

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси»

№ 36(1145)2015

Збірник наукових праць

Видання засноване 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. – No36(1145) – 156с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ No5256 від 2 липня 2001 року

Мова статей – українська, російська, англійська.

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 рішенням Атестаційної колегії МОН України щодо діяльності спеціалізованих вчених рад від 15 грудня 2015 р., No 1328 (додаток 8) від 31.12.2015 р.

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. Грабченко, 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. Клепіков, 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. Пуляев, 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. Тимофіїв, д-р техн. наук, проф., М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

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

Заст. відповідального редактора: Акімов О. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків,

Відповідальний секретар: Пензев П. С., НТУ «ХПІ»;

Члени редколегії: Березуцький В. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Дмитрік В. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Доценко Ю. В., канд. техн. наук, НМетАУ, Дніпропетровськ, 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, Погрібний М. А., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Пономаренко О. І., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, Селівьорстов В. Ю., НМетАУ, Дніпропетровськ, Соболев 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, Старооскольський технологічний інститут – філія Національного дослідницького технологічного інституту «Московський інститут сталі і сплавів», Росія

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ „ХПІ”

Протокол No12 від «25» грудня 2015 р.

УДК 621.382.323

С. П. НОВОСЯДЛИЙ, С. І. БОЙКО

КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПОЛЬОВИХ ГЕТЕРОТРАНЗИСТОРІВ ВИСОКОЇ ШВИДКОДІЇ ДЛЯ СУБМІКРОННИХ СТРУКТУР ВІС/НВІС

Проведено аналіз швидкодії гетероструктурних польових транзисторів із селективним легуванням (ПТГСЛ), багатоканальних ПТГСЛ та ПТГСЛ з оберненою структурою, а також польових транзисторів з гетерозатвором високої щільності. На практиці отримані ПТГСЛ із значенням часу затримки в кільцевому генераторі $\tau_D = 12,5-25$ пс при $T = 300$ К потужністю $P_D = 0,9-4,0$ мВт. Використання таких транзисторів в комплементарних вентилях, дозволяє збільшити їх швидкодію в 2,5-3 раз, в порівнянні з кремнієвими.

Ключові слова: польовий транзистор, гетероперехід, арсенід галію, двомірний електронний газ.

Вступ. Постійно зростаючі вимоги до комп'ютерів та споживчої електроніки роблять необхідним підвищення швидкодії структур великих інтегральних схем. Використання гетеропереходів в біполярних та польових транзисторах дозволяє значно підвищити їх швидкодію.

Зазвичай, для зміни провідності в напівпровідниках використовуються домішки. Проте, в цьому випадку, електрони провідності розсіюються на домішках, що негативно впливає на їх рухливість, а значить на швидкодію транзистора. В гетероструктурних транзисторах цього можна уникнути. В них для створення каналу використовується контакт двох напівпровідникових матеріалів з різною шириною забороненої зони. Електрони генеруються в сильнолегованому широкозонному напівпровіднику і завдяки вигину енергетичних зон повністю переносяться в нелегований вузькозонний напівпровідник. Таким чином формується тонкий шар електронів з високою рухливістю, які володіють властивостями двовимірного електронного газу.

Тому актуальним є проведення аналізу основ проектування гетероструктурних польових транзисторів високої швидкодії субмікронних структур ВІС/НВІС.

Огляд літературних джерел та постановка проблеми. З середини 60-х років став активно розвиватися новий напрямок у фізиці і техніці напівпровідників – напівпровідникові гетероструктури [1].

У 1970 було висунуто ідею створення напівпровідникових надграток, електронний спектр яких визначається ефектами розмірного квантування [2]. Було синтезовано композиційну надгратку на основі системи GaAsP методом хлоридної газофазної епітаксії, при дослідженні якої, спостерігалися ефекти, пов'язані зі зміною спектру щільності станів [3]. Вже на цьому етапі розвитку технології і досліджень квантоворозмірних (КР) гетероструктур стало зрозуміло, що ця ідея матиме революційний вплив, на всю фізику твердого тіла, дозволяючи створювати штучні матеріали з наперед заданими оптичними і транспортними властивостями і відкриваючи принципово нові можливості як у фундаментальних дослідженнях, так і в створенні приладів [4]. Але стало також ясно, що створення високоякісних КР гетероструктур та, відповідно, реалізація всіх їх можливо-

стей неможливі за допомогою традиційних технологій рідкофазної і хлоридної газофазної епітаксії [5].

Принципові можливості КР гетероструктур були реалізовані лише з розвитком нових технологій: газовой епітаксії з металоорганічних з'єднань і молекулярно-променевої епітаксії (МПЕ) [6].

Вже в 70-і роки були широко розгорнуті дослідження фундаментальних властивостей КР гетероструктур, запропонована і реалізована концепція структур з модульованим легуванням, створені гетеролазери з КР областю рекомбінації [7].

До 1980 року успіхи в області синтезу КР гетероструктур та дослідження їх фундаментальних властивостей стали в значній мірі визначати прогрес в галузі фізики і техніки напівпровідників [8]. Швидкій розробці нового типу польових транзисторів на двовимірному електронному газі сприяла висока концентрація електронів в тонкому шарі, їх висока рухливість і можливість керувати концентрацією носіїв в каналі.

Найбільш вивченими і технологічно відпрацьованими є гетероструктури AlGaAs/GaAs. Перспективними для використання вважаються нітриди галію і алюмінію. Найбільш технологічно освоєні структури GaN/AlGaN [9].

Незважаючи на бурхливий розвиток даної галузі, досі не вирішено такі питання: низькотемпературної епітаксії для формування багаточарових структур; технології формування різких гетеропереходів; літографії з високою роздільною здатністю; металізації контактів з низьким перехідним опором.

Мета та завдання роботи. Метою даної роботи є проведення аналізу сучасних теоретичних основ проектування та формування гетероструктурних польових транзисторів високої швидкодії для субмікронних структур ВІС.

Для виконання цієї роботи були поставлені такі завдання: аналіз процесів формування гетероструктурних транзисторів субмікронних структур ВІС; визначення технологічних процесів необхідних для формування гетероструктурних польових транзисторів у вигляді технологічної САПР; проаналізувати необхідні вдосконалення технології та системи автоматизованого проектування структур ВІС на основі польових транзисторів з гетеропереходом.

Польові транзистори на гетероструктурах AlGaAs/GaAs із селективним легуванням. Такий ПТ представляє собою нанесений на напівпровідникову підкладку із чистого GaAs із концентрацією залишкових домішок $10^{14}\text{-}10^{15}\text{ см}^{-3}$ над яким розміщений спейсер – тонкий нелегований шар $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ з $N_d < 10^{15}\text{ см}^{-3}$, а потім – шар сильнолегованого з $N_D = 10^{18}\text{ см}^{-3}$ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ з $x = 0,3$. На останньому шарі розміщуються контакти витоку, затвору, стоку. Активною областю транзистора виступає двомірний канал, що утворюється у гетеропереході AlGaAs/GaAs. Для покращення контакту з каналом області під стік-витоковими областями можуть бути ретроградно сильно легованими (з використанням самосумщеного затвору), а затвор заглиблений. Така структура ПТГСЛ отримала найбільше поширення і називається нормальною або прямою на відміну від оберненої.

На рис. 1, а, б подана структура такого транзистора та його зонна структура.

Така структура вимагає технології: 1) низькотемпературної епітаксії; 2) формування ретроградних стік-витокових областей багатозарядною імплантацією; 3) літографії високої роздільної здатності.

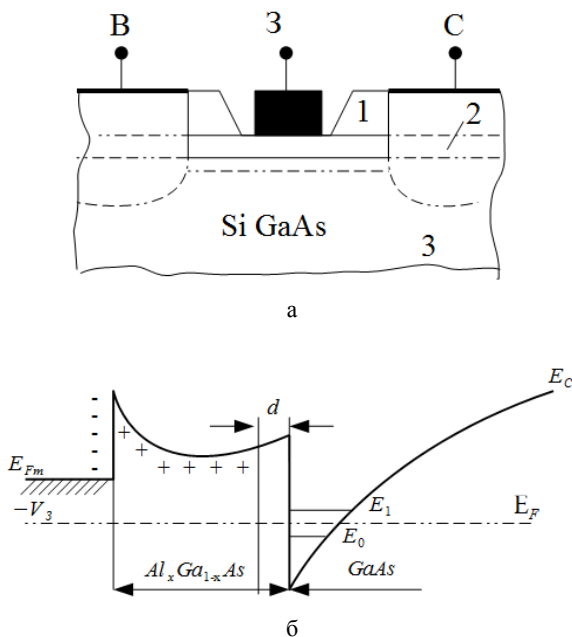


Рис. 1 – Структура ПТГСЛ: 1 – n-AlGaAs, 2 – нелегований AlGaAs, 3 – GaAs; а - 2D ЕГ; б - зонна структура ПТГСЛ в області затвору

Фізичний принцип роботи ПТГСЛ в загальному такий же, як і МДНПТ. В роботі і в структурі ПТГСЛ є, проте, суттєві специфічні особливості, які вимагають створення нової комп'ютерної моделі для опису його основних параметрів і характеристик так необхідних для схмотехнічного моделювання. Його основною особливістю є дуже висока провідність і квантові стани в досить вузькому каналі, а також велика близькість металу затвору до каналу, при великій діелектричній постійній шару GaAs в порівнянні з SiO_2 . Завдяки цим відмінним особливостям крутизна ПТГСЛ в області насичення струму перевищує

крутизну МДНПТ, що і забезпечує його високу швидкість.

Для обчислення характеристик ПТГСЛ потрібно знайти залежність концентрації і рухливості електронів в каналі від прикладених до затвору і стоку напруг. За допомогою метода контролю заряду для концентрації електронів в каналі отримаємо:

$$n_s(x) = \frac{\epsilon}{q(d_d + d_i)} (V_g - V(x) - V_T), \quad (1)$$

де ϵ – діелектрична проникність AlGaAs, d_d – товщина легованого і d_i – нелегованого шару AlGaAs (рис. 1б); $V_T = \phi_b - \Delta E_c/q + \Delta E_F/q - V_p$; $V_p = q(N_D)^2(d_d)^2/2$; величини ϕ_b , ΔE_c , ΔE_F – параметри гетероструктури.

Саме ці параметри відрізняють вираз для концентрації електронів в каналі для ПТГСЛ від МЕНПТ.

Положення рівня Фермі в гетеропереході і AlGaAs/GaAs при $n_s > 5 \cdot 10^{11}\text{ см}^{-2}$ при $T = 300\text{ К}$ лінійно залежить від n_s і можна вважати, що $\Delta E_F = an_s$

$$\text{де } a = 0,125 \cdot 10^{-16}\text{ еВ} \cdot \text{м}^2.$$

Для рухливості електронів в каналі як її залежність від напруженості електричного поля використовують різні апроксимації на механізм розсіювання носіїв заряду на фононах і дефектах матеріалу, а саме як $v = f(\mu E)$

$$v = \frac{\mu E}{1 + \mu E/v_s}, v = \frac{\mu E}{(1 + (\mu E/v_s)^2)^2} \quad (2)$$

$$v = \frac{v_s}{\left(1 - \exp\left(-\frac{\mu E}{v_s}\right)\right)}, v = (v_s E_s) \left(2 - \frac{E}{E_s}\right) E,$$

$$0 < E < E_s,$$

$$v = v_s, E > E_s,$$

де v_s – швидкість насичення, μ – низькопольова рухливість.

Добре співпадіння з експериментом отримано в останньому виразі. Підстановка v_s і $v(E)$ за (1) і (2) у вираз для струму стоку дозволяє побудувати стокові характеристики $I_c = f(V_c, V_g)$. Похідна цієї залежності по v_s в області насичення характеристики $I_c = f(V_c, V_g)$ дає крутизну ПТ в цій області. На рис. 2, а, б приведені розрахункові залежності крутизни g_m від напруги на затворі V_g і максимальної крутизни $g_{\text{макс}}$ від довжини затвора λ .

Порогові частоти для отриманого підсилення струму f_T і підсилення потужності $f_{\text{макс}}$ визначається виразом:

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi C_{зв}} = \frac{\bar{v}}{2\pi\lambda}, \quad (3)$$

$$f_{\text{макс}} = f_T \left(2 \left((R_{зв} + R_b + R_s) / R_{св} + 2\pi f_T R_s C_{св} \right)^2 \right)$$

Для порівняння в табл. 1 подані параметри МЕНПТ і ПТГСЛ, що визначені на основі всіх цих транзисторів.

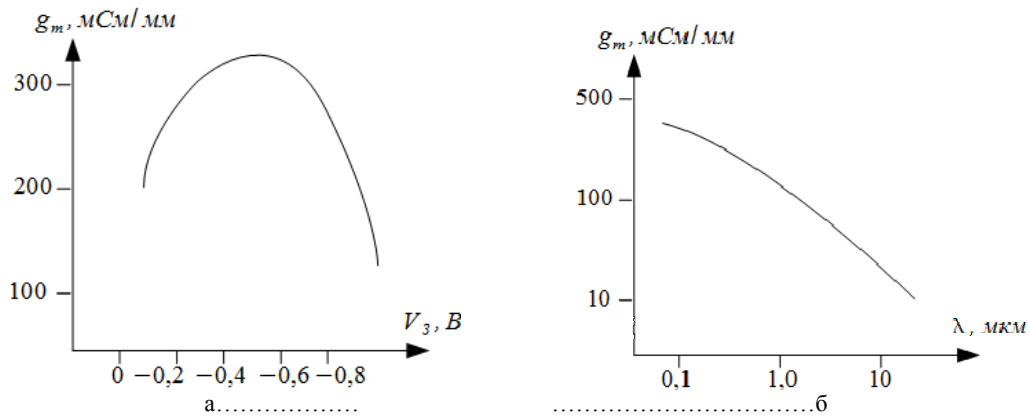


Рис. 2 – Залежність крутизни g_m від: а - напруги на затворі V_{g3} для ПТГСЛ при $\lambda = 1$ мкм і $T = 300$ К; б - від довжини затвора λ для нормально відкритого ПТГСЛ.

Таблиця 1 – Порівняльні параметри МЕНПТ і ПТГСЛ при $\lambda = 1$ мкм

| Тип | g_m | $C_{зв}$ | $C_{зс}$ | R_3 | $R_{зв}$ | $R_{в}$ | $R_{св}$ | f_T | $f_{макс}$ |
|-------|-------|----------|----------|-------|----------|---------|----------|-------|------------|
| МЕНПТ | 100 | 1,1 | 0,11 | 4 | 3,6 | 0,93 | 120 | 14 | 30 |
| ПТГСЛ | 140 | 1,3 | 0,09 | 4 | 7 | 1,5 | 220 | 20 | 50 |

Як бачимо у ПТГСЛ швидкодія зростає в 1,4–1,8 раз, а при $\lambda = 0,5$ мкм – в 2-2,3 рази.

Підвищення значень f_T відповідає також зниженню шумів ПТГСЛ.

На сьогодні при моделюванні отримані ПТГСЛ із значенням часу затримки в кільцевому генераторі $\tau_D = 12,5-25$ пс при $T = 300$ К потужністю $P_D = 0,9-4,0$ мВт [10]. Малі значення амплітуди таких ПТГСЛ дозволяють працювати при малих значеннях $\tau_D \cdot P_D$ і тим самим забезпечити високий ступінь інтеграції ВІС і малу затримку логічних схем. Проте, як і у випадку МЕНПТ основним обмеженням є складність отримання однорідних значень поперечних напруг V_T з мінімальним розкидом по пластині ($< 10-15$ мВ). Але субмікронна технологія з багатозарядною імплантацією цю складність усуває.

Створення ПТГСЛ з двомірним дірковим каналом дозволяє застосовувати їх в комплементарних вентилях схем з швидкодією, що є в 2,5-3 рази більшою, ніж у кремнієвих комплементарних вентилях.

Обернені і багатоканальні структури транзисторів на гетероструктурах AlGaAs/GaAs із селективним легуванням. Низька пробивна напруга затвору і стоку ПТГСЛ з прямою структурою обмежує можливості його використання в потужних і НВЧ-пристроях. Мала пробивна напруга зумовлена високолегованим шаром n^+ - AlGaAs, що розміщується зразу під затвором. З метою підвищення пробивної напруги і одночасного покращення високочастотних параметрів в НВЧ-діапазоні рядом дослідників запропоновано ПТ з нелегованою оберненою гетеро структурою, яка розміщується між металом електродів і нормальною гетеро структурою із селективним легуванням та каналом з двомірним електронним газом (рис. 3 а, б). Напруга пробою в такому ПТ може бути збільшена до 10-15 В, а частота f_T до 50-70 ГГц з коефіцієнтом шуму менше 0,95 дБ на частоті 12 ГГц та розміром затвору 0,5-250 мкм.

Визначальними перевагами перед прямою структурою ПТГСЛ (метал/AlGaAs/GaAs) має інвестована

або обернена структура (метал/GaAs/AlGaAs) (IMODFET):

1) в технологічному плані сформувати бар'єр Шоттки і омичний контакт до GaAs є легше, ніж до AlGaAs;

2) поверхня GaAs є більш стабільною, ніж AlGaAs;

3) крутизна ПТ з оберненою структурою слабо залежить від ступеня легування AlGaAs і не знижується при зниженні легування.

