіх значень  $\tilde{\rho}_{in} \in D_{in}^{\rho}$ .

Результат розв'язування цієї задачі залежить від функції  $\eta(\tilde{\rho}_{in}, j)$ . Встановлення її аналітичної структури вимагає спеціальних досліджень та зіставлення їхніх результатів із робочими характеристиками конкретних нагнітачів і приводів. Тому застосовували модельну залежність  $\eta(\tilde{\rho}_{in}, j)$ , яку побудували, виходячи із припущення, що функція  $\eta(\tilde{\rho}_{in}, j)$  має глобальний максимум за обома змінними.

На рис. 2, а показана залежність  $\eta(\tilde{\rho}_{in}, j)$  для  $j = 0.8$ , яку використовували у функціоналі (17). Для цієї залежності розв'язком задачі (17) є значення  $p_{in} = 2.219$ .

На рис. 2, б показані залежності потужності сил тертя  $W_{f_R}/W_0$  (крива 1) та потужності  $W/W_0$ , яку споживає компресорна станція (крива 2), від тиску  $p_{in} = P_{in}/P_0$ , який вона створює на вході у за  $j = 0.8$ .

Як видно із рис. 2, б, потужність сил тертя  $W_{f_R}$  монотонно спадає зі зростанням тиску  $P_{in}$  на вході у магістраль. Натомість залежність  $W$  від  $P_{in}$  досягає мінімуму  $W_{min} = 3.81 \cdot W_0$  за значення вхідного тиску  $P_{in} = 2.219 \cdot P_0$ , яке є оптимальним за критерієм споживаної потужності.

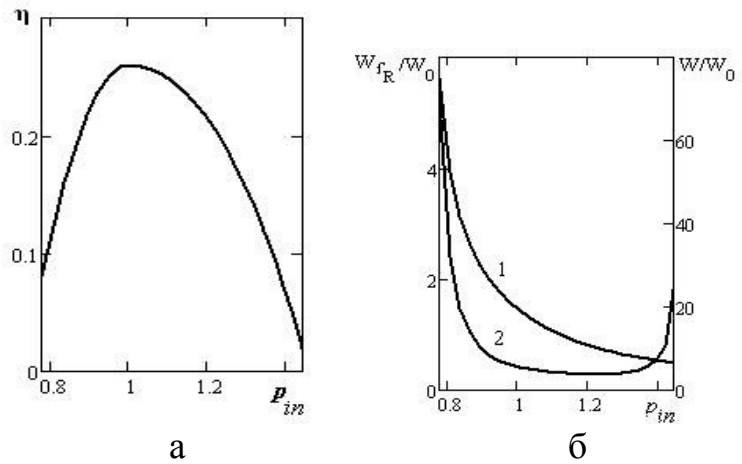


Рис. 2 – Залежності ККД компресорної станції, потужності сил тертя газу в трубопроводі та потужності, яку споживає компресорна станція від безрозмірного тиску на вході у трубопровід: а – залежності ККД компресорної станції, б (крива 1) – потужності сил тертя газу в трубопроводі, б (крива 2) – потужності, яку споживає компресорна станція

Сформулюємо тепер другу задачу оптимального керування режимами транспортування газу: задано потік  $J$  та тиск  $P_c$  на вході у компресорну станцію, знайти значення тиску  $P_{out}$ , на виході магістралі, за якого

споживана компресорною станцією потужність  $W = W_{f_R} / \eta$  є мінімальна. Ця задача зводиться до мінімізації функціоналу

$$W_2(\tilde{\rho}, W_{f_R}, \tilde{\rho}, \eta, \tilde{\rho}_{\xi=-1}), \quad \eta \quad (18)$$

за заданого  $j \in D^j$  на множині  $S_2(\tilde{\rho}, \text{розв'язків } \tilde{\rho}, \tilde{\rho}, \xi, \xi \in [-1,1])$  задачі Коші (13), (15)<sub>2</sub> для усіх  $\tilde{\rho}, \dots$

**Алгоритм розв'язування задач.** Сформульовані задачі оптимального керування зводяться до безумовної мінімізації функціоналів  $W_1$  та  $W_2$ , заданих на множинах функцій  $S_1(\tilde{\rho}, \dots)$  та  $S_2(\tilde{\rho}, \dots)$ . Крайові задачі (13), (15)<sub>1</sub> та (13), (15)<sub>2</sub> встановлюють взаємно-однозначні відповідності між елементами цих множин та значеннями параметрів  $\tilde{\rho}_{in} \in D_{in}^{\rho}$  та  $\tilde{\rho}_{out} \in D_{out}^{\rho}$  відповідно. Тож функціонали  $W_1$  та  $W_2$  можна розглядати як функції змінних  $\tilde{\rho}_{in}$  та  $\tilde{\rho}_{out}$ , визначені на інтервалах  $D_{in}^{\rho}$  та  $D_{out}^{\rho}$  відповідно. Таким чином приходимо до задач безумовної мінімізації функцій  $W_1(\tilde{\rho}_{in}, \dots)$  та  $W_2(\tilde{\rho}_{out}, \dots)$ . Для розв'язування цих задач можна застосувати методи, які базуються на методі Ньютона [10]. Ці методи передбачають обчислення самої функції і її похідної. Проте встановити аналітичну структуру функцій  $W_1(\tilde{\rho}_{in}, \dots)$  та  $W_2(\tilde{\rho}_{out}, \dots)$  неможливо. Тому застосуємо алгоритмічний підхід.

Щоб обчислити функцію  $W_1(\tilde{\rho}_{in}, \dots)$  в деякій точці  $\tilde{\rho}_{in} \in D_{in}^{\rho}$ , чисельно розв'язуємо крайову задачу (13), (15)<sub>1</sub>. Відтак обчислюємо значення функціоналу (17) на знайденому чисельному розв'язку задачі (13), (15)<sub>1</sub>.

Щоб обчислити значення похідної  $\partial W_1 / \partial \tilde{\rho}_{in}$  для заданого  $\tilde{\rho}_{in} \in D_{in}^{\rho}$ , вибираємо достатньо мале порівняно із довжиною відрізка  $D_{in}^{\rho}$  значення  $\Delta$  і обчислюємо значення функції  $W_1$  в точках  $\tilde{\rho}_{in}$  та  $\tilde{\rho}_{in} + \Delta$ . Відтак обчислюємо наближене значен-

ня похідної за формулою  $\partial W_1 / \partial \tilde{\rho}_{in}$ ,  $W_1(\tilde{\rho}_{in})$ ,  $W_1(\tilde{\rho}_{in})$ . Значення похідної на лівому та правому кінцях відрізка  $D_{in}^{\rho}$  обчислюємо, використовуючи відповідно праву та ліву скінченні різниці функції  $W_1$ .

Аналогічно, розв'язуючи крайову задачу (13), (15)<sub>2</sub>, обчислюємо значення функції  $W_2(\tilde{\rho}_{out})$ , і похідної  $\partial W_2 / \partial \tilde{\rho}_{out}$  у точках інтервалу  $D_{out}^{\rho}$ .

**Висновки.** В рамках нелінійної моделі динаміки газу сформульовані дві задачі оптимального керування стаціонарними потоками транспортування газу магістральним трубопроводом. Їхні розв'язки визначають значення тиску на вході та виході трубопроводу, за яких потужність, яку споживає компресорна станція, є мінімальна. Запропоновано алгоритм розв'язування цих задач з використанням методів Рунге-Кутти та Ньютона. Для цих методів створені ефективні алгоритми, які входять до математичних бібліотек середовищ програмування. Це забезпечує високу обчислювальну ефективність алгоритмів розв'язування сформульованих задач, що підтверджено результатами проведених числових експериментів. Розроблений математичний апарат можна використати для постановки та розв'язування задач оптимального керування стаціонарними режимами роботи багатоланкових магістральних газопроводів.

Для практичного застосування розробленого математичного апарату необхідні математичні моделі компресорної станції, які б дозволяли визначати коефіцієнт корисної дії як функцію густини потоку та перепаду тиску, який вона розвиває, та розробити методи ідентифікації параметрів цієї моделі на основі робочих характеристик нагнітачів та приводів.

**Список літератури:** 1. Овсянников, Л. В. Лекции по основам газовой динамики [Текст] / Л. В. Овсянников.– М.: Наука, 1981.– 368 с. 2. Чарный, И. А. Основы газовой динамики [Текст] / И. А. Чарный.– Москва: Гостехиздат, 1961.– 200 с. 3. Силаш, А. П. Добыча и транспорт нефти и газа. Часть 1. Пер. с англ. [Текст] / А. П. Силаш.– М.: Недра, 1980.– 375 с. 4. ДСТУ ISO 12213–2:2009. Природний газ. Обчислення фактора стисливості. Частина 2. Обчислення на основі мольного складу (ISO 12213–2:2006, IDT) [Текст]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009.– 32 с. 5. Natural gas. Calculation of compression factor. Part 2: Calculation using molar-composition analysis [Текст].– ISO- 12213-2:1997. ISO.– 28 p. 6. Сусак, О. М. Методологія розрахунку густини природного газу в магістральних газопроводах великої протяжності [Текст] / О. М. Сусак, Д. А. Волинський // Науковий вісник ІФНТУНГ. 2013. № 2(35).– С. 41-51. 7. Бахвалов, Н. С. Численные методы [Текст] / Н. С. Бахвалов, Н. П. Жидков, Г. М. Кобельков.– М.: Бинум, 2001.– 632 с. 8. Tan, D. On a general formula of fourth order Runge-Kutta method [Text] / Delin Tan, Zheng Chen // Journal of Mathematical Science & Mathematics Education.– 2012.– 7.– No 2.– P. 1–10. 9. Деннис, Дж. Численные методы безусловной оптимизации и решения нелинейных уравнений [Текст] / Дж. Деннис, Р. Шнабель.– М.: Мир, 1988.– 440 с. 10. Васильев, Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач [Текст] / Ф. П. Васильев.– М.: Наука, 1988.– 552 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Ovsyannikov L. V. (1981). Lectures on the gas dynamics foundation. Moscow: Nauka, 368. 2. Charny, I. A. (1961). Gas dynamic foundation. Moscow: Gostekhizdat, 200. 3. Szilas, A. P. (1980). Production and transport of oil and gas. Moscow: Nedra, 375. 4. DTSU ISO 12213–2:2009. (2009). Natural gas. Calculation of supercompressibility factor. Part 2. Calculation on the base of molar percentage. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 32. 5. ISO- 12213-2:1997 (1997). Natural gas. Calculation of compression factor. Part 2: Calculation using molar-composition analysis, 28/6. 6. Susak, O. M., Volyskiy, D. A. (2013). A methodology for calculation of natural gas density in long gas-main pipelines. // Naukovyy visnyk IFNTUO&G, No 2(35), 41-51. 7. Bakhvalov, N. S., Zhidkov, N. P., Kobelkov, G. M. (2001). Numerical methods. Moscow: Binom, 632. 8. Tan, Delin, Chen, Zheng

(2012). On a general formula of fourth order Runge-Kutta method// Journal of Mathematical Science & Mathematics Education, V. 7, No 2, 1–10.9. Dennis, J. R., Schnabel, R. B. (1988). Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations. Moscow: Mir, 440.10. Vasil'yev F. P. (1988). Numerical methods for extremal problems Moscow: Nauka, 552.

Надійшла (received) 27.04.2015

УДК 517.534

**А. А. ЧИСТЯКОВА**, аспирант, ХНУРЭ, Харьков;

**Н. В. ВАСИЛЬЦОВА**, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ, Харьков

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАТРАТ ВРЕМЕНИ НА ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧЕЙ СИЛОЙ**

Проведены исследования проблемы прогнозирования затрат времени на выполнение работ в системах управления рабочей силой. Предложен метод прогнозирования с использованием сингулярного разложения и представления временного ряда в нескольких фазовых пространствах, который позволяет оценить затраты времени на выполнение работ в будущем, их количество и число исполнителей данных работ.

**Ключевые слова:** прогнозирование, системы управления рабочей силой, временной ряд, сингулярное разложение.

**Введение.** На сегодняшний день существует множество сфер бизнеса, которые поставляют конечному пользователю не только готовый продукт или сервис, но и берут на себя обязательства гарантийного, постгарантийного обслуживания. К данной категории организаций могут быть отнесены компании, выполняющие работы, связанные с ремонтом и обслуживанием различного оборудования, вычислительной и бытовой техники. Специфика работ, проводимых такими компаниями, связана с тем, что процессы первичного осмотра, конфигурирования, ремонта оборудования чаще всего проводятся на объектах клиентов, которые могут располагаться в различных территориальных зонах. Это накладывает жесткие ограничения на время и качество выполнения операций обслуживания клиентов персоналом компании, требует точного планирования затрат времени на выполнение работ, и, следовательно, минимизации возможных непроизводительных затрат на обслуживание клиентов.

Обычно процессы «обслуживания на местах», которые в дальнейшем будем называть «работы», характеризуются своими параметрами, то есть требуют определенного оборудования, количества исполнителей, заданной квалификации персонала, набора навыков исполнителя. В свою очередь персонал компании (для данных сотрудников применяют термин «техник») характеризуется следующими особенностями: набором навыков, которыми обладает данный техник; географической зоной, ограничивающей перемещение техника; стоимостью часа работы техника, его квалификацией и т.д.

Эффективное выполнение сервисных работ с одновременным снижением суммарных затрат на их выполнение является достаточно сложной задачей. В случае, если клиенты не получают качественного обслуживания, то снижается не только степень их удовлетворенности, но и доходы компании в целом.

В настоящее время в условиях высокой конкуренции все большую популярность приобретают комплексные автоматизированные решения для планового сервиса и обслуживания на местах (Field Service Management), которые позволяют автоматизировать составление графиков планового обслуживания и выполнение заказов клиентов. Данные решения необходимы для комплексной оценки каждого отдельного заказа и связи процессов обслуживания с необходимыми ресурсами, включая технических специалистов, оборудование, запчасти и местоположение складских помещений. Если выполнение заказа запланировано в соответствии с соглашением об уровне сервиса и определенном временном интервале, работа назначена соответствующему технику-исполнителю и доступно необходимое оборудование и запчасти для работы, то повышается как процент устранения неисправностей, так и производительность технических специалистов. С другой стороны, если заказы клиентов выполняются экономично и в срок, то повышается не только ценность услуг для клиентов, но и финансовые показатели всех операций по предоставлению данных услуг, а, следовательно, и доход компании. Прибыль компаний также зависит от количества выполненных заказов, которое должно быть максимизировано. Непроизводительные издержки, которые оказывают влияние на оплату труда техников, должны быть по возможности минимизированы.

Данная проблема является достаточно актуальной в настоящее время, когда количество заказов и нормы затрат времени на их выполнение меняются достаточно динамично. Это требует гибкого управления трудовыми ресурсами, использования новых методов анализа и прогнозирования необходимых и достаточных ресурсов предприятий.

**Цель работы.** Целью работы является прогноз величины затрат времени на выполнение определенного типа работ при отсутствии дополнительной информации о количестве заказов в системах управления рабочей силой.

**Методика экспериментов. Постановка задачи.** В данной работе основное внимание уделяется проблемам прогнозирования затрат времени на выполнение сервисных работ, что позволяет регулировать численность сотрудников (техников), выполняющих работы, а также набор таких навыков техников, которые потребуются для выполнения заказов. Данная задача становится все более актуальной в настоящее время для компаний, выполняющих обслуживание заказов на местах, так как затраты при наличии простоев техников, вызванных отсутствием условий организационного и технического характера по вине компании, или ситуаций, когда не выполнены все заказы, достаточно велики.

На сегодняшний день решение задачи прогнозирования затрат времени на выполнение сервисных работ существующими классическими методами не даёт точных и адекватных результатов, что не позволяет использовать их в современных системах управления трудовыми ресурсами и рабочим временем (Workforce Management (WFM) системах) [1, 2].

Ставится задача оценки величины затрат времени  $T_p$  на выполнение определенного типа работ в будущем через время  $p$  (где  $p$  – период прогнозирования). На основании  $T_p$  предлагается определить количество данных работ  $K_j$ , а, следовательно, число техников с соответствующими навыками  $K_w$ , которые необходимы для выполнения этих работ  $K_j$ .

Расчет количества работ  $K_j$ , заказы на которые поступят в прогнозируемый



период  $p$ , предлагается провести на основании прогнозируемых данных о затратах времени на выполнение работ  $T_p$  и среднего статистического значения времени выполнения одной работы заданного вида  $T_{av}$

$$K_j = T_p / T_{av}, \quad (1)$$

где  $K_j$  – количество работ, заказы на которые поступят в прогнозируемый период  $p$ ;  $T_p$  – прогноз затрат времени на выполнение работ заданного вида (измеряется в минутах);  $T_{av}$  – среднее время выполнения определенного вида работ (измеряется в минутах).

Количество техников  $K_w$ , необходимых для выполнения работ  $K_j$ , предлагается рассчитывать как

$$K_w = K_j / K_{j/d}, \quad (2)$$

где  $K_{j/d}$  – количество работ, которые могут быть выполнены одним исполнителем в день.

Величина  $K_{j/d}$  рассчитывается на основании средних данных затрат времени на выполнение работ с учетом времени в пути и возможности назначения работы технику в соответствии с его рабочим графиком

$$K_{j/d} = T_w / (T_{av} + T_{tr}), \quad (3)$$

где  $T_w$  – норма продолжительности рабочего времени техника в день (измеряется в минутах);  $T_{av}$  – среднее время выполнения определенного вида работ (измеряется в минутах);  $T_{tr}$  – среднее время поездки в рамках географической локации (измеряется в минутах).

Оценка величины  $T_p$  позволяет принимать решения о найме новых техников и/или переквалификации имеющихся работников.

Решение данной задачи обеспечивает соответствие количества техников и их квалификации тем заказам, которые поступят в прогнозируемый период, что дает возможность эффективно решить задачу назначения работ техникам-исполнителям и своевременного их выполнения.

**Назначение Workforce Management систем.** На сегодняшний день выделяется отдельный класс автоматизированных систем, которые получили название «Системы управления рабочей силой» (в английском варианте Workforce Management (WFM)-системы), реализующие методологию планирования рабочего времени сотрудников компании, которая является составляющей концепции управления персоналом (HRM) [3].

В контексте информационных технологий WFM-системы является решением для автоматизации процесса управления рабочим временем персонала. Базовый функционал WFM системы, используемой в рамках рассматриваемого класса компаний, включает следующие задачи:

- автоматический подбор исполнителей для выполнения работ на основе набора навыков техников;
- формирование оптимальных графиков работ (с учетом сроков, приоритетов, связей между типами работ и расстоянием между географическими адресами их выполнения), оптимизация задач в режиме онлайн, в случае необходимости назначения приоритетных задач или перераспределения расписаний в связи с больничным/отгулом сотрудников;
- наглядное управление техниками и графиками их работ (диаграммы Ганта);
- отслеживание сроков исполнения заказов;

- построение планируемых маршрутов между географическими адресами выполнения заказов на карте;
- отчетность по задачам и оценка производительности персонала;
- учет инструментов, необходимых для выполнения заказов, и их бронирование для выполнения работ;
- унификация процесса обработки заказов;
- централизация данных о структуре и характеристиках персонала.

При условии, если количество техников компании меньше 50, а география обслуживания ограничивается одним городом, назначение работ можно производить в ручном режиме.

Однако и в этом случае есть риск получения неоптимального результата:

- один техник-исполнитель выполняет большое количество работ, в том числе и в сверхурочное время, а другой – малое количество работ;
- в маршруте присутствуют поездки, длительные по времени;
- не учтены все пожелания клиентов и т.д.

С ростом размера компании данные риски возрастают, что приводит к неэффективному использованию трудовых ресурсов.

Задача WFM-системы сводится к наиболее эффективному использованию трудовых ресурсов компании при условии выполнения всех заказов и с учетом всех ограничений, накладываемых соответствием параметров заказов и исполнителей. Так, основной задачей WFM-систем является назначение работ исполнителям с учетом всех параметров и характеристик, как работ, так и техников-исполнителей. Анализ показал, что данная задача является достаточно сложной. Однако существуют подходы и методы ее решения, среди которых сети Петри, теория ограничений, эвристические методы, Q-маршрутизация с использованием обучения с подкреплением и др. [4, 5].

Анализ данных подходов показал, что одним из рациональных решений задачи поиска оптимального варианта назначения работ является метод с использованием генетического алгоритма [6, 7, 8].

В ходе анализа было установлено, что информация о техниках и работах в WFM-системе формально может быть представлена в виде сущностей с множествами характеристик, которые используются для решения задачи назначения работ исполнителям при условии соблюдения всех требований к выполнению заказов. Работы, которыми становятся заказы, зарегистрированные в системе, также имеют свои характеристики, которые представим в виде множества

$$J = \{jz, Sj, d, sw, EG, p\} \quad (4)$$

где  $J$  – множество характеристик работы;  $jz$  – географический адрес работы;  $Sj$  – множество навыков исполнителей, которые потребуются для выполнения работы;  $d$  – дата начала работы;  $sw$  – запланированный период времени выполнения работы техником-исполнителем (например, 10.00-13.00);  $EG$  – множество оборудования, запчастей необходимых для выполнения работы;  $p$  – стоимость работы.

Техник-исполнитель в WFM-системе представлен множеством следующих характеристик

$$W = \{q, SW, WZ, wt, pph\} \quad (5)$$

где  $W$  – множество характеристик техника;  $q$  – уровень квалификации (например,

слесарь-электрик 2-го разряда);  $SW$  – множество навыков техника;  $WZ$  – географическая локация, а именно, множество адресов данной локации (например, Дзержинский район г. Харькова);  $wt$  – график работы техника (например, пн.-пт. с 8.00 до 17.00);  $pph$  – стоимость часа работы техника.

Анализ данных множеств показал, что между их компонентами присутствуют следующие отношения:

$$jz \in WZ \quad (6)$$

$$Sj \subseteq SW \quad (7)$$

$$\{d, SW\} \subseteq wt. \quad (8)$$

Оптимальным решением задачи назначения работ является такое решения, в рамках которого время поездок и время выполнения работ минимизировано при условии выполнения максимального количества заказов. При решении задачи используются статистические данные выполненных работ, поездок, а также дополнительная информация.

Диаграмма прецедентов, описывающая функциональное назначение WFM системы, представлена на рис. 1.

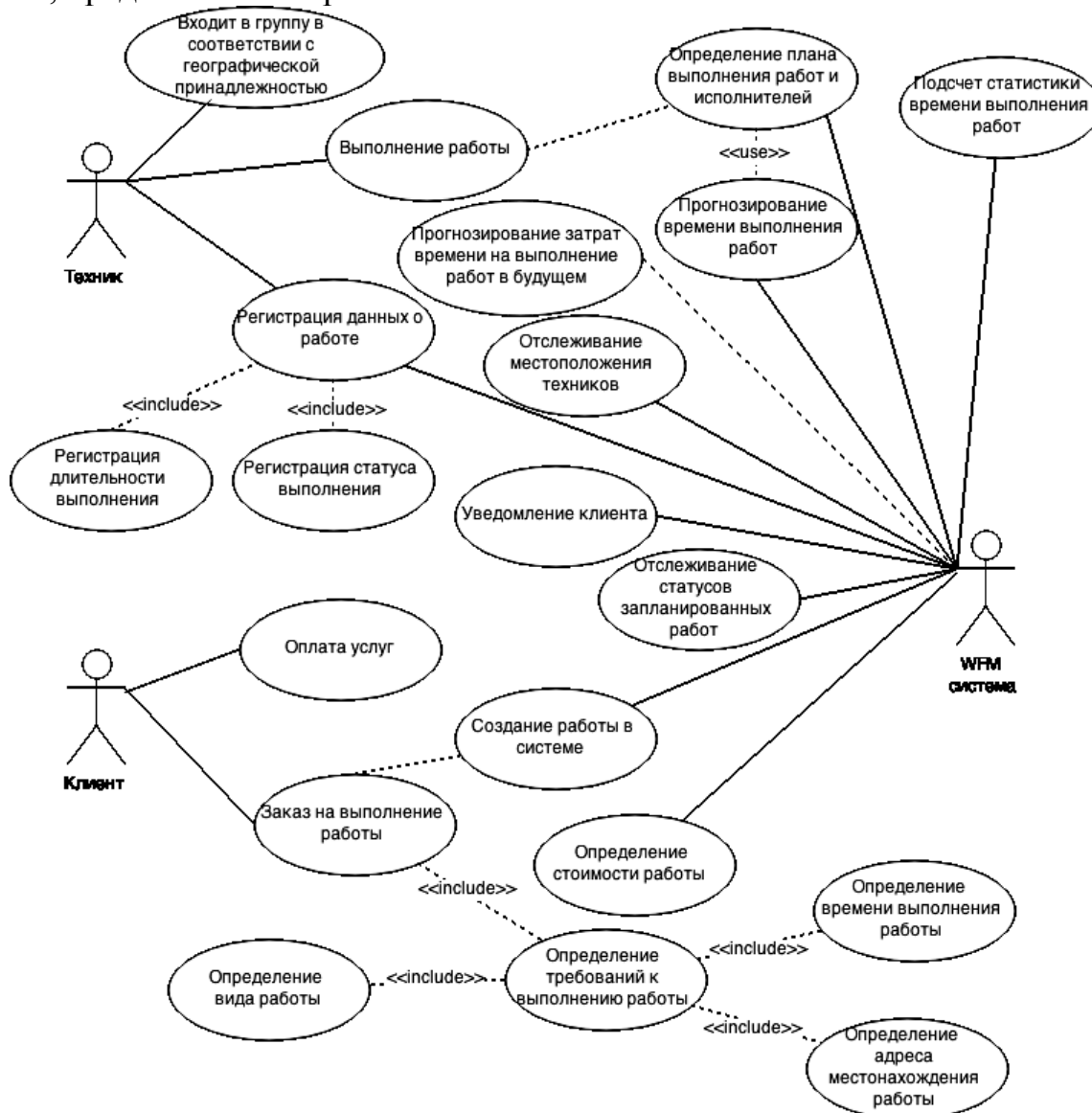


Рис. 1 – Диаграмма прецедентов WFM системы

Использование WFM систем дает возможность достичь следующих целей:

- сокращение излишней рабочей силы, что достигается путем точного планирования времени работы техников на основе статистического анализа и оценки ожидаемого времени работы;
- оптимизация количества сотрудников с необходимыми навыками (распределение нагрузки оптимизирует укомплектованность штата в течение дня и недели для соответствия потребностям компании, а также дает возможность подключать к работе соответствующих специалистов);
- эффективное использование трудовых ресурсов в виду полной занятости (распределение рабочей нагрузки обеспечивает усовершенствованную оценку времени работы и более точное планирование, что позволяет оптимально формировать численность сотрудников по дням и неделям);
- строгое соблюдение рабочего расписания сотрудниками (WFM-система позволяет отслеживать информацию о текущем местонахождении техника и статусы выполнения заказов, соблюдение им графика назначенных работ);
- снижение сверхурочных расходов (оценка времени выполнения работ и составление расписания для каждого техника позволяют контролировать объем сверхурочной работы в реальном времени).

Для решения задачи назначения работ (выполнения всех заказов) с целью максимизации прибыли компании и минимизации издержек, что достигается путем эффективного использования рабочего времени и трудовых ресурсов, используются статистические данные, которые хранятся в базе данных WFM-системы. На основании зарегистрированных данных рассчитывается средняя длительность выполнения работ как всеми техниками, так и каждым исполнителем отдельно. При этом среднее статистическое значение затрат времени для отдельного техника может отличаться от среднего значения по компании, что также следует учитывать при решении задачи назначения работ исполнителям. Так, например, с использованием генетических алгоритмов работы могут быть назначены тем техникам-исполнителям, которые выполняют их в кратчайший срок, за наименьшую плату с учетом стоимости часа работы и при условии географического соответствия адреса заказа и местонахождения исполнителя. Это всего лишь небольшое количество очевидных ограничений, которые необходимо учесть при решении данной задачи. Сложность решения данной задачи зависит от размера компании, количества техников и работ.

Автоматизированное решение данной задачи с использованием генетического алгоритма, которое на сегодняшний день внедрено в WFM-системы, позволяет учесть некоторые особенности работ и статистических характеристик их выполнения для достижения оптимального результата и построения графиков и маршрутов выполнения заказов [9, 10, 11, 12].

**Решение задачи прогнозирования затрат времени на выполнение работ.** В настоящее время задача прогнозирования затрат времени на выполнение работ, зарегистрированных в системе, решается с использованием временных рядов, для которых рассчитываются два показателя:

- $T_t$ , т.е. средний темп прироста временного ряда, отражающего зарегистрированное время на выполнение работ;

– ожидаемая естественная периодичность изменения показателя  $T_p$ , а именно недельные, месячные, годовые циклы, и соответствующие рассчитанные коэффициенты данной периодичности.

Модель прогнозирования, построенная с использованием данных показателей, дает возможность получить адекватный прогноз в случае, если реальные данные соответствуют заданной структуре временного ряда, а именно присутствует линейный тренд и заданные периодики. Однако, в виду множества динамических факторов, влияющих на временные затраты по определенным видам работ, в соответствии с неявными зависимостями, которые порождают неоднородность, данная модель не дает удовлетворительных результатов прогноза.

В работе для достижения качественного результата прогнозирования затрат времени на выполнение работ предлагается использовать метод прогнозирования неоднородных временных рядов с использованием сингулярного разложения и представления временного ряда в нескольких фазовых пространствах, который подробно описан в работах [13, 14, 15, 16, 17]. Применение данного метода позволяет повысить точность прогноза и сохранить динамику исходного временного ряда данных затрат времени на выполнение работ, построенного на основании зарегистрированной информации.

Проведенный анализ временных рядов данных, отражающих время выполнения работ, зарегистрированных в WFM-системе, показал, что данные ряды динамики характеризуются существенной неоднородностью. Следовательно, применение методов, которые требуют стационарности исходных данных, не дает адекватных результатов. На примере неоднородного временного ряда затрат времени на выполнение работы «Инсталляция» построен прогноз на 45 дней и проведена оценка доверительного интервала результата прогнозирования. Результаты прогнозирования представлены на рис. 2.

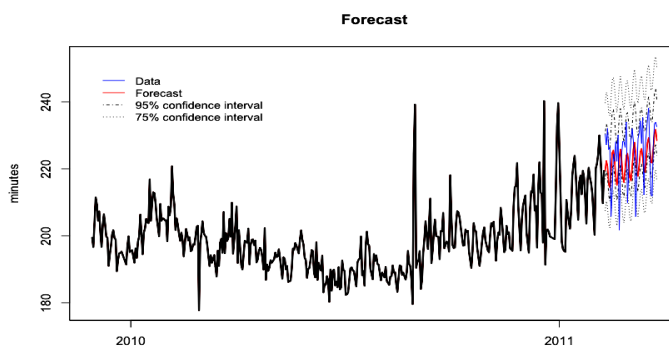


Рис. 2 – Временная зависимость данных затрат рабочего времени на работу «Инсталляция», представленных неоднородным рядом динамики с построенным 75 % и 95 % доверительным интервалом

Оценка отклонений результатов прогнозирования позволяет проводить расчет количества необходимых техников с учетом того, что реальное время выполнения работ может отличаться от среднего значения, зарегистрированного по компании. Это позволяет оценить риск привлечения (найма) новых техников.

Разработка модели прогнозирования неоднородных временных рядов с использованием сингулярного разложения и представления данных ряда динамики в нескольких фазовых пространствах позволяет оценить затраты времени на выполнение определенных видов работ в будущем. Использованный метод не накладывает ограничения на входные данные и не требует задания модели ряда, что позволяет использовать данный метод для прогнозирования различных видов работ, динамика которых изменяется во времени, а характер изменения неявный.

Построенная модель прогнозирования для временного ряда затрат времени на выполнение работы «Инсталляция» имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 T_{N+1} = & 0.1010378 \times \sum_{j=1}^{20} T_{400+j-20} \times lrr_{1j} + 0.09796281 \times \sum_{j=1}^{46} T_{400+j-46} \times \\
 & lrr_{2j} + 0.10081169 \times \sum_{j=1}^{52} T_{400+j-52} \times lrr_{3j} + 0.09818316 \times \sum_{j=1}^{58} T_{400+j-58} \times \\
 & lrr_{4j} + 0.10085042 \times \sum_{j=1}^{72} T_{400+j-72} \times lrr_{5j} + 0.09852513 \times \sum_{j=1}^{92} T_{400+j-92} \times \\
 & lrr_{6j} + 0.10033075 \times \sum_{j=1}^{110} T_{400+j-110} \times lrr_{7j} + 0.09997940 \times \\
 & \sum_{j=1}^{142} T_{400+j-142} \times lrr_{8j} + 0.10190318 \times \sum_{j=1}^{155} T_{400+j-155} \times lrr_{9j} + \\
 & 0.10041566 \times \sum_{j=1}^{167} T_{400+j-167} \times lrr_{10j}
 \end{aligned} \tag{9}$$

где  $T_{N+1}$  – прогноз затрат времени выполнения работ для  $N+1$  момента времени;  $N$  – номер зарегистрированных или прогнозируемых данных (день);  $lrr_{ij}$  – коэффициенты линейно-рекуррентной формулы в  $i$ -м фазовом пространстве;  $T_j$  – затраченное время на выполнение работ за  $j$ -й день.

Стоит отметить, что разработанная модель прогнозирования позволяет получить прогноз как тренда, так и периодических составляющих, а структура и параметры модели выбираются на основании статистических характеристик исходных данных.

**Обсуждение результатов.** Предложенный метод прогнозирования затрат времени на выполнение работ позволяет решить задачу оценки количества заказов и исполнителей в будущем, что существенно повышает эффективность планирования и назначения работ разного типа. В работе проведен сравнительный анализ результатов прогнозирования неоднородного временного ряда затрат времени на выполнение работ с использованием различных моделей. В качестве оценки эффективности среднесрочного прогноза неоднородного временного ряда затрат времени на выполнение работ предлагается использовать взвешенный критерий точности и сохранения динамики изменения данных

$$\begin{aligned}
 Q_i = 100 - & \left( k_1 \sqrt{\frac{100 \cdot A e_i}{E} * R e_i} + k_2 \sqrt{\frac{1}{2} * \left( \left( \frac{100 \cdot (A g - A g_i)}{A g} \right)^2 + (T g - T g_i)^2 \right)} \right) \\
 k_1 + k_2 = & 1;
 \end{aligned} \tag{10}$$

где  $k_1, k_2$  – коэффициенты оценки точности и сохранения динамики при прогнозировании;  $i$  – индекс модели прогнозирования;  $A e_i$  – средняя абсолютная ошибка результатов прогноза для  $i$ -й модели прогнозирования;  $E$  – среднее значение исследуемого ряда;  $R e_i$  – средняя относительная ошибка результатов прогноза для  $i$ -й модели прогнозирования;  $A g$  – средний абсолютный прирост показателей исследуемого ряда;  $A g_i$  – средний абсолютный прирост показателей ряда результатов прогнозирования для  $i$ -й модели;  $T g$  – средний цепной темп роста показателей исследуемого ряда;  $T g_i$  – средний цепной темп роста показателей ряда результатов прогнозирования для  $i$ -й модели.

На основании предложенного показателя качества результатов прогнозирования неоднородных временных рядов с использованием коэффициентов  $k_1 = 0.4$ ,  $k_2 = 0.6$  была построена столбиковая диаграмма сравнения результатов прогнозирования. Результаты получены для моделей ARIMA, Neural network, Phase space SSA.

Где, ARIMA – качество результатов прогноза с использованием модели авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего порядка (2, 1, 1).

Neural network – качество результатов прогноза с использованием модели прогнозирования с использованием нейронной сети.

Phase space SSA – качество результатов прогноза с использованием модели прогнозирования с использованием нескольких фазовых пространств.

В результате работы предложен и апробирован метод прогнозирования данных временных затрат на выполнение работ конкретного типа, представленных в виде временных рядов, который позволяет определить необходимое и достаточное количество трудовых ресурсов компании для выполнения прогнозируемого количества заказов. Расчет данных величин предлагается производить с использованием формул (1), (2), (3). Применение предложенного метода прогнозирования позволяет решать задачу прогнозирования затрат времени на выполнение работ разного типа для разных видов бизнеса в WFM-системах, так как он является адаптивным и не накладывает ограничений на структуру входных данных.

**Выводы.** В работе проведен анализ комплексного автоматизированного решения для реализации постгарантийного обслуживания и обслуживания по заказам на местах (Field Service Management), которое используется компаниями, предоставляющими сервисные услуги. Выделена проблема прогнозирования затрат времени на выполнение работ, качественное решение которой позволит регулировать численность исполнителей и набор навыков сотрудников, которые потребуются для выполнения всех заказов в будущем. Для решения поставленной задачи предложено представить данные, описывающие временные затраты на выполнение работ, в виде временных рядов и применить метод прогнозирования с использованием сингулярного разложения и представления данных ряда динамики в нескольких фазовых пространствах. В виду того, что данный метод не накладывает ограничений на структуру временных рядов, его можно использовать для прогнозирования различных видов работ и типов бизнеса в рамках автоматизированных систем управления рабочей силой (Workforce management). На примере данных затрат времени на выполнение работы «Инсталляция» построен прогноз затрат времени на 45 дней с использованием соответствующего ряда динамики и предложенного метода.

Сравнительный анализ результатов прогнозирования с использованием разных методов показал, что метод прогнозирования, основанный на сингулярном разложении и представлении данных ряда в нескольких фазовых пространствах, позволяет повысить качество прогноза на 8% с учетом критериев точности и сохранения динамики временного ряда.