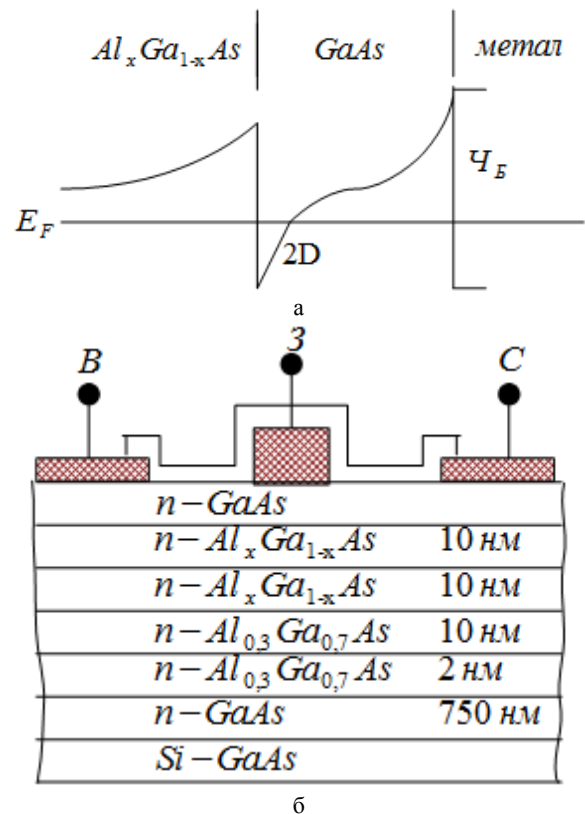


Рис. 3 – Транзистор з оберненою гетероструктурою: а - схематичне зображення оберненої структури ПТГСЛ (зонна діаграма); б - структура ПТ з нелегованою оберненою гетероструктурою

Як і в прямій структурі, шар GaAs є слабо легованим для досягнення високої рухливості в каналі. Шар AlGaAs легований як постачальник електронів в канал і може бути достатньо товстим, але не настільки, щоб його провідність шунтувала двомірний канал в GaAs.

Теорія роботи і комп'ютерне моделювання ПТГСЛ з оберненою структурою на сьогодні недостатньо розроблені. На рис. 4 приведені розрахунки максимальної крутизни в залежності від порогової напруги. В режимі збіднення (коли $V < 0$) транзистор з оберненою структурою не має переваг (крім технологічних) перед транзистором з прямою структурою. Проте в режимі збагачення ($V > 0$) крутизна транзистора з оберненою структурою є вищою, ніж в прямій при однаковій пороговій напрузі. Це зв'язано з тим, що двомірний електронний газ в оберненій структурі є ближчим до металу затвору, ніж в прямій. Особливо значною крутизна є в ПТГСЛ з оберненою структурою при малій товщині шару GaAs, так при товщині шару GaAs рівній 10 нм крутизна $g_m = 1180$ мСм/мм при $T = 300$ К, що майже в 3 рази більше ніж у прямої структури.

Для збільшення крутизни і потужності ПТГСЛ запропоновані структури з кількома паралельно діючими двомірними каналами. Структура двоканального ПТГСЛ (ПТДГСЛ/SDDHFET), складається з ніби то паралельне включення прямої і оберненої структур ПТ. В багатоканальних ПТГСЛ такі структури багатократно чергуються.

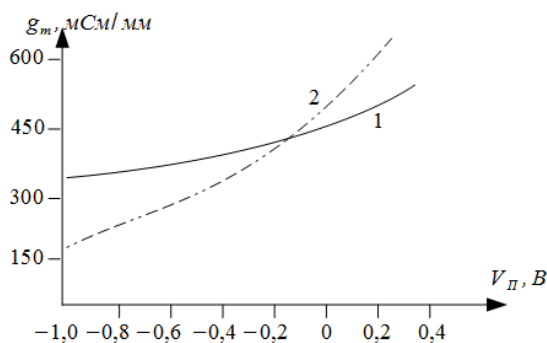


Рис. 4 – Залежність максимальної крутизни від порогової напруги для прямої (1) та інвертованої структури (2) ПТГСЛ

Двоканальні ПТГСЛ необхідно розглядати як необхідні прилади для НВЧ-техніки та швидкодіючих НВЧ-схем, так як щільність електронів у подвійному каналі ПТГСЛ є в 2 рази вищою, ніж в одно каналному (потужність теж зростає у 2 рази), що поряд з підвищенням крутизни дає зниження опору витоку. Для таких структур ВІС необхідний САПР нового покоління, де б була задіяна нова база швидкодіючих транзисторів для субмікронних структур ВІС/НВІС. Це досить складна задача [11].

Хоча ПТГСЛ на структурі AlGaAs/GaAs мають суттєві переваги перед гомоструктурними ПТ у швидкодії на Si і GaAs, їм характерний і ряд факторів, що дещо запобігають подальшому покращенню параметрів: домішкові DX-центри в AlGaAs, тенденція Al до окислення, обмежена рухливість в GaAs, малий ро-

зрив зони провідності на межі гетеропереходу, мала теплопровідність GaAs. [12]

Як бачимо, для даної групи швидкісних транзисторів ПТГСЛ потрібні докладні дослідження і своя нова САПР, включаючи топологічну САПРТС.

Польові транзистори з гетерозатвором високої щільності. Одним із основних недоліків ПТ із затвором Me-N є значний розкид порогових напруг при малому рівні допустимого перепаду логічних рівнів напруги. З цим недоліком зв'язаний малий запас завадостійкості і обмеження максимальної крутизни ПТШ. З метою збільшення висоти бар'єра затвора і зменшення ΔU_T рядом дослідників запропоновано ряд більш складних ПТ з гетеро структурними затворами.

Дамо короткий аналіз нових світових досліджень цього напрямку [13-15].

В кремнієвому ПТ шляхом формування між металом затвору і каналом тонкого шару трійного сплаву металевого аморфного кремнію (α -Si-Ge-B), що має високий бар'єр з кристалічним монокремнієм, вдалося отримати малий розкид $U_T (< 11$ мВ) для ПТ з $\lambda = 0,5$ мкм на підкладці діаметром 100 мм, високу крутизну (> 130 мСм/мм) при логічній амплітуді 0,5 В. Такий транзистор отримав назву МАКПТ/MASFET. Розроблена технологія дозволила шляхом само формування (самосуміщення) отримати затвор з $\lambda = 0,5$ мкм, що забезпечило високу швидкодію МАКПТ: $\tau_D = 114$ пс при $P_D \tau_D = 1,6$ пДж і $P_D \tau_D = 3,3$ пДж при $\tau_D = 26$ нс. Аналогічно отримано МАКПТ на n-GaAs, що забезпечить логічну амплітуду 0,94 В при $\tau_D = 34$ пс і $P_D = 1,9$ мВт [13].

Порогова напруга ПТ на гетероструктурі Me/GaAs/AlGaAs/GaAs визначається за формулою:

$$V_T = \phi_e + \frac{\Delta E_c}{q} - \frac{qN_d d_d^2}{(2\epsilon)}$$

де ϕ_e – висота бар'єра Шоттки, ΔE_c – стрибок енергії дна зони провідності на гетеропереході, N_d , d_d – концентрація легуючої домішки і товщина шару n-AlGaAs. Так як N_d і d_d є важковідтворюваними параметрами запропоновано використовувати нелегований AlGaAs замість легованого і утворювати структуру ПТ Me/ізолятор/напівпровідник/гетероперехід (МІНГПТ/MISHFET) [14]. Розрахунки ВАХ таких транзисторів, основані на моделі контролю заряду, такого транзистора [15]. Такі транзистори називають гетероструктурним ПТ з ізолюваним затвором (ГІЗПТ, HIGFET), де від знаку прикладеної напруги до затвора ПТ може змінювати тип провідності в каналі, тобто стає як індукований (інверсійний).

У випадку n-канального МІНГПТ на GaAs між металом затвору і верхнім шаром GaAs наноситься шар n^+ -Ge для зближення постійних ґраток. Тоді різниця електронної подібності між GaAs і Ge визначала порогову напругу яка на пластині діаметром 50 мм мала ± 10 мВ. Зменшення товщини AlGaAs дозволило збільшити крутизну ПТ. На основі цього була сформована комплементарна комірка із n-i-p- канальних МІНГПТ із затвором $\lambda = 1,5$ мкм. Транзистори з n- і p-каналами мали g_m відповідно рівну 160 і 130 мСм/мм. Час перемикування комплементарної комірки складав 125 пс при потужності 1 мВт.

Для підвищення напруги перемикачання на затворі транзистора ПТГСЛ запропоновано підвищити бар'єр Шотткі в звичайному ПТГСЛ з структурою AlGaAs/GaAs шляхом нанесення шару p+-GaAs між металом затвора і AlGaAs (рис. 5, а,б). В такому транзисторі із збільшеним бар'єром Шотткі (ЗШПТГСЛ, ESMODFET), максимальна напруга на затворі в прямому напрямі підвищилась з 0,8 до 1,6 В, що і збільшило логічний період в 2 рази.

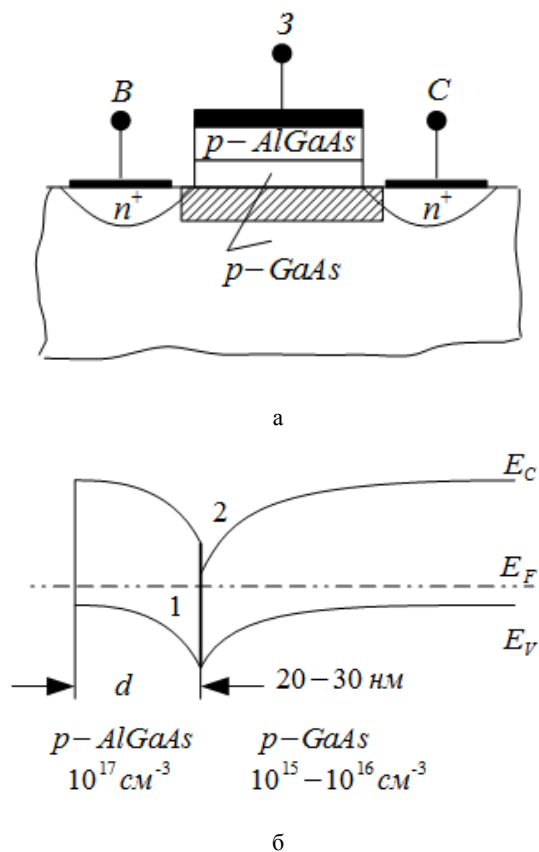


Рис. 5 – ПТГСЛ із збільшеним бар'єром Шотткі: а - структура; б - зонна діаграма, 1 – шар заряджених донорів, 2 – інверсний шар електронів

Як бачимо, новий клас гетероструктурних ПТ відкриває собою сама ідея використання планарного легування гетеропереходу з утворенням горбоподібного потенціального бар'єру (рис. 5, б). ПТ з такою структурою будемо називати ПТ з планарним легуванням гетерозатвором (ПТПЛГ). ПТПЛГ має великі переваги в порівнянні з іншими типами, що ми розглядали вище, включаючи ПТГСЛ. Це добре, бо дозволяє об'єднати всі види транзисторів до планарної кремнієво-арсенідової технології.

Експериментально виготовлений ПТ з дірковим гетерозатвором і планарно-легованими донорами (рис. 5, а) мав $g_m = 500$ мСм/мм при $\lambda = 2$ мкм, а максимальний струм стоку 430 мА/мм при рухливості в каналі 4000 см²/Вс. Зменшення довжини каналу до 1 мкм всі ці показники збільшить в 2 рази. Як бачимо із даного порівняння можна зробити такий важливий висновок: перевага ПТПЛГ перед ПТГСЛ полягає у можливості формувати канал як n-, так і p-типу і реалізації роботи ПТ в режимі як в режимі збіднення,

так і збагачення, тобто формувати комплементарні структури для логічних схем високої швидкодії.

Висновки. В даній статті проведено аналіз основ проектування гетероструктурних польових високої швидкодії для субмікронних структур ВІС/НВІС, а саме: ПТ на гетероструктурах AlGaAs/GaAs із селективним легуванням; обернених і багатоканальних структур ПТГСЛ; ПТ із гетерозатвором;

2. Для практичної реалізації таких структур необхідні наступні технологічні вдосконалення: субмікронна літографія (електронна, іонна, рентгенівська) з високою роздільною здатністю, контрастністю та прицезійним ПФО; багатозарядна імплантація з фотонним відпалом (активацією) для формування ретроградних концентраційних профілів та прицезійною підгонкою порогових напруг; низькотемпературна епітаксія сполук А^{III}В^V для формування багатозарядних структур із заданими електрофізичними параметрами; анізотропне плазмохімічне та іонно-променеве травлення (профілювання) діелектриків, металів, напівпровідників, багатозарядних структур і контактів; НВЧ-магнетронна технологія формування багаторівневої комутації на основі силіцидів/поліцидів; низькотемпературна епітаксія арсенід галієвих сполук на кремнієвих підкладках великого діаметру.

3. Для вдосконалення системи автоматизованого проектування структур ВІС/НВІС необхідно розробити бібліотеку транзисторних елементів високої швидкодії та система електрофізичного комп'ютерного моделювання і діагностування транзисторних елементів на основі тестових структур .

Список літератури: 1. Вакулин, И. Н. Физика полупроводниковых приборов [Текст] / И. Н. Вакулин, В. И. Стафеев. – М.: Сов. радио, 1980. – 296 с. 2. Пожела, Ю. К. Физика быстродействующих транзисторов [Текст] / Ю. К. Пожела. – Вильнюс: Моклас, 1989. – 264 с. 3. Москалюк, В. А. Сверхбыстродействующие приборы электроники [Текст] / В. А. Москалюк, В. И. Тимофеев, А. В. Федяй – Киев: НТУУ КПИ, 2012. – 480 с. 4. Lee, J. S. Reduction of current collapse in AlGaIn/GaN heterostructure FETs [Text] / J. S. Lee, J. W. Kim, J. H. Lee et al. // Electron. Lett. – 2003. – Vol. 39 Issue 9. – P. 705–752. 5. Shur, M. S. Low Ballistic Mobility in Submicron HEMT's [Text] / M. S. Shur // IEEE Electron Device Letters. – 2002. – Vol. 23 Issue 9. – P. 511–513. 6. Rudge, P. Investigation Into Intermodulation Distortion in HEMT's Using a Quasi-2-D Physical Model [Text] / P. Rudge, R. Miles, M. Steer, C. Snowden // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2001. – Vol. 49, Issue 12. – P. 2315–2320. 7. Einsprunch, N. G. VLSI Electronics: Microstructure Science. Heterostructures and Quantum Devices [Text] / N. G. Einsprunch, W. R. Frensley. – San Diego : Academic Press, Inc., 1994. – 452 p. 8. Kasemsuwan, V. Microwave Model for High Electron Mobility Transistors [Text] / V. Kasemsuwan, A. A. Nikali // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 1997. – Vol.45 Issue 3. – P. 420–427. 9. Chu, R. AlGaIn-GaN Double-Channel HEMTs [Text] / R. Chu, Y. Zhou, J. Liu et al. // IEEE Transactions On Electron Devices. – 2005. – V.52, Issue 4. – P. 438–445. 10. Yao, J. Comparison of theory and experiment in a modified BICFET/HFET structure [Text] / J. Yao, J. Cai, H. Opper et al // Solid-State Electronics. – 2009. – Vol. 53, Issue 9. – P. 979–987. 11. Borgarino, M. Gate-lag effects in AlGaAs/GaAs power HFET's [Text] / M. Borgarino, G. Sozzi, A. Mazzanti, G. Verzellesi // Microelectronics Reliability. – 2001. – Vol. 41, Issues 9-10. – P. 1585–1589. 12. Sikder, M. J. Scalability of the drain-current drive of AlGaIn/GaN HFETs with gate-length [Text] / M. J. Sikder, P. Valizadeh // Solid-State Electronics. – 2013. – Vol. 89. – P. 105–110. 13. Aggarwal, R. Improved linearity performance of AlGaIn/GaN MISHFET over conventional HFETs: An optimization study for wireless infrastructure applications [Text] / R. Aggarwal, A. Agrawal, M. Gupta, R. S. Gupta // Superlattices and Microstructures. – 2011. – Vol. 50, Issue 1. – P. 1–13. 14. Aggarwal, R. Gate

dielectric engineering of quarter sub micron AlGaIn/GaN MISHFET: A new device architecture for improved transconductance and high cut-off frequency [Text] / R. Aggarwal, A. Agrawal, M. Gupta, R. S. Gupta // State Electronics. – 2007. – Vol. 52, Issue 10. – P. 1610–1614. **15.** Tian, F. Physical and electrical characteristics of hafnium oxide films on AlGaIn/GaN heterostructure grown by pulsed laser deposition [Text] / F. Tian, E.F. Chor // Thin Solid Films. – 2010. – Vol. 518, Issue 24. – P. 121–124.

Bibliography (transliterated): **1.** Vakulin, I. N., Stafeev, V. I. (1980). Fizika poluprovodnikoviyh priborov. Moscow: Sov. radio, 296. **2.** Pozhela, Yu. K. (1989). Fizika bystrodeystvuyushchih tranzistorov. Vilnius: Mokslas, 264. **3.** Moskalyuk, V. A., Timofeev, D. I., Fedyaj, A. V. (2012) Sverhbystrodeystvuyushchie pribory ehlektroniki. Kyiv: NTUU KPI, 480. **4.** Lee, J. S., Kim, J. W., Lee, J. H. et al (2003). Reduction of current collapse in AlGaIn/GaN heterostructure FETs. Electron. Lett., 39(9), 705–752. **5.** Shur, M. S. (2002). Low Ballistic Mobility in Submicron HEMT's. IEEE Electron Device Letters, 23(9), 511–513. **6.** Rudge, P., Miles, R., Steer, M., Snowden, C. (2001). Investigation Into Intermodulation Distortion in HEMT's Using a Quasi-2-D Physical Model. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 49(12), 2315–2320. **7.** Einspruch, N. G., Frensey, W. R. (1983). VLSI Electronics: Microstructure Science. Heterostructures and Quantum Devices. San

Diego: Academic Press, Inc., 452. **8.** Kasemsuwan, V., Nikali, A. A. (1997). Microwave Model for High Electron Mobility Transistors. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 45(3), 420–427. **9.** Chu, R., Zhou, Y., Liu, J. et al (2005). AlGaIn-GaN Double-Channel HEMTs. IEEE Transactions On Electron Devices, 52(4), 438–445. **10.** Yao, J., Cai, J., Opper, H. et al (2009). Comparison of theory and experiment in a modified BICFET/HFET structure. Solid-State Electronics, 53(9), 979–987. **11.** Borgarino, M., Sozzi, G., Mazzanti, A., Verzellesi, G. (2001). Gate-lag effects in AlGaAs/GaAs power HFET's. Microelectronics Reliability, 41(9-10) 1585–1589. **12.** Sikder, M. J., Valizadeh, P. (2013). Scalability of the drain-current drive of AlGaIn/GaN HFETs with gate-length. Solid-State Electronics, 89, 105–110. **13.** Aggarwal, R., Agrawal, A., Gupta, M., Gupta, R. S. (2011). Improved linearity performance of AlGaIn/GaN MISHFET over conventional HFETs: An optimization study for wireless infrastructure applications. Superlattices and Microstructures, 50(1), 1–13. **14.** Aggarwal, R., Agrawal, A., Gupta, M., Gupta, R. S. (2007). Gate dielectric engineering of quarter sub micron AlGaIn/GaN MISHFET: A new device architecture for improved transconductance and high cut-off frequency. Solid-State Electronics, 52(10), 1610–1614. **15.** Tian, F., Chor, E. F. (2010). Physical and electrical characteristics of hafnium oxide films on AlGaIn/GaN heterostructure grown by pulsed laser deposition. Thin Solid Films, 518(24), 121–124.

Надійшла (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Новосядлий Степан Петрович – доктор технічних наук, професор, Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаніка, Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, Україна, 76025; e-mail: nsp@mail.pu.if.ua.

Бойко Сергій Іванович – аспірант, Прикарпатський Національний університет ім. В. Стефаніка, Кафедра комп'ютерної інженерії і електроніки, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, Україна, 76025; e-mail: sergiy1300@gmail.com.

УДК 669.295

Д. О. ЛИСТОПАД, Г. В. КАРПЕНКО, О. А. ДЖУГАН

АЛЬТЕРНАТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТИТАНУ ТА ЙОГО СПЛАВІВ

В огляді розглянуті існуючі та нові технології виробництва титану, їхні переваги й недоліки. Розглянуто три підходи розвитку технологій отримання титану та його сплавів. Надано короткі описи більшості альтернативних електрохімічних, плазмохімічних та металотермічних процесів, а також наведено механохімічні способи отримання титану. Окреслені перспективи розвитку подібних технологій. Визначені питання, що обмежують промислове впровадження альтернативних технологій отримання титану та його сплавів. Зазначено, що актуальними є задачі значного зниження витрат та підвищення продуктивності обладнання стосовно магністермічного способу отримання титану.

Ключові слова: титан губчастий, метод, відновлення, технологія, вихідна сировина, розчин, порошок, сплав, реактор, тетралорид титану

Вступ. Сучасний процес отримання губчастого титану був запропонований Кроллем в 1940 [1] та швидко отримав промислове впровадження. Процес складається з металотермічного відновлення тетралориду титану (ТХТ) рідким магнієм, очищення отриманого титану губчастого від продуктів реакції та наступним його переплавом. Метод Кролля витіснив натрійтермічний процес, запропонований Хантером в 1910 році, та використовується зараз у світі практично на всіх значних титанових металургійних підприємствах.

Сучасна технологія є складною та енерговитратною, тому розробка нових більш економічних способів отримання титану не припиняється протягом багатьох років.

Технології виробництва титану та його сплавів. Розробка технології, альтернативній традиційному промислового способу отримання губчастого титану на основі магністермічного відновлення ТХТ є

на сьогодні вельми перспективним напрямком, що активно розвивається. Значні зусилля дослідників спрямовані на розробку нових технологій отримання титану. Ці зусилля можна розділити за принципово різним підходом до технології процесу: електрохімічні, металотермічні та плазмохімічні способи отримання титану. Більшість електрохімічних технологій в якості вихідної сировини використовують TiO_2 , за виключенням Ginatta-процесу, в якому використовується ТХТ.

Найвідомішим проектом серед усіх електролітичних способів отримання титану є Кембрідж-процес (FFC) [2]. Для цього процесу використовували реторту зі сплаву інконель з розплавленим електролітом ($CaCl_2$) в який вводилися електроди з графіту та зі спечених дисків з діоксиду титану і легувальних елементів. Заявлена досягнута якість за вмістом кисню

© Д. О. Листопад, Г. В. Карпенко, О. А. Джуган. 2015

склала 800 ppm. Проте промислового впровадження проект так і не отримав. Схожими на FFC-процес є інші проекти (Electronically Mediated Reaction – Molten Salt Electrolysis (EMR-MSE), BMIM-процес, Оно та Суцзукі (OS), QinetiQ). Різниця в них полягає в складі електроліту, підготовці вихідної сировини, напруженості процесу електролізу, конфігурацією електродів, тощо. Відомості про подальший розвиток цих процесів відсутні.

Найбільша дослідницька активність спостерігається по проекту QinetiQ, в роботі [3] запропонований новий шлях дезоксидації в процесі електролізу $TiO_2 \rightarrow Ti_2O_3 \rightarrow TiO \rightarrow Ti$. Лабораторні дослідження цього процесу продовжуються. Інший електролітичний процес (Boston University-Solid Oxide Membrane (SOM) Process), являє собою електролітичне відновлення TiO_2 до металу з використанням мембрани з твердого електроліту, що проводить іони кисню. Процес виключає контакт титану та кисню в процесі електролізу [4]. Недоліком цього процесу можна вважати низьку продуктивність процесу, через малу питому йонну провідність мембрани.

Також існує ряд проектів, що практикують анодне електрохімічне відновлення титанової сировини. Наприклад, MER-проект [5] пропонує карботермічне відновлення окисної сировини титану. Композитний анод, в цьому випадку, виготовляється з суміші порошоків діоксиду титану та графіту. В якості катоду слугує електрод, що виконано з сталі, нікелю, титану, тощо. Анод та катод розміщують в розплав електроліту системи LiCl-KCl. Вартість не переплавленого титану за цією технологією співставна з вартістю титану губчастого, отриманого за магнієтермічною технологією. В якості іншого напрямку в електролітичному отриманні титану можна виокремити високотемпературні рідкофазні процеси, в основі яких лежить процес руднотермічного переплаву. Вперше технологія була запропонована компанією «Quebec Iron & Titanium Inc.» (QITI), яка мала в своїй основі неперервний електрохімічний процес витягання металевого титану або титанових сплавів з електропровідних сполук, що містять оксиди титану в рідкому вигляді. Подальший розвиток цієї технології отриманий південноафриканською компанією CSIR. В роботі [6] розкрито багато проблем, які пов'язані з підбором складу електроліту, конструкційних матеріалів реактору, високою активністю титану при високих температурах процесу. Також відсутня інформація про чистоту кінцевого продукту, питомі енерговитрати та тривалість процесу.

Наведений огляд способів електрохімічного отримання титану характеризує значну активність в даній області досліджень, а також зацікавленість дослідників в процесі, який є відносно простим в реалізації. Не зважаючи на це, розвиток вищенаведених проектів до напівпромислового масштабу є малоймовірним [7]. Існує ряд питань, що обмежують реалізацію електрохімічних способів: необхідний діоксид титану високої якості, що вимагає створення складного технологічного переділу з його отримання, або використання високовартісного рутилу [8]; процес електролізу достатньо повільний; складність організації безперервного процесу; більшість технологій потребує ви-

готовлення електроду з порошоків TiO_2 пресуванням та спіканням з додатковими елементами; необхідність використання гідрометалургійних методів для промивання порошку, а також додаткові операції сушки; складність отримання чистого титанового порошку з низьким вмістом газових домішок. Що стосується плазмохімічних процесів, в роботі [9] відзначається безперспективність використання плазмової технології для металотермії титану. Низький відновний потенціал водню, здатність якого реагувати з ТХТ проявляється лише за умов надвисоких температур, вимагає значних витрат електроенергії.

На відміну від наведених вище процесів, металотермія титану характеризується високою питомою продуктивністю реактору відновлення та виділенням у вигляді тепла великої кількості енергії, яка була закладена в металі відновнику (магній, натрій, літій) під час його електрохімічного відновлення з хлоридів.

Спостерігається активність в проведенні досліджень титанового порошку, що отримується за технологією Armstrong-процесу, на предмет його використання в порошковій металургії. Технологія представляє собою неперервний процес відновлення газоподібного тетрахлориду титану рідким натрієм з подальшим вилуговуванням утвореного хлориду натрію з титанового порошку. В роботі [10] досліджували порошок титанового сплаву системи Ti-6Al-4V компанії «International Titanium Powder (Armstrong) Process». Отримано задовільні результати з пресування та спікання цих порошоків, а також зроблені висновки про доцільність використання подібних порошоків в автомобільній промисловості. Також повідомляється про будівництво компанією «ITP» промислової установки для виробництва порошоків титанового сплаву системи Ti-6Al-4V [11].

Серед останніх заяв про альтернативні способи отримання титану та його сплавів можна виокремити повідомлення на сайті компанії SRI International, датоване 2014 роком. Розроблений спосіб, що дозволяє в одну стадію виробляти гранульований титан та його сплави за допомогою багатодугового реактору киплячого шару. Заявлено, що технологія дозволить отримати готову продукцію для використання в автомобілебудуванні, також стане можливим виготовлення нових титанових сплавів, які неможливо виготовити за традиційною технологією. Наразі актуальний стан справ невідомий. Основи методу отримання порошоків титану та його сплавів методом металотермічного відновлення тетрахлориду титану лужноземельним металом, таким як натрій, в неперервному режимі викладені в роботі [6]. Показана принципова можливість отримання готового продукту заданої морфології та хімічного складу, що може бути використаний в порошковій металургії. Також повідомляється, що наведений спосіб стане основою організації повномасштабного комерційного виробництва титану в ПАР для використання в медицині та аерокосмічному комплексі. Хоча деякі особливості процесу ставлять під сумнів можливість організації крупно масштабованого виробництва.

З повідомлення 2013 р. щодо TiRO-процесу [12] відомо, що Австралійська компанія CSIRO розробила спосіб та лабораторне устаткування продуктивністю

200 г/год. якісного титанового порошку, що підходить для використання в порошковій металургії. Технологія заснована на відновленні пароподібного ТХТ, що подається струмом аргону в киплячий шар порошкоподібного магнію. Розроблений реактор, який дозволяє в неперервному режимі виводити тверді сферичні частинки утвореного хлориду магнію з включеннями дисперсного порошку титану. На наступному етапі проводиться очищення титанового порошку від хлориду магнію вакуумною дистиляцією. В результаті титан спікається, утворюючи пористий блок, що складається зі сферичних часток титану. Блок подрібнюють та розсівають на фракції. Розробники технології планують розширення масштабів виробництва до 2 кг/год. титанового порошку. Достатньо подібним до південноафриканського проекту є процес неперервного отримання сплавів на основі титану з використанням магнієтермічного відновлення [5]. ТХТ за цією технологією подавався в реактор також у вигляді пари. Оскільки процес зорієнтований на отримання сплавів титану, ТХТ подавався в суміші з хлоридами алюмінію та ванадію. Подавання пароподібного ТХТ під поверхню розплаву магнію дозволяло отримувати титан у вигляді порошку з розмірами частинок до 10 мкм, придатного для використання в порошковій металургії. Також повідомлялось про виникнення складнощів із заростанням вихідного патрубку для подавання пари тетрахлориду, в результаті чого процес переривався. Вирішення цієї проблеми не було знайдено. Організація подавання пари ТХТ під розчин магнію не розкривається, так само як і реалізація безперервного виведення продуктів магнієтермічної взаємодії із зони реактору, тому незрозумілі подальші перспективи розвитку даного способу. В роботі [13] наведені результати розробки субхлоридної технології отримання титану та його сплавів. В сибірському відділенні РАН розроблений спосіб відновлення ТХТ до чистого титану субхлоридами алюмінію $AlCl_x$ ($x < 3$). Реакція протікає в газовому обсязі в струмені пари ТХТ та субхлоридів алюмінію, які відновлюють ТХТ до титану з утворенням хлориду алюмінію.

Спосіб алюмотермічного відновлення діоксиду титану в руднотермічній печі з отриманням сплавів титану з алюмінієм обговорюється в роботі [14]. Розроблена напівпромислове устаткування для отримання зливків Ti-Al, продуктивністю 25-50 кг за один процес плавки. Процеси проводилися в графітовому тиглі місткістю 100-200 кг шихти. Технологія включає дві стадії. Виплавка титанового концентрату (ільменіту або перовскіту $CaO \cdot TiO_2$) з отриманням титанового шлаку, який в подальшому подрібнюється та змішується з порошком алюмінію та вапном. Отримана таким чином шихта переplавляється вдруге з отриманням шлаку, який зливається у виливницю та зливку основного металу із вмістом 60-78 % титану. Технічна реалізація даного способу приваблює своєю простотою та зрозумілістю основ організації процесу. З іншого боку, заявлено, що отриманий сплав титану містить значні кількості домішок заліза (5 %), силіцію (3 %) та марганцю (2 %). Джерелом цих домішок найімовірніше був ільменіт концентрат. Крім того відсутні дані по вмісту кисню та азоту в готовому продукті. Таким чином, промислова реалізація даного спосо-

бу можлива після вирішення питань по чистоті отриманого сплаву.

Механохімічний синтез титанових порошків є сучасним методом виробництва широкого спектру порошків шляхом використання механічної активації реакційних сумішей для ініціювання хімічних реакцій та структурних перетворень.

У найвідомішому проекті механохімічного відновлення [15] рідкого ТХТ використовували суміш порошків гідриду кальцію, магнію та хлоридів алюмінію та ванадію. В результаті змішування отримували суміш гідрованого порошку сплаву титану та хлоридів магнію і кальцію, яка потім оброблялась вилугуванням. На заключній стадії процесу проводилося дегідрування продукту за температури $375^\circ C$ з отриманням нанокристалічного порошку сплаву на основі титану системи Ti-6Al-4V. Останні результати досліджень за даним напрямком наведені ще у 2004 р., на сьогодні відсутня інформація про продовження проекту.

Оригінальний підхід до організації механохімічного способу отримання титану наведений в роботі [16]. В основі способу лежить процес механічної активації суміші порошків діоксиду алюмінію та алюмінію з наступним її нагріванням для ініціювання самоспалахування суміші. В результаті горіння утворюється розплав сплаву системи Ti-Al, який містить суспензію твердих часток глинозему (Al_2O_3), що згодом відділяють від розплаву сепарацією шляхом екструзії. Дослідження показали принципову можливість отримання сплаву титану з алюмінієм з діоксиду титану в одну стадію. Процес схожий з рідкофазними способами електролітичного отримання титану, він знаходиться на первинній стадії досліджень та потребує подальшого вивчення.

Як видно, з представлених альтернативних технологій, практично всі вони спрямовані на отримання титану у вигляді порошку. Цей напрям враховується найбільш перспективним, оскільки порошок є зручним матеріалом для переробки та отримання дешевих готових виробів з титану у порівнянні з титаном губчастим [17]. З іншого боку, жодна порошкова технологія не дозволяє отримати достатньо якісний продукт, який би підходив для виготовлення деталей аерокосмічного використання. Для цієї мети використовують виключно губчастий титан, виготовлений за магнієтермічним способом.

Висновки. Спосіб Кролля, заснований на магнієтермічному відновленні ТХТ, продовжує відігравати визначальну роль у виробництві якісного титану, незважаючи на те, що сучасна технологія є багато перебільною та енерговитратною.