**Список литературы:** 1. Box, G. E. P. Time Series Analysis: Forecasting and Control [Text] / G. E. P. Box, G.M. Jenkins, G.C. Reinsel. – 4rd ed. – US: John Wiley & Sons., 2008. – 784 p. 2. Брилли-

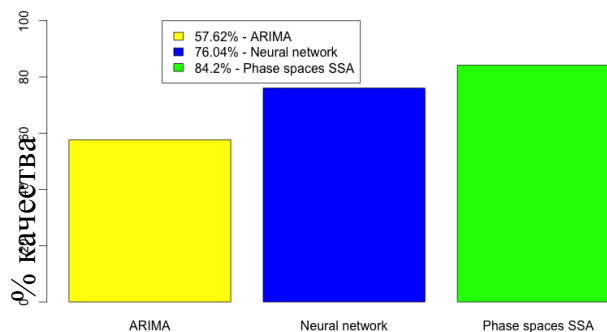


Рис. 3 – Столбиковая диаграмма оценки эффективности моделей прогнозирования неоднородного временного ряда

джер, Д. Временные ряды. Обработка данных и теория [Текст] / Д. Бриллинджер. – М.: Мир, 1980. – 536 с. **3.** Кольцова, Л. Н. Автоматизация персонифицированного учета персонала [Текст] / Л. Н. Кольцова // Кадровые решения. – 2010. – № 4(58). – С. 32–40. **4.** Mahadevan, B. Operation Management: Theory and Practice [Text] / B. Mahadevan. – New Delhi, India: Dorling Kindersley Pvt. Ltd, 2009. – 582 P. **5.** Whiteson, Sh. Adaptive Job Routing and Scheduling/ Shimon Whiteson, Peter Stone [Text] // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2005. – Vol. 17(7). – P. 3–30. **6.** Karakatič, S. A survey of genetic algorithms for solving multi depot vehicle routing problem [Text] / Sašo Karakatič, Vili Podgorelec // Applied Soft Computing. – 2015. – Vol. 27. – P. 519–532. **7.** Kratica, J. A Genetic Algorithm for the Routing and Carrier Selection Problem [Text] / Jozef Kratica, Tijana Kostic, Dus an Totic, Djordje Dugosija, Vladimir Filipovic // ComSIS. – 2012. – Vol. 9, No. 1. – P. 49-62. **8.** Chang Wook Ahn, A Genetic Algorithm for Shortest Path Routing Problem and the Sizing of Populations [Text] / Chang Wook Ahn // IEEE transactions on evolutionary computation. – 2002. – Vol. 6, N 6. – P. 566-579. **9.** Kiraly, A. Redesign of the supply of mobile mechanics based on a novel genetic optimization algorithm using Google Maps API [Text] / Andras Kiraly, Janos Abonyi // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2015. – Vol. 38. – P. 122–130. **10.** Petrakis, I. On the impact of real-time information on field service scheduling [Text] / Ioannis Petrakis, Christian Hass, Martin Bichler // Decision Support Systems. – 2012. – Vol. 53, Issue 2. – P. 282–293. **11.** Papadopoulos, H. T. A field service support system using a queueing network model and the priority MVA algorithm [Text] / H. T. Papadopoulos // Omega. – 1999. – Vol. 24, Iss. 2. – P. 195–203. **12.** Oracle Field Service Routing Cloud Service // <https://www.oracle.com/applications/customer-experience/service/field-service-management/routing.html> – Режим доступа: <http://www.oracle.com/us/products/applications/routing-cloud-service-2413009.pdf>. – Oracle Service Cloud. **13.** Чистякова, А. Information technology of definition of components irregular time series by means of singular decomposition [Текст] / А. Чистякова, Д. Негурица, Б. Шамша // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2010. – Vol. 4, N 4(46). – P. 23-27. – Way of Access: DOI: 10.15587/1729-4061.2010.2959. **14.** Чистякова, А. Идентификация структуры нестационарного временного ряда при помощи метода сингулярного спектрального анализа [Текст] / А. А. Чистякова, Б. В. Шамша // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2011. – № 4(52). – С. 105-111. **15.** Чистякова, А. Оценка глубины погружения в методе SSA при моделировании нелинейных временных рядов [Текст] / А. А. Чистякова, Б. В. Шамша // Вестник развития науки и образования. – 2013. – №4. – С. 59-68. **16.** Чистякова, А. Информационная технология прогнозирования нестационарных временных рядов с использованием сингулярного спектрального анализа [Текст] / Анна Чистякова, Борис Шамша // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Vol. 2, N 4(68). – P. 24-30. – Way of Access : DOI : 10.15587/1729-4061.2014.22158. **17.** Чистякова, А. А. Информационная технология прогнозирования временных рядов методом SSA с учетом риска [Текст] / А. А. Чистякова, Б. В. Шамша // Международный Конгресс «Энергосбережение и информационные технологии» “ES@IT – 2013”, 16-22 сентября 2014 г., г. Харьков. – 2013. – С. 72.

**Bibliography (transliterated):** **1.** Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C. (2008). Time Series Analysis: Forecasting and Control, 4rd ed. US: John Wiley & Sons, 784. **2.** Billinger, D. (1980). Time Series. Processing of data and theory. Moscow: Mir, 536. **3.** Koltsova, L. (2010). Automation personified accounting staff. Staffing Solutions, 4(58), 32–40. **4.** Mahadevan, B. (2009). Operation Management: Theory and Practice. New Delhi, India: Dorling Kindersley Pvt. Ltd., 582. **5.** Whiteson, Sh., Stone, P. (2005). Adaptive Job Routing and Scheduling. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 17(7), 3–30. **6.** Karakatič, S. Podgorelec, V. (2015). A survey of genetic algorithms for solving multi depot vehicle routing problem. Applied Soft Computing, 27, 519–532. **7.** Kratica, J., Kostic, T., Totic, D., Dugosija, D. (2012). A Genetic Algorithm for the Routing and Carrier Selection Problem. ComSIS, 9(1), 49-62. **8.** Chang Wook Ahn. (2002). A Genetic Algorithm for Shortest Path Routing Problem and the Sizing of Populations. IEEE transactions on evolutionary computation, 6(6), 566-579. **9.** Kiraly, A., Abonyi, J. (2015). Redesign of the supply of mobile mechanics based on a novel genetic optimization algorithm using Google Maps API. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 38, 122–130. **10.** Petrakis, I. Hass, Ch., Bichler, M. (2012). On the impact of real-time



information on field service scheduling. *Decision Support Systems*, 53(2), 282–293. **11.** Papadopoulos, H. T. (1999). A field service support system using a queueing network model and the priority MVA algorithm. *Omega*, 24, 195–203. **12.** Oracle Field Service Routing Cloud Service. Oracle.com. Retrieved April 30, 2015, from <https://www.oracle.com/applications/customer-experience/service/field-service-management/routing.html> [in English]. **13.** Chistyakova, A., Neguritsa, D., Shamsha, B. (2010). Information technology of definition of components irregular time series by means of singular decomposition. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 4(4(46)), 23-27. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2010.2959. **14.** Chistyakova, A., Shamsha, B. (2011). Identification of the structure of non-stationary time series using the method of singular spectrum analysis. *Electronic and computer systems*, 4(52), 105-111. **15.** Chistyakova, A., Shamsha, B. (2013). Evaluation of the depth of immersion in the method of SSA in modeling nonlinear time series. *Bulletin of Science and Education Development*, 4, 59-68. **16.** Chistyakova, A., Shamsha, B. (2014). Information technology of forecasting non-stationary time-series data using singular spectrum analysis. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 2(4(68)), 24-30. doi:http://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2014.22158. **17.** Chistyakova, A., Shamsha, B. (2014). Information technology time series prediction using SSA method with risk consideration. *International Congress «Energy and Information Technologies». «ES@IT – 2013»*, 72.

*Надійшла (received) 27.04.2015*

**УДК 621.365.2:51-74**

**А. А. ШРАМ**, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запорозьє

## **РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ СТЕКЛА**

Целью работы являлось построение и анализ математической модели ионно-плазменной обработки поверхности стекла при атмосферном давлении. Рассмотрено построение математической модели ионно-плазменной обработки поверхности стекла при атмосферном давлении на основании регрессионного анализа. Полученная модель позволяет определить в каком направлении, и в какой степени необходимо варьировать факторами для достижения оптимального качества получаемых покрытий.

**Ключевые слова:** математическая модель, регрессионный анализ, многофакторный эксперимент, низкотемпературная плазма, стекло.

**Введение.** Введение модифицирующих элементов в поверхностный слой стекла позволяет повысить его эксплуатационные свойства, механическую прочность, обеспечить регулирование оптических свойств, а также получить возможность окрашивания стекла в различные цвета.

Качество модифицированного поверхностного слоя стекла зависит от таких параметров, как: вид исходного материала внедрения, состав обрабатываемого стекла, расход и вид плазмообразующего газа, геометрических и энергетических параметров плазмотрона [1 – 4].

Возможность предварительного определения оптимальных диапазонов изменения технологических параметров процесса для обеспечения внедрения элементарных частиц модифицирующего материала (атомов и ионов) и равномерного их распределения в диффузионном слое приводит к снижению удельного расхода материала внедрения при формировании высококачественных проникающих покрытий на поверхности стекла с одновременным повышением производительности процесса обработки.

**Малая изученность процесса ионно-плазменной модификации поверхности**

© А. А. ШРАМ, 2015

стекла и стеклоизделий при атмосферном давлении, сложная зависимость процесса от многих взаимосвязанных параметров (величины тока электрической дуги, расхода плазмообразующего газа, геометрических параметров плазмотрона и т.д.) не позволяют получить аналитической зависимости, которая описывала бы процесс обработки. Поэтому для построения математической модели могут использоваться методы планирования многофакторного эксперимента [5 – 8].

**Цель работы.** Целью работы является построение и анализ математической модели ионно-плазменной обработки поверхности стекла при атмосферном давлении.

**Методика экспериментов.** Выбор и корректирование режимов электротехнологического процесса обработки является типичной оптимизационной задачей, целью которой является определение наилучших значений параметров обработки стеклоизделий при заданном критерии качества.

Технологическим параметром оптимизации была выбрана совокупность характеристик получаемого покрытия (коэффициент пропускания в диапазоне длин волн от 315 нм до 400 нм (ближний ультрафиолет UVA), коэффициент направленного пропускания света, шероховатость поверхности обработанного образца (среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$ , нм)).

При исследовании процесса ионно-плазменной модификации поверхности стекла в планирование эксперимента были включены пять факторов. В результате проведенных экспериментальных исследований и конструктивных особенностей разработанных плазмотронов за средние (нулевые) значения факторов приняты: расход раствора 160 мг/сек, величина тока 105 А, время обработки 10 с, расход плазмообразующего газа 1.5 г/сек, дистанция обработки 90 мм. Уровни факторов и их интервалы варьирования представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Уровни факторов и интервалы варьирования

Факторы	Кодированное значение	Уровни факторов			Интервал варьирования
		1	0	+1	
Расход раствора $G_U$ , мг/сек	$X_1$	40	60	180	20
Величина тока $I$ , А	$X_2$	100	105	110	5
Время обработки $t$ , с	$X_3$	5	10	15	5
Расход плазмообразующего газа $G$ , г/сек	$X_4$	1.0	1.5	2.0	0.5
Дистанция обработки $h$ , мм	$X_5$	70	90	110	20

Математическая модель процесса обработки стекла и стеклоизделий может быть представлена в виде полинома:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_4 \cdot x_4 + b_5 \cdot x_5 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{14} \cdot x_1 \cdot x_4 + b_{15} \cdot x_1 \cdot x_5, \quad (1)$$

где  $y$  – параметр оптимизации;  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  – факторы процесса;  $b_i, b_{ij}$  – коэффициенты регрессии.

Коэффициенты регрессии определяются решением уравнения в матричной форме:

$$\mathbf{X}' \times \mathbf{X} \times \mathbf{b} = \mathbf{X}' \times \mathbf{Y}, \quad (2)$$

$$\mathbf{b} = (\mathbf{X}' \times \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}' \times \mathbf{Y}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{b}$  – вектор коэффициентов регрессии  $b_i, b_{ij}$ ;  $\mathbf{X}$  – матрица предикторных переменных (факторов процесса);  $\mathbf{Y}$  – вектор переменных отклика.

Для построения модели ионно-плазменной модификации стекла выбрано  $D$ -оптимальное планирование типа  $Na_5$  (план Хартли). Во избежание систематических ошибок опыты рандомизированы.

Математическая модель процесса ионно-плазменной обработки поверхности стекла и стеклоизделий в кодированном виде представлена следующими зависимостями:

$$y_1(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = 26.3444 - 1.6778 \cdot x_1 - 0.0778 \cdot x_2 - 2.2611 \cdot x_3 + 0.2222 \cdot x_4 + 1.7944 \cdot x_5 + 0.2000 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.1250 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0.1125 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0.1000 \cdot x_1 \cdot x_5, \quad (4)$$

$$y_2(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = 72.3096 + 3.8111 \cdot x_1 - 0.5000 \cdot x_2 - 1.5911 \cdot x_3 - 0.0556 \cdot x_4 + 5.1761 \cdot x_5 + 0.2650 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1.5000 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0.0975 \cdot x_1 \cdot x_4 + 2.1850 \cdot x_1 \cdot x_5, \quad (5)$$

$$y_3(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = 63.6815 - 15.3944 \cdot x_1 - 0.3556 \cdot x_2 + 2.4778 \cdot x_3 - 1.3889 \cdot x_4 - 5.8333 \cdot x_5 - 0.4563 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0.6437 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0.6938 \cdot x_1 \cdot x_4 - 1.3437 \cdot x_1 \cdot x_5, \quad (6)$$

где  $y_1(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$  – коэффициент пропускания UVA, %;  $y_2(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$  – коэффициент направленного пропускания света, %;  $y_3(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$  – среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$ , нм.

Переход от кодированных значений к натуральным осуществляется с помощью преобразования:

$$x_j = \frac{x_j^* - x_{j0}^*}{J_j}, \quad (7)$$

где  $x_j$  – кодированное значение фактора;  $x_j^*$  – натуральное значение фактора;  $x_{j0}^*$  – натуральное значение основного уровня;  $J_j$  – интервал варьирования;  $j$  – номер фактора.

Математическая модель модификации поверхности стеклоизделий с помощью низкотемпературной плазмы имеет вид:

$$y_1(G_U, I, t, G, h) = 62.4806 - 0.2420 \cdot G_U - 0.3356 \cdot I - 0.2522 \cdot t + 2.2444 \cdot G + 0.1297 \cdot h + 0.0020 \cdot G_U \cdot I - 0.0012 \cdot G_U \cdot t - 0.0012 \cdot G_U \cdot G - 2.5 \cdot 10^{-4} \cdot G_U \cdot h, \quad (8)$$

$$y_2(G_U, I, t, G, h) = 133.8971 - 0.4439 \cdot G_U - 0.5240 \cdot I + 2.0818 \cdot t - 1.6711 \cdot G - 0.6152 \cdot h + 0.0027 \cdot G_U \cdot I - 0.0150 \cdot G_U \cdot t + 0.0098 \cdot G_U \cdot G + 0.0055 \cdot G_U \cdot h, \quad (9)$$

$$y_3(G_U, I, t, G, h) = 121.6898 - 0.1568 \cdot G_U + 0.6589 \cdot I - 0.5344 \cdot t - 13.8778 \cdot G + 0.2458 \cdot h - 0.0046 \cdot G_U \cdot I + 0.0064 \cdot G_U \cdot t + 0.0694 \cdot G_U \cdot G - 0.0034 \cdot G_U \cdot h, \quad (10)$$

где  $y_1(G_U, I, t, G, h)$  – коэффициент пропускания UVA, %;  $y_2(G_U, I, t, G, h)$  – коэффициент направленного пропускания света, %;  $y_3(G_U, I, t, G, h)$  – среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$ , нм.

Среднеквадратичная ошибка эксперимента  $S_O$  и коэффициентов регрессии  $S_{bi}$  определялась по формуле:

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_O^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_i} \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{n \cdot n_i \cdot (m-1)}}, \quad (11)$$

где  $\bar{y}_i$  – среднее арифметическое значение параметра оптимизации  $y_i$  в повторных опытах;  $m$  – количество повторных опытов;  $n_i$  – количество опытов с повторениями;  $n$  – общее количество опытов.

Доверительный интервал для факторов определялся следующим образом:

$$\Delta b_i = \pm t \cdot S_{b_i}, \quad (12)$$

где  $t$  – критерий Стьюдента.

$$S_{b_i} = \sqrt{\frac{1.17}{27 \cdot 27 \cdot (3-1)}} = 0.028,$$

$$\Delta b_i = \pm 2.228 \cdot 0.028 = \pm 0.062.$$

Факторы, имеющие коэффициенты регрессии меньше доверительного интервала, незначительно влияют на параметр оптимизации и могут быть зафиксированы на нулевом уровне. Тогда математическая модель модификации поверхности стеклоизделий с помощью низкотемпературной плазмы принимает следующий вид:

$$y_1(G_U, I, t, G, h) = 56.1866 - 0.2420 \cdot G_U - 0.3356 \cdot I - 0.2522 \cdot t + 2.2444 \cdot G + 0.1297 \cdot h + 0.0020 \cdot G_U \cdot I, \quad (13)$$

$$y_2(G_U, I, t, G, h) = 112.2491 - 0.4439 \cdot G_U - 0.5240 \cdot I + 2.0818 \cdot t - 1.6711 \cdot G - 0.6152 \cdot h + 0.0027 \cdot G_U \cdot I + 0.0055 \cdot G_U \cdot h, \quad (14)$$

$$y_3(G_U, I, t, G, h) = 148.5858 - 0.1568 \cdot G_U + 0.6589 \cdot I - 0.5344 \cdot t - 13.8778 \cdot G + 0.2458 \cdot h - 0.0046 \cdot G_U \cdot I - 0.0034 \cdot G_U \cdot h, \quad (15)$$

где  $y_1(G_U, I, t, G, h)$  – коэффициент пропускания UVA, %;  $y_2(G_U, I, t, G, h)$  – коэффициент направленного пропускания света, %;  $y_3(G_U, I, t, G, h)$  – среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$ , нм.

Адекватность математической модели – расчетное значение параметра оптимизации,  $f$  – число степеней свободы для дисперсии адекватности.

$$F_{calc} = \frac{S_{AD}^2}{S_O^2},$$

$$S_{AD}^2 = \frac{1.4797}{27} = 0.055,$$

$$F_{calc} = \frac{0.055}{0.022} = 2.54.$$

Полученная величина сравнивается с табличной величиной  $F$ -критерия ( $F_{table}^{0.05}(1;27) = 4.21$ ) [9, 10]. Поскольку рассчитанное значение  $F$ -критерия не превышает табличного, с соответствующей доверительной вероятностью (5 %), модель можно считать адекватной.

**Обсуждение результатов.** Полученная модель позволяет определить в каком направлении, и в какой степени необходимо варьировать факторами для достижения оптимального качества получаемых покрытий.

Зависимости технологических характеристик ионно-плазменного покрытия от расход раствора, величины тока и дистанции обработки показаны на рис.1 – 3.

Из анализа данной математической модели ионно-плазменной обработки поверхности стекла и стеклоизделий следует, что при варьировании выбранными факторами максимальное влияние на качество получаемых покрытий оказывают расход водного раствора материала внедрения и дистанция обработки.

Так, при увеличении расхода раствора исходного материала от 140 мг/сек до 180 мг/сек коэффициент пропускания ультрафиолетового излучения UVA уменьшается на 10.3 %, коэффициент направленного пропускания света увеличивается на 13.9 %, среднее арифметическое отклонения профиля Ra (шероховатость обработанного образца) уменьшается на 48.7 %.

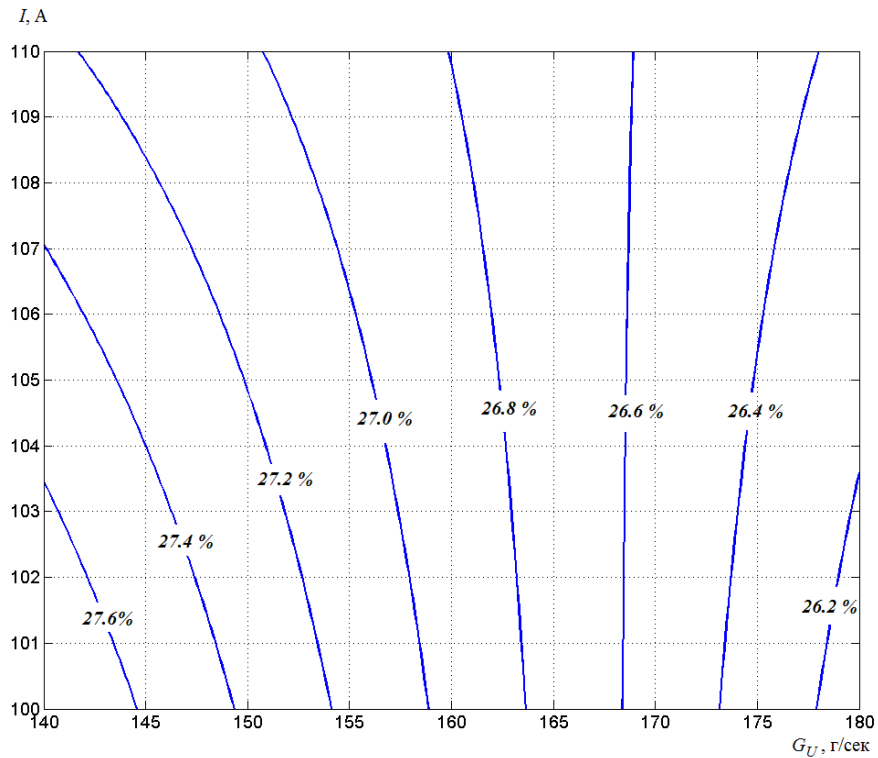


Рис. 1 – Зависимость коэффициента пропускания UVA от расхода раствора  $G_U$  и величины тока  $I$  при  $G = 2$  г/с ;  $t = 10$  с;  $h = 70$  мм

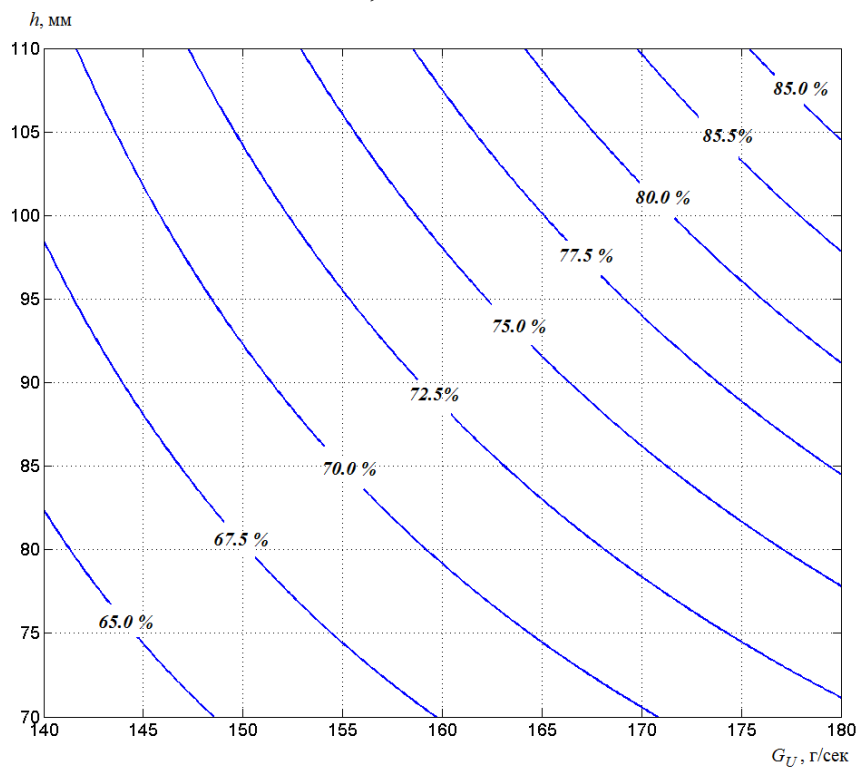


Рис. 2 – Зависимость коэффициента направленного пропускания света от расхода раствора  $G_U$  и дистанции обработки  $h$  при  $G = 2$  г/с ;  $t = 10$  с;  $I = 105$  А

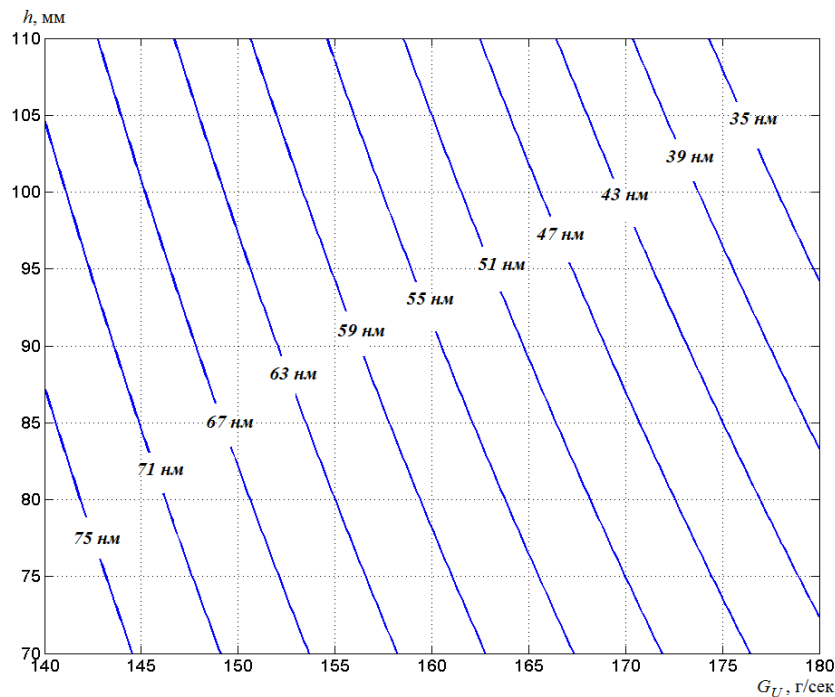


Рис. 3 – Зависимость шероховатости поверхности от расхода раствора  $G_U$  и дистанции обработки  $h$  при  $G = 2$  г/с ;  $t = 10$  с;  $I = 105$  А

Уменьшение дистанции обработки со 110 мм до 70 мм приводит к уменьшению коэффициента пропускания ультрафиолетового излучения UVA на 15.6 %, коэффициента направленного пропускания света на 25.4 %, увеличению среднего арифметического отклонения профиля Ra на 38.8 %

**Выводы.** В ходе проведенных исследований разработана математическая модель ионно-плазменной обработки поверхности стекла при атмосферном давлении, которая позволяет определить оптимальный диапазон изменения технологических параметров процесса обработки (расход раствора материала внедрения, величина тока, мощность, дистанция обработки, расход плазмообразующего газа, время обработки) для формирования проникающих покрытий с заданными оптическими свойствами (коэффициент пропускания ультрафиолетового излучения UVA, коэффициент направленного пропускания света) при минимальной шероховатости поверхности обработанного образца.

**Список литературы:** 1. *Chen, F. F.* Principles of plasma processing [Text] / *Fransis F. Chen, Jane P. Chang.* – Los Angeles : Plenum / Kluwer Publishers, 2002. – 249 p. 2. *Fridman, A.* Plasma Chemistry [Text] / *Alexander Fridman.* – Cambridge : Cambridge University Press, 2008. – 1022 p. – ISBN-13-978-0-511-39857-5. 3. Физика и техника низкотемпературной плазмы [Текст] / [С. В. Дресвин, А. В. Донской, В. М. Гольдфарб, В. С. Клубникин]; под общ. ред. С. В. Дресвина. – М. : Атомиздат, 1972. – 352 с. 4. *Шрам, А. А.* Электротехнический комплекс поверхностной модификации стекла потоками низкотемпературной плазмы. [Текст] / *А. А. Шрам* // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2013. – № 4 – 2. – С. 210 – 215. 5. *Джонсон, Н.* Статистика и планирование эксперимента в науке и технике: методы планирования эксперимента [Текст] / *Н. Джонсон, Ф. Лион.* – М. : Мир, 1981. – 520 с. 6. *Гареев, А. Г.* Основы обработки и визуализации экспериментальных данных : [учеб. пособие] [Текст] / *А. Г. Гареев.* – Уфа : УГНТУ, 2004. – 82 с. 7. *Горский, В. Г.* Планирование промышленных экспериментов [Текст] / *В. Г. Горский, Ю. П. Адлер, А. М. Талай.* – М. : Металлургия, 1978. – 112 с. 8. *Ермаков, С. М.* Математическая теория оптимального эксперимента [Текст] / *С. М. Ермаков, А. А. Жигляевский.* – М. : Наука, 1987. – 318 с. 9. *Drapier, N.*

R. Applied regression analysis [Text] / *Norman R. Draper, Harry Smith*. – Wiley Series in Probability and Statistics, 1998. – 736 p. – ISBN 978-0-471-17082-2. **10.** *Taha, H. A.* Operations research: an introduction (9<sup>th</sup> Edition) [Text] / *Hamdy. A. Taha*. – New Jersey: University of Arkansas, 2010. – 832 p. – ISBN-10: 013255593X.

**Bibliography (transliterated):** **1.** *Chen, F. F.* (2002). Principles of plasma processing. Los Angeles : Plenum / Kluwer Publishers, 249. **2.** *Fridman, A.* (2008). Plasma Chemistry. Cambridge : Cambridge University Press, 1022. ISBN: 13 978-0-511-39857-5. **3.** *Dresvin, S. V., Donskoj, A. V., Gol'dfarb, V. M., Klubnikin, V. S.* (1972). Fizika i tehnika nizektemperaturnoj plazmy [Physics and technique of low-temperature plasma]. Moscow : Atomizdat, 352. **4.** *Shram, A. A.* (2013). Jelektrotehnicheskij kompleks poverhnostnoj modifikacii stekla potokami nizektemperaturnoj plazmy [Electrotechnical complex for the surface modification of glass by the flows of low temperature plasma]. Polzunovskij vestnik, 4 – 2, 210 – 215. **5.** *Dzhonson, N.* (1981). Statistika i planirovanie jeksperimenta v nauke i tehnike: metody planirovanija jeksperimenta [Statistics and experimental design in science and technology: the methods of experimental design]. Moscow : Mir, 520. **6.** *Gareev, A. G.* (2004). Osnovy obrabotki i vizualizacii jeksperimental'nyh dannyh [Fundamentals of processing and visualization of the experimental data]. Ufa : UGNTU, 82. **7.** *Gorskij, V. G., Adler, Ju. P., Talalaj, A. M.* (1978). Planirovanie promyshlennyh jeksperimentov [Planning of industrial experiments]. Moscow : Metallurgija, 112. **8.** *Ermakov, S. M., Zhigljavskij, A. A.* (1987). Matematicheskaja teorija optimal'nogo jeksperimenta [Mathematical theory of optimal experiment]. Moscow : Nauka, 318. **9.** *Draper, N. R., Smith, H.* (1998). Applied regression analysis. Wiley Series in Probability and Statistics, 736. ISBN: 978-0-471-17082-2. **10.** *Taha, H. A.* (2010). Operations research: an introduction (9<sup>th</sup> Edition). New Jersey: University of Arkansas, 832. ISBN: 10: 013255593X.

*Надійшла (received) 27.04.2015*

*О. І. ГУЛЯР*, д-р техн. наук, проф., КНУБА, Київ;  
*С. О. ПИСКУНОВ*, д-р техн. наук, проф., КНУБА, Київ;  
*В. П. АНДРІЄВСЬКИЙ*, канд. техн. наук, доц., КНУБА, Київ;  
*Ю. В. МАКСИМ'ЮК*, канд. техн. наук, доц., КНУБА, Київ

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ТІЛ ПРИ ТЕРМОСИЛОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Проведено узагальнення методики моментної схеми скінченних елементів для розв'язання вісесиметричних задач теорії пружності при термосиловому навантаженні в нерівномірному температурному полі. Проведені чисельні дослідження для обґрунтування достовірності результатів і ефективності методики. На основі МССЕ розроблена ефективна методика розв'язання вісесиметричних задач при термосиловому навантаженні. Достовірність результатів доведена шляхом розв'язання значної кількості тестових прикладів

**Ключові слова:** дослідження, термосилове навантаження, моментна схема скінченних елементів, вісесиметричні тіла, достовірність

**Вступ.** В роботі [1] викладена методика розв'язку вісесиметричних задач теорії пружності при силовому навантаженні, в рамках якої отримані розв'язувальні співвідношення на основі моментної схеми скінченних елементів (МССЕ) [2]. Проведено чисельні дослідження для двох типів скінченних елементів, які дозволили зробити висновок, що при пружному деформуванні їх збіжність практично однакова, якщо для модифікованого варіанту використовувати фізичні компоненти тензора деформацій. Це дозволило в роботі [3] обмежитись визначенням температурних деформацій через їх фізичні компоненти в центрах скінченних елементів.

**Мета роботи.** Метою роботи є узагальнення методики МССЕ для розв'язку вісесиметричних задач теорії пружності при термосиловому навантаженні в нерівномірному температурному полі.

**Розрахункові співвідношення МССЕ при термопружному деформуванні.** В загальному випадку система лінійних алгебраїчних рівнянь методу скінченних елементів може бути подана у вигляді [4]:

$$[K]\{U\} = \{Q\} + \{R\}, \quad (1)$$

де  $[K]$  - матриця жорсткості системи,  $\{U\}$  - вектор невідомих вузлових переміщень,  $\{Q\}$  - вектор силових вузлових навантажень,  $\{R\}$  - вектор температурних силових навантажень.