Існують умови для виникнення конкуренції між розробками альтернативних способів та вдосконаленням існуючої традиційної технології отримання титану. В зв'язку з цим актуальними є задачі зниження витрат та підвищення продуктивності обладнання стосовно технології отримання титану за методом Кролля. Цікавими в цьому сенсі є перспективні роботи [18, 19] з отримання титанових сплавів безпосередньо в процесі магнієтермічного відновлення без суттєвих змін технології виробництва.

Таким чином, на сьогодні проводять розробку та апробацію більше десяти нових методів отримання титану та його сплавів, отже можна очікувати в найближчі роки практичної реалізації декількох нових методів.

Список літератури: 1. *Kroll, W. J.* The production of ductile titanium [Text] / *W. J. Kroll* // Transactions of The Electrochemical Society. – 1940. – Vol. 78. Issue 1. – P. 35–47. doi: 10.1149/1.3071290 2. *Chen, G. Z.* Direct electrochemical reduction of titanium dioxide to titanium in molten calcium chloride [Text] / *G. Z. Chen, D. J. Fray, T. W. Farthing* // Nature. – 2000. – Vol. 407. – P. 361–364. 3. *Alexander, D. T. L.* The electrodeoxidation of dense titanium dioxide precursors in molten calcium chloride giving a new reaction pathway [Text] / *D. T. L. Alexander, C. Schwandt, D. J. Fray* // Electrochimica Acta. – 2011. – Vol. 56, Issue 9. – P. 3286–3295. doi:10.1016/j.electacta.2011.01.027 4. *Uday, B.* The use of solid-oxide-membrane technology for electrometallurgy [Text] / *Uday B. Pal, Adam C. Powell* // Overview Fundamentals Of Electrochemical Processes. – JOM, Vol. 59, Issue 5. – P. 44–49. doi: 10.1007/s11837-007-0064-x 5. *Withers, J. C.* A Continuous Process to Produce Titanium Utilizing Metallothermic Chemistry [Text] / *James Withers, John Laughlin, Yasser Elkadi, Jay DeSilva, Raouf O. Loutfy* // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications. – Switzerland, 2010. – Vol. 436. – P. 55–60. doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.436.55 6. *Van Vuuren, D. S.* Titanium production via metallothermic reduction of TiCl₄ in molten salt: problems and products [Text] / *Van Vuuren, D. S., Oosthuizen, S. J., Heydenrych, M. D.* // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2011. – Vol. 111. – P. 141–148. 7. *Scholz, F.* Nobody can drink from closed bottles, or why it is so difficult to completely reduce solid TiO₂ to solid Ti [Text] / *Fritz Scholz* // ChemPhysChem. – 2010. – Vol. 11, Issue 10. – P. 2078–2079. doi: 10.1002/cphc.201000199 8. *Meng, F.* High-Temperature (1700–1800°C) Electrochemical Preparation of Metallic Ti from Rutile: A Pathway of Step-by-Step Electrooxidation [Text] / *Fanke Meng, Huimin Lu* // ISRN Metallurgy. – 2013. – Vol. 2013. – P. 1–6. doi: 10.1155/2013/808413 9. *Cordes, R. A.* Titanium Metal Powder Production by The Plasma Quench Process [Text] / *R. A. Cordes, A. Donaldson* // Final Report. – 2000 – Idaho Titanium Technologies, Inc., Idaho Falls, ID. doi: 10.2172/765301 10. *Wei, Chen.* Investigation of pressing and sintering processes of CP-Ti powder made by Armstrong Process [Text] / *Wei Chen, Yukinori Yamamoto, William H. Peter* // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Switzerland. – 2010. – Vol. 436. – P. 123–130. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.436.123 11. *Eylon, D.* Ultra-fine Titanium Microstructure Development by Rapid Hot-Compaction of Armstrong-Process Powder for Improved Mechanical Properties and Superplasticity [Text] / *Eylon, D., Ernst, W. A., Kramer, D. P.* // Powder metallurgy. – 2009. 12. *Doblin, Christian.* The TiRO™ Process for the Continuous Direct Production of Titanium Powder [Text] / *Christian Doblin, David Freeman, Matthew Richards* // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Switzerland. – 2013. – Vol. 551. – P. 37–43. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.551.37 13. *Парфенов, О. Г.* Проблемы современной металлургии титана [Текст] / *О. Г. Парфенов, Г. Л. Паиков* // Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2008. – 279 с. 14. *Середь, Б. П.* Исследование процесса получения титановых сплавов алюминотермическим восстановлением оксидного сырья [Текст] / *Б. П. Серьда, В. М. Проценко, Д. Б. Серьда* // Ti-2012 в СНГ: Междунар. науч.-техн. конф. (22-25 апреля 2012 г., Казань): сб. трудов. – Киев: ИМФ НАНУ, 2012. – С. 308–311. 15. *Pirzada, M. D.* Mechanochemical Processing of Nanocrystalline Ti-6Al-4V Alloy [Text] / *M. D. S. Pirzada, F. H. (Sam) Froes, S. N. Patankar* // Metallurgical and materials transactions. – 2004. – Vol. 35, Issue 6. – P. 1899–1903. doi:10.1007/s11661-004-0098-4 16. *Kenneth, Sichone.* Factors affecting the separation of Ti-Al alloy in the Ti-Pro process [Text] / *Kenneth Sichone, De Liang Zhang, Stiliana Raynova* // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications. – Switzerland, 2013. – Vol. 551. – P. 44–54. doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.551.44 17. *Анциферов, И. В.* Порошковые титановые материалы [Текст] / *И. В. Анциферов* // Научный центр порошкового материаловедения ПГТУ. – Пермь, 2004. – 59 с. 18. *Давыдов, С. И.* Некоторые особенности легирования титана кислородом [Текст] / *С. И. Давыдов, Л. Я. Шварцман, А. В. Овчинников, С. М. Теслевич* // Международная конференция Ti-2006 в СНГ: Сборник трудов. – К.: Наукова думка, 2006. – С. 253–256. 19. *Янко, Т. Б.* Дослідження хімічного складу та мікроструктури губчастого титану, отриманого за технологією комплексного легування алюмінієм та ванадієм [Текст] / *Т. Б. Янко*

// Вісник "ХП" Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. ISSN 2411-2798. – Х.: НТУ „ХП” – 2015. – №11(1120). – С. 3–8.

Bibliography (transliterated): 1. *Kroll, W. J.* (1940). The production of ductile titanium. Transactions of The Electrochemical Society, Vol. 78. Issue 1, 35–47. doi: 10.1149/1.3071290 2. *Chen, G. Z., Fray, D. J., Farthing, T. W.* (2000). Direct electrochemical reduction of titanium dioxide to titanium in molten calcium chloride. Nature, Vol. 407, 361–364. 3. *Alexander, D. T. L., Schwandt, C., Fray, D. J.* (2011). The electrodeoxidation of dense titanium dioxide precursors in molten calcium chloride giving a new reaction pathway. Electrochimica Acta, Vol. 56, Issue 9, 3286–3295. doi:10.1016/j.electacta.2011.01.027 4. *Uday, B. Pal, Adam, C. Powell* (2007). The use of solid-oxide-membrane technology for electrometallurgy. Overview Fundamentals Of Electrochemical Processes. JOM, Vol. 59, Issue 5, 44–49. doi: 10.1007/s11837-007-0064-x 5. *James Withers, John Laughlin, Yasser Elkadi, Jay DeSilva, Raouf O. Loutfy* (2010). A Continuous Process to Produce Titanium Utilizing Metallothermic Chemistry. Key Engineering Materials. Trans Tech Publications. – Switzerland, Vol. 436, 55–60. doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.436.55 6. *Van Vuuren, D. S., Oosthuizen, S. J., Heydenrych, M. D.* (2011). Titanium production via metallothermic reduction of TiCl₄ in molten salt: problems and products // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 111, 141–148. 7. *Scholz, F.* (2010). Nobody can drink from closed bottles, or why it is so difficult to completely reduce solid TiO₂ to solid Ti // ChemPhysChem, Vol. 11, Issue 10, 2078–2079. doi: 10.1002/cphc.201000199 8. *Fanke Meng, Huimin Lu* (2013). High-Temperature (1700–1800°C) Electrochemical Preparation of Metallic Ti from Rutile: A Pathway of Step-by-Step Electrooxidation. ISRN Metallurgy, Vol. 2013, 1–6. doi: 10.1155/2013/808413 9. *Cordes, R. A., Donaldson, A.* (2000). Titanium Metal Powder Production by The Plasma Quench Process. Final Report. Idaho Titanium Technologies, Inc., Idaho Falls, ID. doi: 10.2172/765301 10. *Wei Chen, Yukinori Yamamoto, William H. Peter* (2010). Investigation of pressing and sintering processes of CP-Ti powder made by Armstrong Process. Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Switzerland, Vol. 436, 123–130. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.436.123 11. *Eylon, D., Ernst, W. A., Kramer, D. P.* (2009). Ultra-fine Titanium Microstructure Development by Rapid Hot-Compaction of Armstrong-Process Powder for Improved Mechanical Properties and Superplasticity. Powder metallurgy. 12. *Christian Doblin, David Freeman, Matthew Richards* (2013). The TiRO™ Process for the Continuous Direct Production of Titanium Powder [Text] / *Christian Doblin, David Freeman, Matthew Richards* // Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Switzerland, Vol. 551, 37–43. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.551.37 13. *Parfenov, O. G., Pashkov, G. L.* (2008). Problemy sovremennoy metallurgii titana [Problems of modern titanium metallurgy]. Novosibirsk: Siberian Branch of RAS, 279 [in Russian]. 14. *Sereda, B. P., Prochenko, V. M., Sereda, D. B.* (2012). Yssledovanye protsessa polucheniya tytanovykh splavov aliumnotermicheskim vosstanovlenyem oksydnoho syr'ia [Study the process of obtaining titanium alloys aluminothermic by reduction of oxide materials]. Ti-2012 v SNG Mezhdunarodnaia nauchnotekhnicheskaiia konferentsiia (22-25 aprelia 2012 hoda)- Ti-2012 in CIS International Scientific and Technical Conference. (pp. 308–311). Kazan' [in Russian]. 15. *M. D. S. Pirzada, F. H. (Sam) Froes, S. N. Patankar* (2004). Mechanochemical Processing of Nanocrystalline Ti-6Al-4V Alloy. Metallurgical and materials transactions, Vol. 35, Issue 6, 1899–1903. doi:10.1007/s11661-004-0098-4 16. *Kenneth, Sichone.* (2013). Factors affecting the separation of Ti-Al alloy in the Ti-Pro process. Key Engineering Materials. Trans Tech Publications. Switzerland, Vol. 551, 44–54. doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.551.44 17. *Antsyferov, Y. V.* (2004). Poroshkovyye tytanovyye materialy [Titanium Powder Materials]. Nauchnyy tsentr poroshkovogo materialovedeniya PHTU. (P.59, Scientific Centre of Powder Materials PSTU). Perm [in Russian]. 18. *Davydov, S. I., Shvartsman, L. Ya., Ovchynnikov, A. V., Teslevych, S. M.* (2006). Nekotorye osobennosti lehyrovaniya tytana kyslorodom [Some features of the oxygen-titanium alloying] Ti-2006 v SNG Mezhdunarodnaia nauchnotekhnicheskaiia konferentsiia- Ti-2006 in CIS International Scientific and Technical Conference. (pp. 253–256). Suzdal [in Russian]. 19. *Ianko, T. B.* (2015). Doslidzhennia khimichnoho skladu ta mikrostruktury hubchastoho tytanu, otrymanoho za tekhnolohiieiu kompleksnoho lehvanniia aliuminiem ta vanadiem [The study of the chemical composition and the microstructure of titanium sponge obtained by technology complex alloying of aluminum and vanadium] Visnyk NTU HPI «Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta kompleksy», №11(1120), 3–8 [in Ukrainian].

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Листопад Дмитро Олександрович – кандидат технічних наук, ТОВ «Торговий дім «ОТТОМ», генеральний директор, пр. Тракторобудівників, 85, оф. 53, м. Харків, Україна, 61123; e-mail: titantitanovich@ua.ru.

Карпенко Ганна Володимирівна – Запорізька державна інженерна академія, асистент кафедри «Металургії кольорових металів», пр. Леніна, 226, м. Запоріжжя, Україна, 69000; e-mail: abkarpenko@mail.ru.

Дзуган Олександр Андрійович – Запорізький національний технічний університет, аспірант кафедри «Фізичне матеріалознавство», вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, Україна, 69063; e-mail: o.a.dzhugan@gmail.com.

УДК 544

М. И. ЧЕРЕДНИК**ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ ЛЕГИРОВАННЫХ ОКСИДОМ ИТТРИЯ**

В рамках данной статьи проведено изучение влияния наночастиц оксида иттрия на формирование структуры металла при помощи рентгеновской спектроскопии поглощения.

Выявлено локальное окружение трассировки элементов металла после механического легирования и после консолидации. Такой анализ помогает определить, как и насколько влияет Y_2O_3 на состав металла во время механического легирования и показывает количество наноразмерных Y-обогащенных оксидов во время консолидации. Совместное применение рентгеновской спектроскопии поглощения и просвечивающей электронной микроскопии направлено не только на улучшение процесса корреляции, но и на оптимизацию химических и физических процессов, участвующих в формировании.

Ключевые слова: оксид иттрия, структура металла, консолидация, рентгенография, электронная микроскопия, корреляция, трассировка, локальное окружение.

Введение. Стремительное развитие инновационных энергетических систем является следствием спроса на новые источники энергии, который активизируется в нынешних рыночных условиях.

Разработка и исследование необходимых материалов для этих систем признана актуальной и сложной задачей, так как, на сегодня, увеличение стойкости и уменьшение плотности дислокации в матрице металла, является перспективным направлением научных исследований высокотехнологических сфер деятельности.

Формирование структуры высокопрочных металлов включает в себя ряд процессов, в основе которых лежит механизм механического легирования (МЛ), горячей экструзии (ГЭ) или горячего изостатического прессования (ГИП) [1].

Основная функция МЛ разбить химические связи в частицах Y_2O_3 и заставить Y и O, включиться в матрицу металла. Степень растворения, видообразование, и локальная структура иттрия имеют огромное значение для оптимизации параметров МЛ. Данные факторы также влияют на последующее формирование Y – X – O (X – Ti, Al, Cr,...) тройных оксидов в процессе консолидации, который сильно влияет на механические свойства металлов.

На сегодня, в рамках молекулярного исследования наиболее применимыми являются методы томографии атомного зонда (АПТ) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) [2], однако, следует отметить, что оба эти методы позволяют работать на достаточно малой площади, исходя из этого результаты исследований по данным методам не всегда могут охарактеризовать весь сплав. Для решения этой проблемы зачастую используют рентгеновскую спектроскопию поглощения (XAFS) [3]. Данный метод поз-

воляет отследить уровень влияния наночастиц оксида иттрия на формирование структуры металлов. XAFS позволяет изучить элементы, а также проследить содержание, давая уникальное и прямое измерение химических и физических состояний по всему образцу металла.

В период изучения научных разработок в сфере исследования влияния оксида иттрия на формирование структуры сплавов и металлургических соединений стоит отметить высокий уровень достижений современных ученых.

В работе [4], исследована зависимость фазового состава и свойств материалов системы AlN-BN с добавкой Y_2O_3 или SiC от температуры горячего прессования.

О. Н. Горшков в работе [5] проводит исследование биполярного резистивного переключения в структурах "металл - диэлектрик - металл" на основе двухслойного диэлектрика, состоящего из слоя стабилизированного оксидом иттрия диоксида циркония (YSZ) с содержанием Y_2O_3 12 mol. % и слоя GeO[x]. В исследовании показано, что встраивание в структуру дополнительного слоя GeO[x] приводит к существенному уменьшению разброса параметров резистивного переключения как при отрицательном, так и при положительном напряжениях.

Методом электровзрывного легирования титана иттрием сформированы поверхностные слои, содержащие оксиды и карбиды титана и иттрия на страницах исследования [6]. Последующее облучение электронным пучком привело к диспергированию структуры до нано- и субмикронного состояния. С помощью растровой электронной микроскопии выявлено

© М. И. Чередник. 2015

формирование эвтектики двух типов. Эвтектика, обогащенная титаном, имеет глобулярную форму; эвтектика, обогащенная иттрием – пластинчатую. Формирование модифицированного поверхностного слоя (обогащенного иттрием, карбидами и оксидами титана и иттрия) приводит к увеличению микротвердости титана в три раза, коэффициент трения легированного слоя снижается более чем в два раза, скорость изнашивания уменьшается более чем в 2. 8 раза.

Относительно исследований края фундаментального поглощения оксида иттрия, следует отметить работу [7]. Методом оптической спектроскопии исследован край фундаментального поглощения тонких пленок Y_2O_3 , полученных методом дискретного испарения и методом высокочастотного (ВЧ) ионно-плазменного распыления в различных атмосферах. Установлено, что оптическая ширина запрещенной зоны E_g возрастает от 5.65 эВ для пленок Y_2O_3 , полученных дискретным испарением, до 5.77 эВ для пленок, полученных ВЧ распылением в аргоне, и до 5.90 эВ для пленок, полученных ВЧ распылением в атмосфере кислорода.