Згідно з методикою МССЕ матриця жорсткості і вузлові реакції чотирикутного вісесиметричного скінченного елемента (рис. 1) з білінійним законом розподілення переміщень і температур [5]

$$u_{\alpha'} = \sum_{S_1=\pm 1} \sum_{S_2=\pm 1} u_{\alpha'(S_1 S_2)} \left( \frac{1}{2} S_1 x^1 + \frac{1}{2} S_2 x^2 + S_1 S_2 x^1 x^2 + \frac{1}{4} \right), \quad (3)$$



$$T = \sum_{S_1=\pm 1} \sum_{S_2=\pm 1} T_{(S_1, S_2)} \left( \frac{1}{2} S_1 x^1 + \frac{1}{2} S_2 x^2 + S_1 S_2 x^1 x^2 + \frac{1}{4} \right), \quad (4)$$

обчислюються за формулами [1]:

$$[k]_n = \left\{ \begin{bmatrix} \overset{\circ}{B} \\ \overset{\circ}{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overset{\circ}{B} \\ \overset{\circ}{B} \end{bmatrix} + \frac{1}{12} \sum_{\alpha=1}^2 \left[ \begin{bmatrix} \overset{\circ}{B}_1 \\ \overset{\circ}{D}_{,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overset{\circ}{B}_1 \\ \overset{\circ}{B}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \overset{\circ}{B}_2 \\ \overset{\circ}{D}_{,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overset{\circ}{B}_2 \\ \overset{\circ}{B}_2 \end{bmatrix} \right] \sqrt{\overset{\circ}{g}} \right\}, \quad (5)$$

$$\left\{ \overset{\circ}{\tilde{r}} \right\} = \begin{bmatrix} \overset{\circ}{B} \\ \overset{\circ}{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overset{\circ}{\sigma} \\ \overset{\circ}{\sigma} \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \left( \begin{bmatrix} \overset{\circ}{B}_1 \\ \overset{\circ}{D}_{,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overset{\circ}{\sigma}_{,1} \\ \overset{\circ}{\sigma}_{,1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \overset{\circ}{B}_2 \\ \overset{\circ}{D}_{,2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overset{\circ}{\sigma}_{,2} \\ \overset{\circ}{\sigma}_{,2} \end{bmatrix} \right) \sqrt{\overset{\circ}{g}} \quad (6)$$

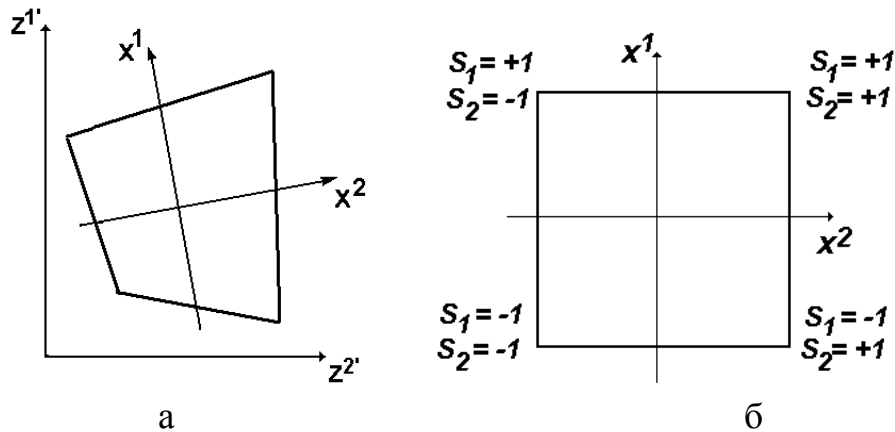


Рис. 1 – Вісесиметричний скінченний елемент: а – в базисній системі координат, б – в місцевій системі координат

При термосиловому навантаженні вектори напружень  $\left\{ \overset{\circ}{\sigma} \right\}$ ,  $\left\{ \overset{\circ}{\sigma}_{,1} \right\}$ ,  $\left\{ \overset{\circ}{\sigma}_{,2} \right\}$  в формулі (6) визначаються через вектори пружних деформацій  $\left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}^e \right\}$ ,  $\left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,1}^e \right\}$ ,  $\left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,2}^e \right\}$  [6]:

$$\left\{ \overset{\circ}{\sigma} \right\} = \begin{bmatrix} \overset{\circ}{D} \end{bmatrix} \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}^e \right\}; \quad \left\{ \overset{\circ}{\sigma}_{,1} \right\} = \begin{bmatrix} \overset{\circ}{D}_{,1} \end{bmatrix} \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,1}^e \right\}; \quad \left\{ \overset{\circ}{\sigma}_{,2} \right\} = \begin{bmatrix} \overset{\circ}{D}_{,2} \end{bmatrix} \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,2}^e \right\}, \quad (7)$$

де

$$\left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}^e \right\} = \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon} \right\} - \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}^T \right\}; \quad \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,1}^e \right\} = \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,1} \right\} - \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,1}^T \right\}; \quad \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,2}^e \right\} = \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,2} \right\} - \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,2}^T \right\}, \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} \overset{\circ}{D} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C^{1111} & C^{1112} & C^{1122} & C^{1133} \\ C^{1211} & C^{1212} & C^{1222} & C^{1233} \\ C^{2211} & C^{2212} & C^{2222} & C^{2233} \\ C^{3311} & C^{3312} & C^{3322} & C^{3333} \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} \overset{\circ}{D}_{,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C^{ij22} \\ C^{ij33} \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \overset{\circ}{D}_{,2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C^{ij11} \\ C^{ij33} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Компоненти матриці пружних сталей обчислюються із використанням компонент метричного тензора

$$C^{ijkl} = \lambda g^{ij} g^{kl} + \mu (g^{jl} g^{ik} + g^{il} g^{jk}), \quad (10)$$

де коефіцієнти Ляме  $\lambda$  та  $\mu$  визначаються через коефіцієнт Пуассона  $\nu = \nu(z^i, T)$  і модуль пружності матеріалу (модуль Юнга)  $E = E(z^i, T)$  [6]:

$$\lambda = \frac{Ev}{(1-2\nu)(1+\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}. \quad (11)$$

Повні деформації  $\{\varepsilon\}$ ,  $\{\varepsilon_{,1}\}$ ,  $\{\varepsilon_{,2}\}$  обчислюються через вектори вузлових переміщень скінченного елемента  $\{u\}$ :

$$\{\varepsilon\} = [\overset{\circ}{B}] \{u_{(S_1, S_2)}\}; \quad \{\varepsilon_{,1}\} = [\overset{\circ}{B}_1] \{u_{(S_1, S_2)}\}; \quad \{\varepsilon_{,2}\} = [\overset{\circ}{B}_2] \{u_{(S_1, S_2)}\}, \quad (12)$$

де

$$\{u_{(S_1, S_2)}\} = \begin{Bmatrix} u'_{(S_1, S_2)} \\ u^{2'}_{(S_1, S_2)} \end{Bmatrix}. \quad (13)$$

Для зручності представлення розділимо матриці  $[\overset{\circ}{B}]$ ,  $[\overset{\circ}{B}_1]$ ,  $[\overset{\circ}{B}_2]$  на блоки:

$$\begin{aligned} [\overset{\circ}{B}] &= \begin{bmatrix} [\overset{\circ}{B}] & [\overset{\circ}{B}] & [\overset{\circ}{B}] & [\overset{\circ}{B}] \end{bmatrix}; \\ [\overset{\circ}{B}_1] &= \begin{bmatrix} [\overset{\circ}{B}_1] & [\overset{\circ}{B}_1] & [\overset{\circ}{B}_1] & [\overset{\circ}{B}_1] \end{bmatrix}; \\ [\overset{\circ}{B}_2] &= \begin{bmatrix} [\overset{\circ}{B}_2] & [\overset{\circ}{B}_2] & [\overset{\circ}{B}_2] & [\overset{\circ}{B}_2] \end{bmatrix}; \end{aligned} \quad (14)$$

де

$$\begin{aligned} [\overset{\circ}{B}]^{-\langle S, S_1 \rangle} &= \begin{bmatrix} \frac{1}{2} z'_{,1} S_1 & \frac{1}{2} z^{2'}_{,1} S_1 \\ \frac{1}{4} (z'_{,1} S_2 + z'_{,2} S_1) & \frac{1}{4} (z^{2'}_{,1} S_2 + z^{2'}_{,2} S_1) \\ \frac{1}{2} z'_{,2} S_2 & \frac{1}{2} z^{2'}_{,2} S_2 \\ 0 & \frac{1}{4} z^{2'} \end{bmatrix}; \\ [\overset{\circ}{B}_1]^{-\langle S, S_2 \rangle} &= \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \left( (z'_{,12} S_2 + 2z'_{,2} S_1 S_2) - z'_{,2} S_2 \overset{\circ}{h}_{22,1} \right) & \frac{1}{2} \left( (z^{2'}_{,12} S_2 + 2z^{2'}_{,2} S_1 S_2) - z^{2'}_{,2} S_2 \overset{\circ}{h}_{22,1} \right) \\ 0 & \frac{1}{4} (2z^{2'} S_1 + z^{2'}_{,1} + z^{2'} \overset{\circ}{h}_{33,1}) \end{bmatrix}; \\ [\overset{\circ}{B}_2]^{-\langle S, S_2 \rangle} &= \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \left( (z'_{,12} S_1 + 2z'_{,1} S_1 S_2) - z'_{,1} S_1 \overset{\circ}{h}_{11,2} \right) & \frac{1}{2} \left( (z^{2'}_{,12} S_1 + 2z^{2'}_{,2} S_1 S_2) - z^{2'}_{,1} S_1 \overset{\circ}{h}_{11,2} \right) \\ 0 & \frac{1}{4} (2z^{2'} S_2 + z^{2'}_{,2} + z^{2'} \overset{\circ}{h}_{33,2}) \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (15)$$

де  $\overset{\circ}{h}$ ,  $z^{\alpha'}$  визначаються згідно формул [1],  $z^{\alpha'} = \partial z^{\alpha'} / \partial x_{\beta}$ .

Температурні деформації  $\{\varepsilon^T\}$ ,  $\{\varepsilon^T_{,1}\}$ ,  $\{\varepsilon^T_{,2}\}$  обчислюються через вектори вузлових температур  $\{T\}$ :

$$\left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}^T \right\} = \left[ \overset{\circ}{B}^T \right] \{T\}; \quad \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,1}^T \right\} = \left[ \overset{\circ}{B}_1^T \right] \{T\}; \quad \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,2}^T \right\} = \left[ \overset{\circ}{B}_2^T \right] \{T\}, \quad (16)$$

де  $\{T\}^T = \{T_{(-1;-1)} \quad T_{(1;-1)} \quad T_{(-1;1)} \quad T_{(1;1)}\}$ ;

$$\begin{aligned} \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}^T \right\} &= \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{11}^T \quad 2\overset{\circ}{\varepsilon}_{12}^T \quad \overset{\circ}{\varepsilon}_{22}^T \quad \overset{\circ}{\varepsilon}_{33}^T \right\}; \quad \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{,\alpha}^T \right\} = \left\{ \overset{\circ}{\varepsilon}_{(3-\alpha)(3-\alpha),\alpha}^T \quad \overset{\circ}{\varepsilon}_{33,\alpha}^T \right\}; \\ \left[ \overset{\circ}{B}^T \right] &= \left[ \left[ \overset{\circ}{B}^T \right] \quad \left[ \overset{\circ}{B}^T \right] \quad \left[ \overset{\circ}{B}^T \right] \quad \left[ \overset{\circ}{B}^T \right] \right]; \\ \left[ \overset{\circ}{B}_{,1}^T \right] &= \left[ \left[ \overset{\circ}{B}_{,1}^T \right] \quad \left[ \overset{\circ}{B}_{,1}^T \right] \quad \left[ \overset{\circ}{B}_{,1}^T \right] \quad \left[ \overset{\circ}{B}_{,1}^T \right] \right]; \\ \left[ \overset{\circ}{B}_{,2}^T \right] &= \left[ \left[ \overset{\circ}{B}_{,2}^T \right] \quad \left[ \overset{\circ}{B}_{,2}^T \right] \quad \left[ \overset{\circ}{B}_{,2}^T \right] \quad \left[ \overset{\circ}{B}_{,2}^T \right] \right]. \end{aligned} \quad (17)$$

Значення компонент підматриць  $\left[ \overset{\circ}{B}^T \right]^{- (S_1, S_2)}$ ,  $\left[ \overset{\circ}{B}_{,1}^T \right]^{- (S_1, S_2)}$ ,  $\left[ \overset{\circ}{B}_{,2}^T \right]^{- (S_1, S_2)}$  у виразі (17)

для вісесиметричних тіл визначаються відповідно до формул [3] з урахуванням обчислених значень компонент метричного тензора для вісесиметричних тіл:

$$\begin{aligned} \left[ \overset{\circ}{B}^T \right]^{- (S_1, S_2)} &= \begin{bmatrix} \frac{1}{4} \overset{\circ}{\alpha}_T \overset{\circ}{g}_{11} \\ \frac{1}{4} \overset{\circ}{\alpha}_T \overset{\circ}{g}_{12} \\ \frac{1}{4} \overset{\circ}{\alpha}_T \overset{\circ}{g}_{22} \\ \frac{1}{4} \overset{\circ}{\alpha}_T \overset{\circ}{g}_{33} \end{bmatrix}; \\ \left[ \overset{\circ}{B}_{,1}^T \right]^{- (S_1, S_2)} &= \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \overset{\circ}{\alpha}_T S_2 \overset{\circ}{g}_{11} \\ \frac{1}{2} \overset{\circ}{\alpha}_T S_1 \overset{\circ}{g}_{33} \end{bmatrix}; \quad \left[ \overset{\circ}{B}_{,2}^T \right]^{- (S_1, S_2)} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} \overset{\circ}{\alpha}_T S_1 \overset{\circ}{g}_{22} \\ \frac{1}{2} \overset{\circ}{\alpha}_T S_2 \overset{\circ}{g}_{33} \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (18)$$

**Достовірність результатів при дослідженні напружено-деформованого стану вісесиметричних тіл при термосиловому навантаженні.** В якості контрольного прикладу розглянемо розподіл температурних напружень в круглій пластині постійної товщини із центральним отвором [8]. Температурне поле пластини визначимо згідно формули:

$$T = T_2 - \frac{T_2 - T_1}{\ln \rho} \ln \rho$$

де  $T_1$  і  $T_2$  температура пластини на внутрішньому  $\rho = \rho_1$  та зовнішньому  $\rho = 1$  контурах. На рис. 2 показано порівняння результатів отриманих аналітично в роботі [8] (суцільна лінія) та розрахунком за МССЕ (штрихпунктирна лінія).

Порівняння кривих напружень показує, що вони добре узгоджуються між собою.

Так вже при чотирьох елементах взятих вздовж радіусу пластини, максимальна похибка не перевищує 4-5 %, а вісім елементів забезпечують точність до 1 %.

Значний інтерес становить порівняння чисельних результатів з експериментальними даними. З цією метою була розглянута задача про термопружний стан диску з отвором, який знаходиться під дією нерівномірного нагрівання.

Температурне поле змінюється вздовж радіуса диску у відповідності з графіком наведеним на рис. 3,а.

На рис. 3, б наведені криві напружень  $\sigma_r$  та  $\sigma_\theta$  отримані експериментально методом електротензометрії [9] (представлені у вигляді круглих позначок), результати чисельних розрахунків, отриманих в роботі [9] (представлені суцільними лініями) та результати розрахунку за МССЕ (представлені штриховими лініями).

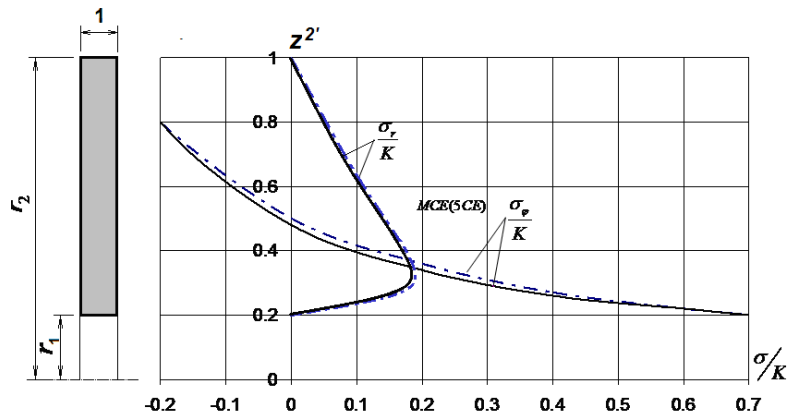


Рис. 2 – Розподілення напружень в круглій пластині ( $K = E\alpha_T(T_1 - T_2)$ )

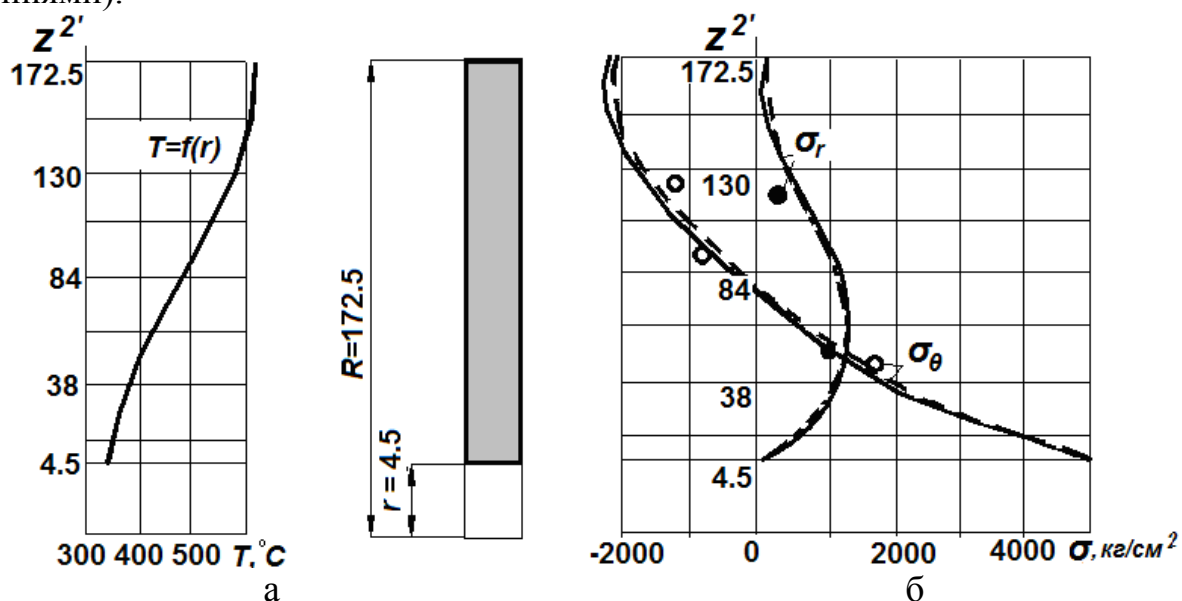


Рис. 3 –Диск з центральним отвором: а – розподілення температури, б – розподілення напружень

Порівняння результатів розрахунку за МССЕ та експериментальних даних показує, що вони задовільно узгоджуються між собою. Як можна побачити наближені результати МССЕ та результати чисельного розрахунку в роботі [9] краще узгоджуються між собою ніж з експериментом. Скоріш за все це можна пояснити великою похибкою експериментальних даних.

Таким чином наведені дослідження показують, що застосування розробленої методики визначення термонапруженого стану в дисках і пластинах дозволяє отримувати достовірні результати.

Розглянемо температурні напруження в суцільному диску, що обертається з кутовою швидкістю  $\omega$  (1/сек). Нехай температурне поле змінюється лише вздовж радіуса, а по товщині диск нагрітий рівномірно. В роботі [10] наведений аналітичний розв'язок цієї задачі при умові незалежності модуля пружності  $E$  та коефіцієнта лінійного розширення  $\alpha_T$  від температури. В цьому випадку формули для обчислення напружень  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\theta$  мають наступний вигляд [10]:

$$\sigma_r = E\alpha_T \left( \frac{k_1(R)}{R^2} - \frac{k_1(r)}{r^2} \right) + \frac{3+\nu}{8} \rho\omega^2 (R^2 - r^2)$$

$$\sigma_\phi = E\alpha_T \left( \frac{k_1(R)}{R^2} - \frac{k_1(r)}{r^2} \right) + \frac{3+\nu}{8} \rho\omega^2 R^2 - \frac{1+\nu}{8} \rho\omega^2 r^2$$

де  $k_1(r) = \int_0^r rT(r)dr$ ,  $\rho = \frac{\gamma}{g}$  - щільність матеріалу,  $\gamma$  - питома вага матеріалу.

Для співставлення результатів розрахунку, отриманих за наведеними формулами і за розробленою методикою, розглянемо термопружний стан сталюого диска ( $\gamma = 0.00786$  кг/см<sup>3</sup>) при квадратичному розподілі температури  $T(r) = cr^2$ .

Для зручності представимо, що  $E$ ,  $\alpha_T$ ,  $c$  дорівнюють одиниці. Кутову швидкість приймемо рівною 3.14 1/сек. В табл. 1 наведено порівняння результатів точного та наближеного розв'язків при квадратичному законі розподілу температури вздовж радіуса диска.

Таблиця 1 – Порівняння результатів розрахунку

$\rho$	$\sigma_r$			$\sigma_\phi$		
	[10]	МССЕ	похибка	[10]	МССЕ	похибка
0.05	3.990	3.921	1.7	3.970	3.893	1.95
0.15	3.910	3.856	1.4	3.730	3.685	1.20
0.25	3.750	3.710	1.1	3.250	3.216	1.06
0.35	3.510	3.475	1	2.530	2.503	1.07
0.45	3.190	3.161	0.9	1.570	1.549	1.34
0.55	2.790	2.765	0.9	0.370	0.353	4.20
0.65	2.310	2.289	0.9	-1.069	-1.063	1.30
0.75	1.750	1.740	1.0	-2.749	-2.761	0.43
0.85	1.110	1.095	1.3	-4.669	-4.674	0.20
0.95	0.390	0.377	3.2	-6.289	-6.846	0.25
1.00	0.000	0.000	0.0	-8.000	-8.000	0.00

При порівнянні результатів виходить, що похибка в напруженнях  $\sigma_r$  за максимальними значеннями дорівнює 1.7%, а максимальні напруження  $\sigma_\phi$ , що отримані за наведеними формулами та по розробленій методиці співпали, що свідчить про високу точність запропонованого варіанту МСЕ.

Таким чином, наведені результати показують, що методика побудована на МССЕ, дозволяє з високою точністю описувати термопружний стан дисків при різних законах розподілу температури та зовнішнього навантаження.

В конструкціях та окремих деталях, що працюють під впливом об'ємних та поверхових сил при нерівномірному нагріві, фізико-механічні характеристики матеріалів можуть суттєво залежати від температури. Актуальним є апробація розробленої методики для розв'язання такого типу задач. Нижче наводяться результати розв'язання задачі про узагальнений деформований стан неоднорідного циліндра. Неоднорідність циліндра полягає в залежності модуля пружності  $E$  від радіуса циліндра і обумовлена впливом нерівномірного нагріву.

Результати розрахунку порівнювались із розв'язком, отриманим в роботі [10].

При розрахунках досліджувалась потрібна кількість елементів розбивки циліндра по товщині при якій досягається збіжність результатів. Як впливає із графіків, наведених на рис. 4; достатнім виявилось 5 СЕ для співпадіння кривих напружень  $\sigma_r$  і  $\sigma_\theta$ . При цьому похибка у визначенні максимальних напружень не перевищує 3%, що свідчить про високу точність розробленої методики стосовно задач із неперервною неоднорідністю.

Порівняння результатів проведено при наступних вихідних даних.

$$\nu = 0.3, \alpha_T = 1 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{град}}, E = 10^3 e^{-0.04606T}, T = -71.66(\rho - 0.2).$$

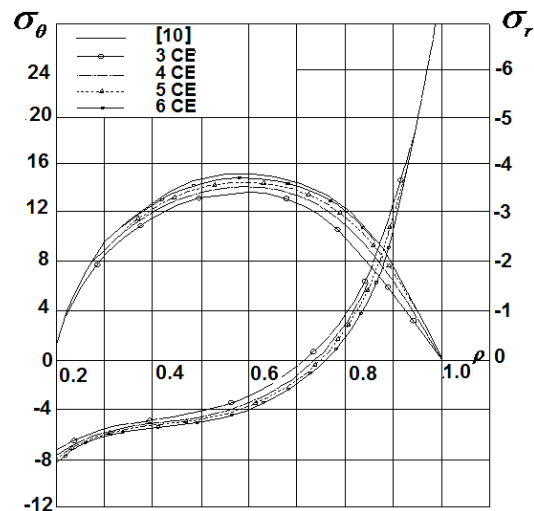


Рис. 4 – Розподілення напружень в неоднорідному суцільному циліндрі

**Висновки.** На основі МССЕ розроблена ефективна методика розв’язання вісесиметричних задач при термосиловому навантаженні. Достовірність результатів доведена шляхом розв’язання значної кількості тестових прикладів.

**Список літератури:** 1. Гуляр, О. І. Ефективність моментної схеми скінчених елементів (МССЕ) в задачах згину та з концентраторами напружень [Текст] / О. І. Гуляр, І. І. Солодей, Ю. В. Максим'юк // Опір матеріалів і теорія споруд. - 2012. – Вип. 89. – С. 38-52. 2. Сахаров, А. С. Метод конечных элементов в механике твердых тел [Текст] / А. С. Сахаров, В. Н. Кислокий, В. В. Киричевский. – К.: Вища шк., 1982. – 480 с. 3. Андрієвський, В. П. Методика розв’язання вісесиметричних задач стаціонарної теплопровідності та термопружності на основі МССЕ [Текст] / В. П. Андрієвський, Ю. В. Максим'юк // Опір матеріалів і теорія споруд. - 2014. – Вип. 93. – С. 64-72. 4. Напіваналітичний метод скінчених елементів в задачах руйнування просторових тіл : [Текст] Монографія / В. А. Баженов, О. І. Гуляр, С. О. Пискунов, О. С. Сахаров. – К.: КНУБА, 2005. – 298 с. 5. Полуаналитический метод конечных элементов в механике деформируемых тел [Текст] / В. А. Баженов, А. И. Гуляр, А. С. Сахаров, А. Г. Топор. – К.: НИИСМ, 1993. – 376 с. 6. Блох, В. И. Теория упругости [Текст] / В. И. Блох. – Х.: Изд. Харьковск. Гос. Университета, 1964. – 484 с. 7. Алгоритм розв’язання просторової задачі термов’язкопружно-пластичності призматичних тіл з урахуванням пошкодженості [Текст] / В. А. Баженов, О. І. Гуляр, С. О. Пискунов, В. П. Андрієвський // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2006. – Вип. 78. – С. 3–17. 8. Коваленко, А. Д. Основы термоупругости [Текст] / А. Д. Коваленко. – К.: Наук. думка, 1970. – 204 с. 9. Прочность рабочих колес турбомашин [Текст] / И. А. Козлов, В. Н. Городецкий, В. М. Лещенко, В. И. Фомичев; ред. Г. С. Писаренко; АН УССР, Ин-т проблем прочности. – К.: Наукова думка, 1972. – 215 с. 10. Расчет конструкций на тепловое воздействие [Текст] / В. Л. Бажанов, И. И. Гольденблат, Н. А. Николаенко, А. М. Синюков. – М.: Машиностроение, 1969. – 600 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Gulyar, O. I., Solodej, I. I., Maksymiuk, Yu. V. (2012). Efektivnist' momentnoi skhemi skinchenih elementiv (MSSE) v zadachah zginu ta z koncentratorami napruzhen'. Opir materialiv i teoriya sporud, 89, 38-52. 2. Saharov, A. S. Kislookij, V. N., Kirichevskij, V. V. (1982). Metod konechnyh ehlementov v mekhanike tverdyh tel. Kiev: Vishcha shk., 480. 3. Andriievskiy, V. P. Maksymiuk, Yu. V. (2014). Metodika rozv'yazannya visesimetrichnih zadach stacionarnoi teploprovodnosti ta termopruzhnosti na osnovi MSSE. Opir materialiv i teoriya sporud, 93, 64-72. 4. Bazhenov, V. A., Gulyar, O. I., Piskunov, S. O., Saharov, O. S. (2005). Napivanalitichnij metod skinchennih elementiv v zadachah rujnuvannya prostоровih til. Kiev: KNUBA, 298. 5.

Bazhenov, V. A., Gulyar, O. I., Saharov, O. S., Topor, A. G. (1993). Poluanaliticheskiy metod konechnykh ehlementov v mekhanike deformiruemykh tel. Kiev: NIISM, 376. **6.** Bloh, V. I. (1964). Teoriya uprugosti. Kharkov: Izd. Kharkov. Gos. Universiteta, 484. **7.** Bazhenov, V. A., Gulyar, O. I., Piskunov, S. O., Andriievskiy, V. P. (2006). Algoritm rozv'yazannya prostorovoi zadachi termov'yazkopruzhnoplastichnosti prizmatichnih til z urahuvannyam poshkodzhenosti. Opir materialiv i teoriya sporud, 78, 3–17. **8.** Kovalenko, A. D. (1970). Osnovy termouprugosti. Kiev : Nauk. dumka, 204. **9.** Kozlov, I. A., Gorodeckij, V. N., Leshchenko, V. M., Fomichev, V. I. (1972). Prochnost' rabochih koles turbomashin. Kiev : Naukova dumka, 215. **10.** Bazhanov, V. L., Goldenblat, I. I., Nikolaenko, N. A., Sinyukov, A. M. (1969). Raschet konstrukcij na teplovoe vozdejstviya. Moscow : Mashinostroenie, 600.

Надійшла (received) 11.04.2015

УДК 62-663.7 (045)

**В. И. РЫНДЯЕВ**, канд. техн. наук, доц., УИПА, Харьков

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЫТАЛКИВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА КОКСОВЫТАЛКИВАТЕЛЯ

Создание выталкивающего устройства, основные параметры и конструктивные решения которого обеспечивают повышенный уровень работоспособности за счет снижения нетехнологических нагрузок, является актуальной задачей. Исследовано выталкивающее устройство коксовыталкивателя. Изучено формирование величины эквивалентных нагрузок с учетом слеживаемости кокса. Проанализировано влияние конструктивных решений выталкивающего устройства на снижение уровня действующих нагрузок.

**Ключевые слова:** выталкивающее устройство, динамические нагрузки, конструкция.

**Введение.** Особенностью коксохимического производства является непрерывная работа технологического оборудования. Это приводит к высокой напряженности деталей и узлов коксовых машин.

Современному машиностроению удастся повышать уровень допустимых напряжений деталей при расчетах на выносливость, однако расход запчастей увеличивается и число отказов не уменьшается.

Одной из причин такого неблагоприятного положения является появление в машинах нетехнологических нагрузок, в 3-4 раза превосходящих установившиеся технологические. Особенно возросли динамические нагрузки.

Создание работоспособных машин для коксохимического производства в условиях интенсивно действующих нагрузок и увеличивающееся в них доли нетехнологических стало острой проблемой, от решения которой в значительной мере зависят технико-экономические показатели коксохимиков.

Анализ эксплуатационных условий, в которых работает коксовое оборудование, показывает, что наиболее напряженными в работе являются детали и узлы выталкивающего устройства коксовыталкивателя [1-6].

Поэтому создание выталкивающего устройства, основные параметры и конструктивные решения которого обеспечивают повышенный уровень работоспособности за счет снижения нетехнологических нагрузок, является актуальной задачей.

**Анализ причин отказов оборудования.** По данным ремонтных служб коксохимических заводов отказы деталей и узлов машин являются причиной более чем 50% внеплановых простоев оборудования. Основными видами этих отказов являются усталостные разрушения. Рабочие поверхности деталей практически

всех эксплуатирующихся выталкивающих устройств подвержены усталостному износу. Менее характерными являются отказы, вызванные пластическими деформациями различных деталей устройств.

Основной причиной отказов является высокая напряженность деталей устройств, вызванная возросшими энергосиловыми параметрами технологического процесса и значительными динамическими нагрузками [7-9]. Первое является естественным следствием интенсификации процесса, второе – динамической восприимчивостью узлов к возмущениям, связанными, в основном, с уплотнением кокса в печи.

Основными причинами роста динамической восприимчивости являются неблагоприятная компоновка схемы привода и увеличение зазоров в передачах из-за более интенсивного их износа.

Росту динамической восприимчивости все более противопоставляются преобразование расчетных схем, технологические мероприятия, снижающие эффект возмущения.

Широкие возможности в части снижения динамической восприимчивости устройств открываются за счет направленного влияния на его расчетную схему. В этом отношении важное значение имеет рациональный выбор параметров электродвигателей и соответствующая ориентация электропромышленности на их производство.

Отечественная электропромышленность, в отличие от ряда передовых зарубежных фирм, в настоящее время ориентируется на производство сравнительно низкоскоростных высокомоментных двигателей. Такая ориентация не позволяет использовать редукторы с рациональными передаточными числами, что ограничивает возможности направленного влияния на жесткости различных участков схемы устройства.

Важное значение имеет непосредственное влияние, которое может оказать конструктор, на реальные жесткости отдельных деталей устройства.

Широкое распространение начинает получать введение в схему устройства всевозможных амортизирующих и демпфирующих устройств, создание устройств для выборки зазоров. Идут поиски новых конструкций упругих элементов и муфт, обеспечивающих относительный поворот соединяемых узлов под действием динамических нагрузок.

**Разработка критериев оценки рациональной схемы устройства.** Многие проблемы создания работоспособного выталкивающего устройства могут быть решены путем рационального выбора схемного решения. Остановимся на более важных особенностях этих решений.

Отправным пунктом этого этапа работы является анализ и оценка возможности использования уже известных и апробированных схемных решений. Зачастую такие решения соответствуют поставленным задачам, и главным в этом случае является выбор рациональных параметров элементов устройства, обеспечивающих необходимый уровень работоспособности машины. Выбор из ряда решений наиболее рационального связано, в основном, с квалификацией конструктора, с его знанием различных разработанных критериев и схем.

Под созданием рациональной схемы устройства или выбором его рациональных параметров понимают разработку такого проектного решения, которое



наилучшим образом отвечает ряду предварительно сформулированных критериев.

Важнейшими критериями оценки схем выталкивающих устройств коксовыталкивателей, которые были использованы в настоящей работе, являются:

1. Критерий обеспечения параметров процесса и качественных показателей продукции.

2. Критерий работоспособности:

- запас прочности по максимальным нагрузкам
- запас прочности по эквивалентным нагрузкам
- критерий динамичности

3. Экономический критерий

Критерий обеспечения параметров процесса и качественных показателей продукции является исходным, контролирующим соответствие разработанной схемы устройства параметрам процесса и нормам точности, регламентируемым техническим заданием на проектируемое оборудование. Этот критерий не требует специальных обоснований. Очевидно, что создаваемое устройство и его параметры должны обеспечивать проектный диапазон скоростей, нормы точности продукции и т.п. В какой бы степени создаваемая схема устройства ни соответствовала бы другим критериям, она не имеет шансов на реализацию, если не соответствует рассматриваемому.

Понятие «работоспособность» является качественным, и для оценки работоспособности используются значения запасов прочности.

Рассмотрим ряд критериев работоспособности.

Запас прочности по максимальным нагрузкам является важнейшим критерием работоспособности. Его аналитическое описание имеет вид:

$$K_{\max} = \frac{T_{\max}}{T_i}, \quad (1)$$

где  $T_{\max}$  – значение максимальной допустимой по условиям пластичного разрушения нагрузки;

$T_i$  – максимальное значение случайной нагрузки, которая может возникнуть в системе устройства.

Запас прочности по эквивалентным нагрузкам также является важным критерием работоспособности. Аналитически его можно выразить:

$$K_{\text{экв}} = \frac{T_y}{T_{\text{экв}}}, \quad (2)$$

где  $T_y$  – нагрузка, допускаемая по условиям сопротивления усталостному разрушению;  $T_{\text{экв}}$  – эквивалентная нагрузка.

Оценка по этому критерию исключительно важна, т. к. именно отказы усталостного характера типичны для элементов устройства.

Для выталкивающего устройства коксовыталкивателя в связи со сложными режимами нагружения элементов устройства расчет эквивалентных нагрузок представляет определенную трудность как при проектировочной оценке, так и при оценке эксплуатирующегося оборудования. Еще более усложняет его необходимость учета все возрастающих динамических нагрузок [2].

В связи с этим целесообразно представить этот критерий в следующем виде:

$$K_{\text{экв}} = \frac{T_y}{T_{\text{экв.уст}}} \cdot \frac{1}{n_d} = \frac{K_{\text{экв.уст}}}{n_d}, \quad (3)$$

где  $T_{\text{экв.уст}}$  – эквивалентная нагрузка, рассчитанная из условия действия только установившихся нагрузок;  $n_d$  – коэффициент динамичности;  $K_{\text{экв.уст}}$  – запас прочности по эквивалентным нагрузкам спектра установившихся нагрузок.

Такое представление  $K_{\text{экв.}}$  удобно, т. к.  $K_{\text{экв.уст}}$  является функцией только статических параметров процесса и системы устройства, а  $n_d$  отражает реакцию системы устройства на возможные возмущения.

Коэффициент динамичности можно представить в виде:

$$n_d = \frac{T_{\text{экв.}i}}{T_{\text{экв.уст}}}, \quad (4)$$

где  $T_{\text{экв.}i}$  – эквивалентная нагрузка, рассчитанная с учетом действия всех нагрузок, в т. ч. динамических.

Очевидно, что коэффициент  $n_d$  определяет роль динамических нагрузок в формировании эквивалентных. Используя его, можно перейти к оценке роли динамических нагрузок в снижении запасов прочности, долговечности и т. п.

Критерий динамичности имеет сложное аналитическое описание, так как должен учитывать особенности развития крутильных колебаний. По существу, в настоящее время отсутствует математическое описание оценки  $n_d$  применительно к элементам выталкивающего устройства.

Таким образом, показана ответственность динамических нагрузок за увеличение эквивалентных, и, следовательно, за возможные отказы.

**Выводы.** Первостепенное значение для оценки работоспособности выталкивающего устройства коксовыталкивателя имеют значения эквивалентных и максимальных нагрузок.

Классифицированы нагрузки, действующие в выталкивающем устройстве. Установлено, что на величины эквивалентных нагрузок наибольшее влияние оказывают характерные для выталкивающих устройств традиционных конструкций динамические загрузки, вызванные слеживаемостью кокса.

Предельные нагрузки, возникновение которых возможно при аварийных ситуациях, могут являться причинами отказов.

**Список литературы:** 1. *Непомнящий, И. Л.* Коксовые машины, их конструкции и расчеты [Текст] / *И. Л. Непомнящий*. – М.: Металлургиздат, 1963. – 388 с. 2. *Шепелев, И. Г.* Оборудование коксохимических заводов [Текст] / *И. Г. Шепелев*. – М.: Металлургия, 1966. – 332 с. 3. *Вирозуб, И. В.* Механическое оборудование коксохимических заводов [Текст] / *И. В. Вирозуб, Е. Я. Тахтамышев, М. В. Циперович*. – М.: Металлургиздат, 1952. – 292 с. 4. *Непомнящий, И. Л.* Механизация и автоматизация на коксохимическом заводе [Текст] / *И. Л. Непомнящий*. – М.: Металлургиздат, 1962. – 312 с. 5. *Караваяев, Н. М.* Машины и аппараты коксохимического производства [Текст] / *Н. М. Караваяев, И. Я. Пильский, И. Г. Шепелев*. – М.: Металлургиздат, 1955. – 288 с. 6. Справочник Коксохимика [Текст]: Т. I, II, III. – М.: Металлургия, 1964. 7. Штанга виштовхувального пристрою коксовиштовхувача [Текст]: Патент України на корисну модель № 87302 МПК С 10 В 33/10 (2006.01) Риндяев В. I.; Заявл. 19.02.2013; опубл. 10.02.2014. – Бюл. №3. 8. А.С. СССР № 962291, Кл. С 10 В 33/10. Устройство для выталкивания кокса из коксовых печей [Текст]: Филипенко Е. С. и др. Заявл. 19.11.1979; опубл. 30.09.1982. – Бюл. № 36. 9. А.С. СССР № 173698 А1, Кл. С 10 В 7/00. Штанга выталкивающего устройства коксовыталкивателя [Текст]: Чамов А. В., Рогозина Т. В. Заявл. 07.03.1989; опубл. 30.05.1992. – Бюл. № 20. 10. *Иванов, М. Н.* Детали

**Bibliography (transliterated):**1. *Nepomnyashhij, I. L.* (1963). Koksovye mashiny, ix konstrukcii i raschety. *Moscow: Metallurgizdat*, 388.2. *Shepelev, I. G.* (1966). Oborudovanie koksoximicheskix zavodov. *Moscow: Metallurgiya*, 332.3. *Virozub, I. V., Taxtamyshev, E. Ya., Ciperovich, M. V.* (1952). Mexanicheskoe oborudovanie koksoximicheskix zavodov. *Moscow: Metallurgizdat*, 292.4. *Nepomnyashhij, I. L.* (1962). Mexanizaciya i avtomatizaciya na koksoximicheskom zavode. *Moscow: Metallurgizdat*, 312.5. *Karavaev, N. M., Pilskij, I. Ya., Shepelev, I. G.* (1955). Mashiny i apparaty koksoximicheskogo proizvodstva. *Moscow: Metallurgizdat*, 288.6. Spravochnik Koksoximika (1965). T. I, II, III. *Moscow: Metalurgiya*.7. *Rindyaev, V. I.* (2014). Shtanga vishtovxuvalnogo pristroyu koksovishtovxuvacha. Patent Ukraini na korisnu model № 87302 MPK S 10 V 33/10 (2006.01). Zayavl. 19.02.2013; opubl. 10.02.2014. Byul. №3.8. *Filipenko E. S. i dr.* (1982). A.S. SSSR № 962291, Kl. S 10 V 33/10. Ustrojstvo dlya vytalkivaniya koksa iz koksovyx pechej. Zayavl. 19.11.1979; opubl. 30.09.1982. Byul. № 36.9. *Chamov, A. V., Rogozina, T. V.* (1992). A. S. SSSR № 173698 A1, Kl. S 10 V 7/00. Shtanga vytalkivayushhego ustrojstva koksovytalkivatelya. Zayavl. 07.03.1989; opubl. 30.05.1992. Byul. № 20.10. *Ivanov, M. N., Ivanov, V. N.* (1975). Detali mashin. *Moscow: Vysshaya shkola*, 551.

*Поступила (received) 18.04.2015*

## УДК 519.248

**Т. О. СТЕФАНОВИЧ**, канд. техн. наук, доц., НУ «Львівська політехніка»;  
**В. М. ОКСЕНТЮК**, канд. техн. наук, директор спеціального конструкторського бюро електромеханічних систем, НУ «Львівська політехніка»;  
**С. В. ЩЕРБОВСЬКИХ**, д-р техн. наук, с. н. с., науково-дослідної групи ДБ/ТРИКАФ, НУ «Львівська політехніка»

### РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ НАДІЙНОСТІ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПРИЧИН НЕПРАЦЕЗДАТНОСТІ ГІДРАВЛІЧНОЇ СТАНЦІЇ ЗІ СПАРЕНИМИ НАСОСАМИ

Запропоновано математичну модель надійності гідравлічної станції із спареними насосами. Модель адекватно враховує вплив перерозподілу навантаження між спареними насосами на ймовірнісні характеристики причин непрацездатності такої системи. Для математичного опису надійності застосовано динамічне дерево відмов, а для кількісного аналізу розщеплена однорідна марковська модель.

**Ключові слова:** модель надійності, динамічне дерево відмов, марковська модель, гідравлічна станція, причина непрацездатності.

**Вступ.** Гідравлічна станція – це технічна система, яка перетворює енергію приводного двигуна у механічну енергію рідини та керує потоком цієї рідини. Відмова гідравлічної станції спричиняє непрацездатність гідравлічного приводу, і, відповідно, зупинку технологічного обладнання. Одним із способів підвищення надійності гідравлічного приводу є встановлення спарених насосів. Такі насоси працюють паралельно і, у випадку непрацездатності одного із них, інший тимчасово забезпечує працездатність системи. Крім того, спарені насоси можуть застосовуватися для зменшення шуму та моменту інерції гідравлічного приводу.

Під час проектування гідравлічної станції важливим етапом є забезпечення

прийняттого рівня її надійності. Цей етап проектування зводиться не лише до визначення інтегрального показника надійності, але й передбачає аналіз усіх причин її непрацездатності та розроблення рекомендацій щодо підвищення надійності. В гідравлічній станції зі спареними насосами навантаження кожного із насосів залежить від стану, в якому перебуває інший насос. Якщо один із гідравлічних насосів непрацездатний, то навантаження іншого зростає, що прискорює його зношування. Дана публікація присвячена актуальній проблемі підвищення точності аналізу причин непрацездатності гідравлічної станції шляхом врахування впливу зміни навантаження між спареними гідравлічними насосами.

**Аналіз останніх досліджень.** Для побудови моделей надійності гідравлічних станцій виділяємо наступні підходи. У працях [1, 2] застосовують дерева відмов, які базуються на логіко-ймовірнісному методі. Недолік такого підходу полягає у тому, що він не забезпечує адекватне врахування явищ, пов'язаних зі зміною навантаження, а також не розрізняє катастрофічні і некатастрофічні відмови елементів. У статтях [3, 4] використовують моделі надійності, які ґрунтуються на імітаційному моделюванні за методом Монте-Карло. Недолік цього підходу полягає у тому, що одержані результати спотворені флуктуаціями, амплітуда яких для робочого діапазону параметрів співмірна із значеннями досліджуваних характеристик. У працях [5, 6] використовують марковські моделі надійності, які базуються на аналізі простору станів. Основним недоліком таких моделей є обмеження експоненціальним розподілом, а також висока трудомісткість їх побудови.

У даній роботі для розв'язання поставленого завдання використано підхід, який ґрунтується на поєднанні динамічних дерев відмов та марковських моделей надійності. Для послаблення обмеження експоненціальним розподілом застосовуватимемо розщеплення простору станів [7–9], яке забезпечує врахування довільних розподілів і «запам'ятовування» передісторії напруцювання елементів системи за навантаженням.

*У цій статті розв'язано такі завдання:*

- математично описано надійність гідравлічної станції на основі динамічного дерева відмов;
- побудовано модель станів та подій і розщеплену однорідну марковську модель системи;
- визначено кількісні характеристики для усіх причин відмови гідравлічної станції та досліджено вплив на них коефіцієнта навантаження для резервного клапана тиску.

**Опис системи та її динамічне дерево відмов.** В структурі гідравлічної станції виділяємо чотири основних елементи: електричний двигун 1, з'єднані одним валом однакові гідравлічні насоси 2 та 3, а також запобіжний клапан 4 (рис. 1). Гідравлічна станція функціонує наступним чином. Електричний двигун 1 приводить в рух гідравлічні насоси 2 та 3.

Насос 2 через трубопровід 2.1 подає гідравлічну рідину із бака у

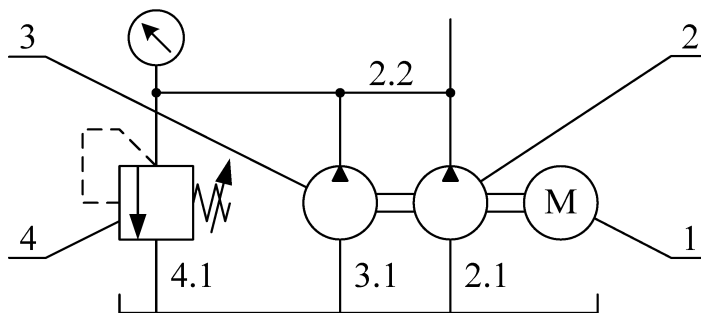


Рис. 1 – Структурна схема системи

робочу лінію

2.2. Насос 3 через трубопровід 3.1 подає гідравлічну рідину із бака у робочу лінію 2.2. Для уникнення підвищення тиску вище допустимого значення у лінії 2.2 встановлено запобіжний клапан 4, який надлишок гідравлічної рідини трубопроводом 4.1 повертає назад у бак. Гідравлічні насоси функціонують за алгоритмом навантажувального резервування. Якщо обидва насоси працездатні, то навантаження розподіляється між ними порівну, і вони працюють у номінальному режимі. Якщо один із насосів стає непрацездатним, то навантаження на інший подвоюється, і він тимчасово працює у перевантаженому режимі.

Формалізуємо надійність гідравлічної станції динамічним деревом відмов, структура якого подана на рис. 2. Звернемо увагу, що з точки зору надійності логічна структурна схема гідравлічної станції утворює послідовно-паралельне сполучення елементів. Динамічне дерево відмов є математичною моделлю, яка описує умову непрацездатності системи та умови зміни навантаження між її елементами на основі блоків, які позначають логічні операції та операції відношення. Непрацездатність гідравлічної станції позначена блоком «Вершина подій». Вважаємо, що така подія є катастрофічною, тобто поки вона не відбулась, ремонтування будь-якого гідравлічного насоса можна виконати стільки разів, скільки у цьому виникає потреба. Відновлений насос за експлуатаційними характеристиками вважаємо аналогічним новому, а інший таким, що має попереднє напрацювання. Після настання відмови гідравлічної станції подальший її ремонт не розглядаємо.

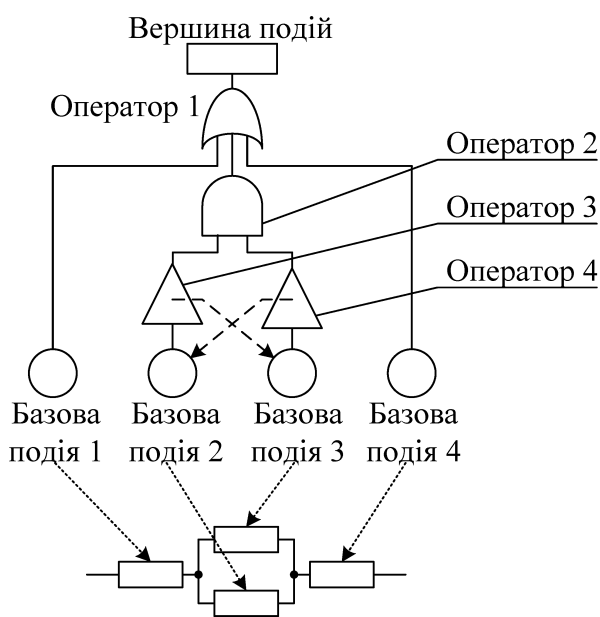


Рис. 2 – Динамічне дерево відмов та структурна схема надійності системи

Відмова гідравлічної станції відбувається, якщо настає хоча б одна із трьох подій, що описано блоком «Оператор 1», тип якого задано логічною операцією АБО. Перша подія настає у разі відмови електричного двигуна 1, що описано блоком «Базова подія 1». Вважаємо, що напрацювання до відмови двигуна розподілено за законом Вейбулла із параметрами  $\alpha_1$  і  $\beta_1$ . Друга подія відбувається внаслідок настання непрацездатності обох гідравлічних насосів 2 і 3, що описано блоком «Оператор 2», тип якого задано логічною операцією І. Непрацездатність насосів позначено блоками «Базова подія 2» і «Базова подія 3», а їх напрацювання до відмови розподілено за законом Вейбулла із параметрами  $\alpha_2$  і  $\beta_2$  та  $\alpha_3$  і  $\beta_3$ . Тривалість ремонтування гідравлічних насосів вважаємо розподіленою експоненціально із параметром  $\mu$ . Третя подія настає внаслідок відмови запобіжного клапана 4, що описано блоком «Базова подія 4». Вважаємо, що напрацювання до відмови клапана розподілено за законом Вейбулла із параметрами  $\alpha_4$  і  $\beta_4$ .

У гідравлічній станції відбувається два динамічних процеси, які полягають у взаємній зміні навантаження гідравлічних насосів 2 і 3 залежно від їх стану. Для

опису цих процесів введемо у структуру динамічного дерева відмов блоки «Оператор 3» і «Оператор 4», які є повторювачами логічного сигналу, і задамо у них умови зміни навантаження. Зокрема, якщо на вхід блоку «Оператор 3» подається логічний сигнал ІСТИННО, тобто гідравлічний насос 2 непрацездатний, то інтенсивність процесу напрацювання гідравлічного насоса 3, заданого блоком «Базова подія 3», збільшуємо в  $k_3$  разів. За аналогією, якщо на вхід блоку «Оператор 4» подається логічний сигнал ІСТИННО, тобто гідравлічний насос 3 непрацездатний, то інтенсивність процесу напрацювання гідравлічного насоса 2, заданого блоком «Базова подія 2», збільшуємо в  $k_2$  разів.

*Модель станів та подій.* На підставі поданого вище динамічного дерева відмов гідравлічної станції згідно із формалізованими правилами [10] складено модель станів та подій. Така модель є математичним описом станів, в яких може перебувати система, та подій, які у ній можуть відбуватися, у проекційному зв'язку до процесів, що у ній протікають. Граф такої моделі подано на рис. 3, а її параметри у табл. 1.

У моделі станів та подій процес напрацювання для електричного двигуна 1 позначено як  $P_1$ , для першого гідравлічного насосу 2 –  $P_2$ , для другого гідравлічного насосу 3 –  $P_3$ , для запобіжного клапана 4 –  $P_4$ . Процес ремонтування для першого гідравлічного насоса позначено як  $P_5$ , а для другого гідравлічного насоса –  $P_6$ .

На рис. 3 працездатні стани системи позначені колом, яке зафарбоване білим, а непрацездатні стани — колом, яке зафарбоване сірим. Система перебуває у десяти станах, із яких три відповідають працездатності –  $S_6$ ,  $S_8$  та  $S_{10}$ . Непрацездатні стани згруповано у три множини, кожна із яких відповідає однаковій причині непрацездатності системи.

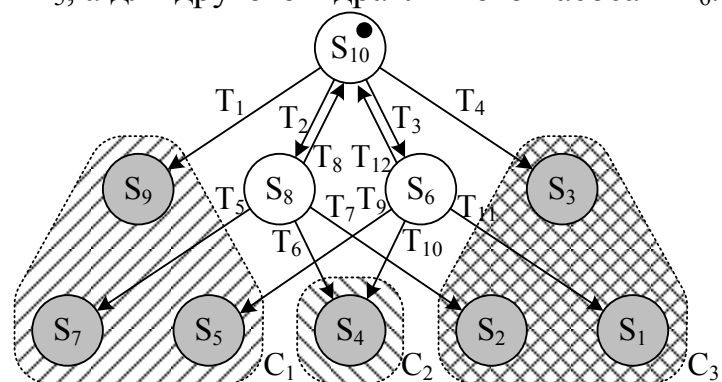


Рис. 3 - Граф станів та переходів системи

Перша множина  $C_1$  відповідає непрацездатності системи внаслідок відмови електричного двигуна. В цю множину входять непрацездатні стани  $S_5$ ,  $S_7$  та  $S_9$ . Друга множина  $C_2$  відповідає непрацездатності системи внаслідок відмови обох гідравлічних насосів, і містить лише один непрацездатний стан  $S_4$ . Третя множина  $C_3$  відповідає непрацездатності системи внаслідок відмови запобіжного клапана і включає у себе непрацездатні стани  $S_1$ ,  $S_2$  та  $S_3$ . У системі відбувається дванадцять подій, із яких вісім спричиняють катастрофічну відмову –  $T_1$ ,  $T_4$ ,  $T_5$ ,  $T_6$ ,  $T_7$ ,  $T_9$ ,  $T_{10}$  та  $T_{11}$ . Параметрами станів є значення коефіцієнтів масштабування для процесів  $P_1$ – $P_6$  та логічна функція  $y$ , яка набуває значення «1», якщо система працездатна, та «0» – якщо ні. Параметрами подій є назва початкового стану, назва процесу, який завершився, та назва кінцевого стану.

Таблиця 1 - Параметри моделі станів та подій гідравлічної станції

№	Опис станів									Опис подій		
	Поч. стан	Графічний опис стану	Коефіцієнти масштабування						Y	Назва події	Заверш. процес	Кінц. стан
			P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>4</sub>	P <sub>5</sub>	P <sub>6</sub>				
1	S <sub>10</sub>		1	1	1	1	0	0	1	T <sub>1</sub>	P <sub>1</sub>	S <sub>9</sub>
2			T <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	S <sub>8</sub>							
3			T <sub>3</sub>	P <sub>3</sub>	S <sub>6</sub>							
4			T <sub>4</sub>	P <sub>4</sub>	S <sub>3</sub>							
5	S <sub>9</sub>		0	0	0	0	0	0	0	—	—	—
6	S <sub>8</sub>		1	0	k <sub>3</sub>	1	1	0	1	T <sub>5</sub>	P <sub>1</sub>	S <sub>7</sub>
7			T <sub>6</sub>	P <sub>3</sub>	S <sub>4</sub>							
8			T <sub>7</sub>	P <sub>4</sub>	S <sub>2</sub>							
9			T <sub>8</sub>	P <sub>5</sub>	S <sub>10</sub>							
10	S <sub>7</sub>		0	0	0	0	0	0	0	—	—	—
11	S <sub>6</sub>		1	k <sub>2</sub>	0	1	0	1	1	T <sub>9</sub>	P <sub>1</sub>	S <sub>5</sub>
12			T <sub>10</sub>	P <sub>2</sub>	S <sub>4</sub>							
13			T <sub>11</sub>	P <sub>4</sub>	S <sub>1</sub>							
14			T <sub>12</sub>	P <sub>6</sub>	S <sub>10</sub>							
15	S <sub>5</sub>		0	0	0	0	0	0	0	—	—	—
16	S <sub>4</sub>		0	0	0	0	0	0	0	—	—	—
17	S <sub>3</sub>		0	0	0	0	0	0	0	—	—	—
18	S <sub>2</sub>		0	0	0	0	0	0	0	—	—	—
19	S <sub>1</sub>		0	0	0	0	0	0	0	—	—	—

**Марковська модель.** Ґрунтуючись на моделі станів та подій системи, згідно із формалізованими правилами [10] формують розщеплену однорідну марковську модель. Таку модель подають системою рівнянь Колмогорова — Чепмена:

$$\frac{d}{dt}\mathbf{p}(t) = \mathbf{A}\mathbf{p}(t),$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{p}(t).$$

де  $t$  – час;  $\mathbf{p}(t)$  – вектор, що містить функції ймовірності фаз;  $\mathbf{y}(t)$  – вектор, який містить функції ймовірності причин непрацездатності.

Марковська модель є множиною матриць, які задають інтенсивності переходів між фазами  $\mathbf{A}$ , початкові ймовірності фаз  $\mathbf{p}(0)$ , а також зв'язок  $\mathbf{C}$  функцій ймовірності фаз із характеристиками надійності системи. Для досліджуваної системи марковська модель подана у виразі:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix}
\vdots & \vdots & \vdots & \mathbf{A}_{T_{11}} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \mathbf{A}_{T_7} & \vdots & \vdots & \mathbf{A}_{T_4} & \vdots \\
\vdots & \vdots & \vdots & \mathbf{A}_{T_{10}} & \mathbf{A}_{T_6} & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\vdots & \vdots & \mathbf{A}_{T_9} & \mathbf{A}_{S_6} & \vdots & \vdots & \mathbf{A}_{T_3} & \vdots & \vdots \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \mathbf{A}_{T_5} & \vdots & \vdots & \mathbf{A}_{T_2} & \vdots \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \mathbf{A}_{S_8} & \mathbf{A}_{T_1} & \mathbf{A}_{S_{10}} & \mathbf{A}_{T_1} & \vdots \\
\vdots & \mathbf{A}_{T_{12}} & \mathbf{A}_{T_8} & \mathbf{A}_{S_{10}} & \mathbf{A}_{T_1} & \mathbf{A}_{S_{10}} & \mathbf{A}_{T_1} & \mathbf{A}_{S_{10}} & \mathbf{A}_{T_1}
\end{bmatrix}, \quad \mathbf{p}(0) = \begin{bmatrix}
\vdots \\
\vdots \\
\vdots \\
\vdots \\
\vdots \\
\vdots \\
\vdots \\
\vdots \\
\mathbf{p}_{S_{10}}(0)
\end{bmatrix},$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix}
\vdots & \vdots & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} \\
\vdots & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} \\
\mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I} & \mathbf{I}
\end{bmatrix}.$$

Компоненти марковської моделі гідравлічної станції формуємо на основі до-поміжних марковських моделей процесів її елементів. Параметри марковських моделей процесів визначаємо згідно із критерієм рівності першого і центрованого другого моментів фактичного розподілу процесу та його допоміжної марковської моделі. Вважаємо, що для процесу  $P_1\{\alpha_1, \beta_1\}$  параметри його допоміжної мар-ковської моделі становлять:  $\{\mathbf{A}_1, \mathbf{p}_1(0), \mathbf{C}_1\}$ , для  $P_2\{\alpha_2, \beta_2\} - \{\mathbf{A}_2, \mathbf{p}_2(0), \mathbf{C}_2\}$ , для  $P_3\{\alpha_3, \beta_3\} - \{\mathbf{A}_3, \mathbf{p}_3(0), \mathbf{C}_3\}$ , для  $P_4\{\alpha_4, \beta_4\} - \{\mathbf{A}_4, \mathbf{p}_4(0), \mathbf{C}_4\}$ , для  $P_5\{\mu\} - \{\mathbf{A}_5, \mathbf{p}_5(0), \mathbf{C}_5\}$  та для  $P_6\{\mu\} - \{\mathbf{A}_6, \mathbf{p}_6(0), \mathbf{C}_6\}$ . Відповідно до вказаних параметрів компоненти марковської моделі усєї системи обчислено згідно із поданими нижче формулами, зокрема для працездатного стану  $S_{10}$ :

$$\begin{aligned}
\mathbf{A}_{S_{10}} &= \mathbf{A}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6 + \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{A}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6 + \\
&+ \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{A}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6 + \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{A}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6, \\
\mathbf{p}_{S_{10}}(0) &= \mathbf{p}_1(0) \otimes \mathbf{p}_2(0) \otimes \mathbf{p}_3(0) \otimes \mathbf{p}_4(0) \otimes \mathbf{p}_5(0) \otimes \mathbf{p}_6(0),
\end{aligned}$$

де  $\otimes$  – оператор тензорного множення;  $\mathbf{E}_1$ – $\mathbf{E}_6$  – одиничні матриці, розмірність яких дорівнює розмірності матриць  $\mathbf{A}_1$ – $\mathbf{A}_6$ .

Для працездатного стану  $S_8$ :

$$\begin{aligned}
\mathbf{A}_{S_8} &= \mathbf{A}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6 + k_3 \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{A}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6 + \\
&+ \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{A}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6 + \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{A}_5 \otimes \mathbf{E}_6.
\end{aligned}$$

Для працездатного стану  $S_6$ :

$$\begin{aligned}
\mathbf{A}_{S_6} &= \mathbf{A}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6 + k_2 \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{A}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6 + \\
&+ \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{A}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6 + \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{A}_6.
\end{aligned}$$

Для подій  $T_1, T_5$  та  $T_9$ , спричинених завершенням процесу  $P_1$ :

$$\mathbf{A}_{T_1} = \mathbf{A}_{T_5} = \mathbf{A}_{T_9} = \mathbf{p}_1 \mathbf{C}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6.$$

Для подій  $T_2$  та  $T_{10}$ , спричинених завершенням процесу  $P_2$ :

$$\mathbf{A}_{T_2} = \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{p}_2 \mathbf{C}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6 \otimes \mathbf{E}_7 \otimes \mathbf{E}_8,$$

$$\mathbf{A}_{T_{10}} = k \mathbf{A}_{T_2}.$$

Для подій  $T_3$  та  $T_6$ , спричинених завершенням процесу  $P_3$ :



$$\mathbf{A}_{T_3} = \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{p}_3 \mathbf{C}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6,$$

$$\mathbf{A}_{T_6} = k \mathbf{A}_{T_3}.$$

Для подій T4, T7 та T11 спричинених завершенням процесу P4:

$$\mathbf{A}_{T_4} = \mathbf{A}_{T_7} = \mathbf{A}_{T_{11}} = \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{p}_4 \mathbf{C}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{E}_6.$$

Для події T8, спричиненої завершенням процесу P5:

$$\mathbf{A}_{T_8} = \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{p}_5 \mathbf{C}_5 \otimes \mathbf{E}_6.$$

Для події T12, спричиненої завершенням процесу P6:

$$\mathbf{A}_{T_{12}} = \mathbf{E}_1 \otimes \mathbf{E}_2 \otimes \mathbf{E}_3 \otimes \mathbf{E}_4 \otimes \mathbf{E}_5 \otimes \mathbf{p}_6 \mathbf{C}_6.$$

У матриці  $\mathbf{C}$  одиничний вектор-рядок  $\mathbf{I}$  має розмірність, яка дорівнює добутку розмірностей усіх матриць інтенсивності переходів  $\mathbf{A}_1$ – $\mathbf{A}_6$ . Цю матрицю складено так, щоб три її рядки відповідали ймовірнісним характеристикам причин непрацездатності системи  $C_1$ – $C_3$ . Одержана модель містить 160 рівнянь.

**Ймовірнісні характеристики системи.** Значення параметрів для елементів гідравлічної станції взято такими:  $\alpha_1 = 20\,000$  год.,  $\beta_1 = 1.1$ ;  $\alpha_2 = \alpha_3 = 2000$  год.,  $\beta_2 = \beta_3 = 1.2$ ;  $\alpha_4 = 10\,000$  год.,  $\beta_4 = 1.3$ , інтенсивність відновлення  $\mu = 0.02$  1/год. На основі розщепленої однорідної марковської моделі обчислено ймовірнісні

характеристики причин непрацездатності гідравлічної станції. На рис. 4 подано сімейство кривих ймовірнісних характеристик для різних значень коефіцієнтів  $k_2$  і  $k_3$ .

Оскільки конструктивно гідравлічні насоси однакові, то беремо, що  $k_2 = k_3$ . Коефіцієнти  $k_2$  та  $k_3$  вказують, наскільки зростає інтенсивність зношування гідравлічних насосів 2 і 3 у перевантаженому режимі порівняно із номінальним режимом. Ці коефіцієнти можуть набувати значень у межах від 1 до  $\infty$ . Суцільні криві 1–5 відповідають ймовірностям непрацездатності системи внаслідок відмови гідравлічних насосів, тобто множині станів  $C_2$ . Штрихові криві 6 і 7 – ймовірностям непрацездатності системи внаслідок відмови електричного двигуна  $C_1$ , а штрих-пунктирні криві 8 і 9 – внаслідок відмови запобіжного клапана  $C_3$ . Криві 1, 6 та 8 відповідають  $k_2 = k_3 = 1$ , крива 2 –  $k_2 = k_3 = 2$ , крива 3 –  $k_2 = k_3 = 3$ , крива 4 –  $k_2 = k_3 = 4$ , а криві 5, 7 і 9 –  $k_2 = k_3 = 5$ . Як видно із рис. 4, зі збільшенням коефіцієнтів  $k_2 = k_3$  в досліджуваних межах ймовірнісна характеристика непрацездатності системи внаслідок відмови гідравлічних насосів зростає у діапазоні, обмеженому кривими 1 та 5, а ймовірнісні характеристики непрацездатності системи внаслідок відмови електричного двигуна, а також внаслідок відмови запобіжного клапана, мають тенденцію до незначного спадання у діапазонах, обмежених кривими 6 і 7 та 8 і 9. Дослідження показало, що залежно від значення коефіцієнтів  $k_2 = k_3$  та досліджуваного часового інтервалу відносний внесок непрацездатності системи вна-

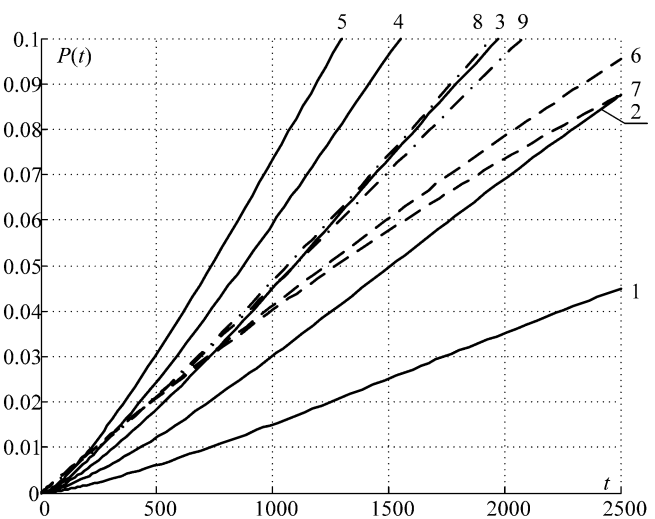


Рис. 4 – Криві ймовірнісних характеристик причин непрацездатності гідравлічної станції

сліджуваного часового інтервалу відносний внесок непрацездатності системи вна-

слідок відмови гідравлічних насосів у загальну непрацездатність системи змінюється. Зокрема, для  $k = \{1; 2\}$  вказана непрацездатність є третьою за пріоритетом. Для  $k = 3$ , а також  $k = \{4; 5\}$  за напрацювання менше 200 год. – другою за пріоритетом. І, для  $k = \{4; 5\}$  і більше за напрацювання понад 1000 год. – першою за пріоритетом.

Одержана марковська модель гідравлічної станції є жорсткою. Така властивість моделі зумовлена розкидом параметрів процесів напрацювання та ремонтування, особливістю методу розщеплення простору станів та впливом коефіцієнтів  $k_2$  та  $k_3$ .

**Висновки.** У статті розроблено математичну модель надійності гідравлічної станції із спареними гідравлічними насосами, призначену для кількісного аналізу причин її непрацездатності. Надійність станції математично описано динамічним деревом відмов, в якому задано логічні умови взаємної зміни навантаження між гідравлічними насосами залежно від їх стану. Ймовірнісні характеристики системи визначено за марковською моделлю, в якій на основі тензорних виразів розщеплення простору станів, враховано вплив перерозподілу навантаження між елементами гідравлічної станції, тривалість напрацювання до відмови яких розподілена за законом Вейбулла. За допомогою цієї моделі проаналізовано, як впливає зміна коефіцієнта збільшення навантаження гідравлічного насоса в аварійному режимі на причини непрацездатності системи. Показано, що збільшення цього коефіцієнта може змінити найімовірнішу причину непрацездатності системи.

Подальші дослідження скеровані на розроблення моделі надійності гідравлічної системи, в якій враховано вплив перерозподілу навантаження, пов'язаний із перемиканням гідравлічного розподільника.

**Список літератури:** 1. *Andrews J. D.* Fast mission reliability prediction for Unmanned Aerial Vehicles [Text] / *J. D. Andrews, J. Pooleb, W. H. Chenb* // Reliability Engineering & System Safety. – 2013. – Vol. 120. – P. 3–9. 2. *Sergio Contini, Vaidas Matuzas.* Analysis of large fault trees based on functional decomposition [Text] / *Sergio Contini, Vaidas Matuzas* // Reliability Engineering & System Safety. – 2011. – Vol. 96, No. 3. – P. 383–390. 3. *Valinčiūsa M.* Integrated assessment of failure probability of the district heating network [Text] / *M. Valinčiūsa, I. Žutautaitė, G. Dundulisa, S. Rimkevičiūsa, R. Janulionisa, R. Bakasb* // Reliability Engineering & System Safety. – 2015. – Vol. 133. – P. 314–322. 4. *Torres J.* Risk classification and uncertainty propagation for virtual water distribution systems [Text] / *J. Torres, K. Brumbelowb, S. Guikemac* // Reliability Engineering & System Safety. – 2009. – Vol. 94, No 8. – P. 1259–1273. 5. *Qing Shuang.* Node vulnerability of water distribution networks under cascading failures [Text] / *Qing Shuang, Mingyuan Zhang, Yongbo Yuan* // Reliability Engineering & System Safety. – 2014. – Vol. 124, No 8. – P. 132–141. 6. *Moghaddassa R.* Availability of a general k-out-of-n:G system with non-identical components considering shut-off rules using quasi-birth–death process [Text] / *R. Moghaddassa, M. J. Zuoa, Wenbin Wangb* // Reliability Engineering & System Safety. – 2011. – Vol. 96, No 4. – P. 489–496. 7. *Manno G.* Conception of Repairable Dynamic Fault Trees and resolution by the use of RAATSS, a Matlab® toolbox based on the ATS formalism [Text] / *G. Manno, F. Chiacchio, L. Compagno, D. D'Urso, N. Trapani* // Reliability Engineering & System Safety. – 2014. – Vol. 121, No 1. – P. 250–262. 8. *Shcherbovskykh S.* Failure intensity determination for system with standby doubling [Text] / *S. Shcherbovskykh, O. Lozynsky, Ya. Marushchak* // Przegląd Elektrotechniczny. – 2011. – Vol. 87, No 5. – P. 160–162. 9. *Mandziy B.* Mathematical model for failure cause analysis of electrical systems with load-sharing redundancy of component [Text] / *B. Mandziy, O. Lozynsky, S. Shcherbovskykh* // Przegląd Elektrotechniczny. – 2013. – Vol. 89, No 11. – P.

244–247.**10.** Щербовських С. В. Математичні моделі та методи для визначення характеристик надійності багатотермінальних систем із урахуванням перерозподілу навантаження: монографія [Текст] / С. В. Щербовських. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 296 с.

**Bibliography (transliterated):****1.** Andrews, J. D., Pooleb, J., Chenb, W. H. (2013). Fast mission reliability prediction for Unmanned Aerial Vehicles. *Reliability Engineering & System Safety*, 120, 3–9.**2.** Sergio Contini, Vaidas Matuzas (2011). Analysis of large fault trees based on functional decomposition. *Reliability Engineering & System Safety*, 96, 3, 383–390.**3.** Valinčiusa, M., Žutautaitėa, I., Dundulisa, G., Rimkevičiusa, S., Janulionisa, R., Bakasb, R. (2015). Integrated assessment of failure probability of the district heating network. *Reliability Engineering & System Safety*, 133, 314–322.**4.** Torresa, J., Brumbelowb, K., Guikemac, S. (2009). Risk classification and uncertainty propagation for virtual water distribution systems. *Reliability Engineering & System Safety*, 94, 8, 1259–1273.**5.** Qing Shuang, Mingyuan Zhang, Yongbo Yuan. (2014). Node vulnerability of water distribution networks under cascading failures. *Reliability Engineering & System Safety*, 124, 8, 132–141.**6.** Moghaddassa R., Zuoa, M. J., Wenbin Wangb. (2011). Availability of a general k-out-of-n:G system with non-identical components considering shut-off rules using quasi-birth–death process. *Reliability Engineering & System Safety*, 96, 4, 489–496.**7.** Manno, G., Chiacchio, F., Compagno, L., D’Urso, D., Trapani, N. (2014). Conception of Repairable Dynamic Fault Trees and resolution by the use of RAATSS, a Matlab® toolbox based on the ATS formalism. *Reliability Engineering & System Safety*, 121, 1, 250–262.**8.** Shcherbovskykh, S., Lozynsky, O., Marushchak, Ya. (2011). Failure intensity determination for system with standby doubling. *Przeglad Elektrotechniczny*, 87, 5, 160–162.**9.** Mandziy, B., Lozynsky, O., Shcherbovskykh, S. (2013). Mathematical model for failure cause analysis of electrical systems with load-sharing redundancy of component. *Przeglad Elektrotechniczny*, 89, 11, 244–247.**10.** Shcherbovskykh, S. (2012). Математичні моделі та методи для визначення характеристик надійності багатотермінальних систем із урахуванням перерозподілу навантаження: монографія, Lviv, Vidavnitstvo Lvivska Politehnika, 296.

Поступила (received) 28.04.2015

УДК 665.64

**И. Л. ЛЕВЧУК**, канд. техн. наук, доц., УГХТУ, Днепропетровск

## СТАТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА

На основе анализа входных и выходных координат выполнена постановка задачи статической оптимизации процесса каталитического риформинга, предложен способ решения этой задачи на основе метода нелинейной оптимизации Хука-Дживса. Проведено исследование оптимальных режимов процесса, предложен способ управления, обеспечивающий увеличение выхода катализата в среднем на 3-5 %.

**Ключевые слова:** нефтепереработка, каталитический риформинг, катализат, статическая оптимизация, базовые режимы, способ управления.

**Введение.** Каталитический риформинг, один из основных процессов современной нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Он широко используется для получения высокооктанового компонента современных бензинов, а также для производства ароматических углеводородов, главным образом бензола, толуола и ксилолов - сырья нефтехимии. Важную роль каталитический риформинг играет и в обеспечении водородом процессов гидроочистки нефтяных продуктов [1].

© И. Л. ЛЕВЧУК, 2015

Вопросам управления и оптимизации процесса каталитического риформинга посвящено достаточное количество исследований и публикаций, среди которых можно выделить работы таких авторов, как J. Crane, J.M. Smith, Ю.М. Жоров, С.А.Ахметов, Г.Н.Семенцов. Авторы данных работ сходятся во мнении, что производительность и технико-экономические показатели данного процесса во многом зависят от эффективности управления установкой каталитического риформинга.

Для формулирования задачи управления, а так же методов ее решения необходимо изучить входные, управляющие и выходные координаты рассматриваемого технологического процесса.

Качество функционирования процесса каталитического риформирования определяется следующими выходными координатами [2]: производительность установки (массовый выход катализата); качество получаемого продукта, определяемое октановым числом продукта (ОЧ); срок службы катализатора риформинга.

Управляющими параметрами, наиболее существенно влияющими на протекание процесса являются [2]: температура газопродуктовой смеси на входе в реакторы; давление в реакторах; объемная скорость подачи сырья; кратность циркулирующего водородосодержащего газа и мольное соотношение водород-сырье.

Изменением этих параметров с учетом качества сырья подбирается жесткость процесса, обеспечивающая заданную октановую характеристику продукта. При этом можно считать, что в течение некоторого промежутка времени при постоянных значениях входных и управляющих координат выходные координаты процесса также постоянны, что соответствует определенному статическому режиму [3].

Основанием для изменения статического режима является изменение входных координат, являющихся возмущениями для процесса каталитического риформинга. Динамические режимы работы установки являются переходными к новому статическому режиму и непродолжительны по времени. Управление установкой в динамическом режиме сводится к выведению переменных состояния на определенные значения статического режима.

Таким образом можно считать, что статический режим является основным режимом работы установки каталитического риформинга.

**Объект и цель исследования.** Объект исследования - процесс каталитического риформинга бензинов в каскаде реакторов.

Целью работы является постановка задачи и разработка метода статической оптимизации процесса каталитического риформинга, а также исследование оптимальных режимов и разработка способа управления, обеспечивающего увеличение производительности данного процесса.