Однако, несмотря на масштабность научных исследований в отношении влияния оксида иттрия на формирование структуры сплавов и металлических соединений, следует отметить, что все рассмотренные научные работы в большей степени касаются процесса легирования и почти полностью исключают исследование плотности дислокации в матрице металла. Поэтому целью данного исследования является изучение влияния наночастиц оксида иттрия на формирование структуры металла при помощи XAFS. Выявить локальное окружение трассировки элементов металла после МЛ и после консолидации.

Материалы и методика. В качестве материала, в исследовании, использованы порошки – карбонильное железо P-10 и моноклинный оксид иттрия $Y-Y_2O_3$. Содержание оксида иттрия изменялось от 0 до 1 мас. % (0; 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1).

Материал для исследования представлен в виде объемных образцов (от 1 до 2 см в диаметре). В качестве оборудования для исследования микроструктуры выбран микроскоп JSM-35SP оснащенный кольцевым детектором темного поля. Эксперименты проводились в режиме сканирования, спектры записывались при помощи детектора, а электронный пучок использован для визуализации и анализа с разрешением 1.0 – 1.2 нм.

Фольги для исследований тонкой структуры изучали, используя электронный микроскоп TEMScan JEM-200cx при силе тока 120 мА и ускоряющем напряжении 25 кВ.

Исследование полученных результатов проводилось путем преобразования исходных данных $\mu(E)$ спектрам, вычитанием фона, нормализацией, преобразованием из энергетического пространства в пространство волнового вектора (k), преобразованием Фурье, фильтрацией и подгонкой.

Вычитание фона, линейная функция и полином второго порядка были использованы для пред-краевых и пост-краевых участков.

Энергетический порог E_0 , был определен как энергия максимальной производной $\mu(E)$. Переход к k

пространству был выполнен на спектрах, используя формулу [8]

$$k = \sqrt{2m(E - E_0) / \hbar^2}, \quad (1)$$

где m – масса электрона; \hbar – постоянная Планка.

Преобразование Фурье $k^3 \chi(k)$ рассчитывали с функцией Бесселя, в результате чего была выполнена прямая корреляция функции распределения в реальном пространстве [9]. Подгонки из первых двух или трех координационных сфер было сделано в реальном пространстве с помощью амплитуды и обратного рассеяния, извлеченных из модельных соединений.

Основное уравнение:

$$\chi(k) = \sum_j \frac{N_j S_0^2 F_j(k) e^{-2R_j/\lambda(k)} e^{-2k^2 \sigma_j^2}}{k R_j^2} \text{Sin}[2kR_j + \delta_j(k)]. \quad (2)$$

В уравнении (2), синус описывает интерференционную картину. $F_j(k)$ – амплитуда обратного рассеяния; S_0^2 – амплитуда понижающего коэффициента; λ – длина свободного пробега фотоэлектронов; R – расстояние между поглотителем и соседними атомами; N – координационное число соседнего атома; σ^2 – среднеквадратичное расстояние или флуктуация в R_j ; δ_j – фазовые сдвиги.

Рассмотрим рентгенограмму оксида иттрия (рис. 1). Чистый порошок иттрия имеет размер 25-50 нм.

Y_2O_3 (кубическая, пространственная группа Ia3) термодинамически стабилен до 2330 °С, на этой температуре он переходит в гексагональную (пространственную группу P3m1) фазу или гранецентрированную кубическую форму (пространственная группа Fm3m) [10, 11]. Стабильность фазы сильно зависит от размера частиц. $M-Y_2O_3$ (моноклинная, пространственная группа C2/m) и $c-Y_2O_3$ возможны, если размер частиц уменьшается до наноразмерных, вследствие возрастающей важности поверхностных эффектов [12].

На рис. 1, видно, что основные пики индексируются, за исключением двух небольших пиков при 29,6° и 32,36°. Несогласованность при таких углах, вероятно, является результатом примесей в порошке оксида иттрия.

Исследование ближней тонкой структуры рентгеновского поглощения металлов были сосредоточены на иттрии, потому как иттрий представляет собой основной компонент из наноразмерных частиц. Края поглощения, не смешаны с другими элементами в металле и чувствительны к степени окисления иттрия.

Более высокая валентность абсорбера обычно имеет край поглощения, который смещается в сторону более высокой энергии [13]. Особенности Y_2O_3 разделенных пиков обособиваются более высокой интенсивностью и сдвигом в сторону более высокой энергии. Размытый пик указывает на не упорядоченную структуру частиц в Y_2O_3 .

Химический сдвиг лежит между Y (P-10) и Y_2O_3 , подразумеваемая, что существует часть Y в металлическом состоянии.

Результаты подгонки результатов представлены на рис. 3.

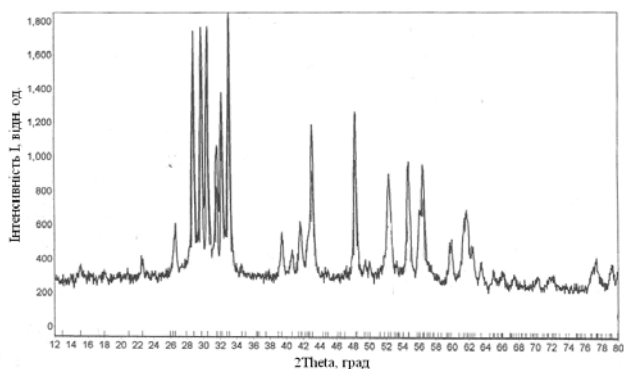


Рис. 1 – Рентгенограмма Y_2O_3

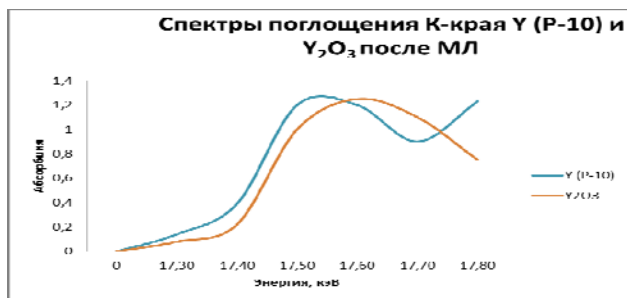


Рис. 2 – Спектры К-края $Y (P-10)$ и Y_2O_3 после МЛ

$Y (P-10)$ лежит между 12,2 % и 15,7 % и меняется незначительно с незначительными изменениями в количестве Y_2O_3 . Часть наночастиц Y_2O_3 могут быть уменьшены в восстановительной атмосфере (H_2). Атомный Y диффундирует в решетку P-10 и образует сплавы замещения. Увеличение параметра решетки указывает на то, что частицы P-10 содержат не чистое α -железо, а твердый раствор C в решетке железа с концентрацией C приблизительно 0,1 % (по массе), не зависящей от общего количества C в частицах порошка.

Таким образом, есть возможность утверждать о возможности температурно-временного старения P-

10, связанного с выделением атомов C из его решетки, и, непосредственно, температурно-временной зависимости электромагнитных порошков P-10, которая обуславливается этим явлением.

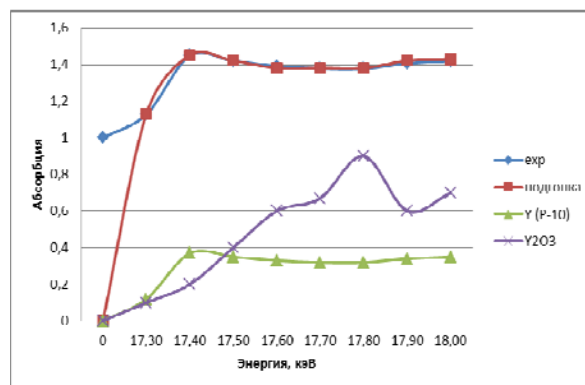


Рис. 3 – К-края относительно МЛ P-10 и Y_2O_3

Преобразование Фурье для образцов карбонильного железа показано на рис. 4. После ГИП, локальная структура иттрия показывает отличительную особенность оксидов иттрия, которые варьируются от одного к другому.

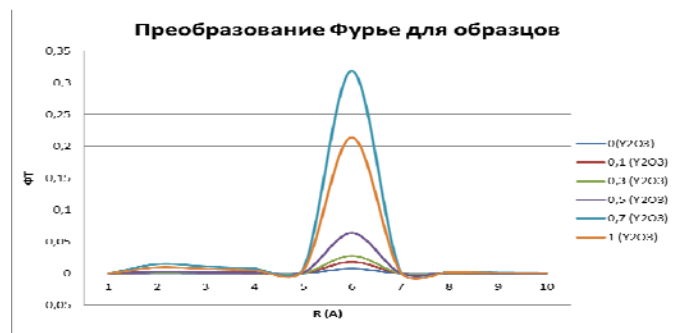


Рис. 4 – Преобразование Фурье для образцов металла

Иттрий образует смесь различных видов, при этом не одна из них не является доминирующей (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты расчетов

| 0(Y_2O_3) | 0,1 (Y_2O_3) | 0,3 (Y_2O_3) | 0,5 (Y_2O_3) | 0,7 (Y_2O_3) | 1 (Y_2O_3) |
|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|
| 0,000354735 | 0,000835933 | 0,001274328 | 0,002922 | 0,014595 | 0,009823 |
| 0,000268876 | 0,000633607 | 0,000965894 | 0,002215 | 0,011063 | 0,007446 |
| 0,000198126 | 0,000466884 | 0,000711735 | 0,001632 | 0,008152 | 0,005487 |
| 0,000177647 | 0,000418626 | 0,000638169 | 0,001463 | 0,007309 | 0,004919 |
| 0,007738168 | 0,01823499 | 0,02779811 | 0,063738 | 0,318385 | 0,214288 |
| 8,35844E-05 | 0,000196967 | 0,000300263 | 0,000688 | 0,003439 | 0,002315 |
| 7,22033E-05 | 0,000170147 | 0,000259379 | 0,000595 | 0,002971 | 0,001999 |
| 3,04608E-05 | 7,17808E-05 | 0,000109425 | 0,000251 | 0,001253 | 0,000844 |
| 1,98288E-05 | 4,67267E-05 | 7,12319E-05 | 0,000163 | 0,000816 | 0,000549 |

Вторая фаза исследования основывалась на просвечивающей электронной микроскопии. При рассмотрении кристаллической структуры отдельных частиц отмечается наличие двух классов: при малой плотности крупных включений размером до 1 мкм и большой популяции наноразмерных частиц со средним размером частиц <10 нм [14].

Плотность дислокаций и ширина дислокационного слоя наибольшая у исходного образца. При вве-

дении оксида иттрия в металл плотность дислокации значительно уменьшается, по сравнению с металлом, не содержащим оксид иттрия.

В ходе проведения исследования отмечается, что при введении Y_2O_3 в структуру металла происходит существенное снижение плотности дислокации в матрице металла, на основании чего можно утверждать об положительном воздействии Y_2O_3 на состояние границ и структурных составляющих металла.

Исходя из описанного, следует, что уменьшение энергии границ путем очищения их от вредных примесей приводит к понижению плотности дислокаций. Исходя из этого, повышается сопротивление матрицы металла в процессе повышения уровня нагрузки и уменьшается напряженное состояние системы в целом.

Выводы. Применение рентгеновской спектроскопии поглощения обеспечивает неразрушающий способ исследования физического и химического состояния структуры металлов. Это позволяет в полной мере изучить влияние наночастиц оксида иттрия с низкой концентрацией на структуру металлов путем измерения k-края.

При введении Y_2O_3 в структуру металла происходит значительное повышение износостойкости металла за счет уменьшения плотности дислокации на границе матрицы-металла, а также происходит распределение избыточной фазы примесей в матрице, что способствует увеличению сопротивления матрицы-металла в процессе повышения уровня нагрузки, тем самым способствуя уменьшению напряженного состояния системы в целом.

Список литературы: 1. Дехтяр, А. И. Структурно-фазовые превращения и механические свойства титановых сплавов, полученных методом порошковой металлургии, после горячего изостатического прессования [Текст] / А. И. Дехтяр, И. В. Моисеева, В. В. Невдача, Д. Г. Савакин // Физика и техника высоких давлений. – 2012. – Т. 22, № 4. – С. 90–102. 2. Нагорнов, Ю. С. Способы исследования поверхности методами атомно-силовой и электронной микроскопии [Текст] / Ю. С. Нагорнов, И. С. Ясников, М. Н. Тюрков. Тольятти: ТГУ, 2012. – 47 с. 3. Немошкваленко, В. В. Теоретические основы рентгеновской эмиссионной спектроскопии [Текст] / В. В. Немошкваленко, В. Г. Аleshin. – К., 1979. – 286 с. 4. Григорьев, О. М. Фазовый склад та властивості гарячепресованих матеріалів системи AlN-BN [Текст] / О. М. Григорьев [и др.] // Порошковая металлургия. – 2013. – № 3/4. – С. 57–63. 5. Гориков, О. Н. Резистивное переключение в структурах "металл – диэлектрик – металл" на основе оксида германия и стабилизированного диоксида циркония [Текст] / О. Н. Гориков [и др.] // Письма в "Журнал технической физики". – 2014. – Т. 40, Вып. 3. – С. 12–19. 6. Соснин, К. В. Формирование микрокомпозитной структуры в поверхностном слое титана, легированного иттрием [Текст] / К. В. Соснин [и др.] // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2015. – № 4. – С. 66–71. 7. Бордун, О. М. Влияние условий получения на край фундаментального поглощения тонких пленок Y_2O_3 [Текст] / О. М. Бордун, И. О. Бордун, И. И. Кухарский // Журнал прикладной спектроскопии. – 2015. – Т. 82, № 3. – С. 380–385. 8. Шутлов, А. А. Влияние добавок оксида иттрия на формирование фазового состава и пористой структуры диоксида титана [Текст] / А. А. Шутлов [и др.] // Кинетика и катализ. – 2011. – Т. 52, № 1. – С. 113–121. 9. Шевченко, А. В. Синтез и исследование высокочастотного нанокристаллического порошка твердого раствора SeO_2 и Y_2O_3 в диоксиде циркония [Текст] / А. В. Шевченко [и др.] // Порошковая металлургия. – 2015. – № 9/10. – С. 53–60. 10.

Клинкова, Л. А. Влияние доли оксида иттрия на фазовый состав продукта отжига образцов состава $YzBa_5Cu_7Oy$ и $YzBa_3Cu_5Oy$ [Текст] / Л. А. Клинкова, В. И. Николайчик, Н. В. Барковский // Известия РАН. Серия физическая. – 2011. – Т. 75, № 8. – С. 1165–1167. 11. Коршунов, Л. Г. Влияние оксидной фазы на трибологические свойства высокохромистой стали [Текст] / Л. Г. Коршунов [и др.] // Физика металлов и металловедение. – 2011. – Т. 112, № 2. – С. 207–214. 12. Пименова, Н. В. Исследование гранулометрического состава ультратонких порошков Y_2O_3 [Текст] / Н. В. Пименова, Д. А. Пермин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2012. – Т. 78, № 5. – С. 41–46. 13. Ковальченко, М. С. Дослідження впливу оксидних добавок Y_2O_3 і SiO_2 на процеси фазоутворення та властивості гарячепресованого композиту на основі карбонітриду бору [Текст] / М. С. Ковальченко [и др.] // Порошковая металлургия. – 2012. – № 9/10. – С. 88–93. 14. Зайцев, В. А. Влияние степени стабилизации и добавки оксида алюминия на свойства керамики ZrO_2 [Текст]. Ч. 2. Электрические свойства и термическое расширение / В. А. Зайцев [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2012. – № 7/8. – С. 48–51.

Bibliography (transliterated): 1. Dextyar, A. I., Moiseeva, I. V., Nevdacha, V. V., Savvakina, D. G. (2012). Strukturno-fazovye prevrasheniya i mexanicheskie svoystva titanovykh spлавov, poluchennykh metodom poroshkovoy metallurgii, posle goryachego izostaticheskogo pressovaniya. Fizika i tekhnika vysokix davlenij, T. 22, № 4, 90–102. 2. Nagornov, Yu. S., Yasnikov, I. S., Tyurkov, M. N. (2012). Sposoby issledovaniya poverkhnosti metodami atomno-silovoy i elektronnoy mikroskopii. Tolyatti: TGU, 47. 3. Nemoshkvalenko, V. V., Aleshin, V. G. (1979). Teoreticheskie osnovy rentgenovskoy emissionnoy spektroskopii. Kiev, 286. 4. Grigorev, O. M. [et. al.] (2013). Fazovij sklad ta vlastivosti garyachepresovanih materialiv sistemi AlN-BN. Poroshkovaya metallurgiya, № 3/4, 57–63. 5. Gorshkov, O. N. [et. al.] (2014). Rezistivnoe pereklyuchenie v strukturax "metall – dielektrik – metall" na osnove oksida germaniya i stabilizirovannogo dioksida cirkoniya. Pisma v "Zhurnal texnicheskoy fiziki", T. 40, Vyp. 3, 12–19. 6. Sosnin, K. V. [et. al.] (2015). Formirovanie mikrokompozitnoy struktury v poverkhnostnom sloe titana, legirovannogo ittriem. Poverkhnost. Rentgenovskie, sinxrotronnye i nejtronnye issledovaniya, № 4, 66–71. 7. Bordun, O. M., Bordun, I. O., Kuxarskij, I. I. (2015). Vliyanie uslovij polucheniya na kraj fundamentalnogo pogloshheniya tonkix plenok Y_2O_3 . Zhurnal prikladnoy spektroskopii, T. 82, № 3, 380–385. 8. Shutilov, A. A. [et. al.] (2011). Vliyanie dobavok oksida ittriya na formirovanie fazovogo sostava i poristoj struktury dioksida titana. Kinetika i kataliz, T. 52, № 1, 113–121. 9. Shevchenko, A. V. [et. al.] (2015). Sintez i issledovanie vysokochastotnogo nanokristallicheskogo poroshka tverdogo rastvora SeO_2 i Y_2O_3 v dioksidi cirkoniya. Poroshkovaya metallurgiya, № 9/10, 53–60. 10. Klinkova, L. A., Nikolajchik, V. I., Barkovskij, N. V. (2011). Vliyanie doli oksida ittriya na fazovij sostav produkta otzhiga obrazcov sostava $YzBa_5Cu_7Oy$ i $YzBa_3Cu_5Oy$. Izvestiya RAN. Seriya fizicheskaya, T. 75, № 8, 1165–1167. 11. Korshunov, L. G. [et. al.] (2011). Vliyanie oksidnoj fazy na tribologicheskie svoystva vysokokromistoj stali. Fizika metallov i metallovedenie, T. 112, № 2, 207–214. 12. Pimenova, N. V., Permin, D. A. (2012). Issledovanie granulometricheskogo sostava ultratonkix poroshkov Y_2O_3 . Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov, T. 78, № 5, 41–46. 13. Kovalchenko, M. S. [et. al.] (2012). Doslidzhennya vplivu oksidnix dobavok Y_2O_3 i SiO_2 na procesi fazooutvorenniya ta vlastivosti goryachepresovanogo kompozitu na osnovi karbonitridu boru. Poroshkovaya metallurgiya, № 9/10, 88–93. 14. Zajcev, V. A. [et. al.] (2012). Vliyanie stepeni stabilizacii i dobavki oksida alyuminiya na svoystva keramiki ZrO_2 . Ch. 2. Elektricheskie svoystva i termicheskoe rasshirenie. Ogneupory i texnicheskaya keramika, № 7/8, 48–51.

Поступила (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чередник Марина Игоревна – аспирант, кафедра фізики металів, Київський національний університет імені Т. Г. Шевченка; пр. академіка Глушкова, 4, г. Київ, Україна, 02000; e-mail: marchella.90@mail.ru

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ТА КОМПЛЕКСАМИ

УДК 519.65:004.94

В. О. ГОЛОВКО, Д. Г. МЕДВЕДЄВ

МОДЕЛЬ АКУСТИЧНОЇ ТОМОГРАФІЇ З ВРАХУВАННЯМ ВІДБИТТЯ ТА ВИКРИВЛЕННЯ ТРАЄКТОРІЙ ЗВУКОВИХ ХВИЛЬ

Особливість запропонованого підходу полягає в апроксимації області зондування в томографії білінійним сплайном, який регуляризує розв'язок. Мета полягає у відновленні внутрішньої структури досліджуваного об'єкту. При зондуванні суттєво неоднорідного середовища відбувається відбиття й викривлення шляху зондування. Викривлення променя апроксимуємо ламаною, враховуючи зміни швидкості на границях сітки сплайна. Вирішено пряму і обернену томографічну задачу для даної моделі. Проведено ряд експериментів з різним значенням шуму.

Ключові слова: акустична томографія, рефракція, заломлення, білінійний сплайн, неруйнівний контроль, пряма томографічна задача, обернена томографічна задача.

Вступ. Проблемам і методам реконструктивної томографії присвячено багато робіт. Зокрема, представлені роботи з практичного використання акустичної томографії: діагностування об'єктів складної форми без прямого контакту [0]. Також є роботи з акустичної томографії океану [0], застосування сплайнів в сейсмічній томографії [3]. Широке практичне застосування акустична томографія знайшла у промисловості, зокрема ультразвукова дефектоскопія [4,5]. Не менш важливе застосування й у медицині – особливості поширення ультразвуку в біологічних тканинах [6].

В роботі [7] розглянуто відновлення температурного поля повітря, виявлення ракових пухлин за допомогою ультразвукової томографії. В цій роботі говориться про доцільність використання сплайнів для реконструкції зображення, тому що це забезпечує згладженість поверхні. Якщо розглядати відновлення температурного поля, то слід звернути увагу на те, що середовище реконструкції відносно однорідне. Також ужито заходів аби не було відбиття ультразвуку на границях області реконструкції.

Однак у розглянутих роботах не враховано, що при зондуванні суттєво неоднорідних середовищ (включення різних матеріалів, тріщини) в середовищі відбувається відбиття й викривлення шляху зондування, але це може суттєво вплинути на точність відновлення внутрішньої структури об'єкту.

В роботі пропонується модель, що враховує викривлення і відбиття акустичної хвилі та дає перевагу перед моделлю із прямими променями.

Постановка задачі. Розглянемо прямокутну область зондування

$$\Omega = \{(x, y) \mid 0 \leq x \leq b, 0 \leq y \leq d\}. \quad (1)$$

На Ω розглянемо рівномірну сітку $\Delta = \Delta_x \times \Delta_y$,

$$\begin{aligned} \Delta_x : 0 < x_1 < \dots < x_i < x_N = b, \\ \Delta_y : 0 < y_1 < \dots < y_j < y_M = d, \end{aligned} \quad (2)$$

котра ділить область Ω на прямокутні комірки, що не перетинаються:

$$\Omega_{ij} = \{(x, y) \mid x \in (x_i, x_{i+1}), y \in (y_j, y_{j+1})\}, \quad (3)$$

де $\Omega_{ij}, i = 0, \dots, N-1, j = 0, \dots, M-1$.

Кількість комірок дорівнює $K = M \times N$.

Кількість вузлів, утворених такою сіткою, визначається за формулою.

$$V = (M+1) \cdot (N+1). \quad (4)$$

Задамо на сітці вузлів матрицю випромінювачів:

$$T = \{(0, t_k)\}, \quad (5)$$

де $k = 0, \dots, P, 0 \leq t_k \leq d$ та матрицю приймачів

$$R = \{(r_n, s_n)\}, \quad (6)$$

де $n = 0, \dots, Q, 0 < r \leq b, 0 \leq s \leq d$.

Нехай функцію швидкості поширення звуку (або затримки звуку) в області зондування задано деякою функцією $w(x, y)$. Значення функції у вузлах рівномірної сітки задані матрицею:

$$A_{N+1, M+1} = \{a_{ij}\}, \quad (7)$$

де $a_{ij} = w(x_i, y_j), i = 0, \dots, N, j = 0, \dots, M$.

Апроксимуємо функцію затримки сплайном. На кожній із комірок задано білінійний сплайн.

$$S(x, y, A) = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^M a_{ij} \cdot B_{ij}(x, y), \quad (8)$$

де a_{ij} - значення затримки у відповідних вузлах сітки, $B_{ij}(x, y)$ - базисні функції білінійного сплайна для заданого фрагмента.

У першому наближенні вважатимемо, що звук променя m від випромінювача до приймача проходить вздовж прямої й має затримку.

$$u_m = \int_{L_m} w(x, y) dL_m. \quad (9)$$

Враховавши те, що область зондування апроксимуємо сплайном, прийнятий сигнал в кінцевому результаті буде залежати від схеми зондування і від параметрів a_{ij} , які є значеннями затримки у вузлах цієї сітки.

В загальному вигляді розраховується значення для окремого приймача вздовж всієї прямої згідно виразу:

$$u_m \approx \int_{L_m} S(x, y, A) dL_m, \quad (10)$$

або врахувавши, що промінь зондування можна записати як $y = L_m(x)$ і він складається з K відрізків перетину сітки сплайна отримаємо

$$u = \sum_{k=1}^K \int_{x_k}^{x_{k+1}} S(x, L_k(x), A) dx. \quad (11)$$

Підставивши в (1) значення базисних функцій, отримуємо

$$u = \sum_{k=1}^K \int_{x_k}^{x_{k+1}} \left[\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_{ij} \cdot B_{ij}(x, L_k(x)) \right] dx = \\ = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J a_{ij} \cdot \int_{x_k}^{x_{k+1}} B_{ij}(x, L_k(x)) dx. \quad (12)$$

Для білінійного сплайна на фрагменті отримано аналітичні значення інтегралу

$$\int_{x_k}^{x_{k+1}} B_{ij}(x, L_k(x)) dx, \quad (13)$$

що дозволяє ефективно реалізувати обчислення томографічної задачі.

Розв'язок томографічної задачі зводиться до матричного рівняння

$$U = PA, \quad (14)$$

де A – значення функції затримки у вузлах сітки сплайна (вектор розмірності V), U – значення затримки сигналів на лініях зондування (вектор розмірності Q), P – матриця планування (матриця розмірності $V \times Q$) залежить від схеми зондування.

Обернена томографічна задача (ОТЗ) полягає у знаходженні вектора A за даними затримки сигналів приймачами від передавачів.

Апроксимація сплайном регуляризує рішення. Оскільки кількість зондуючих променів перевищує кількість параметрів, розв'язок знаходимо за методом найменших квадратів

$$\tilde{A} = G^{-1} \cdot W, \quad (15)$$

де $G = (P^T P)$, $W = P^T U$.

Такий спосіб регуляризації належить до проєкційних методів розв'язку некоректних рівнянь. Однак, навіть регуляризація не гарантує коректного розв'язку. Успіх суттєво залежить від схеми зондування й відношення між числом параметрів і зондуючих променів.

Зазвичай розв'язок на цьому завершують. Ми розглядаємо отриманий результат як початковий етап. Наступними кроками є врахування відмінностей у швидкості поширення звуку для врахування викривлення й відбиття зондуючих променів.

Викривлення променя апроксимуємо ламаною, враховуючи зміни швидкості на границях сітки сплайна. Викривлення та відбиття акустичних хвиль рахується за законами геометричної оптики.

На рис. 1 схематично показано заломлення і відбиття хвиль для схеми зондування.

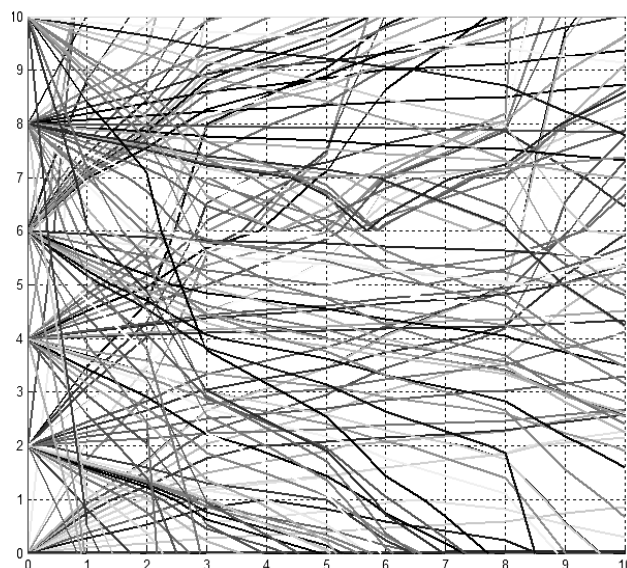


Рис. 1 – Модель поширення акустичних хвиль

В даній схемі по 6 випромінювачів і 12 приймачів на кожній із сторін.

Чисельний експеримент. Неоднорідне середовище може моделюватись будь-якою функцією, що описує зміну густини. Вибір функції не є принциповим для моделювання неоднорідності. Нехай область зондування задано деякою функцією

$$w(x, y) = \cos\left(x \cdot m + \frac{\pi}{4}\right)^2 \cdot \sin(y \cdot n + \pi)^2 + k, \quad (16)$$

де $m=0.3$, $n=0.6$, $k=0$, $0 \leq x \leq 10$, $0 \leq y \leq 10$.

Дана функція зображена на рис. 2.

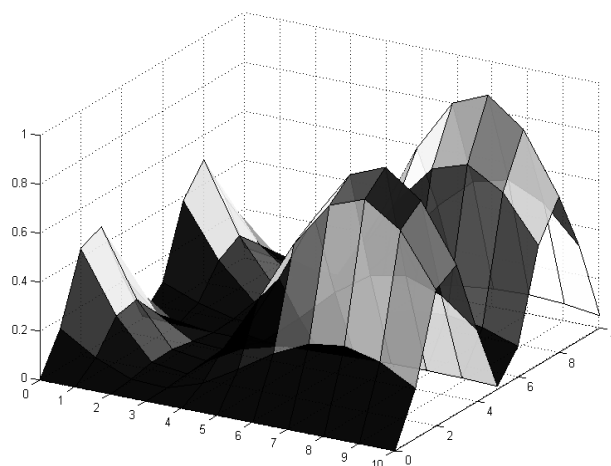


Рис. 2 – Функція швидкості звуку в неоднорідному середовищі

Розіб'ємо область зондування сіткою розмірність 10 на 10, тому маємо 100 локальних прямокутних областей і 121 вузлову точку.

З однієї сторони області зондування рівномірно розташуємо 11 випромінювачів. Розташуємо по 15 приймачів з інших трьох сторін. Координати випромінювачів і приймачів задано матрицями. Кількість зондуючих променів, що при цьому утворилось, буде дорівнювати $11 \cdot (15 \cdot 3) = 495$. Такої кількості проме-

нів буде достатньо, щоб щільно покрити область зондування.

На рис. 3 показано відновлену поверхню при співвідношенні сигнал/шум рівним 40 дБ.

Як видно із рис. 3 точність відновлення є високою при заданому значенні похибки.

Шум генерується за допомогою стандартної функції MATLAB – normrnd.

Для оцінки впливу певного рівня шуму, який додається у матрицю U на якість вирішення оберненої томографічної задачі, проведемо ряд експериментів (табл. 1). Проведено 50 експериментів з різними співвідношеннями сигнал/шум та знайдено середнє значення отриманої похибки.

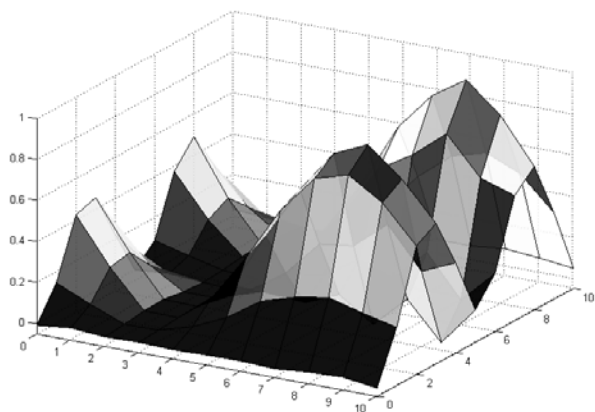


Рис. 3 – Відновлена функція розподілу швидкості поширення звуку ($\sigma = 0,0084$)

Для оцінки якості відновлення поверхні обчислимо похибку за різними критеріями: MaxAE (maximal absolute error), MSE (mean squared error), RMSE, NMSE, MAE (mean absolute error). Результати таблиці показано на графіках (рис. 4, 5).