**Материалы и методы исследований процесса каталитического риформинга.** Система оптимального управления процессом каталитического риформинга должна обеспечивать устойчивое функционирование установки в соответствии с поставленной задачей оптимального управления. Особенностью разрабатываемых в данной работе методов, алгоритмов, способов оптимального управления является использование уточненной математической модели технологического процесса, представленной в [4,5], способной обрабатывать качествен-

ную и количественную информацию об объекте управления и осуществлять расчет оптимальных режимов с высокой точностью.

Постановка и решение задачи оптимизации требует определения предварительного состава вектора входных оптимизируемых величин и вида критерия оптимизации [6], обоснование и выбор которых представлен ниже.

Расход циркуляционного газа на входе установки каталитического риформинга ограничен соотношением ВСГ/сырье (кратностью циркуляции ВСГ), значение которого по регламенту составляет 1650-1800 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> [7]. Увеличение соотношения ВСГ/сырье проявляется в двух противоположных направлениях. С одной стороны, повышение парциального давления водорода в смеси подавляет реакции дегидрирования (протекающие с выделением Н<sub>2</sub>), с другой стороны повышение количества нагретого газа, циркулирующего через реактор, уменьшает падение в нём температуры. В результате средняя температура катализатора и скорость протекания реакций увеличивается [2]. То есть существует некоторое оптимальное значение этого параметра внутри или за пределами допустимого диапазона в зависимости от значения других входных величин.

Процесс риформирования протекает с поглощением тепла, поэтому его осуществляют в каскаде из 3-х или 4-х реакторов с промежуточным подогревом реакционной смеси. Температуры на входе каждого реактора могут варьироваться в пределах 450÷530 °С [1,2]. Из-за особенностей протекающих реакций, в первом реакторе имеет место наибольший перепад температур (30-50 °С) а в последнем наименьший (5-12 °С). Для снижения температурного градиента, в промышленных установках риформинга первый реактор имеет наименьший объем катализатора, а последний наибольший. Для трехреакторного блока распределение катализатора по реакторам может составлять от 1:2:4 до 1:3:7 [1,2].

Исходя из вышеизложенного, в качестве управляющих воздействий при оптимальном управлении процессом, выбраны:

- температуры реакционной смеси на входе в каждый реактор;
- расход ВСГ на входе установки каталитического риформинга.

Оптимальное управление процессом риформинга направлено на обеспечение максимальной (или близкой к максимальной) экономической эффективности, одним из важнейших показателей которой служит себестоимость продукции. Отсюда вытекает две равноправные формулировки критерия оптимизации:

1. Максимизация выхода катализата при заданном октановом числе;
2. Максимизация октанового числа, при ограничении на выход катализата.

С точки зрения экономической эффективности, более приемлемой является первая формулировка. Оптимальное управление процессом каталитического риформинга в соответствии с этим критерием оптимизации, как следует из проведенного технико-экономического анализа работы установки каталитического риформинга Одесского НПЗ, позволит достичь оптимума близкого к экономическому.

Математически постановка задачи оптимизации выглядит следующим образом:

$$\lambda(T_n^i, G_{vh}) \rightarrow \max \quad (1)$$

при ограничениях:

$$T_{\min} < T_n^i < T_{\max}, i = 1, 3$$

$$\eta_{h\min} < \eta_h < \eta_{h\max}$$

$$Ok = Ok_0 \quad (2)$$

$$Kg \leq Kg_0$$

$$G_{0\min} < G_0 < G_{0\max}$$

где  $\lambda(T_n^i, G_{vh})$  - целевая функция выхода катализатора, максимизируемая на множестве параметров оптимизации;  $T_n^i, T_{\min}, T_{\max}$  - вектор варьируемых входных температур ( $i=1...3$ ) и границы диапазона варьирования ( $T_{\min}=457^\circ\text{C}$ ,  $T_{\max}=520^\circ\text{C}$ ). Нижний предел определяется температурой зажигания катализатора, а верхний его тепловой стойкостью.

$$\eta_h = \frac{G_{vh}}{G_0}, \eta_{h\min}, \eta_{h\max} \quad (3)$$

$\eta_{h\min}, \eta_{h\max}$  - текущее и предельные значения кратности циркуляции (соотношения ВСГ/сырье).  $\eta$  можно изменять в широких пределах, поэтому для лучшей оценки влияния на процесс нижняя граница этого параметра была снижена по сравнению с регламентной ( $\eta_{h\min}=1000$ ,  $\eta_{h\max}=1800 \text{ Нм}^3/\text{М}^3$ );  $G_{vh}$  - объемный расход ВСГ на входе реакторного блока, выступает в роли варьируемого параметра и ограничен пределами изменения кратности циркуляции;  $Ok, Ok_0$  - текущее и заданное значение октанового числа;  $Kg, Kg_0$  - текущее и заданное значение коэффициента жесткости процесса;  $G_0, G_{0\min}, G_{0\max}$  - нагрузка реакторного блока по объемному расходу гидрогенизата, пределы изменения этой величины ( $G_{0\max}=120 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

Как видно из математической формулировки (1), задача оптимизации является задачей поиска условного оптимума выхода катализатора при пяти простых ограничениях по оптимизируемым переменным (в виде неравенств) и одного нелинейного ограничения по октановому числу в виде равенства. Так как переменные  $T_n^i$ ,  $\eta_h$  и  $Kg$  независимы, учет их границ не составляет труда при использовании любого метода безусловной оптимизации. Ограничение по октановому числу учесть значительно сложнее, так как его значение вычисляется на заключительном этапе расчета по модели и является нелинейной функцией в пространстве входных координат.

Задача оптимизации, имеющая небольшое число линейных ограничений в виде равенств, наиболее просто и эффективно решается методом штрафных функций (метод квадратичного штрафа) [8]. Смысл этого метода заключается в модификации исходной целевой функции путем введения слагаемого пропорционального квадрату ошибки (штраф), возникающей при нарушении ограничения, что сводит задачу условной оптимизации к поиску безусловного оптимума (в допустимой области варьируемых параметров).

Модифицированная целевая функция имеет вид:

$$\lambda_m = \lambda - \frac{1}{P}(Ok - Ok_0)^2 \quad (4)$$

где  $P$  - параметр штрафа ( $0 < P < 100$ );  $\lambda$  - исходная целевая функция.

Представим функцию (4) в более удобной форме:

$$\lambda_m = \lambda \cdot \left(1 - \frac{1}{\lambda \cdot P}(Ok - Ok_0)^2\right) \quad (5)$$

Поскольку  $\lambda \approx 1$ , а  $P$ , как правило, больше единицы, то ничего не изменяя по существу можно записать:

$$\lambda_m = \lambda \cdot \left( 1 - \frac{1}{\lambda} (Ok - Ok_0)^2 \right) \quad (6)$$

Множитель при  $\lambda$  характеризует степень нарушения ограничения, он равен единице, если нарушения нет, и меньше единицы при наличии нарушения ограничения. Таким образом, этот множитель является показателем относительного уменьшения исходной целевой функции, что очень удобно при контроле процесса оптимизации. Параметр штрафа  $P$  выбирается исходя из компромисса между точностью расчета оптимума по исходной функции и точностью выполнения ограничения  $Ok = Ok_0$ . Так при слишком большой величине  $P$ , значимость второго слагаемого в (4) уменьшится, что приведет к росту ошибки определения оптимума относительно ограничения. При излишне малом  $P$  уменьшится роль первого слагаемого, и следовательно, возрастет ошибка определения оптимального решения относительно исходной целевой функции.

В литературе [8] предлагается начинать поиск при большом значении  $P$  с поэтапным его снижением по мере приближения к оптимуму. Однако исследования показали, что достаточные скорость и точность достигаются при постоянном  $P = 5$ .

Новая постановка задачи оптимизации, решаемая методами безусловного поиска оптимума, выглядит аналогично (1), но исходная целевая функция заменена на модифицируемую  $\lambda_m$  (6) и отсутствует ограничение по октановому числу  $Ok = Ok_0$ .

При решении данной задачи применение более эффективных (в большинстве случаев) градиентных методов неприемлемо по двум причинам. Во-первых, не существует аналитических методов для вычисления производных, аппроксимация которых требует значительных затрат времени, что сводит на «нет» все преимущества градиентных методов. Во-вторых, целевая функция в некоторых точках имеет разрывы, вызванные сменой шага интегрирования при работе алгоритма Рунге-Кутты-Мерсона.

Известно, что достаточно эффективным при использовании штрафных функций является метод Хука-Дживса, известный также как метод конфигураций не использующий производных [9]. По существу, процедура Хука-Дживса представляет собой комбинацию исследующего поиска с циклическим изменением переменных и ускоряющего поиска по образцу. Исследующий поиск направлен на выявление характера локального поведения целевой функции и определения направления вдоль «оврагов». Полученная в результате исследующего поиска информация затем используется в процессе поиска по образцу при движении по «оврагам», что позволяет существенно ускорить сходимость по сравнению с методом координатного спуска.

**Обсуждение результатов исследования процесса каталитического риформинга.** Решение вопроса о целесообразности оптимального управления реакторным блоком риформинга зависит, главным образом, от чувствительности оптимальных режимов к возмущающим воздействиям процесса [10]. С этой целью был проведен ряд однофакторных экспериментов относительно основного уровня

возмущающих воздействий, соответствующих базовому режиму, не являющемуся оптимальным. Результаты исследований приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1 – Показатели базового режима

Наименование параметра	Обозначение	Значение
1	2	3
Возмущающие величины		
Качество гидрогенизата:		
Объемный расход	$G_0$ ( $м^3 / ч$ )	105
Углеводородный состав:		
Ароматические	$Y_a$ (мас.доли)	0.12
Нафтеновые	$Y_n$ (мас.доли)	0.33
Парафиновые	$Y_p$ (мас.доли)	0.55
Температура 50% выкипания	$T_{50}$ ( $^{\circ}C$ )	107
Плотность	$R_{on}$ ( $кг / м^3$ )	722
Управляющие величины		
Температура на входе реакторов	$T_n^1$ ( $^{\circ}C$ )	501.2
	$T_n^2$ ( $^{\circ}C$ )	504.6
	$T_n^3$ ( $^{\circ}C$ )	502.3
Объемный расход ВСГ	$G_{vh}$ ( $м^3 / ч$ )	166380
Давление в системе	$P$ (ат.)	35.5
Показатели катализата		
Выход	$\lambda$ (доли)	0.82
Октановое число	$Ok$ (усл.ед.)	78.9

Таблица 2 – Оптимальные режимы процесса каталитического риформинга

$G_0$	$Y_a$	$Y_n$	$Y_p$	$T_n^1$	$T_n^2$	$T_n^3$	$G_{vh}$	$Ok$	$\lambda$
105	0.12	0.33	0.55	469.2	493.6	530.0	105000	78.9	0.86
105	0.12	0.33	0.55	478.4	506.1	530.0	105000	85.0	0.80
80	0.12	0.33	0.55	465.7	488.3	530.0	80000	85.0	0.81
90	0.12	0.33	0.55	469.9	493.1	530.0	90000	85.0	0.81
100	0.12	0.33	0.55	474.7	499.0	530.0	100000	85.0	0.81
120	0.12	0.33	0.55	486.4	512.8	529.6	120000	85.0	0.79
105	0.22	0.33	0.45	472.6	500.2	530.0	105000	85.0	0.82
105	0.12	0.43	0.45	475.1	504.7	529.8	105000	85.0	0.81

Как следует из полученных данных, оптимизация базового режима по управляющим величинам дает увеличение выхода катализата в среднем на 3-5 % для всех исследованных базовых режимов (рис. 1).



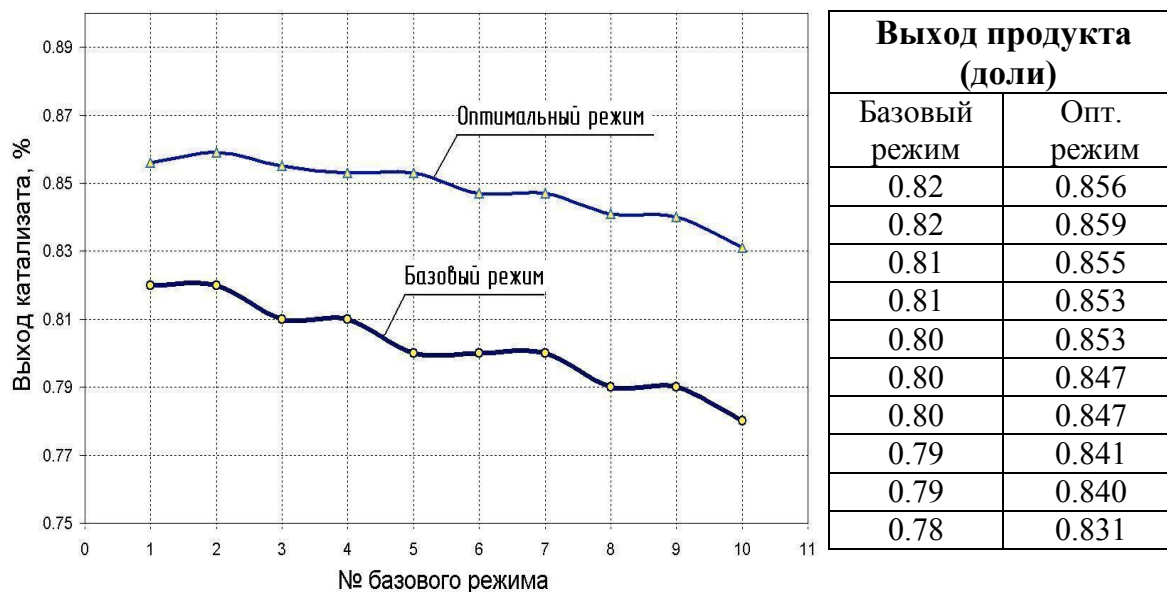


Рис. 1 – Сравнение базовых и оптимальных режимов процесса

Установка более высокого октанового числа приводит к снижению выхода катализата. Увеличение расхода гидрогенизата на реакторный блок незначительно влияет на критерий оптимальности, однако приводит к сдвигу оптимума в сторону более высоких температур. При исследовании влияния группового углеводородного состава гидрогенизата на критерий оптимальности варьировались только значения  $Y_a$  и  $Y_n$ , а  $Y_p$  определялось из условия  $Y_a + Y_n + Y_p = 1$ . Повышение содержания ароматических углеводородов в сырье приводит к большему возрастанию выхода катализата, чем при повышении доли нафтеновых. Во всех случаях температура входа третьего реактора достигает верхнего ограничения, а значение кратности циркуляции лежит на нижней границе диапазона варьирования, что позволяет сделать вывод о возможности производить оптимальное управление только по двум параметрам  $T_n^1$ ,  $T_n^2$  при постоянном предельном значении остальных (табл. 2).

**Выводы.** Представленный в работе способ решения задачи статической оптимизации процесса каталитического риформинга на основе метода нелинейной оптимизации Хука-Дживса, а также способ управления данным процессом путем изменения температуры реакционной смеси на входах первого и второго реактор, при постоянном предельном значении остальных управляющих воздействий, прошли экспериментальную апробацию на основе опытных данных установки каталитического риформинга Одесского НПЗ. По результатам экспериментальной апробации установлено увеличение выхода целевого продукта - катализата в среднем на 3-5 % для всех исследованных базовых режимов установки каталитического риформинга.

**Список литературы:** 1. Каталитический риформинг углеводородов [Текст] : справочник / под ред. проф. Р. И. Кузьминой – Саратов : Издательство СУИ МВД России, 2010. – 252 с. 2. Ахметов С. А. Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа: учебное пособие [Текст] / С. А. Ахметов [и др.] под ред. С. А. Ахметова. – СПб.: Недра, 2006. – 868 с. 3. Глазов Г. И. Каталитический риформинг и экстракция ароматических углеводородов [Текст] / Г. И. Глазов, В. П. Сидорин. – М. : Химия, 1981. – 188 с. 4. Левчук И. Л. Разработка математической модели процесса каталитического риформинга в каскаде реакторов / И. Л. Левчук // Збірник нау-

кових праць НГУ. – 2012. – №39. – С. 122 – 127. **5.** Левчук *И. Л.* Разработка и идентификация уточненной математической модели процесса каталитического риформинга / *И. Л. Левчук* // Науковий вісник НГУ, 2013. – №2. – С. 79–85. **6.** *Nauman E. B.* Chemical reactor design, optimization, and scaleup [Text] / *E. Bruce Nauman* – N. Y. : Rensselaer Polytechnic Institute Troy, 2002. – 618 p. **7.** Левчук *И. Л.* Оптимизация процесса платформинга высокооктановых бензинов [Текст] / *И. Л. Левчук, В. Я. Тришкин* // Сборник научных трудов национальной горной академии Украины. – 2001. – №11. Т. 2. – С. 139–144. **8.** *Алексеева Е. В.* Численные методы оптимизации : учеб. пособие [Текст] / *Е. В. Алексеева* [и др.] – Новосибирск. ун-т. Новосибирск, 2008. 128 с. **9.** *Аттетков, А. В.* Методы оптимизации [Текст] / *А. В. Аттетков, С. В. Галкин, В. С. Зарубин* – М. : МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. – 433 с. **10.** *Островский Г. М., Волин Ю. М., Зиятдинов Н. Н.* Оптимизация в химической технологии [Текст] / *Г. М. Островский, Ю. М. Волин, Н. Н. Зиятдинов* – Казань : Изд-во Академии наук РТ, 2005.– 394с.

**Bibliography (transliterated):** **1.** *Kuz'mina R. I.* (2010). Kataliticheskii riforming uglevodorodov, spravochnik, Saratov, Izdatel'stvo SUI MVD Rossii, 252. **2.** *Akhmetov S. A.* (2006). Tekhnologiya i oborudovanie protsessov pererabotki nefi i gaza, uchebnoe posobie, SPb.: Nedra, 868. **3.** *Glazov G. I., Sidorin V. P.* (1981). Kataliticheskii riforming i ekstraktsiya aromaticeskikh uglevodorodov, M. : Khimiya, 188. **4.** *Levchuk I. L.* (2012). Razrabotka matematicheskoi modeli protsessa kataliticheskogo riforminga v kaskade reaktorov, Zbirnik naukovikh prats' NGU, №39, 122 – 127. **5.** *Levchuk I. L.* (2013). Razrabotka i identifikatsiya utochnennoi matematicheskoi modeli protsessa kataliticheskogo riforminga, Naukovii visnik NGU, №2, 79–85. **6.** *Nauman E. B.* (2002). Chemical reactor design, optimization, and scaleup, N. Y. : Rensselaer Polytechnic Institute Troy, 618 p. **7.** *Levchuk I. L., Trishkin V. Ya.* (2001). Optimizatsiya protsessa platforminga vysokooktanovykh benzinov, Sbornik nauchnykh trudov natsional'noi gornoj akademii Ukrainy, №11, Vol.2, 139–144. **8.** *Alekseeva E. V.* (2008). Chislennyye metody optimizatsii : ucheb. Posobie, Novosibirsk, un-t. Novosibirsk, 128. **9.** *Attetkov, A. V., Galkin S. V., Zarubin B. S.* (2001). Metody optimizatsii, Moscow: MGTU im. N.E.Baumana, 433. **10.** *Ostrovskii G. M., Volin Yu. M., Ziyatdinov N. N.* (2005). Optimizatsiya v khimicheskoi tekhnologii, Kazan', Izd-vo Akademii nauk RT, 394.

*Надійшла (received) 27.04.2015*

УДК 331.45

***В. В. БЕРЕЗУЦЬКИЙ***, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри, НТУ «ХП»

## **ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ПІДХІД ДО ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ ІЗ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

На теперішній час в Україні стали багато уваги звертати на Європейські цінності, у тому числі, закони та норми, що стосуються питань охорони праці. Тому у статті розглянуто питання Євроінтеграції освіти щодо безпеки та гігієни праці. Представлено доповідь по роботі Європейського агентства з безпеки та гігієни праці (occupational safety and health - OSHA) і організація аналогічного освіти в Україні. Показані Міжнародні стандарти з безпеки і ризиків, а також організація підготовки фахівців і завдання вищої освіти на сучасному етапі.

**Ключові слова:** євроінтеграція, освіта, фахівці, безпека, ризик, індикатори, стандарти, OHSAS 18000.

**Вступ.** На теперішній час в Україні стали багато уваги звертати на Європейські цінності, у тому числі, закони та норми, що стосуються питань охорони праці. У нас в Україні та і у Західної Європи багато років констатують наявність виробничого травматизму та професійного захворювання. Різниця тільки у кількості та важкості випадків, а також в організації роботи щодо попередження наступних подібних ситуацій, тобто – профілактиці. На жаль, у цих поганих показниках ми далеко попереду усіх країн Західної Європи. Останні 10-15 років, в нашій країні почали вивчати світовий досвід у вирішенні цих питань, але ще треба багато зробити для його застосування у повному обсязі. Ні які Європейські або світові підходи не зможуть вирішити питання, щодо зменшення травматизму, без комплексного та всебічного застосування усіх важелів регулювання цих проблем на усіх рівнях, починаючи із влади і закінчуючи самим звичайним робітником. Вирішити насущні питання, щодо зменшення травматизму та професійних захворювань на виробництві можливо тільки на умовах використання сучасного обладнання, роботи робітників у комфортних умовах, наявності високої культури праці у керівників та підлеглих, навчання та реального контролю рівня знань безпеки праці та іншого. Зараз ми прагнемо зробити крок до Європейської культури та маємо важкі кайдани від спадщини, що не дозволяють цього зробити. Основне сподівання на вирішення цих питань покладено на нове покоління молодих фахівців, яких зараз готують університети України. Треба вивчати досвід фахівців та розроблювати свої вітчизняні підходи щодо проблем із безпекою та гігієною праці на виробництві.

Спочатку необхідно відповісти на питання, що таке Європейський підхід, тому що Україна це також Європа, та чим цей підхід краще того що ми маємо зараз? Відповідь на це запитання спробуємо знайти у аналізі вирішення безпеки та гігієни праці у європейських країнах.

**Європейське агентство з безпеки та гігієни праці (occupational safety and health - OSHA).** Втілення питань з охорони праці та здоров'я (OSH) в освіту дітей

та молоді має важливу роль в розробці та вдосконаленні культури безпеки на робочому місці. Це визнається в європейських Стратегіях Співтовариства щодо охорони здоров'я та безпеки, і в стратегіях з охорони праці держав-членів ЄС.

Розглядаючи охорону праці у навчальних програмах університетських курсів, OSHA звертає увагу, на те, що важливо інтегрувати гігієну праці на освіту університетського рівня, пропаганду культури безпеки на робочому місці, та дбати не тільки про забезпечення цих працівників знаннями але навчити, як діяти безпечно. Тобто, більше треба приділяти уваги практичним тренуванням, чого зараз у нас забракло. У нас зараз відбувається скорочення саме практичних занять, переслідуючи скорочення загального навантаження на викладача.

Сучасне законодавство з охорони праці у нашій країні не відповідає Європейським вимогам, особливо це стосується питань ризик-орієнтованого підходу - ризики мають бути оцінені і відповідні заходи введені в дію. На всіх рівнях промисловості та бізнесу повинні зрозуміти, що оцінка ризиків та управління ризиками мають важливе значення для ефективного управління бізнесом. Майбутні дизайнери, архітектори, інженери, фінансові співробітники, лікарі та інші медичні працівники і менеджери, і керівники всіх рівнів, аж до рівня директора, серед тих, хто потребує відповідну освіту щодо своїх теперішніх та майбутніх обов'язків з охорони праці та відповідальності. Викладачі та інструктори також повинні з охорони праці мати освіту з метою ефективного виконання вимог OSH.

У звіті OSHA звертають увагу в основному на те, як OSH освіта входить в учбові плани факультетів вищих навчальних закладів. Навчальний план та підхід до втілення охорони праці в освіту, не обмежується однією інтеграцією безпеки і здоров'я в навчальну програму або конкретну дисципліну або предмет. Безпека і здоров'я повинні бути інтегровані на всіх рівнях освіти і в різних предметах. Важливо, щоб вбудувати безпеку у формальні навчальні програми з метою забезпечення узгодженості ризику та системного підходу до освіти, а також стійкість і довговічність. Років 30 назад, таке ж саме питання підіймалось в освіті фахівців, були навіть розроблені плани комплексного навчання студентів усіх спеціальностей, але с часом це забулось і зараз вже ніхто про це не згадує, а саме про це зараз іде мова у рішеннях OSHA.

Отримання охорони праці, вбудованої в навчальні плани, тільки частина процесу. Для вищих навчальних закладів, як і для середніх шкіл існують цілі щодо охорони праці, які повинні бути пов'язані один з одним у «цілому університетському» підході, а саме - безпека і здоров'я, які інтегровані в якості наскрізної теми в програмах на всіх рівнях університетської освіти, де його вкладається в якості обов'язкової складової програми. Це означає, що, наприклад, всі інженерні студенти отримують якусь освіту ризику, і що це не просто додатковий модуль або тільки частина фахівців з охорони праці та інженерного ступеню. Крім того, всі студенти отримують:

- освіту стосовно ризику, яка має відношення до їх професії;
- безпечні і здорові умови в університеті для студентів та співробітників;
- вивчення праці, як невід'ємної частини будь якої практичної роботи студента

і т.п.

В сучасних умовах освітянського процесу, викладачі вимушені проводити заняття в небезпечних та нездорових умовах університетських аудиторій, багато із

яких вимагають ремонту або перебудови. Навчальний процес у цьому випадку програє.

Стратегія Європейського Союзу, щодо здоров'я і безпеці, визначила освіту та професійну підготовку в якості ключових чинників посилення заходів щодо культури людини. Освіта про здоров'я і безпеку не починається з входження у світ праці, вона повинна бути невід'ємною частиною шкільної програми або професійної тематики в кожному власному правовому полі.

Доповідь «Облік безпеки та гігієни праці в освіті. Хорошу практику у школи та професійну освіту», яку було підготовлено та запропоновано OSHA у 2008 році, дає повний огляд прикладів передового досвіду по всій Європі і намітила кроки в напрямку систематичної стратегії інтеграції безпеки та гігієни праці в освіті на європейському рівні.

Розглядаючи це питання, необхідно торкнутися Римської декларації з питань актуалізації охорони праці в освіті та навчанні. Основна мета цієї Римської декларації є підготовка і підтримка людей під час їхнього життя, з дитинства, займаючись у школі та у будь-якому іншому професійному навчальному закладі заходам, що забезпечують безпечні і здорові сили в ЄС завтра.

Кваліфіковані і кількісні цілі для підготовки молодих людей до трудового життя за допомогою освіти та підготовки повинні бути інтегровані в керівних принципах зайнятості; одна з цих кількісних цілей може бути, що "Всі молоді люди, по закінченні школи, мають отримати підготовку з охорони праці, принаймні, 8 годин протягом регулярного навчального курсу...". Кожна держава - член ЄС може вирішити, на якій стадії в житті школи і способи надання цієї підготовки. Основні результати цих вимог можуть бути викладені таким чином:

- Безпека і здоров'я повинні бути невід'ємною частиною навчання впродовж життя від дошкільної освіти до виходу на пенсію;
- Облік та інтеграція забезпечення безпеки і здоров'я в освіті та навчанні значить вчити безпеці та охорони здоров'я у відносинах і поведінки дітей, і молоді і для підвищення безпеки і культурі здоров'я у школах або інших навчальних закладах, у тому числі, на робочих місцях;
- Стратегія Співтовариства у галузі охорони здоров'я та безпеки на роботі закликала до посилення заходів з покращення культури і поліпшення якості роботи та мала на увазі освіту та професійну підготовку. Для досягнення цієї мети, вказувалось на те що, не треба визначити оперативні цілі, щоб підготувати дітей і молодих людей, що працюють за життя, на майбутнє.

Європейська асоціація безпеки (EAS) багато років займається вивченням теоретичних і практичних питань щодо безпеки людини у різних сферах її діяльності, у тому числі і безпеки на виробництві. Щорічно на Міжнародних конференціях та семінарах, провідні фахівці Європи обговорюють ці питання, діляться досвідом набутим на виробництві та університетах. Необхідно зазначити, що це має певний вплив на фахівців із безпеки у нашої країні.

**Сучасне навчання в Україні з питань охорони праці.** Розглянемо схеми за якими працює Західна Європа та Україна, щодо втілення Міжнародних стандартів із безпеки у практиці (рис. 1).

Аналіз цих схем показує, що у Західній Європі усі відповідальності та дії керівних органів знаходяться у відповідності до вимог вертикалі (вертикальна риска

на схемі) влади, а тому усі ланки її діють злагоджено. Навіть якщо не спрацьовує одна з них, то завжди є резервна, яка компенсує цей недолік. Схема відповідальності та дій в Україні, зараз навпаки, дуже розшарована, а тому, кожен рівень діє на свій розсуд і наймання. Закони є, їх достатньо щоб відповідати європейським вимогам але вони не діють у повному обсязі. Освіта відстає від потреб законів та виробництва. Але і виробництва знаходяться у різних ситуаціях. Одні рухаються вперед і співпрацюють зі компаніями Західної Європи та інших країн, що вимагає від них втілення усіх міжнародних стандартів, тому вони не чекають поки їх навчать, а вчаться самі та де інколи допомагають ВНЗ, ділячись своїм набутим досвідом. Інші підприємства, що не дуже поспішають у Європу, працюють на старому обладнанні із старими нормативами та знаннями, а тому вони звично відстають від сучасних вимог.

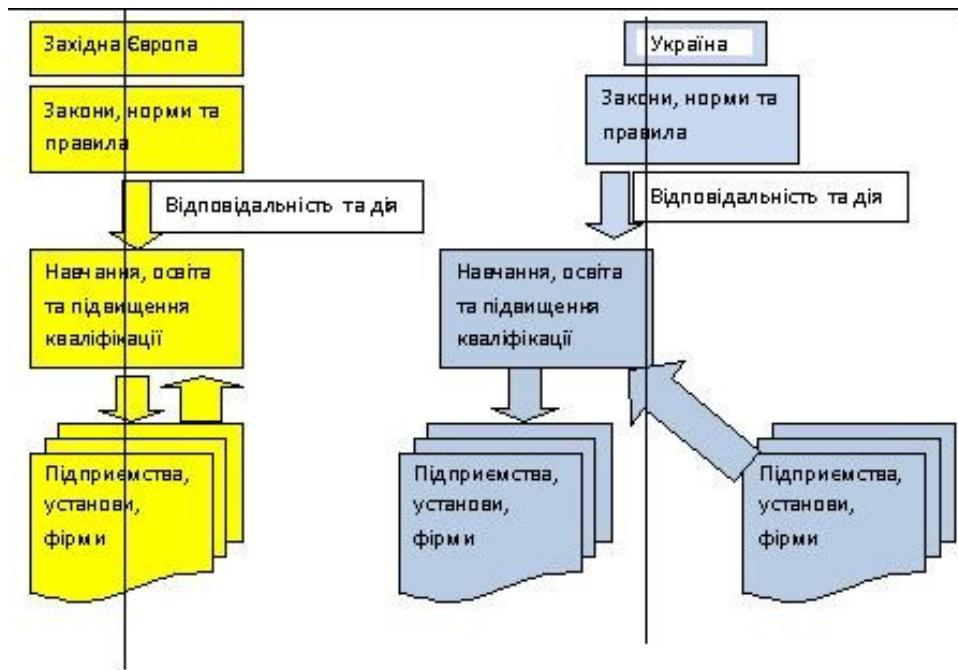


Рис. 1 – Схеми Західної Європи та України щодо відповідності та дії законів та норм із безпеки та гігієни праці у вищій навчальній школі та на виробництвах

При таких схемах, не можна просто брати модель керування системою управління праці на виробництві зробленою відповідно до міжнародних стандартів та застосовувати її вітчизняному підприємстві. Спочатку треба провести відповідну підготовчу роботу, що до вирівнювання умов необхідних для цього втілення і тільки після цього можна починати роботу щодо впровадження міжнародних стандартів із безпеки праці. Як що цього не зробити, то буде витрачено багато ресурсів та енергії робітників, а ефективність буде незначною.

Питання безпеки та гігієни праці є не тільки питанням запобігання травматизму та захворюванням, а це, як сказано було раніш, це питання культури суспільства. Безкультурні люди на виробництві у теперішніх умовах праці, стають небезпечними *індикаторами* ризику.

Навчання в Україні зараз відбувається згідно закону «Про охорону праці», «Типового положення про навчання та перевірку знань з питань охорони праці», та інших документів. Згідно цього положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, було встановлено єдиний порядок навчання та перевірки знань з питань охорони праці посадових осіб та інших працівників у процесі трудової діяльності, а також учнів, курсантів, слухачів та студентів навчальних закладів під час трудового і професійного навчання. Основною

метою було реалізація конституційного права кожного громадянина в Україні на захист життя та здоров'я та для цього навчання його у системі безперервної освіти з питань охорони праці посадових осіб та інших працівників, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків і правил поведінки у разі виникнення аварій. Вимоги Типового положення є обов'язковими для виконання усіма центральними, місцевими органами виконавчої влади, органами місцевого самоврядування, бюджетними установами та суб'єктами господарювання (далі - підприємства) незалежно від форми власності та видів діяльності. Суб'єкт господарювання, який має намір проводити навчання з питань охорони праці працівників інших суб'єктів господарювання, професійну підготовку, перепідготовку та підвищення кваліфікації працівників, які залучаються до виконання робіт з підвищеною небезпекою, письмово повідомляє про це територіальний орган спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з нагляду за охороною праці (Держгірпромнаглядохоронпраці). До письмового повідомлення суб'єкт господарювання надає інформацію про матеріально - технічне, навчально-методичне забезпечення та викладацький склад (із зазначенням спеціальної освіти та стажу роботи за фахом) відповідно до вимог чинного законодавства. Нагляд за дотриманням вимог цього Типового положення здійснюють органи державного нагляду за охороною праці, а контроль - служби охорони праці центральних і місцевих органів виконавчої влади, місцевого самоврядування та підприємств. Координацію і методичний супровід суб'єктів господарювання, які проводять навчання працівників з питань охорони праці, здійснює Головний навчально-методичний центр Держгірпромнаглядохоронпраці та навчальні підрозділи експертно-технічних центрів Держгірпромнаглядохоронпраці.

Як що порівняти із вимогами Європейського бюро OSHA, то можна зробити висновок, що ми повинні були б мати освіту з охорони праці практично на рівні світових стандартів. Але останнім часом, ця ситуація змінюється, у зв'язку із реорганізаціями у системі освіти, а саме скорочення обсягу навчальних дисциплін та обсягу навчальних годин. На жаль ці зміни торкаються і дисциплін, які були колись обов'язковими до вивчення (нормативними) – основи охорони праці, безпека життєдіяльності (рівень бакалавра), охорона праці у галузі (магістр). Згортаються розділи у випускних роботах та дипломних записах. Де хто із керівників МОН України, роблять гучні заяви про те що таких дисциплін не буде у навчальних планах ВНЗ України. Це дуже небезпечно, тому що наслідки цих дій з'являться десь через 5-8 років, коли тих хто робив ці гучні заяви вже мабуть не буде у міністерстві та відповідати буде нема кому. Ті, хто займаються цими питаннями та навчають студентів, розуміють про відповідальність цього та намагаються протистояти цьому але це дуже важко, бо рішення зараз приймаються у вигляді наказів та в обхід науково-методичних комісій (НМК) та фахових рад. Нам кажуть про Євроінтеграцію але на ділі це виглядає як розвал цілісної системи, яка працювала та вже має якийсь досвід. Може вона мала недоліки але те що зараз робиться зруйнує остаточно все що було напрацьовано корисного та мало свій позитивний результат.

На теперішній час усі кафедри що викладають охорону праці, поділяються на три категорії: 1 категорія – навчання охорони праці по усьому ВНЗ, як загально-професійної дисципліні; 2 категорія – спеціальне навчання та підготовка фахівців з охорони праці; 3 категорія, сумісне навчання, як 1 так 2 категорії. У Національно-

му технічному університеті (НТУ «ХПІ») у наявності 3 категорія навчання студентів. Кожна з цих категорій має свій рівень відповідальності за підготовку майбутніх фахівців для різних галузей промисловості. Самий високий рівень відповідальності має 2 та 3 категорії, тому що їм необхідно постійно працювати над удосконаленням курсів що викладаються майбутнім фахівцям з охорони праці, для того щоб вони мали високий рівень конкурентоспроможності. Зараз ці кафедри готують інженерів з охорони праці (за переліком професій), але правильно було називати їх *менеджерами із професійної безпеки та гігієни праці на виробництві*, саме так, як цього вимагають міжнародні стандарти Європи та за якими напрямами відбувається підготовка фахівців у світі.

**Сучасні вимоги з охорони праці на підприємстві.** Насамперед, сучасні вимоги з охорони праці, для усіх хто займається працею, пов'язані із отриманням як можна менше клопоту щодо питань виплат штрафів, простоїв обладнання у зв'язку із аваріями, зменшення продуктивності праці, збільшення кількості захворювань та іншого. Україна зараз вимушена більше звертати уваги на Західну Європу та Америку, як потенційний ринок для своїх товарів але це стає можливим тільки за умов виконання Європейських стандартів та вимог. Усі Міжнародні стандарти мають таку важливу складову, як забезпечення необхідного рівня безпеки виробництва та праці. Окрім цього, ціла низка стандартів розглядають питання охорони праці та соціальної безпеки працівників. Підхід у цьому питанні дуже простий, підприємство яке не забезпечує необхідний рівень безпеки для своїх працівників не може випускати якісну та безпечну продукцію.

Будь який міжнародний стандарт починається із політики керівництва підприємства, а тому *індикатором* готовності підприємства до втілення Європейських стандартів, може буде застосовано наявність Декларації політики керівництва. Якщо вона є, то підприємство рухається у Європейський простір і на ньому будуть виконувати вимоги Європейських стандартів на всіх рівнях, а якщо нема, то відповідно все що роблять на цьому підприємстві або стосується тільки внутрішнього ринку та керівництву цього підприємства нема діла до Міжнародних стандартів, або вони намагаються обдурити своїх підлеглих, кажучи їм про те що вони будуть виконувати Міжнародні вимоги з безпеки праці та середовища.

Системи управління безпекою та гігієною праці OHSAS 18001 є одним із стандартів OHSAS 18000, які є серією стандартів, що містять вимоги та керівні вказівки до розробки та впровадження систем менеджменту професійної безпеки та охорони праці (СМПБтаОП), застосування яких забезпечує можливість організації управляти ризиками в системі менеджменту і підвищувати ефективність її функціонування. Вимоги стандартів відносяться саме до *безпеки праці*, а не безпеки продукції або послуг компанії.

Серія стандартів OHSAS 18000 об'єднує два стандарти:

- OHSAS 18001:2007 - Система менеджменту професійної безпеки та здоров'я. Вимоги.

- OHSAS 18002:2008 - Настанова щодо застосування OHSAS 18001. У даному стандарті цитуються вимоги OHSAS 18001, які доповнюються відповідними керівними вказівками.

Сертифікація системи менеджменту проводиться за стандартом OHSAS 18001. Впровадження вимог стандарту і сертифікація СМПБіОП на відповідність

---



даним вимогам є добровільними, проте наявність сертифіката відповідності може бути обов'язковою вимогою замовника при проведенні тендеру. Сертифікат відповідності вимогам стандарту видається на 3 роки, при цьому щорічно проводиться інспекційний контроль (наглядний аудит) для підтвердження відповідності системи менеджменту охорони здоров'я і забезпечення безпеки праці вимогам стандарту.

Призначення стандарту: мінімізація ризиків виникнення нещасних випадків, аварій та аварійних ситуацій; скорочення витрат на підтримку безпеки умов праці, виплат компенсацій та допомог, сплати штрафів; скорочення витрат на виконання приписів наглядових органів в галузі охорони праці і т.п.; конкурентні переваги впровадження OHSAS 18001; підвищення ефективності бізнесу, зниження невиробничих витрат; зниження непередбачених витрат на ліквідацію наслідків аварій та інцидентів; зниження витрат на сплату штрафів та реалізацію приписів; *зниження ризиків аварій, аварійних ситуацій, нещасних випадків*; підвищення лояльності наглядових органів; підвищення лояльності громадських організацій; підвищення лояльності співробітників організації; можливість залучення цінних фахівців; переваги в тендерах, конкурсах; виконання умов отримання замовлення; підвищення інвестиційної привабливості; підвищення іміджу компанії як соціально орієнтованої; вивільнення вищого керівництва для прийняття стратегічних рішень; підвищення вірогідності успішної реалізації бізнес-планів, досягнення цілей.

Вимоги до системи управління гігієною і безпекою праці (ГіБП) встановлені в міжнародному стандарті OHSAS 18001:2007 «Occupational health and safety management systems - Requirements». В Україні діє відповідна версія національного стандарту ДСТУ OHSAS 18001:2010 «Системи управління гігієною та безпекою праці. Вимоги». Система управління ГіБП - це частина загальної системи управління, спрямована на ідентифікацію небезпек, оцінку та управління ризиками у сфері безпеки і гігієни праці, пов'язаними з діяльністю організації. Система охоплює політику і цілі в області ГіБП, організаційну структуру, процедури та ресурси для розробки, впровадження, досягнення, аналізу і підтримки в робочому стані політики організації в області ГіБП. Впроваджуючи систему управління ГіБП, кожна організація повинна визначити законодавчі та інші вимоги щодо гігієни та безпеки праці, які вона зобов'язана виконувати, і які стосуються її видів діяльності, продукції та послуг, обладнання та приміщень.

Зупинимось далі на стандартах керування ризиками, які саме націлені на виконання зниження аварій, аварійних ситуацій, нещасних випадків, що було показано у вище наведеному стандарті (табл. 1).

На жаль в Україні нема стандарту, щодо ризиків, а є тільки рекомендації та методичні вказівки. Тому зараз дуже важливо, щоб університети, відповідні кафедри з безпеки виробництва, що викладають студентам відповідні курси із ризиків безпеки на виробництві, почали роботу із підприємствами, що до втілення цих Міжнародних стандартів, навчання інженерів з охорони праці, як ними користуватись на практиці. Саме ризиків щодо безпеки виробництва, бо про фінансові, політичні, соціальні та інші вже достатньо багато запропоновано літератури та розробок, а питань, щодо вивчення ризиків виробничої безпеки, обмаль.

У НТУ «ХП» вже розпочали таку роботу, щодо співпраці із підприємствами, щодо втілення цих стандартів, створення удосконаленої системи СУОП, розрахунку ризиків та розробки карт ризиків для робочих місць та інше. Багато універси-

тетів України можуть приєднатись до роботи із підприємствами з метою надання їм допомоги та набуття виробничого досвіду, що буде корисним викладачам OSH, для роботи із навчальними програмами та підручниками.

Таблиця 1 – Стандарти управління ризиками

Номер/коротка назва стандарту	Назва стандарту на англійській мові	Назва стандарту
ISO/IEC 31010:2009	Risk management – Risk assessment techniques	Ризик-менеджмент - Керівництво з оцінки ризиків
ISO/IEC Guide 73	Risk Management – Vocabulary – Guidelines for use in standards	Ризик-менеджмент - Словник - Керівництво по використанню в стандартах
ISO 31000:2009	Risk management – Principles and guidelines	Ризик-менеджмент - Принципи та рекомендації
COSO ERM – Integrated Framework	Enterprise Risk Management – Integrated Framework. 2004 p.	Інтегрована модель управління ризиками
IRM, AIRMIC и ALARM (FERMA RMS)	Risk management standard. 2002 p.	Стандарт управління ризиками (модель RMS)

### Висновки:

- Необхідно налагодити співпрацю із підприємствами, які хочуть пройти шлях Євроінтеграції, щодо питань надання допомоги: із розробки політики соціальної відповідальності керівництва та створення декларації відповідальності; допомоги у складанні методів розрахунків ризиків на робочих місцях та створення індикаторів ризиків, складання карт-ризиків та іншого. Це прискорить процес сертифікації вітчизняних підприємств стосовно різних міжнародних стандартів та отримання відповідних дозволів на торгівлю із провідними країнами Європи. З іншого боку, допоможе викладачам ВНЗ у розробці нових навчальних планів, які будуть більш адаптовані до сучасних вимог виробництва;

- Переробити навчальні програми із Охорони праці, відповідно до вимог Європейських стандартів та більше приділяти у них уваги ризик-орієнтованим підходам. Провести навчання та підвищення кваліфікації викладачів університетів, середніх шкіл, а також фахівців із підприємств, щодо методів втілення Європейських та Міжнародних стандартів на практиці.

**Список літератури:** 1. Облік безпеки та гігієни праці в університеті. Освіта-Люксембург: Публікації бюро Європейського Союзу 2010 – Європейське агентство з безпеки та гігієни праці (ЄС-OSHA) [Текст], 2015 - Інтернет-джерело: <https://osha.europa.eu/en>. 2. Закон України «Про охорону праці». 3. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці (НПАОП 0.00-4.12-05) 4. *Березуцький, В. В.* Теоретические основы безопасности жизнедеятельности [Текст] / *В. В. Березуцький*. – Харьков: ХГПУ, 1999. – 170 с. 5. *Березуцький, В. В.* Разработка универсального показателя опасности оборудования и производств [Текст] / *В. В. Березуцький, А. Н. Древаль* // Охрана труда. – 1997. - №5. – С. 34-37. 6. *Березуцький, В. В.* Универсальный показатель экологической безопасности изделий, производств, районов, городов и областей [Текст] / *В. В. Березуцький, А. Н. Древаль, Н. Е. Мовмыга, О. А. Музыкина* // Вестник ХГПУ. – ХГПУ.– 1998. - Вып. 9. – С. 29 – 30. 7. *Березуцький, В. В.* Производственный риск и человеческий фактор [Текст] / *В. В. Березуцький, И. В. Березуцький* // Безпека життя і діяльності людини-освіта, наука, практика: Матеріали IV науково практичної конференції. - К.: НАУ, 2005 – 288 с. 8. *Березуцький, В. В.* Визначення рівня загрози [Текст] / *В. В. Березуцький, Н. Л. Березуцька* // «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» Матеріали XII Міжнародної науково-методичної конференції (15-17 травня 2013

р., Одеса). Одеський національний морський університет, 2013 - С. 19-22.**9. Березуцький, В. В.** Вступ до спеціальності. Текст лекцій для студентів за напрямком підготовки 6.170202 – Охорона праці. [Текст] / В. В. Березуцький // – Х.: Вид-во ТОВ «Щедра садиба плюс», 2014 – 208 с. ISBN 978-617-7188-93-2.**10. Березуцький, В. В.** Индикаторы опасности / Indicators of danger. [Текст] / В. В. Березуцький // Материали Международной научной конференції «Complex systems security management», 24-28 февраля 2014, Академия вооружённых сил Словакии имени генерала М. Р. Стефаника, г. Липтовский Микулаш. **11.** ДСТУ OHSAS 18001:2010. Системи управління гігієною та безпекою праці [Текст] / ДНАОП. Законодавча база, 2015 – Інтернет-джерело: [http://www.dnaop.com/html/34112/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_OHSAS\\_18001\\_2010](http://www.dnaop.com/html/34112/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_OHSAS_18001_2010). **12.** Международный стандарт ISO 31000-2009 [Текст] / Википедия. Свободная энциклопедия. 2015. - Интернет-источник: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=43170](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=43170).

**Bibliography (transliterated):** **1.** Accounting safety and health at the university. Education-Luxembourg: Publications Office of the European Union 2010 - European Agency for Safety and Occupational Health (EU-OSHA) [text], 2015 - Online source: <https://osha.europa.eu/en>. **2.** Law of Ukraine "On Labor Protection". **3.** Typical provisions on the training and testing of the safety (NPAOP 0.00-4.12-05). **4.** Berezutskyi, V. V. (1999). Theoretical Fundamentals Security safety of living. Kharkiv: HGPU, 170. **5.** Berezutskyi, V. V., Dreval, A. N. (1997). Development of a universal indicators hazards of equipment and productions. Protection of labor, 5, 34-37. **6.** Berezutskyi, V. V., Dreval, A. N., Movmyha, N. E., Muzykyna, O. A. (1998). Universal indicator of ecology safety of products, productions, region, cities and regions. Journal HGPU. HHPU, 9, 29 - 30. **7.** Berezutskyi V. V. (2005). The factor of risk industry and humanly. Safety of life and human activities, education, science and practice: Proceedings of the IV scientific conference. Kiev: NAU, 288. **8.** Berezutskyi, V. V., Berezutsky, N. L. (2013). Counter the threat. "Safety of life and human activity - education, science, the practice of" Materials XII International scientific and technical conference (15 -17 May 2013, Odessa). Odessa National Maritime University, 19-22. **9.** Berezutskyi, V. V. (2014). Introduction to specialty. The text of lectures for students in the direction of preparation 6.170202 - Occupational Safety. H.: Izd Ltd. "Generous homestead plus", 208. **10.** Berezutskyi, V. (2014). Indicators hazards. Indicators of danger. Materials International science conference «Complex systems security management», 24-28 February 2014, the Academy military forces Slovakia behalf of General MR Stefanik, G. Liptovský Mikuláš. **11.** ISO OHSAS 18001: 2010. (2015). Management systems health and safety. DNAOP. The legal framework. Online source: [http://www.dnaop.com/html/34112/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3\\_OHSAS\\_18001\\_2010](http://www.dnaop.com/html/34112/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3_OHSAS_18001_2010). **12.** International Standard ISO 31000-2009 (2015). Wikipedia. Independent Encyclopedia. Internet Source: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=43170](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=43170).

*Надійшла (received) 11.04.2015*

**УДК 044.03;658.11.05.06**

**М. В. ЕВЛАНОВ**, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ, Харків;

**Н. Н. СЕРДЮК**, ассистент, ХНУРЭ, Харків

## **МОДЕЛИ И МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА СОТРУДНИКА ПРЕДПРИЯТИЯ**

Рассмотрены особенности информационных систем управления безопасностью труда на предприятии, недостатки существующих моделей функциональных задач анализа и прогноза изменения состояния сотрудника предприятия, предложены модели и метод, позволяющие описать архитектурные особенности определения функции, которая используется для описания состояния наблюдаемого сотрудника предприятия в конкретный момент времени.

**Ключевые слова:** управление безопасностью труда, вредные производственные факторы, классификация состояния сотрудника, метод Naive Bayes.

**Введение.** Современная практика описания информационных систем (ИС) на разных фазах их жизненного цикла регламентирована стандартом ISO/IEC 15288 [1]. Согласно данному стандарту, ключевым понятием, задающим особенности анализа и синтеза ИС является понятие «архитектура системы». Для описания архитектуры системы стандарт ISO/IEC/IEEE 42010 устанавливает требования к формированию этих описаний, из которых следует зависимость описания архитектуры ИС от точек зрения заинтересованных сторон и моделей, используемых для описания данных точек зрения [2]. Поэтому одной из главных проблем в ходе создания ИС является проблема формирования такого описания ее архитектуры, которая отражала бы согласованные точки зрения на данную систему всех участников проекта по ее созданию [3]. Решение данной проблемы позволяет получить описание функций ИС, входных и выходных данных, а также методов обработки данных этих функций на основе моделей различного рода, отражающих точки зрения отдельных участников проекта и особенности предметной области создаваемой ИС.

**Анализ особенностей описания архитектур информационных систем управления безопасностью труда на предприятиях.** Решение отмеченной выше проблемы является сложным наукоемким процессом. Особенно сильно данная сложность возрастает в ходе создания специализированных ИС, примером которых может служить ИС управления безопасностью труда на предприятии. Проведенный анализ современных систем и технологий управления условиями труда на предприятиях показал, что рынок информационных систем управления безопасностью труда ориентирован на разработку уникальных систем, отвечающих на конкретные потребности заказчика, или же систем документооборота отдела охраны труда и промышленной безопасности. Типовые ИС управления безопасностью труда практически полностью отсутствуют. Примерами ИС, используемых для автоматизации управления ОТ могут служить следующие продукты:

а) автоматизированная система «Труд-Эксперт» v.4.0 for Windows – универсальная система предназначенная для автоматизации процессов аттестации рабочих мест по условиям труда [4];

б) автоматизированная информационная система «Здравтруд» – система, предназначенная для принятия управленческих решений, повышения эффективности расходования средств, снижения уровня травматизма и профзаболеваний, повышения квалификации специалистов по охране труда [5].

Рассмотренные ИС и другие аналогичные им системы ориентированы, прежде всего, на формирование и ведение различных видов отчетной документации. Большинство из них представляют собой разновидности специализированных систем электронного документооборота, при этом стандартные функции управления такого документооборота в рассмотренных системах представлены минимально [6].

Результаты проведенного анализа существующих ИС управления безопасностью труда на предприятии показывают, что ни одна из них не позволяет автоматизировать процесс формирования управляющих воздействий, направленных на повышение уровня безопасности труда. Главной причиной данного недостатка следует признать изначальную неполноту моделей функциональных задач анализа и прогноза, на основе которых могут быть сформированы управляющие воздействия.

Влияние формальных описаний предметной области на описание архитектуры ИС управления безопасностью труда рассмотрено одним из авторов в [архитектура]. В качестве базовой модели для задачи анализа и прогноза изменения состояния сотрудника предприятия в [7] предложено рассматривать модель Гаммерштейна, которую для удобства расчетов разложили в ряд Тейлора

$$\Gamma_2(\vec{\phi}(t), 0, T) = \vec{w}(\tau_0) \cdot \int_0^t f(\phi(t-\tau)) d\tau + \int_0^t R(\tau, \vec{\tau}_0) \cdot f(\phi(t-\tau)) d\tau, \quad (1)$$

где  $\vec{w}(\tau_0)$  – векторная функция, определяющая внутреннее состояние организма человека в начальный момент времени  $\tau_0$ ;  $\vec{f}$  – вектор-функция преобразования входного воздействия вектор-функций вредных производственных факторов на реакцию организма человека;  $\vec{\phi}(t-\tau)$  – вектор-функция воздействия вредных производственных факторов, определяемых за время  $t-\tau$ ;  $\vec{R}(\tau, \vec{\tau}_0)$  – результат изменения состояния организма человека за определяемое время наблюдения в результате воздействия на него вредных производственных факторов.

Однако, нерешенной проблемой остается преобразование отдельных элементов модели (1) к виду, позволяющему отображать особенности структур данных и методов обработки этих данных в рамках описания архитектуры ИС управления безопасностью труда. Поэтому целью данной статьи является разработка моделей и метода, позволяющих описать архитектурные особенности определения функции  $\vec{w}(\tau_0)$ , которая используется для описания состояния наблюдаемого сотрудника предприятия в конкретный момент времени.

**Модель состояний наблюдаемого сотрудника предприятия.** Исходя из рассмотренного в [8] подхода, описание архитектуры ИС управления безопасностью труда будет определяться двумя основными составляющими:

а) концепцией построения данной ИС;

б) набором операций по преобразованию значений комплекса вредных производственных факторов (ВПФ), действующих на организм в значение параметров, определяющих состояние сотрудника предприятия под воздействием данных ВПФ.

Таким образом, для определения описания архитектуры ИС управления безопасностью труда на производстве необходимо определить вид математической модели, используемой для расчета оценки воздействия комплекса ВПФ на человека.

Как показано выше, первым членом модели (1) является векторная функция  $\vec{w}(\tau_0)$ , определяющая внутреннее состояние организма человека в начальный момент времени наблюдения  $\tau_0$ . Данная функция позволяет представить состояние человека в момент  $\tau_0$  как некую величину, которая определяется исходя из вектора параметров человека, определяющего состояние организма человека под воздействием комплекса ВПФ. В качестве параметров, характеризующих состояние человека предлагается выбрать показатели деятельности сердечно-сосудистой системы человека, являющейся критической для описания воздействия электромагнитного излучения и повышенной температуры воздуха на рабочем месте, механизм воздействия которых на организм человека не выяснен до конца, и показатели состояния центральной нервной системы [9, 10]. Наглядными показателями деятельности сердечно-сосудистой системы являются уровни систолического, диастолического артериального давления, частота сердечных сокращений и

время сенсомоторной реакции на световой раздражитель, которое рассматривают как интегральный показатель функционального состояния центральной нервной системы, отражающий такие основные свойства нервной системы, как возбудимость, лабильность и реактивность.

Таким образом, параметры, определяющие состояние человека в некий момент времени  $t$  можно записать в виде:

$$sost_j(t) = \begin{bmatrix} sista_j(t) \\ diasta_j(t) \\ puls_j(t) \\ time_j(t) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $sista_j(t)$  – значение уровня систологического артериального давления сотрудника;  $diasta_j(t)$  – значение уровня диастолического артериального давления сотрудника;  $puls_j(t)$  – значение частоты сердечных сокращений сотрудника;  $time_j(t)$  – значение времени сенсомоторной реакции на световой раздражитель.

Для каждого человека набор параметров, определяющих внутреннее состояние организма и диапазон изменений этих параметров, характеризующих изменение состояния, являются уникальными. В случае, невозможности работы с уникальными индивидуальными наборами параметров и диапазонами их изменения можно воспользоваться табл. 1.

Таблица 1 – Соответствие измеряемых параметров состоянию человека

Состояние человека $sost_j(t)$	Измеряемые параметры			
	$sista_j(t)$ , мм рт.ст.	$diasta_j(t)$ , мм рт.ст.	$puls_j(t)$ , уд/мин	$time_j(t)$ , с
$sost_1$ – «здоров»	120–130	80–85	60–76	$0,2 \pm 0,02$
$sost_2$ – «практически здоров»	130–140	85–90	76–80	$(0,2-0,6) \pm 0,02$
$sost_3$ – «пограничное состояние»	140–145	90–95	80–90	$(0,6-1,6) \pm 0,02$
$sost_4$ – «болен»	>145	>95	>90, <60	<0,18 >1,62

Диапазон значений каждого параметра, приведенного в табл. 1 для состояния  $sost_1(t)$  – «здоров», характерен для здорового человека в состоянии покоя, т.е. не занятого трудовой деятельностью. Ухудшение состояния человека происходит под воздействием ВПФ и характеризуется изменением диапазона измеряемых параметров согласно [11]. Переход системы из состояния  $sost_j$  в состояние  $sost_m$  может происходить в любой момент времени. Желаемой целью каждого сотрудника с точки зрения безопасности труда является сохранение его здоровья и создание предпосылок для поддержания высокого уровня его работоспособности при воздействии на его организм комплекса ВПФ.

Таким образом, предлагается сопоставить оптимальному состоянию организма человека сопоставить  $sost_1$  – «здоров», состояниям организма сотрудников,

формируемым в результате воздействия комплекса ВПФ, предлагается сопоставить состояния  $sost_2$  – «практически здоров», «пограничное состояние» –  $sost_3$ , состояние  $sost_4$  – «болен».

Следует отметить, что уровни артериального давления и частота сердечных сокращений являются независимыми друг от друга параметрами. Такой вывод можно сделать исходя из анализа медицинских исследований по изучению реакции организма на ту или иную физическую нагрузку [12]. Поэтому предложенная модель (2) позволяет использовать для определения состояния человека в конкретный момент времени уже существующие методы решения задач классификации.

**Разработка метода классификации состояния человека по результатам измерений значений параметров.** Как показано выше, для определения состояния человека в конкретный момент времени по измеряемым параметрам необходимо решить задачу классификации одного состояния из множества возможных состояний, определяемых на основе множества независимых параметров.

Данное представление задачи классификации позволяет использовать для определения внутреннего состояния организма человека в начальный момент времени  $\tau_0$  как первого элемента разложения модели Гаммерштейна в ряд Тейлора (1) метод Naïve Bayes [13]. Данный метод позволяет по результатам измерений рассчитать вероятность нахождения обследуемого сотрудника предприятия в каждом из четырех состояний и выделить в качестве решения задачи классификации то состояние  $sost_j(t)$ ,  $j = 1, \dots, 4$ , вероятность нахождения в котором наивысшая. В основе метода Naïve Bayes лежит расчет условной вероятности правильного определения состояния сотрудника по результатам измерений указанных выше параметров.

При этом в ходе выделения обучающей выборки необходимо выбрать один из следующих вариантов решения:

а) анализ сотрудников конкретного предприятия (в том числе с учетом текущей кадры);

б) анализ состояния конкретных сотрудников без учета мест их работы.

Данные варианты определяют дополнительные условия фильтрации записей в ходе формирования обучающей выборки.

Особенностью применения данного метода является невозможность сформировать обучающую выборку желаемых размеров в начальный период эксплуатации ИС управления безопасностью труда на предприятии. Поэтому предлагается в качестве первых обязательных записей в данной обучающей выборке рассматривать записи, описывающие содержание табл. 1. Приведенная в этой таблице информация является усредненным описанием параметров, каждого из состояний по результатам проведенных ранее наблюдений [9–12].

Тогда, принимается гипотеза о равномерности распределения вероятностей для описания классов и значений каждого параметра, в случае проведения наблюдения сотрудника первый раз. Это означает, что  $P(C = sost_j(t))$  будет равна 0,25 для каждого выделенного в таблице состояния. С учетом сказанного метод Naïve Bayes для решения задачи классификации состояния сотрудника, наблюдаемого в момент времени  $\tau_0$  предлагается модифицировать следующим образом.

Этап 1. Проверка существования результатов наблюдений выделенного сотрудника (в том числе на выделенном предприятии). В случае, если таких резуль-

татов в хранилище данных нет – формирование обучающей выборки из четырех обязательных записей, отражающих знание, представленного в табл.1, как усредненные результаты выполненных ранее наблюдений.

Этап 2. Расчет вероятностей  $P(C = sost_1(t))$ ,  $P(C = sost_2(t))$ ,  $P(C = sost_3(t))$ ,  $P(C = sost_4(t))$  на основе обучающей выборки.

Этап 3. Расчет вероятностей для каждого диапазона значений каждого из измеряемых параметров и каждого из состояний на основе обучающей выборки:

$$\begin{aligned} P(sista_i(t) = d_{sista_i(t)} | C = sost_j(t)) = \\ = P(sista_i(t) = d_{sista_i(t)} \cap d_{sista_i(t)} \in [d_j^{\min}, d_j^{\max}] \cap C = sost_j(t)) \\ / P(C = sost_j(t)). \end{aligned} \quad (3)$$

Этап 4. Решение задачи классификации для наблюдаемого сотрудника путем расчета вероятностей

$$\begin{aligned} P(C = sost_j(t) | [sista_i(t), diasta_i(t), puls_i(t), time_i(t)]) = \\ = P(sista_i(t) = d_{sista_i(t)} | C = sost_j(t)) \times P(diasta_i(t) = d_{diasta_i(t)} | C = sost_j(t)) \times \\ \times P(puls_i(t) = d_{puls_i(t)} | C = sost_j(t)) \times P(time_i(t) = d_{time_i(t)} | C = sost_j(t)) / \\ / P([sista_i(t), diasta_i(t), puls_i(t), time_i(t)]), \end{aligned} \quad (4)$$

и нормализации с учетом сформированных классификационных правил:

$$\begin{aligned} P(C = sost_j(t) | [sista_i(t), diasta_i(t), puls_i(t), time_i(t)]) = \\ = \frac{P(C = sost_j(t) | [sista_i(t), diasta_i(t), puls_i(t), time_i(t)])}{\sum_{i=1}^4 P(C = sost_j(t) | [sista_i(t), diasta_i(t), puls_i(t), time_i(t)])}. \end{aligned} \quad (5)$$

**Выводы.** Предложенная модель (2) позволяет наблюдать состояние сотрудника предприятия в конкретный момент времени с использования минимального набора средств диагностики. Это значительно упрощает выполнение данной операции в ходе эксплуатации ИС управление безопасностью труда. Данная модель определяет также описание состояние сотрудника как набора значений предложенных четырех параметров, что определяет архитектурные особенности база данных ИС.

Предложенное в статье усовершенствование метода Naive Bayes позволяет использовать данный метод в ходе определения состояния наблюдаемого сотрудника в момент времени  $\tau_0$  вне зависимости от возможности формирования обучающей выборки на основе исторических данных. Данное усовершенствование значительно снижает затраты на подготовку ИС управления безопасностью труда к вводу в промышленную эксплуатацию за счет отказа от заполнения базы данных этой ИС историческими данными за прошлые временные периоды.

Основной перспективой исследований в этой области является преобразование других элементов модели (1) к виду, пригодному для описания архитектуры ИС управления безопасностью труда и ее компонентов.



**Список литературы: 1.** ГОСТ ИСО/МЭК 15288–2005. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. – Введ. 01–01–2007 [Текст]. – М.: Стандартинформ, 2006. – 57 с. **2.** Systems and software engineering – Architecture description [Электронный ресурс] // Сайт ISO/IEC/IEEE 42010 Website. – Режим доступа: <http://www.iso-architecture.org/ieee-1471/index.html>. – Заголовок с экрана. **3.** Левыкин, В. М. Паттерны проектирования требований к информационным системам: моделирование и применение: монография [Текст] / В. М. Левыкин, М. В. Евланов, М. А. Керносов. – Харьков: ООО «Компанія «Сміт», 2014. – 320 с. **4.** Автоматизированная информационная система «Здравтруд» [Электронный ресурс] // Сайт научно-производственного предприятия «Этна – Информационные технологии». – Режим доступа: <http://www.etna-it.ru/> – Заголовок с экрана. **5.** Автоматизированная система «Труд-Эксперт» v.4.0 for Windows [Электронный ресурс] // Сайт Клинского института условий и охраны труда. – Режим доступа: <http://www.kiout.ru/>. – Заголовок с экрана. **6.** Сердюк, Н. Н. Функциональная задача оценки влияния вредных производственных факторов на человека [Текст] / Н. Н. Сердюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 4/4 (64). – С. 22-25. **7.** Сердюк, Н. Н. Модели типа Гаммерштейна для описания нелинейного воздействия группы факторов на организм человека [Текст] / Н. Н. Сердюк // Радиозлектроника и информатика. – 2006. – № 1. – С. 111–113. **8.** Сердюк, Н. Н. Архитектура информационно-аналитической системы управления безопасностью производства [Текст] / Н. Н. Сердюк // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – 2015. – № 167. – С. 17–22. **9.** Бинин, А. В. Биоэффекты СВЧ–излучений судовых навигационных радиолокаторов в хроническом эксперименте [Текст] / А. В. Бинин, В. Н. Никитина, Г. Г. Ляшко, Е. С. Шапошникова // Медицина труда и промышленная экология. – 2004. – N 7. – С. 45–47. **10.** Давыдов, Б. И. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений [Текст] / Б. И. Давыдов, В. С. Тихончук, В. В. Антипов – М.: Энергаториздат, 1984. – 176 с. **11.** Баевский, Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии [Текст] / Р. М. Баевский – М.: Медицина, 1979. – 286 с. **12.** Сайт БИБЛИОФОНД: электронная библиотека. Изменение частоты сердечных сокращений и артериального давления при выполнении стандартной физической нагрузки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bibliofond.ru/view.aspx>. – Заголовок с экрана. **13.** Барсегян, А. А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP [Текст] / А. А. Барсегян, М. С. Курпьянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб.: БХВ-Санкт-Петербург, 2008. – 384 с.

**Bibliography (transliterated):** **1.** GOST ISO/MEK 15288–2005. System engineering. Processes of life cycle of the systems. – Vved. 01–01–2007 (2006). Moscow: Standartinform, 57. **2.** Сайт ISO/IEC/IEEE 42010 Website [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.iso-architecture.org/ieee-1471/index.html>. – Zagolovok. s ekrana. **3.** Levikin, V. M. (2014) Pattern planning of requirements to the informative systems: design and application: monograph. Kharkov: The «Kompaniya «Smit LTD», 320. **4.** Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema «Zdravtrud» [Elektronnyj resurs] / Nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Etna — Informacionnye tehnologii». — Rezhim dostupa: <http://www.etna-it.ru/> — Zagolovok. s ekrana. **5.** Avtomatizirovannaya sistema "Trud-Ekspert" v.4.0 for Windows [Elektronnyj resurs] / The Klinskiy institute of terms and labour protection. — Rezhim dostupa: <http://www.kiout.ru/> — Zagolovok. s ekrana. **6.** Serdyuk, N. N. (2013). Functional task of estimation of influencing of harmful production factors on man. Vostochno-evropeyskiy magazine of front-rank technologies, 4/4 (64), 22-25. **7.** Serdyuk, N. N. (2006). Models of the Hammerstein type for description of nonlinear influence of group of factors on the organism of man. Radio electronics and informatics, 1, 111–113. **8.** Serdyuk, N. N. (2015). Architecture of the informatsionno-analiticheskoy system of management by safety of production. The automated systems of management and devices of automation, 167, 17-22. **9.** Binin, A. N, Nikitina, V. N., Lyashko, G. G., Shaposhnikova, E. S. (2004). Bioeffekti of SVCh–radiations of ship navigation radio-locators in the chronic experiment. Medicine of labour and industrial ecology, 7, 45–47. **10.** Davidov, B. I., Tihonchuk, V. S., Antipov, V. V. (1984). Biological action, setting of norms and defence from the electromagnetic. M.: Energatomizdat, 176. **11.** Baevskij, R. M. (1979). Prognozirovanie sostoyanij na grani normy i patologii. Moscow: Medicina, 286. **12.** Сайт БИБЛИОФОНД: electronic library. Change of frequency of cardiac abbreviations and arterial pressure at implementation of the standard physical loading [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://bibliofond.ru/view.aspx>. – Zagolovok. s ekrana. **13.** Barsegyan, A. A. (2008). Tehnologii data analysis: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. SPb.: BHV-St-Petersburg, 384.

Поступила (received) 26.04.2015

*О. А. КАТРИЧ*, соискатель, УИПА, Харьков

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Проведен анализ требований международных стандартов на системы менеджмента качеством предприятий, который показал необходимость оценивать и управлять процессами, а так как они различны, то для этого нужно применять разные подходы. Рассеивания показателей качества некоторых процессов во времени показал выполнение принципа эргодичности и регулярности, что позволяет для его управления применять теорию цепей Маркова. Показан алгоритм получения матрицы перехода.

**Ключевые слова:** международный стандарт; менеджмент; прогнозирование; процесс; квалиметрия; цепи Маркова; рассеивание

**Введение.** Последние два десятилетия украинские предприятия и организации активно разрабатывают и внедряют системы менеджмента качества (СМК), но большинство из них не смогли добиться улучшения экономических показателей. Наиболее серьезной причиной, препятствующей достижению желательного эффекта, заключается в отсутствии методов и методик количественной оценки качества процессов и системы в целом. Таким образом, встает вопрос о необходимости выработки критериев, а также создания методов параметрического анализа и комплексного оценивания процессов СМК предприятий, доведенных до практической реализации.

Анализ требований международных стандартов ISO серии 9000 подтверждает необходимость оценивания процессов системы менеджмента качества (СМК). Так, например, в разделах стандарта [1] указано, что организация должна осуществлять мониторинг, измерять и анализировать процессы. Поскольку, предприятия, которые в современных условиях развития производства стремятся произвести конкурентоспособную продукцию, обязаны выполнять изложенные в стандарте требования, то актуальной является задача разработки методов оценивания и прогнозирования процессов СМК.

Целью работы является проанализировать рассеивание показателей качества процессов во времени и определить оптимальный математический аппарат для их прогнозирования.

**Анализ работ и постановка задачи.** Анализ научной литературы по квалиметрии [2 - 6] показал, что не приемлемо для оценивания СМК применять существующие методики оценивания по разным причинам. Во первых не существует одинаковых систем на различных предприятиях, так как их сложность зависит от вида выпускаемой продукции или услуги, масштабов и структуры предприятий, от квалификации персонала и многих других факторов. Во вторых не существует единой методики оценивания, так как каждое предприятие должно самостоятельно определить цели в области качества и показатели качества системы, в зависи

мости от этапа ее развития и совершенства. Кроме этого большое разнообразие квалитметрических методов оценивания требует глубокого научного исследования в части оптимальности и эффективности их использования для каждого конкретного случая.

Так как СМК постоянно совершенствуются, постоянно развиваются инструменты и методы управления, постоянно прогрессируют информационные технологии, коммуникационные системы, появляются и быстро распространяются новые управленческие концепции, то появляется необходимость решения научно-практической задачи - оценивания процессов как объекта квалитметрии.

Анализ работ отечественных и зарубежных авторов, посвященных количественному оцениванию процессов и СМК предприятий показал, что они основываются на определении результативности и эффективности, однако значения данных показателей можно получить уже после выпуска продукции или предоставления услуг, что не дает возможности оперативно управлять процессом.

**Применение цепей Маркова, для оценивания процесса во времени.** В соответствии с [7], процесс – это совокупность взаимосвязанных видов деятельности, которые превращают входы на выходы. Другими словами, это модель "черный ящик", выходом которой является результаты измерений в количественном выражении. Среди таких процессов могут быть любые технологические или управленческие процессы, которые возможно оценить.

Для решения задач управления в социологии, биологии и естественнонаучных дисциплинах используются цепи Маркова, однако теория марковских процессов из-за относительной сложности своего математического аппарата не находила до сих пор должного применения в изучении процессов в социально-экономических системах, которой является СМК.

В теории марковских цепей принимается, что закон распределения ординаты процесса в любой будущий момент времени  $t(1)$  зависит только от значения ординаты в данный момент времени  $t(0)$  и не зависит от того, какие ординаты имела функция в прошлом. Таким образом, теория марковских процессов позволяет исследовать ряд задач, касающихся переходных процессов, решение которых методами корреляционной теории получить невозможно.

Прежде чем использовать теорию марковских процессов для оценивания процессов, необходимо определить к какому классу принадлежит тот или иной процесс. Рассмотрение точечной диаграммы действительных показателей качества одного из процессов показано на рис. 1. Из рис. 1 видно, что: 1) процесс может перейти из одной зоны заданного интервала в противоположную, например: переход  $A_0$  в  $A_1$  или наоборот переход  $A_1$  в  $A_2$ ; 2) процесс может продолжать движение в том же

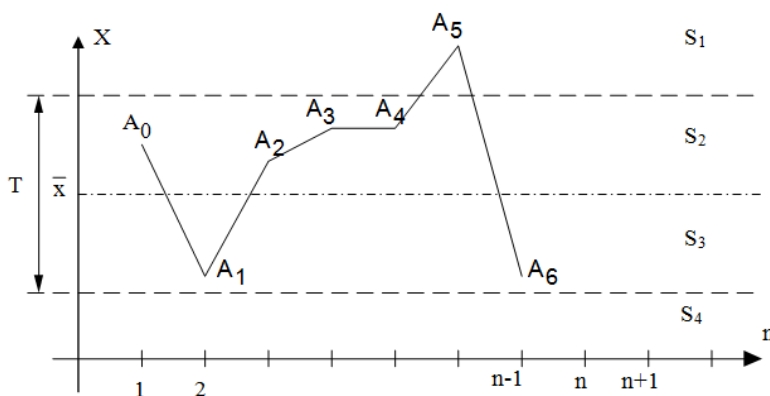


Рис. 1 – Характерные случаи распределения показателей процессов

одной зоны заданного интервала в противоположную, например: переход  $A_0$  в  $A_1$  или наоборот переход  $A_1$  в  $A_2$ ; 2) процесс может продолжать движение в том же

направлении, переход А2 в А3; 3) процесс может оставаться на достигнутом уровне, переход А3 в А4; 4) процесс может выходить за пределы интервала с возвратом в его пределы, переход А4 в А5 в А6. Отсюда можно сделать вывод, что рассеивание показателей качества такого процесса является эргодическим и регулярным, что позволяет для его управления применять цепи Маркова.