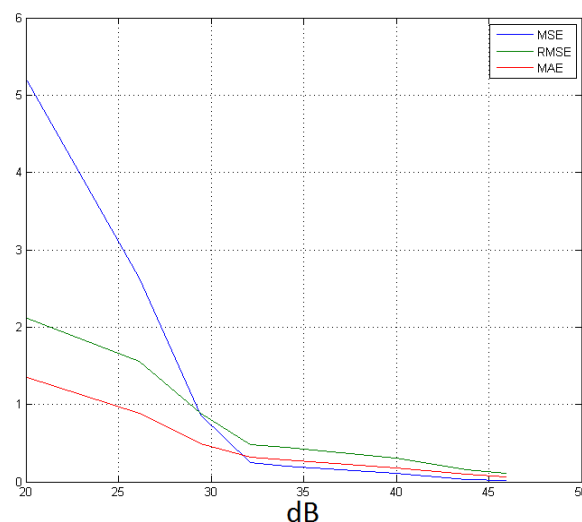


Рис. 4 – Залежність отриманої похибки (MSE, RMSE, MAE) від співвідношення сигнал/шум

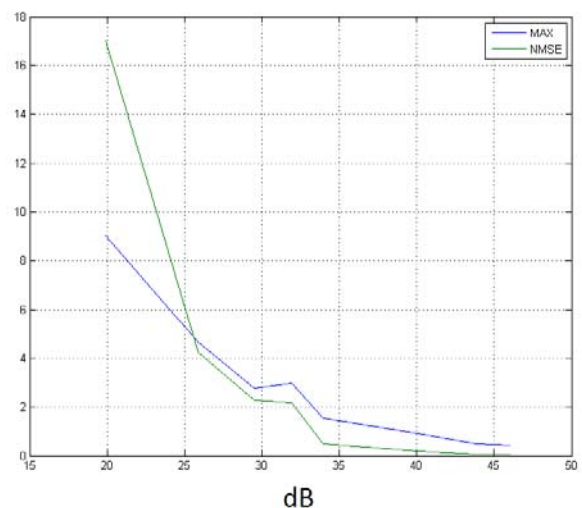


Рис. 5 – Залежність отриманої похибки (MaxE, NMSE) від співвідношення сигнал/шум

Таблиця 1 – Залежність похибки відновлення від значення сигнал/шум

| σ , dB | MaxAE | MSE | NMSE | RMSE | MAE |
|---------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 45.9497 | 0.3207 | 0.0214 | 0.0469 | 0.1411 | 0.0814 |
| 43.5036 | 0.5409 | 0.0218 | 0.0469 | 0.1444 | 0.0856 |
| 40.0832 | 1.2099 | 0.0440 | 0.0957 | 0.1973 | 0.1242 |
| 34.2043 | 1.9653 | 0.4503 | 1.0148 | 0.6537 | 0.3805 |
| 31.8443 | 2.2307 | 0.3144 | 0.6771 | 0.5460 | 0.3420 |
| 29.5519 | 2.7151 | 0.7352 | 1.6617 | 0.8229 | 0.5100 |
| 26.1253 | 3.9705 | 1.3887 | 2.8278 | 1.1095 | 0.7159 |
| 20.0016 | 10.7828 | 7.5933 | 13.743 | 2.4341 | 1.5724 |

Якщо проаналізувати графіки, то бачимо різке збільшення похибки відновлення за усіма критеріями при значенні сигнал/шум $\sigma = 35$ дБ.

Вирішимо ОТЗ при значенні сигнал/шум $\sigma = 35$ дБ і побудуємо відновлену поверхню (рис. 6).

Як видно із рис. 6, поверхня відновилась недостатньо точно. На поверхні присутні різкі викиди – артефакти.

Артефакти обумовлені тим, що частина випроміненого сигналу не потрапляє безпосередньо на приймачі, або надходить з ослабленням. Тому значення приймачів у таких випадках буде дорівнювати нулю.

З табл. 1 видно, що при значенні сигнал/шум більше 40 децибел результати вирішення оберненої томографічної задачі є точними. При значенні сигнал/шум рівному 35 децибел різко збільшується похибка.

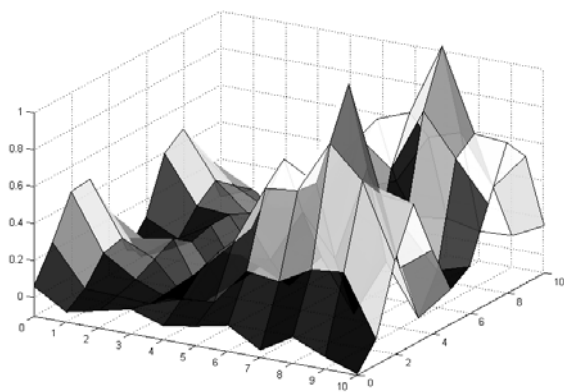


Рис. 6 – Відновлена функція розподілу швидкості поширення звуку ($\sigma = 35\text{дБ}$)

Висновки. Був розроблений алгоритм поширення звукових хвиль за законами геометричної оптики. Тобто враховується заломлення і відбиття акустичних хвиль. Експериментальним шляхом встановлено оптимальну схему зондування.

Проведено ряд експериментів з різним значенням шуму.

Проаналізовано вплив шуму на похибку відновлення значень у вузлових точках.

Встановлено критичне значення шуму, при якому з'являються артефакти.

Для реконструкції поверхні використовується білінійний сплайн, що згладжує поверхню.

Наступним етапом досліджень є побудова програмно-апаратного комплексу – ультразвукового томографа на основі плати STM32F4Discovery, звукових підсилювачів, та герметичних п'єзоелектричних ультразвукових датчиків, які працюють на частоті 40кГц (NU40A14T). Буде застосовуватись метод неруйнівного контролю (реконструктивна томографія). Також планується проведення натурних експериментів в неоднорідному середовищі для оцінки адекватності розробленого методу в реальних умовах.

Список літератури: 1. Суханов, Д. Я. Дистанционная ультразвуковая дефектоскопия звукоизлучающих объектов через воздух [Текст] / Д. Я. Суханов, М. А. Калашикова // Акустический журнал. – 2014. – №60. – С. 279–283. 2. Burov, V. (2011), "A three dimensional

tomography model for reconstruction of oceanic inhomogeneities under unknown antenna positioning" [Текст] / V. Burov, S. N. Sergeev, A. S. Shurup // Journal of acoustic. – 2011. – Vol. 57(3). – P. 344–358. 3. Но-лет, Г. Сейсмическая томография [Текст] / Г. Но-лет. – М.: Мир, 1990. – 416 с. 4. Matz, V. "Signal-to-Noise Ratio Improvement based on the Discrete Wavelet Transform in Ultrasonic Defectoscopy" [Текст] / V. Matz, M. Kreidl, R. Šmid // Czech Technical University, Prague. – 2004. – Vol. 44. – P. 61–66. 5. Michelini, A. "Seismological studies at Parkfield. I. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters using cubic B-splines parameterization" [Текст] / A. Michelini, T. McEvilly // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1991. – Vol 81.2. – P. 524–552. 6. Буров, В. А. Восстановление пространственных распределений скорости звука и поглощения в мягких биотканях по модельным данным ультразвукового томографирования [Текст] / В. А. Буров, Д. И. Зотов, О. Д. Румянцева // Акустический журнал. – 2014. – №60. – С. 443–456. 7. Jovanovic, I. "Inverse problems in acoustic tomography: theory and applications" [Текст] / I. Jovanovic, M. Vetterli, L. Sbaiz // EPFL, Lausanne, 2008. 8. Herman, G. Fundamentals of Computerized Tomography: Image Reconstruction from Projections [Текст] / G. Herman // Springer, NY, 2009. 9. Deans, S. The Radon Transform and some of its applications [Текст] / S. Deans // Wiley, NY, 1983. 10. Шелевицкий, И. В. Методы та засоби сплайн-технології обробки сигналів складної форми [Текст]: під ред. М. О. Шутка. – Кривий Ріг: Європейський університет, 2002. – 304 с.

Bibliography (transliterated): 1. Suhanov, D. and Kalashnikov, M. (2014). "Distancionnaja ul'trazvukovaja defektoskopija zvukoizluchajushhij obektov cherez vozduh" [Remote ultrasonic testing sound emitting objects through the air], Journal of acoustic, Vol. 60, 279–283. 2. Burov, V., Sergeev, S. N., Shurup, A. S. (2011). "A three dimensional tomography model for reconstruction of oceanic inhomogeneities under unknown antenna positioning", Journal of acoustic, Vol. 57(3), 344–358. 3. Nolet, G. (1990). Sejsmicheskaja tomografija. S prilozhenijami v global'noj sejsmologii i razvedochnoj geofizike [Seismic tomography. With applications in global seismology and geophysics], Mir, Moscow. 4. Matz, V., Kreidl, M., Šmid, R. (2004). "Signal-to-Noise Ratio Improvement based on the Discrete Wavelet Transform in Ultrasonic Defectoscopy", Czech Technical University, Prague, Vol. 44, 61–66. 5. Michelini, A., McEvilly, T. (1991). "Seismological studies at Parkfield. I. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters using cubic B-splines parameterization", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol 81.2, 524–552. 6. Burov, V., Zotov, D., Rumyanceva, D. (2014). "Vosstanovlenie prostranstvennyh rasspredelenij skorosti zvuka i pogloshhenija v mjagkih biotkanjah po model'nym dannym ul'trazvukovogo tomografirovanija" [Restoration of the spatial distributions of the sound velocity and absorption in soft biological tissues by ultrasonic tomography data model], Journal of acoustic, Vol. 60, 443–456. 7. Jovanovic, I., Vetterli, M. and Sbaiz, L. (2008). "Inverse problems in acoustic tomography: theory and applications", EPFL, Lausanne. 8. Herman, G. (2009). Fundamentals of Computerized Tomography: Image Reconstruction from Projections, Springer, NY. 9. Deans, S. (1983). The Radon Transform and some of its applications, Wiley, NY. 10. Shelevic'kij, I. V. (2002). Metodi ta zasobi splajn-tehnologii obrobki signaliv skladnoi formi [Methods and means of spline signal processing technology of complex shape], Evropejs'kij universitet, Krivij Rig.

Надійшла (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Головко Владислав Олексійович – асистент, Криворізький національний університет, Кафедра інформатики і прикладної математики, пр. Гагаріна, 54, м. Кривий Ріг, Україна, 50086; e-mail: golovko.vlad@gmail.com.

Holovko Vladyslav Oleksiyovych – assistant, Kryvyi Rih National University, Department of Computer Science and Applied Mathematics, av. Naharina, 54, Kryvyi Rih, Ukraine, 50086; e-mail: golovko.vlad@gmail.com.

Медведев Дмитро Геннадійович – кандидат технічних наук, Криворізький національний університет, Кафедра інформатики і прикладної математики, пр. Гагаріна, 54, м. Кривий Ріг, Україна, 50086; e-mail: dimakrrog@gmail.com.

Medvedyev Dmytro Hennadiyovych – Ph. D., Kryvyi Rih National University, Department of Computer Science and Applied Mathematics, av. Naharina, 54, Kryvyi Rih, Ukraine, 50086; e-mail: dimakrrog@gmail.com.

УДК 53.082.539

Г. В. ДОРОЖИНСЬКИЙ

ОЦІНКА ОСНОВНИХ ПОХИБОК ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКА ЗАЛОМЛЕННЯ АНАЛІТУ ПРИЛАДОМ НА ОСНОВІ ЯВИЩА ПОВЕРХНЕВОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСУ

Встановлено, що основними джерелами похибок вимірювання показника заломлення приладом на основі поверхневого плазмонного резонансу є температурний режим його роботи, довжина хвилі лазера та топологія поверхні чутливого елемента. Основними напрямками зменшення величин похибок вимірювання є збільшення довжини хвилі лазера, зменшення шорсткості поверхні чутливого елемента та стабілізація температурних режимів роботи приладу. Результати досліджень можуть бути використані для вдосконалення існуючих та створення нових приладів на основі поверхневого плазмонного резонансу.

Ключові слова: показник заломлення, поверхневий плазмонний резонанс, похибки вимірювання, довжина хвилі випромінювання, шорсткість поверхні, температура.

Вступ. Оптичні вимірювання, які ґрунтуються на явищі поверхневого плазмонного резонансу (ППР), широко використовуються для хімічного та біологічного аналізу, який базується на реєстрації адсорбції в газоподібних та рідких середовищах. Діагностуючі пристрої на явищі ППР мають високу чутливість до низьких концентрацій досліджуваних речовин, що дозволяє застосовувати їх у якості прецизійних аналітичних приладів для лабораторних досліджень в харчовій, хімічній, фармацевтичній промисловості, в сільському господарстві, в медицині, екології [1, 2].

Незважаючи на досягнення значної чутливості приладів на основі явища ППР [3] існує проблема забезпечення достовірності результату їх вимірювання, що обумовлено наявністю значних похибок у результаті вимірювання, котрі є наслідком дії багатьох чинників, котрі супроводжують процес вимірювання. Тому перспективним напрямом вдосконалення приладів є підвищення їх точності шляхом впровадження нових конструкторських рішень та технологічних процесів при їх виготовленні, для чого необхідно провести чисельний аналіз впливу на неї основних конструкторсько-технологічних чинників.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Основними чинниками, котрі впливають на величину похибки вимірювання показника заломлення (ПЗ) аналіту приладом, є рельєф поверхні металевго шару чутливого елемента (ЧЕ), довжина хвилі випромінювання лазера та температурний режим роботи приладу.

Поверхнева шорсткість металу, внаслідок розсіювання енергії, призводить до зменшення фазової швидкості плазмонів [4] тому зі зростанням шорсткості поверхні металевго шару ЧЕ позиція мінімуму характеристики відбиття $R(\theta)$ зміщується в сторону більших кутів, що викликає похибку вимірювання. Відомо, що відпал металевго шару зменшує шорсткість його поверхні [5], але не встановлено як величина шорсткості впливає на значення абсолютної похибки вимірювання ПЗ.

Зміна довжини хвилі збуджуючого випромінювання викликає зміну ПЗ як аналіту, так і елементів оптичної схеми ППР-приладу. Внаслідок цього змінюється форма характеристики відбиття $R(\theta)$, що веде до збільшення абсолютної похибки вимірювання кутового положення її мінімуму при апроксимації. В роботі [6] досліджувався вплив ступеню полінома на похибку визначення мінімуму характеристики відбиття $R(\theta)$ при довжині хвилі 650 нм та не було дослі-

джено залежність похибки апроксимації в діапазоні довжин хвиль лазера.

Зміна температурного режиму роботи приладу створює температурний дрейф положення мінімуму характеристики відбиття $R(\theta)$ внаслідок зміни параметрів елементів його оптичної схеми, зокрема показників заломлення призми ПВВ і матеріалу ЧЕ, а також довжини хвилі лазера, що викликано зміною температури відповідних елементів [7].

Враховуючи значний вплив джерел похибок, котрі мають місце в приладах на основі ППР, актуальною є задача проведення чисельного аналізу діапазону їх величин, що дозволить не тільки підвищити ефективність створення нових пристроїв на основі ППР шляхом оптимізації їх параметрів та доцільного вибору матеріалів і конструкції на стадії розробки, але й розробити математичні та технологічні механізми компенсації цих похибок.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення впливу шорсткості поверхні металевго шару ЧЕ, довжини хвилі збудження поверхневих плазмонів та температури аналіту на величини відповідних похибок приладу.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Виконати чисельний аналіз впливу шорсткості поверхні ЧЕ на величину похибки вимірювання ПЗ аналіту.

2. Виконати чисельний аналіз впливу довжини хвилі збудження поверхневих плазмонів в металевому шарі ЧЕ на величину похибки вимірювання ПЗ аналіту.

3. Виконати чисельний аналіз впливу зміни температури аналіту на величину похибки вимірювання ПЗ аналіту.

Матеріали та методи дослідження основних похибок вимірювання показника заломлення аналіту приладом на основі поверхневого плазмонного резонансу. Методичною основою виконання комплексних досліджень є: чисельний аналіз залежностей абсолютних похибок вимірювання ПЗ аналіту від шорсткості поверхні металевго шару ЧЕ, довжини хвилі лазера та зміни температури оптичної схеми приладу та аналіту.

Аналіз величин абсолютних похибок виконано для приладу «Плазмон-6» розробленого в Інституті фізики напівпровідників імені В. С. Лашкарьова НАН України, який було обрано для модернізації [8].

© Г. В. Дорожинський. 2015

Об'єктом дослідження є процес вимірювання ПЗ рідких та газоподібних середовищ приладом «Плазмон-6».

Предметом дослідження є величина абсолютної похибки вимірювання приладом «Плазмон-6» ПЗ рідких та газоподібних середовищ.

Оцінку впливу основних конструкторсько-технологічних чинників на величину абсолютної похибки вимірювання ПЗ аналіту було виконано за допомогою чисельного моделювання шляхом побудови теоретичної характеристики відбиття $R(\theta)$ для багаточарової системи «призма (скло) – металева плівка – проміжний шар – зовнішнє середовище (аналіт)» на основі методик [9, 10].

Величину абсолютної похибки ПЗ аналіту викликаної процедурою апроксимації визначали з різниці між кутовим положенням мінімумів двох характеристик відбиття $R(\theta)$ в діапазоні довжин хвиль 589...1200 нм для кожної довжини хвилі за методикою викладеною в [10].

Вплив температури виражається абсолютною похибкою результату вимірювання δN_T , викликаною температурною зміною ПЗ елементів оптичної схеми приладу та аналіту під час проведення вимірювання. Величина цієї абсолютної похибки залежить від зміни температури під час вимірювання і значень температурних коефіцієнтів ПЗ елементів оптичної схеми приладу та аналіту. Основними елементами оптичної схеми ППР-приладу, зміна ПЗ яких суттєво впливає на величину абсолютної похибки результату вимірювання, є призма ПБВ та металевий шар ЧЕ. Крім того на результат вимірювання ПЗ аналіту впливає температурна зміна довжини хвилі лазера. Температурний коефіцієнт зміни довжини хвилі лазера становить $(0,12...0,15) \text{ нм/К}$ [11]. Температурна зміна ПЗ n та коефіцієнта екстинції k металевого шару ЧЕ насамперед пов'язана зі зменшенням щільності носіїв заряду (електронів) в ній, що викликано як об'ємним тепловим розширенням металевої плівки, так і тепловими коливаннями кристалічної ґратки металу. За даними [12] температурні коефіцієнти показника заломлення n та коефіцієнта екстинції k для золота при довжині хвилі 650 нм становлять, відповідно: $TK_n = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$ та $TK_k = -1,4 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$. Для приладів серії «Плазмон» призми ПБВ виготовляються зі стекел марок N-BK7 (аналог марки K8) ($n_p = 1,5145$) та N-F2 (аналог марки Ф1) ($n_p = 1,6154$), для вимірювання газоподібних та рідких аналітів відповідно. Температурні коефіцієнти показника заломлення стекел цих марок наступні: $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ для марки K8 та $3 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ для марки Ф1 [13]. Для дистильованої води ($n_a = 1,3314$) як рідкого аналіту температурний коефіцієнт ПЗ становить $-1 \cdot 10^{-4} \text{ К}^{-1}$, а температурний коефіцієнт ПЗ осушеного повітря ($n_a = 1,00028$) $-1,0 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ [14].