Поскольку результат процесса может находиться в одном из N состояний, то для каждого момента времени  $t_k$  необходимо задать  $N^2$  вероятностей перехода  $p_{ij}$ , которые удобно записать в виде матрицы:

$$P_{ij} = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1N} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{N1} & p_{N2} & \dots & p_{NN} \end{pmatrix} \quad (1)$$

В обозначениях  $P_{ij}$  первый индекс означает состояние процесса в предшествующий момент времени, а второй указывает на возможное состояние системы в последующий момент.

Покажем методику определения переходной матрицы  $P_{ij}$ , для чего разобьем поле рассеяния (Т) действительных значений результата процесса на шесть зон (рис. 2) [8]. Ширина каждой зоны устанавливается равной среднеквадратическому отклонению. Середина соответствует среднему арифметическому значению ( $\bar{X}$ ).

Воспользуемся классическим определением вероятности наступления события: вероятность наступления события P(A) есть отношение числа элементарных событий, произошедших A(M) к числу всех возможных элементарных событий A(N).

На первом этапе подсчитываем частоту нахождения процесса в соответствующей зоне  $S_i$  (рис. 2).  $N_i = \sum S_i$  – количество попаданий в зону  $S_i$

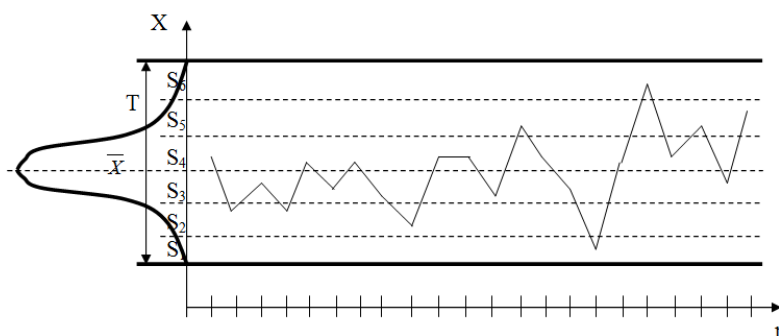


Рис. 2 – Точечная диаграмма распределения показателей процесса

На втором этапе подсчитываем количество переходов из  $i$ -й зоны в любую другую  $M_{ij}$ , например: сколько раз процесс из зоны  $S_2$  перешел в зону  $S_5$ , после чего считаем сколько было переходов из той же зоны  $S_5$  в зону  $S_2$  и т.д. Составим вектор-столбец попадания процесса в соответствующую зону:

$$N_i = \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \\ n_5 \\ n_6 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$M_j = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} & \dots & \dots & \dots & M_{1n} \\ M_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{n1} & \dots & \dots & \dots & \dots & M_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

Количество переходов из  $S_i$ -ой зоны в  $S_j$ -ю составляет матрицу  $M_{ij}$ .  
Вероятность перехода  $P_{ij}$  определяем согласно соотношения:

$$P_{ij} = \frac{M_{ij}}{N_i} \quad (4)$$

$$P_{ij} = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{matrix} & \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & \dots & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & \dots & \dots & \dots & \dots & P_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (5)$$

Особенность данной матрицы состоит в том, что в каждой строке записаны вероятности всех возможных переходов из выбранного состояния, в том числе и переход в самое себя. Эти переходы образуют полную группу событий, так что сумма вероятностей каждой строки равна единице. Т.е. матрица перехода - это непременно квадратная матрица с неотрицательными элементами, образующими по строкам единичную сумму. Матрицы такого рода в литературе называются стохастическими [9].

Вероятности перехода - важнейшие характеристики любой марковской цепи, однако, они по определению являются условными, и поэтому значение матрицы перехода не полностью определяет цепь Маркова. Если отнести матрицу перехода к первому шагу, определяющему начало работы системы, то для исключения условности необходимо задать еще вероятности начальных состояний - начальные условия.

Вероятности начальных состояний  $p_1^{(0)}, p_2^{(0)}, \dots, p_N^{(0)}$  являются безусловными вероятностями и образуют матрицу-строку  $P_0 = (p_1^{(0)}, p_2^{(0)}, \dots, p_N^{(0)})$ , сумма элементов которой по условию нормировки должна быть равна единице. Характер распределения вероятностей начальных состояний целиком определяется условиями задачи. В частности, в начальный момент система может находиться в каждом из  $N$  состояний с равной вероятностью. При этом  $p_i^{(0)} = 1/N$  для всех  $i$ .

Матрица перехода дает исчерпывающее представление о вероятностях возможных переходов за один шаг. Естественно возникает вопрос: как рассчитать вероятности того, что система, находящаяся в данный момент в состоянии  $S_i$ , перейдет в состояние  $S_j$  за  $2, 3, \dots, n$  шагов. Иными словами, требуется найти матрицы перехода для заранее заданного числа шагов, если известна матрица перехода за один шаг.

Для однородной цепи Маркова вероятность перехода системы из  $i$ -го состояния в  $j$ -е за два шага  $p_{ij}(2)$  определяется следующим очевидным соотношением, которое учитывает все возможные пути перехода [10]

$$p_{ij}(2) = \sum_{i=1}^N p_{ij} p_{ij}, \quad i, j = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

где  $p_{ij}$  - элементы заданной матрицы перехода за один шаг.

Совокупность вероятностей перехода за два шага  $p_{ij}(2)$  составляет матрицу перехода за два шага  $P(2)$ :

$$P(2) = \begin{pmatrix} p_{11}(2) & p_{12}(2) & \dots & p_{1N}(2) \\ p_{21}(2) & p_{22}(2) & \dots & p_{2N}(2) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{N1}(2) & p_{N2}(2) & \dots & p_{NN}(2) \end{pmatrix} \quad (7)$$

Соотношение (7) позволяет заключить, что матрица  $P(2)$  является произведением двух одинаковых матриц перехода, т.е.  $P(2) = P * P = P^2$

Аналогично вероятность перехода системы из  $i$ -го в  $j$ -е состояние за три шага  $p_{ij}(3)$  можно вычислить по формуле:

$$p_{ij}(3) = \sum_{i=1}^N p_{ij}(2) p_{ij} = \sum_{i=1}^N p_{ij} p_{ij}(2) \quad (8)$$

Это означает, что матрица перехода за три шага  $P(3)$  равна произведению матриц перехода за один и два шага:

$$P(3) = P(2)P = P * P(2) = P^3 \quad (9)$$

Ясно что матрица перехода за  $n$  шагов  $P(n)$  вычисляется как  $n$ -я степень матрицы перехода за один шаг:

$$P(n) = P^n \quad (10)$$

Зная матрицу перехода (10) можно решать ряд практических задач по оцениванию и управлению процессом СМК, а именно прогнозировать состояния процесса на некоторое время вперед, оценивать близость показателей процесса к предельно-допустимым границам и др., что позволит управлять процессом, влияя на показатели его качества.

**Выводы.** Анализ требований международных стандартов ISO серии 9000 подтверждает необходимость оценивания процессов системы менеджмента качества. В разделах международных стандартов (п. 4.1; п. 5.6.2; п. 8.1; п. 8.4) указано, что организация должна осуществлять мониторинг, измерять и анализировать процессы. Анализ рассеивания показателей процесса во времени показал выполнение принципа эргодичности и регулярности, что позволяет для его управления применять теорию цепей Маркова. 3. Предложен алгоритм получения матрицы вероятностей перехода, что дает возможность решать ряд практических задач по оцениванию и управлению процессами.

**Список литературы:** 1. Системи управління якістю. Вимоги: ДСТУ ISO 9001:2009. – [Чинний від 2009-09-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 72 с. – (Національний стандарт України). 2. Азгальдов Г. Г. О квалиметрии [Текст] / А. А. Азгальдов, Э. П. Райхман. // Издательство стандартов, – М - 1973 – 172с. 3. Байцар Р. І. Стандарти ISO серії 9000: еволюція підходів до

управління якістю [Текст] / *Р. І. Байцар, А. В. Гунькало* // Збірник матеріалів VI Всеукраїнського науково-практичного семінару „Якість: проблеми та рішення”. – Х., 2006 – С. 35-36.**4.** *Бичківський Р. В.* СУЯ: оцінювання ефективності функціонування [Текст] / *Р.В. Бичківський, А. В. Гунькало* // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2005. – № 4. – С. 42-46.**5.** *Федюкин В. К.* Основы квалиметрии. Управление качеством продукции. [Текст] / *В. К. Федюкин.* – М.: Информационно-издательский дом «Филинъ», - 2004. – 296 с.**6.** *Шакин Ю.* Объективно оценивать качество [Текст] / *Ю. Шакин* // Стандарты и качество. – 1966. – № 11.**7.** Системи управління якістю. Основні положення та словник: ДСТУ ISO 9000:2007. – [Чинний від 2008-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2008. – 72 с. – (Національний стандарт України).**8.** *Арпентьев Б.М.* Алгоритм системы управления точностью обработки [Текст] / *Арпентьев Б.М., Гордеев А.С., Триш Р.М.* // Вестник Харьковского государственного политехнического университета: Машиностроение. – Харьков – 1999 – вып. 54 – с. 7-11.**9.** *Кемени Дж.* Конечные цепи Маркова. [Текст] / *Кемени Дж, Снелл Дж.*// Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука» - 1970 – 320с.**10.** *Казаков В.А.* Введение в теорию Марковских процессов и некоторые радиотехнические задачи. [Текст] / *Казаков В.А* // М., «Советское радио» - 1973 - 232с.

**Bibliography (transliterated):****1.** *Kazakov, V. A. (1973). Vvedenie v teoriuu Markovskikh protsessov i nekotorye radiotekhnicheskie zadachi. [Introduction to the theory of Markov processes and some radiotechnical problems].* Moscow: "Sovetskoe radio".**2.** *Fedyukin, V. K. (2004). Osnovy kvalimetrii. Upravlenie kachestvom produktsii [Fundamentals qualimetry. Quality management product].* Moscow: Informatsionno-izdatelsky dom "Filin".**3.** *Azgaldov, G. G. & Rajchman, E. P. (1973). O kvalimetrii. [About qualimetry].* Moscow: Izdatelstvo standartov.**4.** *Kemeni, J. & Snell, J. (1970). Konechnye tspi Markova. [Finite Markov chains].* Glavnaia redaktsiia fiziko-matematicheskoy literatury izdatelstva "Nauka".**5.** *Shakin, Y. (1966) Obektivno otsenivat kachestvo. [Objectively assess the quality]. Standartu i kachestvo, 11.***6.** *Bajtcар, P. I. Gunkalo A. V. (2006). Standartu ISO serii 9000: evolutsiia pidxodiv do upravlinnia yakistiu. [Standards of ISO 9000: the evolution of approaches to quality management]. Zbirnik materialiv VI Vseukrainskogo naukovo-practichnogo seminaru "Yakist: problemy i rishennia", 35-36.***7.** *Bychkivskiy, R. V. & Gunkalo, A. V. (2005). SUY: otsiniuvannia efekturnosti funktsionuvannia. [QMS: assessment of efficiency of functioning]. Standartizatsiia, sertufikatsiia, yakist - Standardization, certification, quality, 4, 42-46.***8.** *Arpentev, B. M., Gordeev, A. S., & Trish, R. M. (1999). Algoritm sistemy upravleniia tochnostu obrabotki. [Algorithm management systems machining precision]. Bulletin of the Kharkov state Polytechnical University: Mashinostroenie. Kharkiv. 54, 7-11.***9.** *Systemy upravlinnia yakistiu. Vumogu. [The quality management system. Requirements]. (2009): DSTU ISO 9001: 2009. from 01.09.2009. Kyiv: Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2009.***10.** *Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia i slovnik. [The quality management system. Fundamentals and vocabulary]. (2008). DSTU ISO 9000:2007. from 01.09.2008. Kyiv: Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2008.*

*Надійшла (received) 11.04.2015*

УДК 57.043

**«Штучні рецептори» на базі технології молекулярного імпринтингу в умовах поверхневого плазмонного резонансу/ Музика К. М.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.3–8. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2411-2798

Досліджено молекулярну взаємодію «штучних рецепторів» з меламіном в умовах поверхневого плазмонного резонансу. На основі отриманих ППР-даних показано, що технологія синтезу молекулярно імпринтованих полімерів на твердій фазі (скляних кульках) дає змогу створити «штучні рецептори» у вигляді МПП-наночасток, які можуть бути дешевою альтернативою антитілам.

**Ключові слова:** технологія молекулярного імпринтингу, штучні рецептори, поверхневий плазмонний резонанс, наночастки, молекулярна взаємодія.

УДК 621.791.052:620.18

**Дослідження властивостей та мікроструктури швидкорізальних сталей після плазмового поверхневого азотування / Мазур В. О.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.9–14. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2411-2798

Проведено вивчення впливу технологічних параметрів плазмово-хімічної обробки на структуру та властивості швидкорізальних сталей після плазмового азотування. Досліджено розподіл азоту та фаз, що його містять, у зміцненій зоні в залежності від складу плазмоутворюючого газу та методу поверхневого зміцнення (без оплавлення та з оплавленням поверхневого шару). Досліджено структуру та фазовий склад сталі після плазмо-хімічного зміцнення.

**Ключові слова:** плазма, азотування, зміцнення, структура, фазовий склад, нітрид, мікротвердість, розподіл, технологія

УДК 691.32

**Вплив добавок суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння на кінетику набору міцності цементним каменем/ Плугін А. А., Романенко О. В., Калінін О. А., Плугін О. А., Афанасьєв О. В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.14–22. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2411-2798

Виконано аналіз впливу добавок суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння на кінетику набору міцності цементним каменем. Обрано комплекс добавок, який забезпечує найбільший приріст міцності в ранні строки твердіння, що дає змогу використовувати його для виробництва залізобетонних шпал та отримати найбільшу економію енергоресурсів через скорочення режиму тепловологісної обробки.

**Ключові слова:** залізобетонна шпала, бетон, цементний камінь, добавки, суперпластифікатор, прискорювач твердіння, температура твердіння

УДК 004.62

**Дослідження елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання у програмному середовищі VISSIM/ Бодненко Т. В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.23–29. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2411-2798

Стаття присвячена дослідженням елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання у програмному середовищі VisSim. Розглянуто стан використання інструментальних засобів та середовищ (MathCad, MatLab, VisSim тощо) для спрощення процесу моделювання та дослідження автоматизованих виробничих процесів, визначено напрямки їх використання в сучасних умовах. Використано програмне середовище VisSim для автоматизованого регулювання виробничих процесів.

**Ключові слова:** амплітудно-імпульсні системи автоматизованого регулювання, цифрові системи автоматизованого регулювання, програмне середовище VisSim



УДК 656.13

**Визначення факторів, які впливають на вибір пасажирями виду приміського транспорту/ Григорова Т. М., Давідіч Ю.А., Доля В.К. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.29–37 – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2411-2798**

Проведено дослідження факторів, які впливають на вибір пасажирями виду приміського транспорту. На підставі даних натурних обстежень проведено оцінку значущості для пасажирів факторів вибору виду приміського транспорту. Проведено аналіз факторів. Виявлено, що при виборі виду приміського транспорту для пасажирів найбільш важливі час руху, вартість проїзду та час очікування транспорту.

**Ключові слова:** приміське сполучення, пересування, пасажир, вид транспорту, фактор, коефіцієнт конкордації.

УДК 004.89

**Алгоритм визначення аномальних ситуацій для тензометричних систем/Копитчук М. Б., Тішин П. М., Копитчук І. М., Мілейко І. Г. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.37–45 – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Розглянуто питання опису сигналів які виникають у роботі тензометричних систем. Введені базові терміни і твердження, що дозволяють задавати лінгвістичні описи для знань цієї предметної області. Розроблена лінгвістична модель опису сигналів дозволяє визначати ступінь нечіткої рівності нечітких ситуацій, що зустрічаються в роботі тензометричних систем і визначати серед них аномальні.

**Ключові слова:** нечіткі множини, лінгвістичні змінні, тензометричні системи, нечіткі ситуації.

УДК 62-1/-9.007.005.1:62-503.5

**Синтез структури системи перетворення технологічних продуктів/Луценко І. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.45–50. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2411-2798**

Розроблено архітектуру системи управління з можливістю повномасштабної параметричної оптимізації. Встановлено, що це можливо, якщо функції перетворення і буферизації технологічного продукту виконують різні системи. Синтезовано архітектуру системи перетворення на прикладі технологічного процесу нагрівання рідини.

**Ключові слова:** синтез систем, керована система, система перетворення, система буферизації, структура системи

УДК 620.179

**Застосування акустичної емісії як одного з засобів технічного захисту/ Німченко Т. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.50–56. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Розглянуто використання методу акустичної емісії в системах технічного захисту інформації. Розглянуто структуру акустичних сповіщувачів руйнування скла. Представлено структуру блоку реєстрації та обробки сигналів акустичної емісії під час руйнування скла. Наведено схему підсилювального тракту сигналів акустичної емісії та схему амплітудного детектора. Запропоновані апаратні засоби дозволяють реєструвати сигнал акустичної емісії з високою чутливістю.

**Ключові слова:** акустична емісія, охоронні системи, технічний захист, підсилювач, сигнал, руйнування, сповіщувачі

УДК 621.1016-001.57

**Застосування показника структурної відмовостійкості для підтримки прийняття рішень на етапі проектування/Савельєва О. С., Налева Г. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.56–63. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Розглядаються питання, пов'язані з розробкою і застосуванням для розрахунку показників надійності прискорених методів моделювання. Запропоновано для оцінки структурної відмовостійкості складних систем, структурна модель яких може бути зведена до нейроподібних, використовувати інформаційну структурну статистичну модель. На прикладі очисних споруд показана можливість порівнювати вибрані конструкції за отриманими значеннями показника структурної відмовостійкості. Рис.: 4. Бібліогр.: 16 назв.

**Ключові слова:** прискорене моделювання, інформаційні моделі, показник відмовостійкості, проектування, структурні статистичні моделі

УДК 681.5.01

**Синтез спостерігача стану температурного режиму скловарної печі/ Жученко А. І., Цапар В. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.63–69. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Проведено синтез спостерігачів стану температурного режиму скловарної печі на базі різних модифікацій фільтра Калмана. Проведено імітаційне моделювання роботи скловарної печі із синтезованими спостерігачами. Досліджено результати моделювання та зроблено висновки щодо доцільності використання даних спостерігачів при різних видах збурень.

**Ключові слова:** спостерігач, фільтр Калмана, імітаційне моделювання, математична модель, скловарна піч.

УДК 665.9

**Дослідження ефективності застосування BDD-фреймворків у тестуванні безпеки web-орієнтованого програмного забезпечення/ Шатовська Т. Б., Каменєва І. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.69–75. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2411-2798**

На сьогоднішній день особливо важливі технології та методології, які дозволяють оперативно та ефективно створювати нові інструменти, при цьому на перше місце виходять технології та методології, які дозволяють з мінімальними затратами досягати бізнес-цілей замовника. Дана тема особливо актуальна в умовах поточної економічної кризи, істотно обмежує ІТ-бюджети і підсилило конкуренцію на ринку розробки замовленого програмного забезпечення.

**Ключові слова:** bdd-фреймворк, web-додаток, Agile, модель, програмне забезпечення, аналіз.

УДК 004.82

**Інформаційна технологія формування індивідуальної траєкторії самостійної роботи студентів/ Шевченко В. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.76–83. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Розглянуто модель інформаційної технології формування індивідуальних траєкторій самостійної роботи студентів. Формалізований процес формування індивідуальних траєкторій за допомогою продукційних моделей. Наведено підтвердження ефективності впровадження в навчальний процес моделей і методів технології формування індивідуальних траєкторій навчання.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, продукційні моделі, індивідуальні траєкторії, самостійна робота, прогнозування, кластерний аналіз.

УДК 004.91

**Визначення змістовних ознак тексту на основі аналізу зв'язків між лексичними одиницями/ Бісікало О. В., Лісовенко А. І., Яхимович О. В., Траченко С. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.83–89. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Визначено змістовні ознаки і характеристики англomовного тексту на основі дослідження зв'язків між лемами та синсетами, що розпізнано лінгвістичними пакетами. Результати у вигляді списків ключових слів, елементів онтологій та змістовних кластерів понять отримано на прикладі «Address by President of the Russian Federation 2013/2014». Проведене дослідження було

здійснено за допомогою пакетів DKPro Core та NLTK.

**Ключові слова:** лема, синсет, зв'язок, ключові слова, стоп-слово, елемент онтології, гіпероніми, кластер, DKPro, NLTK.

УДК 004.8: 681.51

**Алгоритми нечіткої кластеризації для прогнозування процесів гірничо-металургійного виробництва / Герасіна О. В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.89–97. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2411-2798

Запропоновано для підвищення точності прогнозування процесів гірничо-металургійного виробництва використовувати адаптивні фільтри-апроксиматори на основі нечіткої кластеризації, а також проводити налаштування їх параметрів за допомогою методів глобальної оптимізації. Визначено ефективність запропонованого підходу на прикладі прогнозування технологічних процесів крупного дроблення і доменного виробництва.

**Ключові слова:** прогнозування, фільтр-апроксиматор, нечітка логіка, кластеризація, глобальна оптимізація, крупне дроблення, доменне виробництво.

УДК 004.724

**Спосіб розрахунку параметрів стільникової мережі зв'язку з розподіленням каналів/ Кулаков Ю. О., Короненко А. М.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.97–104. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798

Запропонована нова схема розподілення загального пулу каналів між голосовими викликами та даних в стільникових мережах зв'язку. В схемі на першому етапі відбувається балансування каналів, які обслуговують голосові виклики та дані для нових викликів. На другому етапі прогнозується загальна кількість хендовер викликів та використовуючи адаптивний фільтр перерозподіляється кількість зарезервованих каналів.

**Ключові слова:** мобільна мережа, хендовер виклики, трафік, QoS.

УДК 533:519.6:621.64.029

**Задачі оптимального керування потоками газу в довгому трубопроводі/ Чекурін В. Ф., Химко О. М.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.104–111. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798

В рамках моделі газової динаміки сформульовані задачі оптимального керування стаціонарними режимами транспортування газу в довгому газопроводі. Запропоновані алгоритми чисельного розв'язування сформульованих задач. Розглянута можливість застосування розробленого математичного апарату для управління магістральними газопроводами.

**Ключові слова:** газова динаміка, магістральні газопроводи, оптимальне керування

УДК 517.534

**Прогнозування витрат часу на виконання робіт в системах керування робочою силою/ Чистякова А. О., Васільцова Н. В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.111–121. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2411-2798

Проведено дослідження проблеми прогнозування витрат часу на виконання робіт в системах управління робочою силою. Запропоновано метод прогнозування з використанням сингулярного розкладання та подання часового ряду в декількох фазових просторах, який дозволяє оцінити витрати часу на виконання робіт у майбутньому, їх кількість і число виконавців даних робіт.

**Ключові слова:** прогнозування, системи управління робочою силою, часовий ряд, сингулярне розкладання.

УДК 621.365.2:51-74

**Регресійний аналіз математичної моделі іонно-плазмової обробки поверхні скла/ Шрам О. А.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.121–127. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798

У статті розглянуто побудову математичної моделі іонно-плазмової обробки поверхні скла при атмосферному тиску на підставі регресійного аналізу. Отримана модель дозволяє визначити в якому напрямку, і в якій мірі необхідно варіювати факторами для досягнення оптимальної якості одержуваних покриттів.

**Ключові слова:** математична модель, регресійний аналіз, багатофакторний експеримент, низькотемпературна плазма, скло.

УДК 539.3

**Визначення параметрів напружено-деформованого стану вісесиметричних тіл при термосиловому навантаженні/ Гуляр О. І., Пискунов С. О., Андрієвський В. П., Максим'юк Ю. В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.128–135. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798

Проведено узагальнення методики моментної схеми скінченних елементів для розв'язання вісесиметричних задач теорії пружності при термосиловому навантаженні в нерівномірному температурному полі. Проведені чисельні дослідження для обґрунтування достовірності результатів і ефективності розробленої методики.

**Ключові слова:** дослідження, термосилове навантаження, моментна схема скінченних елементів, вісесиметричні тіла, достовірність.

УДК 62-663.7 (045)

**Шляхи підвищення працездатності виштовхує пристрої коксовиталківателєй/Риндяв В. І.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.135–139. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798

Досліджено виштовхувальний пристрій коксовиштовхувача. Визначено формування величини еквівалентних навантажень з урахуванням злежуваності коксу. Проаналізовано вплив конструктивних рішень виштовхувального пристрою на зменшення рівня діючих навантажень.

**Ключові слова:** виштовхувальний пристрій, динамічні навантаження, конструкція.

УДК 519.248

**Розроблення моделі надійності для аналізу причин непрацездатності гідравлічної станції зі спареними насосами/ Стефанович Т. О., Оксентюк В. М., Щербовських С. В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.139–147. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798

Запропоновано математичну модель надійності гідравлічної станції із спареними гідравлічними насосами. Модель адекватно враховує вплив зміни навантаження спарених насосів на ймовірнісні характеристики причин непрацездатності такої системи. Для математичного опису надійності застосовано динамічне дерево відмов, а для кількісного аналізу розщеплена однорідна марковська модель.

**Ключові слова:** модель надійності, динамічне дерево відмов, марковська модель, гідравлічна станція, причина непрацездатності.

УДК 665.64

**Статична оптимізація процесу каталітичного риформінгу/ Левчук І. Л.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.147–154. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798

На основі аналізу вхідних і вихідних координат виконана постановка задачі статичної оптимізації процесу каталітичного риформінгу, запропонований спосіб вирішення цього завдання на основі методу нелінійної оптимізації Хука-Дживса. Проведено дослідження оптимальних режимів процесу, запропонований спосіб управління, що забезпечує збільшення виходу каталізата

в середньому на 3-5 %.

**Ключові слова:** нафтопереробка, каталітичний риформінг, каталізат, статична оптимізація, базові режими, спосіб управління.

УДК 331.45

**Європейський підхід до підготовки спеціалістів із охорони праці/ Березуцький В. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.155–163. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

У статті розглянуто питання Євроінтеграції освіти щодо безпеки та гігієни праці. Представлено доповідь по роботі Європейського агентства з безпеки та гігієни праці (occupational safety and health - OSHA) і організація аналогічного освіти в Україні. Показані Міжнародні стандарти з безпеки і ризиків, а також організація підготовки фахівців і завдання вищої освіти на сучасному етапі.

**Ключові слова:** євроінтеграція, освіта, фахівці, безпека, ризик, індикатори, стандарти, OHSAS 18000.

УДК 044.03;658.11.05.06

**Моделі і метод визначення стану організму співробітника підприємства/ Євланов М. В., Сердюк Н. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.163–169. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2411-2798**

Розглянуті особливості інформаційних систем управління безпекою праці на підприємстві, недоліки існуючих моделей функціональних задач аналізу і прогнозу зміни стану співробітника підприємства, запропоновані моделі і метод, що дозволяє описати архітектурні особливості визначення функції, яка використовується для опису стану спостережуваного співробітника підприємства в конкретний момент часу.

**Ключові слова:** управління безпекою праці, шкідливі виробничі чинники, класифікація стану співробітника, метод Naïve Bayes.

УДК 658.62.018.012

**Прогнозування процесів системи управління якістю/ Катрич О. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.170–175. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Проведено аналіз вимог міжнародних стандартів до систем управління якістю підприємств, який показав необхідність оцінювати і керувати процесами, а так як вони різні, то для цього потрібно застосовувати різні підходи. Розсіювання показників якості деяких процесів у часі показав виконання принципу ергодичності і регулярності, що дозволяє для його управління застосовувати теорію ланцюгів Маркова. Показано алгоритм отримання матриці переходу.

**Ключові слова:** міжнародний стандарт; менеджмент; прогнозування; процес; кваліметрія; ланцюги Маркова; розсіювання

УДК 665.9

**«Искусственные рецепторы» на базе технологии молекулярного импринтинг в условиях поверхностного плазмонного резонанса/Музыка Е. Н.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 3–8. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2411-2798

Исследовано молекулярное взаимодействия «искусственных рецепторов» с меламинам в условиях поверхностного плазмонного резонанса. На основе полученных ППР-данных показано, что технология синтеза молекулярно импринтированных полимеров на твердой фазе (стеклянных шариках) позволяет создать «искусственные рецепторы» в виде МИП-наночастиц, которые могут быть дешевой альтернативой антителам.

**Ключевые слова:** технология молекулярного импринтинга, искусственные рецепторы, поверхностный плазмонный резонанс, наночастицы, молекулярное взаимодействие.

УДК 621.791.052:620.18

**Исследование свойств и микроструктуры быстрорежущей стали после плазменного поверхностного азотирования / Мазур В.А.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 9–14. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2411-2798

Проведено изучение влияния технологических параметров плазменно-химической обработки на структуру и свойства быстрорежущих сталей после плазменного азотирования. Исследовано распределение азота и фаз, содержащие его, в укрепленной зоне в зависимости от состава плазмообразующего газа и метода поверхностного упрочнения (без оплавления и с оплавлением поверхностного слоя). Исследована структура и фазовый состав стали после плазменно-химического упрочнения.

**Ключевые слова:** плазма, азотирования, укрепления, структура, фазовый состав, нитрид, микротвердость, распределение, технология

УДК 691.32

**Влияние добавок суперпластификаторов и ускорителей твердения на кинетику набора прочности цементным камнем/ Плугин А. А., Романенко А. В., Калинин О. А., Плугин Ал. А., Афанасьев А. В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 14–22. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2411-2798

Выполнен анализ влияния добавок суперпластификаторов и ускорителей твердения на кинетику набора прочности цементным камнем. Выбран комплекс добавок, обеспечивающий наибольший прирост прочности в ранние сроки твердения, что позволяет использовать его при производстве железобетонных шпал и получить наибольшую экономию энергоресурсов благодаря сокращению режима тепловлажностной обработки.

**Ключевые слова:** железобетонная шпала, бетон, цементный камень, добавки, суперпластификатор, ускоритель твердения, температура твердения

УДК 004.62

**Исследование элементов амплитудно-импульсных и цифровых систем автоматизированного регулирования в программной среде VISSIM/ Бодненко Т. В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 23–29. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2411-2798

Статья посвящена исследованию элементов амплитудно-импульсных и цифровых систем автоматизированного регулирования в программной среде VisSim. Рассмотрены состояние использования инструментальных средств и сред (MathCad, MatLab, VisSim т.д.) для упрощения процесса моделирования и исследования автоматизированных производственных процессов, определены направления их использования в современных условиях. Использовано программное средство VisSim для автоматизированного регулирования производственных процессов. Л.: 8.

Бібліогр.: 13. назв.

**Ключевые слова:** амплитудно-импульсные системы автоматизированного регулирования, цифровые системы автоматизированного регулирования, программная среда VisSim

УДК 656.13

**Определение факторов, влияющих на выбор пассажирами вида пригородного транспорта/ Григорова Т. М., Давидич Ю. А., Доля В. К. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 29–37 – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2411-2798**

Проведено исследование факторов, влияющих на выбор пассажирами вида пригородного транспорта. На основании данных натурных обследований проведена оценка значимости для пассажиров факторов выбора вида пригородного транспорта. Проведен анализ факторов. Выявлено, что при выборе вида пригородного транспорта для пассажиров наиболее важны время движения, стоимость проезда и время ожидания транспорта.

**Ключевые слова:** пригородное сообщение, передвижение, пассажир, вид транспорта, фактор, коэффициент конкордации.

УДК 004.89

**Алгоритм определения аномальных ситуаций для тензометрических систем/ Копытчук Н. Б., Тишин П. М., Копытчук И. Н., Милейко И. Г. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 37–45 – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Рассмотрен вопрос описания сигналов возникающих в работе тензометрических систем. Введены базовые термины и утверждения, позволяющие задавать лингвистические описания для знаний этой предметной области. Разработанная лингвистическая модель описания сигналов позволяет определять степень нечеткого равенства нечетких ситуаций, встречающихся в работе тензометрических систем и определять среди них аномальные.

**Ключевые слова:** нечеткие множества, лингвистические переменные, тензометрические системы, нечеткие ситуации.

УДК 62-1/-9.007.005.1:62-503.5

**Синтез структуры системы преобразования технологических продуктов/ Луценко И. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 45–50 – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2411-2798**

Разработана архитектура управляемой системы с возможностью полномасштабной параметрической оптимизации. Установлено, что это возможно, если функции преобразования и буферизации технологического продукта выполняют разные системы. Синтезирована архитектура системы преобразования на примере технологического процесса нагрева жидкости.

**Ключевые слова:** синтез систем, управляемая система, система преобразования, система буферизации, структура системы

УДК 620.179

**Применение акустической эмиссии как одного из средств технической защиты/ Нимченко Т. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 50–56. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Рассмотрено использование метода акустической эмиссии в системах технической защиты информации. Рассмотрена структура акустических извещателей разрушения стекла. Представлена структура блока регистрации и обработки сигналов акустической эмиссии при разрушении стекла. Приведена схема усилительного тракта сигналов акустической эмиссии и схему амплитудного детектора. Предложенные аппаратные средства позволяют регистрировать сигнал акустической эмиссии с высокой чувствительностью.

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, охранные системы, техническая защита, усилитель, сигнал, разрушения, извещатели

УДК 621.1016-001.57

**Применение показателя структурной отказоустойчивости при поддержке принятия решений на этапе проектирования/Савельева О. С., Налева Г. В. // Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112). – P. 56–63. – Bibliogr.: 16. – ISSN 2411-2798**

Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой и применением для расчета показателей надежности ускоренных методов моделирования. Предложено для оценки структурной отказоустойчивости сложных систем, структурная модель которых может быть сведена к нейроподобной, использовать информационную структурную статистическую модель. На примере очистительных сооружений показана возможность сравнивать выбранные конструкции по полученным значениям показателя структурной отказоустойчивости.

**Ключевые слова:** ускоренное моделирование, информационные модели, показатель отказоустойчивости, проектирование, структурные статистические модели.

УДК 681.5.01

**Синтез наблюдателя состояния температурного режима стекловаренной печи/ Жученко А. И., Цапар В. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 63–69. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Проведено синтез наблюдателей состояния температурного режима стекловаренной печи на базе различных модификаций фильтра Калмана. Проведено имитационное моделирование работы стекловаренной печи с синтезированными наблюдателями. Исследованы результаты моделирования и сделаны выводы о целесообразности использования данных наблюдателей при различных видах возмущений.

**Ключевые слова:** наблюдатель, фильтр Калмана, имитационное моделирование, математическая модель, стекловаренная печь.

УДК 665.9

**Исследования эффективности использования BDD-фреймворков в тестировании web-ориентированном программном обеспечении / Шатовская Т. Б., Каменева И. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 69–75. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2411-2798**

На сегодняшний день особенно важны технологии и методологии, которые позволяют оперативно и эффективно создавать новые инструменты, при этом на первое место выходят технологии и методологии, которые позволяют с минимальными затратами достигать бизнес-целей заказчика. Данная тема особенно актуальна в условиях текущего экономического кризиса, существенно ограничивает IT-бюджеты и усиливает конкуренцию на рынке разработки заказного программного обеспечения.

**Ключевые слова:** bdd-фреймворк, web-приложение, Agile, модель, программное обеспечение, анализ.

УДК 004.82

**Информационная технология формирования индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов/Шевченко В. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 76–83. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Рассмотрена модель информационной технологии формирования индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов. Формализован процесс формирования индивидуальных траекторий с помощью продукционных моделей. Приведено подтверждение эффективности внедрения в учебный процесс моделей и методов технологии формирования индивидуальных траекторий обучения.

**Ключевые слова:** информационная технология, продукционные модели, индивидуальные траектории, самостоятельная работа, прогнозирование, кластерный анализ.



УДК 004.91

**Определение содержательных признаков текста на основе анализа связей между лексическими единицами/ Бисикало О. В., Лисовенко А. І., Яхимович О. В., Траченко С. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 83–89. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Определены содержательные признаки и характеристики англоязычного текста на основе исследования связей между леммами и синсетами, которые были распознаны лексическими пакетами. Результаты в виде списков ключевых слов, элементов онтологий и содержательных кластеров понятий получены на примере «Address by President of the Russian Federation 2013/2014». Проведенное исследование было выполнено с помощью пакетов DKPro Core и NLTK. **Ключевые слова:** лема, синсет, связь, ключевые слова, стоп-слово, элемент онтологии, гиперонимы, кластер, DKPro, NLTK.

УДК 004.8: 681.51

**Алгоритмы нечеткой кластеризации для прогнозирования процессов горно-металлургического производства/ Герасина А. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 89–97. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2411-2798**

Предложено для повышения точности прогнозирования процессов горно-металлургического производства использовать адаптивные фильтры-аппроксиматоры на основе нечеткой кластеризации, а также проводить настройку их параметров с помощью методов глобальной оптимизации. Определена эффективность предложенного подхода на примере прогнозирования технологических процессов крупного дробления и доменного производства. **Ключевые слова:** прогнозирование, фильтр-аппроксиматор, нечеткая логика, кластеризация, глобальная оптимизация, крупное дробление, доменное производство.

УДК 004.724

**Способ расчета параметров сотовой сети связи с разделением каналов/ Кулаков Ю. А., Короненко А. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 97–104. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Предложена новая схема распределения общего пула каналов между голосовыми вызовами и данными в сотовых сетях связи. В схеме на первом этапе происходит балансировка каналов, обслуживающих голосовые вызовы и данные для новых вызовов. На втором этапе прогнозируется общее количество хендвер вызовов и используя адаптивный фильтр перераспределяется количество зарезервированных каналов.

**Ключевые слова:** мобильная сеть, хендвер вызовы, трафик, QoS.

УДК 533:519.6:621.64.029

**Задачи оптимального управления потоками газа в длинном трубопроводе/Чекурин В. Ф., Химко О. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 104–111. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

В рамках модели газовой динамики сформулированы задачи оптимального управления стационарными режимами транспорта газа в длинном газопроводе. Предложен алгоритм численного решения сформулированных задач. Рассмотрена возможность применения разработанного математического аппарата для управления магистральными газопроводами.

**Ключевые слова:** газовая динамика, магистральные газопроводы, оптимальное управление

УДК 517.534

**Прогнозирование затрат времени на выполнение работ в системах управления рабочей силой/ Чистякова А. А., Васильцова Н. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 111–121. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2411-2798**

Проведены исследования проблемы прогнозирования затрат времени на выполнение работ в системах управления рабочей силой. Предложен метод прогнозирования с использованием сингулярного разложения и представления временного ряда в нескольких фазовых пространствах, который позволяет оценить затраты времени на выполнение работ в будущем, их количество и число исполнителей данных работ.

**Ключевые слова:** прогнозирование, системы управления рабочей силой, временной ряд, сингулярное разложение.

УДК 621.365.2:51-74

**Регрессионный анализ математической модели ионно-плазменной обработки поверхности стекла/ Шрам А. А.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 121–127. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798

В статье рассмотрено построение математической модели ионно-плазменной обработки поверхности стекла при атмосферном давлении на основании регрессионного анализа. Полученная модель позволяет определить в каком направлении, и в какой степени необходимо варьировать факторами для достижения оптимального качества получаемых покрытий.

**Ключевые слова:** математическая модель, регрессионный анализ, многофакторный эксперимент, низкотемпературная плазма, стекло.

УДК 539.3

**Определение параметров напряженно-деформированного состояния осесимметрических тел при термосиловой нагрузке / Гуляр А. И., Пискунов С. О., Андриевский В. П., Максимюк Ю.В.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 128–135. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798

Проведено обобщение методики моментной схемы конечных элементов для решения осесимметричных задач теории упругости при термосиловой нагрузке в неравномерном температурном поле. Проведенные многочисленные исследования для обоснования достоверности результатов и эффективности разработанной методики.

**Ключевые слова:** исследования, термосиловая нагрузка, моментная схема конечных элементов, осесимметрические тела, достоверность.

УДК 62-663.7 (045)

**Пути повышения работоспособности выталкивающего устройства коксовыталкивателя/Рындяев В. И.** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 135–139. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459

Исследовано выталкивающее устройство коксовыталкивателя. Изучено формирование величины эквивалентных нагрузок с учетом слеживаемости кокса. Проанализировано влияние конструктивных решений выталкивающего устройства на снижение уровня действующих нагрузок.

**Ключевые слова:** выталкивающее устройство, динамические нагрузки, конструкция.

УДК 519.248

**Разработка модели надежности для анализа причин неработоспособности гидравлической станции со спаренными насосами/ Стефанович Т. О., Оксентюк В. М., Щербовских С. В.** // Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112). – P. 139–147. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

Предложена математическая модель надежности гидравлической станции со спаренными насосами. Модель адекватно учитывает влияние перераспределения нагрузки спаренных насосов на вероятностные характеристики причин неработоспособности такой системы. Для математического описания надежности применено динамическое дерево отказов, а для количественного анализа расщепленная однородная марковская модель.

**Ключевые слова:** модель надежности, динамическое дерево отказов, марковская модель,

гидравлическая станция, причина неработоспособности.

УДК 665.64

**Статическая оптимизация процесса каталитического риформинга / Левчук И. Л. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 147–154. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

На основе анализа входных и выходных координат выполнена постановка задачи статической оптимизации процесса каталитического риформинга, предложен способ решения этой задачи на основе метода нелинейной оптимизации Хука-Дживса. Проведено исследование оптимальных режимов процесса, предложен способ управления, обеспечивающий увеличение выхода катализата в среднем на 3-5 %.

**Ключевые слова:** нефтепереработка, каталитический риформинг, катализат, статическая оптимизация, базовые режимы, способ управления.

УДК 331.45

**Европейский подход к подготовке специалистов по охране труда/ Березуцкий В. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 155–163. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

В статье рассмотрены вопросы Евроинтеграции образования по вопросам безопасности и гигиены труда. Представлен доклад по работе Европейского агентства по безопасности и гигиене труда (occupational safety and health - OSHA) и организация аналогичного образования в Украине. Показаны Международные стандарты по безопасности и рискам, а также организация подготовки специалистов и задачи высшего образования на современном этапе.

**Ключевые слова:** евроинтеграция, образование, специалисты, безопасность, риск, индикаторы, стандарты, OHSAS 18000.

УДК 044.03;658.11.05.06

**Модели и метод определения состояния организма сотрудника предприятия/ Евланов М. В., Сердюк Н. Н. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С. 163–169.– Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2411-2798**

Рассмотрены особенности информационных систем управления безопасностью труда на предприятии, недостатки существующих моделей функциональных задач анализа и прогноза изменения состояния сотрудника предприятия, предложены модели и метод, позволяющие описать архитектурные особенности определения функции, которая используется для описания состояния наблюдаемого сотрудника предприятия в конкретный момент времени.

**Ключевые слова:** управление безопасностью труда, вредные производственные факторы, классификация состояния сотрудника, метод Naive Bayes.

УДК 658.62.018.012

**Прогнозирование процессов системы менеджмента качества/ Катрич О. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х: НТУ «ХПІ», – 2015. – № 10 (1112). – С.170–175. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2411-2798**

Проведен анализ требований международных стандартов на системы менеджмента качеством предприятий, который показал необходимость оценивать и управлять процессами, а так как они различны, то для этого нужно применять разные подходы. Рассеивания показателей качества некоторых процессов во времени показал выполнение принципа эргодичности и регулярности, что позволяет для его управления применять теорию цепей Маркова. Показан алгоритм получения матрицы перехода.

**Ключевые слова:** международный стандарт; менеджмент; прогнозирование; процесс; квалиметрия; цепи Маркова; рассеивание

UDC 57.043

**"Artificial receptors" based on molecular imprinting technology in conditions of surface plasmon resonance/ Muzyka K. M.** //Bulletin of NTU "KhPI". Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 10 (1112).- P. 3–8. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2411-2798

The molecular interaction of "artificial receptors" (anti-melamine nanoMIP based on acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid (AMPSA) functional monomer) with melamine in conditions of a surface plasmon resonance has been investigated. SPR data were shown that affinity anti-melamine nanoMIP is much stronger in compare with affinity anti-melamine nanoMIP to atrazine. That is in good agreement with our previous theoretical calculations, where was indicated that complex AMPSA : melamine is the most energetically favorable (-39,17 kcal/mol) in comparison with AMSPA : atrazine (-18,6906696 kcal/mol). Thus, AMSPA can be recommended as the best functional monomer for creation of anti-melamine "artificial receptor". Moreover, based on the SPR data it can be concluded that synthesis technology of the molecularly imprinted polymers on the solid phase (glass beads) allows to create "artificial receptors" in the form of MIP nanoparticles, which may be a cheap alternative to antibodies.

**Keywords:** molecular imprinting technology, artificial receptors, surface plasmon resonance, nanoparticles, molecular interaction.

UDC 621.791.052:620.18

**Study of properties and microstructure speed steel after surface plasma nitriding / Mazur V.** //Bulletin of NTU "KhPI". Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 10 (1112).- P. 9–14. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2411-2798

The research of technological parameters of plasma-chemical treatment on the structure and properties of high-speed steel after plasma nitriding has been conducted. The distribution of nitrogen and phases that contain it, in a consolidated area depending on the composition and method of gas plasma surface hardening (without melting of the surface layer) has been conducted. The distribution of microhardness depth treatment drastically changed in the transition from treatment without melting to the plasma mikromelting. With partial mixing of the molten layer convective flows from the action of the plasma jet microhardness distribution aligned.

Found that the plasma chemical processing formed multilayer composition consisting of nitrated layer and plasma surface modification area, a total depth of 4.5 - 5 mm. This provides a great resource to enhance the performance properties of high-speed steels, and because of this instrument and efficiency of these steels.

**Keywords:** plasma, nitriding, strengthening, structure, phase composition, nitride, microhardness, distribution, technology

UDC 691.32

**The effect of additives superplasticizers and hardening accelerators to the kinetics of cement stone curing/ Plugin A. A., Romanenko O. V., Kalinin O. A., Plugin O. A., Afanasiev O. V.** //Bulletin of NTU "KhPI". Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 10 (1112).- P. 14–22. – Bibliogr.: 15. – ISSN 2411-2798

The analysis of the influence of of additives superplasticizers and curing accelerators on the kinetics of curing cement stone. In the early stages of hardening of 6-8 hours, the effect of the acceleration decreases with decreasing temperature below 20 ° C. The acceleration effect is not observed for almost all investigated additives at a temperature of 14 ° C. acceleration effect occurs only for complex supplements containing calcium chloride at a temperature of 17 ° C. The acceleration effect is noted for the complex additive comprising calcium chloride and calcium nitrate and sodium nitrite, without calcium chloride at a temperature 21-23°S.

It is found that after 12 hours curing using superplasticizer naftalfinormaldegid reaches maximum strength cement stone with additives hardening accelerator 1% calcium nitrate and 0.5% of sodium nitrite. The constant growth in strength is observed only when the content of sodium nitrite

0.5% with an increase in calcium nitrate. Selected complex of additives the use of which there is the greatest gain strength in the early stages of hardening, it can be used in the production of concrete sleepers and get the greatest energy savings due to the reduction of heat and humidity regime.

**Keywords:** concrete, cement stone, superplasticizer, hardening accelerator, mode steaming, concrete sleepers, additives .

UDC 004.62

**Exploring elements pulse-amplitude and digital automated regulation in the VISSIM environment/ Bodnenko T.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 23–29. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2411-2798

The steep development of microprocessor has led to their widespread use for automatic process control in various spheres of industrial activity. Today designed and mass-produced domestic and foreign manufacturers of a wide variety of technical means of modern computer technology.

Nowadays there are a large number of modern tools and environments for process modeling and study of automated production processes.

Apart, research items amplitude pulse and digital automated regulation proposed to software environment using VisSim. What has advantages over such tools, as environment MathCad, MatLab and others. Through use of the environment given the opportunity VisSim automated regulation of production processes.

VisSim software environment can use as professionals who have deep knowledge in mathematics and programming, and leading experts in programming, create your own blocks with the addition of their library of standard blocks VisSim.

**Keywords:** pulse-amplitude computer aided control, computer-aided digital control, programming environment VisSim

UDC 656.13

**Determination of the factors influencing the choice of the passenger kind regional transport/Grigorova T., Davidich Y., Dolya V.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 29–37 – Bibliogr.: 12. – ISSN 2411-2798

This article discusses the choice of mode of transport passengers for transportation in suburban traffic. The analysis methods for process control carriage of passengers in suburban showed that they do not fully take into account the influence of the parameters of the transport process to choose the mode of transport passengers for travel. The studies were aimed at determining the importance of passenger factors that influence their choice of the type of suburban passenger transport. The study was conducted on the basis of survey data of passengers on factors modal choice and the importance of these factors. To evaluate the consistency of expert opinion was used coefficient of concordance Kendel and the value of its statistical significance. Revealed that the choice of the type of suburban passenger transport services for passengers in the first place, it is important when driving. The second important factor is the cost of travel. The next most important factor is the waiting time of transport. Less significant were the criteria trip without a transplant, while driving to the stopping point, comfort, capacity, occupancy, traffic safety, appearance and cleanliness of the interior transport, downtime at intermediate stops, service culture, ease of landing and landing, technical equipment of the vehicle, the presence of alternative modes of transportation, availability and environmental benefits of the vehicle. Factors identified can then be used in determining patterns of species selection passengers suburban transport.

**Keywords:** commuter, travel, traveler, mode of transport, a factor, coefficient of concordance.

UDC 004.89

**Algorithm for abnormal situations for strain systems/ Kopytchuk N, Tishyn P, Kopytchuk I, Mileiko I**//Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 37–45 – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

The problem of describing the signals arising in the strain gauge systems. Introduced the basic terms and approval for defining linguistic description for this knowledge domain. Developed a linguistic model for describing the signals allows to determine the degree of equality fuzzy fuzzy situations encountered in the strain systems and identify among them abnormal. In this paper, peer review process is added resulting time series for diagnosis of the processes occurring in the process of weighing. Expert judgment is better to build, using the methods of control, based on the search for anomalies. To solve this problem applies machine theory of fuzzy sets and fuzzy knowledge bases. This unit is used in the evaluation of fuzzy situations and able to work in the subject area. In this paper, we propose an algorithm for determining anomalies in the measurement of signals in processes occurring under conditions of uncertainty, based on the analysis formed the base standards fuzzy situations. Result is the ability to handle abnormal situations arise that can not be determined by other methods.

**Keywords:** fuzzy sets, linguistic variables, strain gage systems, fuzzy situation.

УДК 62-1/-9.007.005.1:62-503.5

**Synthesis of the structure of the technological products conversion system/Lutsenko I.**

//Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 45–50– Bibliogr.: 11. – ISSN 2411-2798

Study of current controlled systems and scientific publications has shown that the architecture of controlled systems, related to the products conversion is based on the principle of austerity and, in general, does not provide the possibility of implementing a full parametric optimization.

The product conversion system structure was synthesized based on the liquid portion heating system is synthesized. The system is presented in the form of interconnected simple mechanisms.

It is experimentally found that systems with continuous feed - release of raw product are a special case of fully controllable systems with the architecture that provides the optimal control possibility. The developed models were tested and examined in specially designed free software constructor EFFLI. Link to the current model of the controlled system is available in the text. .

**Keywords:** system synthesis, controlled systems, conversion system, buffering system, system structure

**UDC 620.179**

**Application of acoustic emission as a means of technical protection /Nimchenko T.**

//Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 50–56. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

The use of acoustic emission method in the technical data protection. The structure of acoustic detectors destruction glass. Shows the classification and stages of development. It is shown that acoustic detectors destruction glass for its operation using acoustic wave field generated in the destruction of protected glazed design. Summarizes the functional diagram of the acoustic detector destruction glass. The structure unit recording and processing of acoustic emission signals in the destruction of the glass. Shows a diagram of the amplifier signal path askustychnoyi emissions and peak detector circuit. It is shown that the amplitude detector consists of two main parts: the converter serednovypryamlyenyh values and filter. The detector has a much smaller error, and the use of modern high-frequency operational amplifier helped to create it with high gain. The simulation package Electronics Workbench, allowing work to explore the amplitude detector with different characteristics of the input signal. It is shown that the proposed hardware allows to record acoustic emission signals with high sensitivity, with small dimensions through the use of modern SMD technology and a wide frequency range.

**Keywords:** acoustic emission, security systems, technical security, power, signal, destruction detectors

UDC 621.1016-001.57

**Application of indicators of structural fault tolerance decision support at the design stage/Saveleva O., Naleva G.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and

complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 56–63. – Bibliogr.: 16. – ISSN 2411-2798

This article discusses issues related to the development and application for the calculation of reliability indices of structural information of the statistical model.

In determining the parameters of reliability specialist must have the necessary statistical data. It establishes the necessary data on the results of the experiments of the reference guide their own experiences, and the final result of the quantified characteristics will depend on his or her qualifications and correctness of the methods and models. To ensure reliable operation of the decision of problems of a technical object at all stages of its life cycle urgent task is the use of a single information approach satisfies the requirements of CALS-technologies, the use and application of appropriate mathematical apparatus and software, can significantly reduce the time spent on the design and maintenance of the product.

The paper presents an information-structural statistical model for estimating the probability of failure-free operation of a complex system. The result of this model is to obtain the values of the index of structural fault tolerance. As a result, when considering possible options for the structure of the proposed facility, this approach allows them to compare the largest index. On the example of treatment facilities the possibility to compare the selected design on the obtained values of the index of structural fault tolerance.

**Keywords:** rapid modeling, information models, the rate of fault tolerance, design, structural statistical models.

UDC 681.5.01

**Synthesis of observer furnace temperature control/Zhuchenko A. I., Tsapar V. S.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 63–69. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

The synthesis of observer status furnace temperature control based on various modifications Kalman filter, namely standard Kalman filter; Modified Kalman filter filters out noise acting on the state of the object; Modified Kalman filter filters out noise acting on the input object; Modified Kalman filter with filters that operate on the output of the facility; A simulation of a glass furnace synthesized observers. Simulation showed significant efficiency modifications Kalman filter to predict changes in temperature at points which are not directly measured. The results show that works best modified Kalman filter filters out noise acting on the state of the object. Studied the simulation results and conclusions regarding the usefulness of these observers in various types of disturbances. Future plans developed using observer based on Kalman filter to create predictive control system of glass furnace.

**Keywords:** observer, Kalman filter, simulation, mathematical model, Glassmaking furnace.

УДК 665.9

**Research use effektivnosti BDD- freymverkov in testing web- oriented software / T. Shatovska, I. Kamenieva** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 69–75. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2411-2798

Today particularly important technologies and methodologies that allow promptly and efficiently create new tools, thus come first technologies and methodologies that allow us to cost-effectively achieve the business objectives of the customer. This topic is particularly relevant in the current economic crisis, significantly limits the IT- budgets and increasing competition in the market of custom software development.

The changes occurring in the market requires new approaches to software development. Previously worked with customer representatives dedicated analysts who provided their demands developers, the company is now seeking to directly engage stakeholders in a discussion of the first stages of planning and design software. Active coordination based on business objectives make it possible to quickly identify customer needs. Thus, produced a new strategy that envisages joint work on requirements.

**Keywords:** bdd-framework, web-application, Agile, model, software analysis.

UDC 004.82

**Information technology of forming individual trajectories of independent students work/ Shevchenko V. A.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 76–83. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

The results of analysis of the existing methods of teaching at the university on example of academic discipline “Informatics” are presented. According to the research results, there was built a model of the existing teaching technology in higher educational institutions. An alternative model of teaching based on the models and methods of information technology of forming individual trajectories of students' independent work, which makes it possible to introduce the elements of individualization into the teaching process is proposed. A review of the models and methods of the proposed information technology is carried out. The methods of formation and adjustment of individual trajectories of students' independent work, depending on the performance and abilities of students, using the procedures of forecasting and redistribution according to typological groups based on the methods of cluster analysis are offered. The process of formation and adjustment of individual trajectories of students' independent work is formalized by means of production models. The experimental confirmations of the effectiveness of introduction into the teaching process the models and methods of technology of formation of individual trajectories of students' independent work are given. Reliability of the results of experiments was confirmed by nonparametric statistics.

**Keywords:** information technology, production models, individual trajectories, independent work, forecasting, cluster analysis.

UDC 004.91

**Definition of substantial signs of the text on the basis of the analysis of communications between Iksicheskyy units/ Bisikalo O. V., Lisovenko A. I., Yakhimovich O. V., Trachenko S. S.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 83–89. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

By increasing the volume of electronic information and its availability via the Internet knowledge extraction from natural language texts is one of the most pressing research areas in computer linguistics. Using the linguistic processing of natural language packs can implement alternative methods of finding meaningful information from text that is analyzed.

Most of the known methods that are based on statistical patterns and / or morphological and syntactic analysis of the text have a number of problems. An alternative way to solve the problem of knowledge extraction of text information can be approach to formalization imaginative methods of analysis and synthesis of natural language constructions.

In this article, reviewed formal methods to extract knowledge from texts, including content defining features and characteristics of the English text based on relations between lemmas and synsets which recognized linguistic packets. Result is lists of keywords, ontology content elements and meaningful clusters of concepts obtained by the example of «Address by President of the Russian Federation 2013/2014». Research was conducted using popular free resource DKPro Core and NLTK. Based on the platform DKPro Core was developed software to determine the keywords researched text, building text ontologies made on platform NLTK.

The results allowed getting a joint formal parameters and characteristics for the two official texts, as well as those that indicate a change in emphasis of the information. The approach and elaborated tools can be useful for experts from the linguistic expertise and a wide range of researchers in computer linguistics.

**Keywords:** Lem, sinst, communication keywords, the stop word, an ontology element, a hyperonym, a cluster, DKPro, NLTK.

UDC 004.8: 681.51

**Fuzzy clustering algorithms for prediction of processes of mining and metallurgical production /Gerasina A.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 89–97. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2411-2798



It is proposed to improve the accuracy prediction the processes of mining and metallurgical production to use adaptive filter-approximators based on fuzzy clustering, and settings its parameters using global optimization methods. In this case, to build adaptive filters used subtractive clustering and fuzzy clustering C-means. For global optimization methods applied genetic algorithms, multiobjective optimization, direct search, simulated annealing and threshold acceptance. For parametric optimization was used the criterion of regularity, calculated on the test sample, and for the global – the combined criterion consisting of the criterion of regularity and the criterion of minimum bias, based on the analysis of solutions. Efficiency the proposed approach is defined for prediction of technological processes for coarse crushing (class +100 mm content in ore output) and blast furnace (silicon content in the iron at issue).

**Keywords:** prediction, filter-approximator, fuzzy logic, clustering, global optimization, coarse crushing, blast furnace.

UDC 004.724

**Method of calculation parameters cellular network connection with distribution channels /Kulakov Y., Koronenko A.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 97–104. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

A new scheme of distribution of the common pool of channels between voice calls and data in mobile communication networks. In the first phase of the scheme is balancing channels that serve voice calls and data to new challenges. The second stage is projected to the total number of call and handover using adaptive filter redistributed number of reserved channels. With redundancy mechanisms can guarantee quality of service during a call, while all other controls flow of calls (local, based on measurements or calculations resources) take a single decision before the call setup based on information about the current state of the network. As the queue length depends on the number of reserved inextricably channels. To improve the quality necessary to calculate the number of channels with preset parameters queue length.

**Keywords:** mobile network, handover calls, traffic, QoS.

UDC 533:519.6:621.64.029

**Problems for optimal control by natural gas flows in a long pipeline/ Chekurin V., Khymko O.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 104–111. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

A section of a gas-main pipeline consisting of a compression station and connected to it output long pipeline has been considered in the paper. Problems for optimal control by steady-state natural gas flows in the section have been formulated within the non-linear gas dynamic model. The solutions of the problems determine the values of the pressure on the pipeline’s input and output under which the power consumption of the compression station is minimal. The problems have been reduced to non-restricted minimization of functionals depending on power of gas frictional forces in the pipeline. An algorithm for numerical solving the formulated problems has been created with the use of Runge-Kutta and Newton methods. The developed mathematical tools can be used for formulation and solving problems for optimal control by steady-state natural gas flows in many-sectional gas-main pipelines.

**Keywords:** gas dynamics, gas-main pipeline, optimal control

UDC 517.534

**Forecasting of time costs to perform jobs in workforce management systems/ Chystiakova A., Vasiltsova N.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 111–121. – Bibliogr.: 17. – ISSN 2411-2798

The Workforce Management (WFM) systems, which allow organizations to manage workforce efficiency and related factors such as expected workloads, ideal staff numbers, and technical capabilities of staff are considered. WFM software ensures that an organization is functioning with an optimally productive team. The solution for forecasting problem of time costs for jobs performance provides the job’s number assessment in future and the quantity of necessary stuff. The analysis of time

costs of job's performance shows that the time series designed using this data are homogeneous so the standard classic methods cannot be applied to forecast such data. The method of time series data forecasting using singular value decomposition and presenting it in the several phase spaces is proposed to solve this problem. The provided technique is very flexible and adaptive to forecast the data of different job types for different areas of business since it doesn't restrict the statistical characteristics of original data.

**Keywords:** forecasting, workforce management, time series, singular value decomposition

UDC 621.365.2:51-74

**Regression analysis of mathematical model of ion-plasma glass surface processing/ Shram A. A.** //Bulletin of NTU "KhPI". Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 10 (1112).- P. 121–127. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

Change of the glass surface properties using plasma processing is a progressive technological method that allows achieves the surface layer with desired physical properties. Quality of the modified surface of the glass layer depends on such parameters as: type of the source implantation material, the composition of processed glass, the flow rate and type of the plasma gas, energy and geometric parameters of the plasmatron.

The ability of preliminary determination of optimal ranges of process parameters to ensure the implantation of the elementary particles of the modifying material (atoms and ions) and their uniform distribution in the diffusion layer results in a reduction in specific consumption of implantation material during the formation of high quality penetrating coatings on a glass surface with a simultaneously increasing the processing performance.

The construction of a mathematical model of ion-plasma processing of the glass surface based on the regression analysis is considered in the article. The resulting model allows determine in what direction and to what extent is it necessary to vary the factors to achieve optimal quality of the coatings.

From the analysis of the mathematical model of ion-plasma processing of the glass surface it found that the maximum impact on the quality of the coatings has a flow rate of an aqueous solution of the implantation material and distance processing.

**Keywords:** mathematical model, regression analysis, multivariate experiment, low-temperature plasma, glass.

UDC 539.3

**Determination of stress-strain state of axisymmetric bodies under thermopower load/ Gulyar A., Pyskunov S., Andrievskiy V., Maximjuk Yu**//Bulletin of NTU "KhPI". Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 10 (1112).- P. 128–135. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

The possibilities of solving methods for axisymmetrical problems of elasticity theory under power load based on the moment scheme of finite element (MSFE) for objects under non-uniform temperature field was expanded. The article shows the resolvers ratio to determine temperature deformations and stresses. A study of the reliability of the obtained results of the stress-strain state of axisymmetrical bodies under thermopower load was fulfilled by solving test cases. The distribution of thermal stresses in the disk of constant thickness with a central hole, thermoelastic state of circular plate with a hole, axisymmetric thermoelastic state of solid cylinder of finite length and thermoelastic state of disk under the field of centrifugal forces action were investigated in particular. The results shows that the based on MSSE method is allows accurately describe thermoelastic state of disks, cylinders and plates with different laws of distribution of temperature and external loads.

**Keywords:** thermal power load, moment scheme of finite element (MSFE), axially symmetric body, authenticity.

UDC 62-663.7 (045)

**Ways to improve performance ejecting pusher/Ryndyaev V. I.**//Bulletin of NTU "KhPI". Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 10 (1112).- P. 135–139. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

Investigated eject mechanism coke pusher. The reasons of equipment failure. It was established

that the main cause of failure is high tension parts of the devices due to the increased power parameters of the process and significant dynamic loads. It was found that the main failure modes are fatigue failures. Classified load acting ejectors.

Studied the formation of the equivalent loads considering caking coke. Develop criteria for assessing schemes ejecting pusher.

The most important criteria for evaluating the schemes ejecting pusher are:

1. Kritery ensure process parameters and product quality indicators.
2. Kritery performance:
  - a margin of safety for maximum loads;
  - a margin of safety for the equivalent load;
  - the dynamic criterion;
3. Ekonomichesky criterion

Criteria for the process parameters and quality indicators is the starting product, monitors compliance with the developed scheme of the device.

The notion of "efficiency" is qualitative, and to evaluate the performance values are used margin of safety. Analyzed the impact of design decisions ejecting at reducing operating loads.

**Keywords:** drive, schematics, transmission.

UDC 519.248

**Development of reliability model for failure cause analysis of hydraulic station with coupled pumps/ Stefanovych T., Oksentyuk V., Shcherbovskykh S.** //Bulletin of NTU "KhPI". Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 10 (1112).- P. 139–147. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

The mathematical reliability model for hydraulic station with coupled pumps is proposed. The model adequately takes into account impact of load-sharing for coupled hydraulic pumps on failure cause probability characteristics of such system. For reliability formalization a dynamic fault tree is used. System failure is occurred in three cases. The first case is electrical motor failure, the second — pump couple failure, and the third — safety valve failure. Pump couple failure occurs in the case of both pumps failure is occurs. If one pump is fault, then other one operates under overload with determined rate. Component life is distributed by Weibull and repairing time is distributed by exponentially. Based on the dynamic fault tree the split homogeneous Markov model of system is constructed. This model is used for failure cause probability characteristics calculation. The most probable failure cause is determined. Impact of overload rate of pumps on probability characteristics is analyzed.

**Keywords:** reliability model, dynamical fault tree, Markov model, hydraulic stations failure cause.

UDC 665.64

**Static optimization of catalytic reforming process/ Levchuk I.** //Bulletin of NTU "KhPI". Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 10 (1112).- P. 147–154. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

Based on the analysis of input and output process coordinates, it was proved that the static mode is the basic operating mode of the catalytic reforming unit. The analysis of the process as a control object was carried out, the composition of the vector of input optimized values and the type of optimization criterion were determined. Formulation of the problem of static optimization of catalytic reforming process was made, and a method for solving this problem based on the Hooke-Jeeves non-linear optimization method, supplemented by the constraint verification procedure was proposed. To determine the sensitivity of the optimal conditions to the process perturbing effects, a series of one-factor experiments relative to the main level of perturbing effects, corresponding to the basic mode, not being optimal, was performed. According to the study of optimum modes, the control method of the reactor block of the catalytic reforming unit through the optimal temperature distribution at the inputs of the first and second reactors at a constant limit value of other control actions was proposed. Experimental testing of the proposed control method based on experimental data of the catalytic reforming unit of Odessa refinery has shown an increase in yield of the desired product - catalysate by 3-5% on average for all the studied basic modes.

**Keywords:** oil refining, catalytic reforming, catalysate, static optimization, basic modes, control method.

UDC 331.45

**European approach to training of specialists from work safety/ Berezutskyi V.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 155–163. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

The article discusses that at the currently in Ukraine were a lot of attention paid to European values, including laws and regulations concerning labor protection. We in Ukraine and in Western Europe for many years ascertain the presence of industrial accidents and occupational diseases. The only difference is in the number and severity of cases, and in the work to prevent these situations like this, that is - prevention. We are far ahead of all of Western Europe at this the bad performance. The our country began to study international experience in addressing these issues at the last 10-15 years but remains to be done for its application in full. No European or world that approaches cannot solve the issue, to reduce injuries, no integrated and comprehensive application of all instruments regulating these issues at all levels, from government to the most ordinary worker. To solve the pressing issues to reduce injuries and occupational diseases in manufacturing possible only under use of modern equipment, workers work in a comfortable environment, the availability of high culture labor leaders and subordinates, training and monitoring real knowledge of safety and more. Now we want to step up to the European culture and have heavy chains of inheritance, which do not allow doing so. The main hope for the resolution of these issues is assigned to a new generation of young professionals who are currently preparing universities Ukraine. We must learn from the experience of experts and make their national approaches to the problems of occupational safety and health at work. **Keywords:** European integration, education, professionals, safety, risk, indicators, standards, OHSAS 18000

UDC 044.03;658.11.05.06

**Models and method of determination of the state of organism of employee of enterprise/ Evlanov M. V., Serdyuk N. N.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P. 163–169.– Bibliogr.: 13. – ISSN 2411-2798

The features of information systems were considered for management by safety of labor on an enterprise, shortcomings of existent models of functional tasks of analysis and prognosis of change of the state of employee of enterprise, are offered models and method which allowing to describe the architectural features of determination of function which is used for description of the state of the employee of enterprise observed in the concrete moment of time. The models and methods of Naive Bayes using allows us to observe the state enterprise employee at a time with using a minimum set of tools diagnostic This greatly simplifies control of the operation during the exploitation of the information system by safety of labor management in the enterprise.

**Keywords:** management by safety of labor, harmful production factors, classification of the state of employee, the Naive Bayes method.

UDC 658.62.018.012

**The forecasting processes of the quality management system / Katrich O.** //Bulletin of NTU “KhPI”. Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – № 10 (1112).- P.170–175. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2411-2798

The analysis of the requirements of the international standards on quality management systems by quality enterprises, which showed the need to assess and manage processes, and since they are different, then you need to apply different approaches. Dispersion indicators of the quality of some of the processes in time showed on the principle of ergodicity and regularity, which allows management to apply the theory of Markov chains.

In the theory of Markov chains it is assumed that the distribution law of the ordinate at any future time depends only on the values of the ordinate at this point in time and does not depend on which of the ordinate function had in the past. Thus, the theory of Markov processes allows you to explore a number of problems concerning the transition process, the solution of which by correlation theory can not be obtained. The algorithm to obtain the matrix of transition.

**Keywords:** international standard; management; forecasting; process; qualimetry; Markov chains; dispersion; quality score

## ЗМІСТ

<b>Музика К. М.</b> «Штучні рецептори» на базі технології молекулярного імпринтингу в умовах поверхневого плазмонного резонансу	3
<b>Мазур В. О.</b> Дослідження властивостей та мікроструктури швидкорізальних сталей після плазмового поверхневого азотування	9
<b>Плугін А. А., Романенко О. В., Калінін О. А., Плугін О. А., Афанасьєв О. В.</b> Вплив добавок суперпластифікаторів і прискорювачів твердіння на кінетику набору міцності цементним каменем	14
<b>Бодненко Т. В.</b> Дослідження елементів амплітудно-імпульсних і цифрових систем автоматизованого регулювання у програмному середовищі VISSIM	23
<b>Григорова Т. М., Давідіч Ю.А., Доля В.К.</b> Визначення факторів, які впливають на вибір пасажирями виду приміського транспорту	29
<b>Копытчук Н. Б., Тишин П. М., Копытчук И. Н., Милейко И. Г.</b> Алгоритм определения аномальных ситуаций для тензометрических систем	37
<b>Луценко И. А.</b> Синтез структуры системы преобразования технологических продуктов	45
<b>Німченко Т. В.</b> Застосування акустичної емісії як одного з засобів технічного захисту	50
<b>Савельева О. С., Налева Г. В.</b> Применение показателя структурной отказоустойчивости при поддержке принятия решений на этапе проектирования	56
<b>Жученко А. І., Цапар В. С.</b> Синтез спостерігача стану температурного режиму скловарної печі	63

<b>Шатовська Т. Б., Каменєва І. В.</b> Дослідження ефективності застосування BDD-фреймворків у тестуванні безпеки web-орієнтованого програмного забезпечення	69
<b>Шевченко В. А.</b> Информационная технология формирования индивидуальных траекторий самостоятельной работы студентов	76
<b>Бісікало О. В., Лісовенко А. І., Яхимович О. В., Траченко С. С.</b> Визначення змістовних ознак тексту на основі аналізу зв'язків між лексичними одиницями	83
<b>Герасіна О. В.</b> Алгоритми нечіткої кластеризації для прогнозування процесів гірничо-металургійного виробництва	89
<b>Кулаков Ю. О., Короненко А. М.</b> Спосіб розрахунку параметрів стільникової мережі зв'язку з розподіленням каналів	97
<b>Чекурін В. Ф., Химко О. М.</b> Задачі оптимального керування потоками газу в довгому трубопроводі	104
<b>Чистякова А. А., Васильцова Н. В.</b> Прогнозирование затрат времени на выполнение работ в системах управления рабочей силой	111
<b>Шрам А. А.</b> Регрессионный анализ математической модели ионно-плазменной обработки поверхности стекла	121
<b>Гуляр О. І., Пискунов С. О., Андрієвський В. П., Максим'юк Ю. В.</b> Визначення параметрів напружено-деформованого стану вісесиметричних тіл при термосиловому навантаженні	128
<b>Рындяев В. И.</b> Пути повышения работоспособности выталкивающего устройства коксовыталкивателя	135

<b>Стефанович Т. О., Оксентюк В. М., Щербовських С. В.</b> Розроблення моделі надійності для аналізу причин непрацездатності гідравлічної станції зі спареними насосами	139
<b>Левчук И. Л.</b> Статическая оптимизация процесса каталитического риформинга	147
<b>Березуцький В. В.</b> Європейський підхід до підготовки спеціалістів із охорони праці	155
<b>Евланов М. В., Сердюк Н. Н.</b> Модели и метод определения состояния организма сотрудника предприятия	163
<b>Катрич О. А.</b> Прогнозирование процессов системы менеджмента качества	170
<b>РЕФЕРАТИ</b>	176

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
"ХПІ"**

Збірник наукових праць

Серія:

Механіко-технологічні системи та комплекси

№ 21(1130)

Відповідальний редактор д-р техн. наук, проф. Д. О. Дьомін

Технічний редактор В. О. Костик

Відповідальний за випуск: к. т. н. І. Б. Обухова

**АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:** 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».  
Кафедра ливарного виробництва, тел. (057) 707-68-54  
e-mail: [c7508990@gmail.com](mailto:c7508990@gmail.com)

Обл.-вид. №19-15

Підп. до друку 15.05.2015р. Формат 60x84/16. Надруковано на різнографі

Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 9,4. Облік.вид.арк. 10,0.

Наклад 300 прим. Зам. № 47-15. Ціна договірна

---

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта видавничої справи ДК №3657 від 24.12.2009  
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

---

Друкарня "Технологічний Центр"  
Свідоцтво про державну реєстрацію №1 480 120 0000 021055 від 02.04.2002  
Адреса: 61145, м. Харків, вул. Шатилова дача,4

---