Результати дослідження основних похибок вимірювання показника заломлення аналіту приладом на основі поверхневого плазмонного резонансу. В результаті проведеного чисельного аналізу було встановлено, що для зміни ПЗ аналіту в межах $dn_a = 0,01...0,0001 \text{ RIU}$ (refractive index unit – одиниця показника заломлення) абсолютна похибка змінюється однаково в межах від $4 \cdot 10^{-5} \text{ RIU}$ до $15 \cdot 10^{-5} \text{ RIU}$ при зміні товщини проміжного шару, тобто величини шорстко-

сті поверхні, від 5 до 20 нм. Абсолютна похибка визначалась як різниця між величиною зсуву при відсутності проміжного шару (ідеальний випадок) та величиною зсуву при наявності проміжного шару. Для приладу «Плазмон-6» величина шорсткості поверхні металевої плівки ЧЕ становить 10 нм, що відповідає абсолютній похибці вимірювання ПЗ аналіту $8 \cdot 10^{-5} \text{ RIU}$.

Чисельний розрахунок залежності абсолютної похибки апроксимації від довжини хвилі показав, що найбільше значення абсолютної похибки у $(19...21) \cdot 10^{-5} \text{ RIU}$ має місце при довжині хвилі 650 нм за умови апроксимації поліномами 3-го та 4-го ступеню та при довжині 635 нм за умови апроксимації поліномом 2-го ступеню. При збільшенні довжини хвилі абсолютна похибка спадає за експонентою $(\delta n(\lambda) = 0,121 \cdot e^{-0,01\lambda})$, і в діапазоні довжин хвиль 850...1200 нм знаходиться в межах $(2...3,5) \cdot 10^{-5} \text{ RIU}$, що пояснюється більшою симетричністю і вузькістю характеристики відбиття $R(\theta)$ в околі мінімуму (на рівні 20 %).

Обговорення результатів дослідження основних похибок вимірювання показника заломлення аналіту приладом на основі поверхневого плазмонного резонансу. Результати чисельного аналізу показали, що величина абсолютної похибки залежить від величини шорсткості і змінюється відповідно в межах від $4 \cdot 10^{-5} \text{ RIU}$ до $15 \cdot 10^{-5} \text{ RIU}$ при зміні величині мікрошорсткості поверхні ЧЕ від 5 до 20 нм. Тому для підвищення точності приладу треба зменшувати шорсткість поверхні металевого шару ЧЕ запроваджуючи нові технології нанесення металевого шару ЧЕ на підкладку.

Збільшення довжини хвилі від 650 до 1200 нм зменшує абсолютну похибку вимірювання ПЗ аналіту в 5,5 разів: від $\pm 6,2 \cdot 10^{-5}$ до $\pm 1,1 \cdot 10^{-5}$, тому подальшим етапом експериментальних досліджень необхідно оптимізувати довжини хвилі лазерного діода з врахуванням наявних, що серійно виробляються, напівпровідникових лазерів.

Визначено температурний дрейф мінімуму характеристики відбиття $R(\theta)$ та величини температурних похибок вимірювання ПЗ аналітів δN_T котрі викликані зміною температури аналіту та елементів оптичної схеми ППР-приладу, а саме: $\delta N_T = 6,72 \cdot 10^{-5}$ для аналіту повітря; $\delta N_T = 54,24 \cdot 10^{-5}$ для аналіту вода; $4,03 \text{ кут.сек./К}$ температурний дрейф для аналіту повітря; $32,54 \text{ кут.сек./К}$ температурний дрейф для аналіту води. Діапазон зміни температури становив 5 К від 293 К до 298 К.

На основі чисельного аналізу визначено, що найбільший вклад в похибку вимірювання вносить температурна складова $\delta N_T = 54,24 \cdot 10^{-5}$, а найменший – мікрошорсткість поверхні металевого шару чутливого елементу $\delta N_{ch} = 15 \cdot 10^{-5}$. Похибка апроксимації для довжини хвилі лазера 650 нм становить $\delta N_{ch} = 21 \cdot 10^{-5}$. Так як теоретично було обрано діапазон зміни температури 5 К, то необхідно в подальших дослідженнях експериментально визначити основні джерела тепловиділення елементів конструкції приладу серії «Плазмон» та діапазон зміни температури аналіту, напівпентапризми, напівпровідникового лазера та чутливого елементу. Крім того, необхідно обрати оптимальну довжину хвилі випромінювання лазерного діода в ді-

апазоні від 650 нм до 1200 нм, вдосконалити технологію отримання металевого шару чутливого елемента та стабілізувати температурні режими роботи приладу «Плазмон-6».

Висновки. В результаті проведених досліджень та чисельного аналізу встановлено:

1. $3.4 \cdot 10^{-5}$ RIU до $15 \cdot 10^{-5}$ RIU (в 4 рази) збільшується абсолютна похибка ПЗ аналізу для зміни ПЗ аналізу $dn_A = 0,001$ RIU при зростанні мікроскорості поверхні ЧЕ від 5 до 20 нм, що пояснюється розширенням характеристики відбиття $R(\theta)$.

2. $3.21 \cdot 10^{-5}$ RIU до $3,5 \cdot 10^{-5}$ RIU (в 7 разів) зменшується абсолютна похибка ПЗ аналізу в діапазоні довжин хвиль 650...1200 нм, що викликано апроксимацією характеристики відбиття $R(\theta)$ поліномами 2, 3 та 4 ступенів та пояснюється більшою симетричністю і вузькістю характеристики відбиття $R(\theta)$ в околі мінімуму для більших значень довжин хвиль.

3. Абсолютна температурна похибка вимірювання ПЗ становить $\delta N_T = 6,72 \cdot 10^{-5}$ RIU для повітря та $\delta N_T = 54,24 \cdot 10^{-5}$ RIU для дистильованої води при зміні температури призми ПБВ, металевого шару ЧЕ, аналітів (повітря та дистильованої води) і лазера з 293 K до 298 K, що пояснюється температурною зміною їх показників заломлення та довжини хвилі лазера.

Список літератури: 1. Canovi, M. Applications of surface plasmon resonance (SPR) for the characterization of nanoparticles developed for biomedical purposes [Text] / M. Canovi, J. Lucchetti, M. Stravalaci, F. Re, D. Moscatelli, P. Bigini, M. Salmona, M. Gobbi // *Sensors*. – 2012. – Vol.12. – P. 16420–16432. 2. Dorozinsky, G. V. Diagnostics of motor oil quality by using the device based on surface plasmon resonance phenomenon [Text] / G. V. Dorozinsky, A. I. Liptuga, V. I. Gordienko, V. P. Maslov, V. V. Pidgorniy // *Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET)*. – 2015. – Vol. 3. – P. 372–374.3. Войтович, И. Д. Сенсоры на основе плазмонного резонанса: принципы, технологии, применения [Текст] / И. Д. Войтович, С. Г. Корсунский – К.: Сталь, 2011. – 534 с. 4. Braundmeier, A. J. Effect of surface roughness on surface plasmon resonance adsorption [Text] / A. J. Braundmeier, E. T. Arakawa // *Journal Physics Chemistry Solids*. – 1974. – Vol. 35. – P. 517–520. 5. Snopok, B. A. Optical biosensors based on the surface plasmon resonance phenomenon: optimization of the metal layer parameters [Text] / B. A. Snopok, E. V. Kostyukovich, S. I. Lysenko, P. M. Lytvyn, O. S. Lytvyn, [et al.] // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*. – 2001. – Vol. 4, № 1. – P. 56–69. 6. Ширшов, Ю. М. Анализ и численное моделирование ППП-спектрометров с механической разверткой по углу: алгоритм определения угловой позиции минимума [Текст] / Ю. М. Ширшов, А. В. Самойлов, Р. В. Христоченко, Ю. В. Ушенін, В. М. Мирский // *Регистрация, зберігання і обробка даних*. – 2004. – Vol. 6, №3. – С. 3–18. 7. Dorozinsky, G. Reducing measurement uncertainty of instruments based on the phenomenon of surface plasmon resonance [Text] / G. Dorozinsky, V. Maslov, A. Samoylov, Yu. Ushenin // *American Journal of Optics and Photonics*. – 2013. – Vol. 1, № 3. – P. 17–22. 8. Венгер, С. Ф. Спектрометр поверхневого плазмонного резонансу Плазмон-6 [Текст] / С. Ф. Венгер, С. А. Зиньо, С. П. Мацас, А. В. Самойлов, Ю. В. Ушенін, та ін. // *Тези доповідей науково-практичної конференції СЕНСОР-2007*. – (Одеса Україна). – 2007. – С. 111. 9. Chegel, V. I. Experimental investigations and computer modelling of the

photochemical processes in Ag-As₂S₃ structures using surface plasmon resonance spectroscopy [Text] / V. I. Chegel, Yu. M. Shirshov, S. O. Kostyukovich [et al.] // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*. – 2001. – Vol. 4, No.4. – P. 301–306. 10. Дорожинський, Г. В. Оцінка впливу основних конструкторсько-технологічних чинників на чутливість приладу на основі вища поверхневого плазмонного резонансу [Текст] // *Вісник НТУУ «ХПІ»*. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2015. – № 52 (1161). – С. 80–84. 11. Байбородін, Ю. В. Основы лазерной техники [Текст]. – К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. – 383 с. 12. Özdemir, S. K. Temperature Effects on Surface Plasmon Resonance: Design Considerations for an Optical Temperature Sensor [Text] / S. K. Özdemir, G. Turhan-Sayan // *Journal of light wave technology*. – 2003. – Vol. 21, № 3. – P. 805–815. 13. www.schott.com. 14. Kedenburg, S. Linear refractive index and absorption measurements of nonlinear liquids in the visible and near-infrared spectral region [Text] / S. Kedenburg, M. Vieweg, T. Gissibl, H. Giessen // *Opt. Mat. Express*. – 2012. – Vol. 2. – P. 1588–1611.

Bibliography (transliterated): 1. Canovi, M., Lucchetti, J., Stravalaci, M., Re, F., Moscatelli, D., Bigini, P., Salmona, M., Gobbi, M. (2012). Applications of surface plasmon resonance (SPR) for the characterization of nanoparticles developed for biomedical purposes. *Sensors*, 12, 16420–16432. 2. Dorozinsky, G. V., Liptuga, A. I., Gordienko, V. I., Maslov, V. P., Pidgorniy, V. V. (2015). Diagnostics of motor oil quality by using the device based on surface plasmon resonance phenomenon. *Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET)*, 3, 372–374.3. Vojtovyich, I. D., Korsunskyi, S. G. (2011). Sensory na osnove plazmonnogo rezonansa: principy, tehnologii, pryimeneniya, Kyiv: Stal, 534. 4. Braundmeier, A. J., Arakawa, E. T. (1974). Effect of surface roughness on surface plasmon resonance adsorption. *Journal Physics Chemistry Solids*, 35, 517–520. 5. Snopok, B. A., Kostyukovich, E. V., Lysenko, S. I., Lytvyn, P. M., Lytvyn, O. S. [et al.]. (2001). Optical biosensors based on the surface plasmon resonance phenomenon: optimization of the metal layer parameters. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics*, 4 (1), 56–69. 6. Shirshov, Yu. M., Samoylov, A. V., Khriostosenko, R. V., Ushenin, Yu. V., Mirskiy, V. M. (2004). Analiz i chislennoe modelirovaniye SPR-spektr metrov s mekhanicheskoy razvyertkoj po uhlu: alhoritm opryedyeleniya uhlovoj pozicii minimuma. *Reyestraciya, zberihannya i obrobka danykh*, 6 (3), 3–18. 7. Dorozinsky, G., Maslov, V., Samoylov, A., Ushenin, Yu. (2013). Reducing measurement uncertainty of instruments based on the phenomenon of surface plasmon resonance. *American Journal of Optics and Photonics*, 1 (3), 17–22. 8. Venger, Ye. F., Zinyo, S. A., Matsas, Ye. P., Samoylov, A. V., Ushenin, Yu. V. ta in. (2007). Spektrometr poverkhnevo go plazmonnogo rezonansu Plasmon-6. Tezy dopovidej naukovo-praktychnoyi konferenciyi SENSOR, 111. 9. Chegel, V. I., M. Shirshov, Yu., Kostyukovich, S. O. [et al.] (2001). Experimental investigations and computer modelling of the photochemical processes in Ag-As₂S₃ structures using surface plasmon resonance spectroscopy. *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 4 (4), 301–306. 10. Dorozinsky, G. V. (2015). Ocinka vplyvu osnovnykh konstruktorsko-tekhnologichnykh chynnykiv na chutlyvist prykladu na osnovi yavyssha poverkhnevo go plazmonnoho rezonansu. *Visnyk NTUU «KhPI»*. Seriya: Mekhaniko-tekhnologichni systemy ta komplekxy, 52 (1161), 80–84. 11. Bajborodin, Yu. V. (1988). *Osnovy lazernoj tekhniki*, Kyiv: Vyshha shkola Holovnoe yzdatestvo, 383. 12. Özdemir, S. K., Turhan-Sayan, G. (2003). Temperature Effects on Surface Plasmon Resonance: Design Considerations for an Optical Temperature Sensor. *Journal of light wave technology*, 21 (3), 805–815. 13. www.schott.com. 14. Kedenburg, S., Vieweg, M., Gissibl, T., Giessen, H. (2012). Linear refractive index and absorption measurements of nonlinear liquids in the visible and near-infrared spectral region. *Opt. Mat. Express*, 2, 1588–1611.

Надійшло (received) 06.01.2016

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Дорожинський Гліб Вячеславович – молодший науковий співробітник відділу фізико-технологічних основ сенсорного матеріалознавства, Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України; пр. Науки, 41, м. Київ, Україна, 03028; e-mail: gvdorozinsky@ukr.net.

Dorozinsky Glib – junior researcher of department of physical and technological bases of sensory materials, V. Ye. Lashkaryov Institute of semiconductor physics NAS of Ukraine; 41 pr. Nauky, Kyiv, Ukraine, 03028; e-mail: gvdorozinsky@ukr.net.

УДК 656.56/681.5:004.78

*Л. И. НЕФЕДОВ, М. В. ШЕВЧЕНКО, М. В. ГАВРИШ***РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЦЕССА МОНИТОРИНГА РЕГИОНАЛЬНОГО ГАЗОСНАБЖЕНИЯ**

Рассматривается структура информационно-справочного обеспечения синтеза системы мониторинга регионального газоснабжения и особенности ее реализации с помощью современных технологий. Результаты исследований и разработки могут быть использованы при синтезе и эксплуатации системы мониторинга регионального газоснабжения, поскольку позволяют отслеживать и получать информацию не только о состоянии транспортируемого продукта, но и получать информацию о самом газопроводе. Предложенные модели выбора программного обеспечения позволяют повысить эффективность принятия решений в условиях, когда критерии выбора заданы нечеткими лингвистическими переменными.

Ключевые слова: информационное обеспечение, система мониторинга, региональное газоснабжение, структура, база данных, модели.

Введение. Современный уровень развития аппаратных и программных средств с некоторых пор сделал возможным повсеместное ведение баз данных оперативной информации на разных уровнях управления системой мониторинга транспорта газа. В процессе своей деятельности промышленные предприятия, корпорации, ведомственные структуры, органы управления напрямую связанные с транспортом газа накопили большие объемы данных. Они хранят в себе большие потенциальные возможности по извлечению полезной аналитической информации, на основе которой можно выявлять скрытые тенденции, строить стратегию синтеза новых и развития уже существующих систем мониторинга регионального газоснабжения (СМРГ), находить новые решения. Следовательно, разработка информационного обеспечения для систем мониторинга регионального газоснабжения является актуальным вопросом, который не решен в полной мере на данный момент.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. В работе [1] рассмотрены организационное обеспечение и комплексы технических решений автоматизированной навигационной системы диспетчерского контроля и учета транспорта нефтедобывающих предприятий, которая построена на базе комплекса вычислительных средств. Подчеркивается роль именно средств коммуникации и телеметрической платформы, но разработке поддерживающей информационной системы не уделяется внимание. В работах [2,3] отмечена необходимость реализации систем информационного обеспечения в рамках реализации технологий синтеза систем, а также подчеркивается, что при разработке информационно-справочного обеспечения необходимо учитывать, что процесс синтеза систем должен обеспечиваться требуемыми информационными ресурсами на всех этапах жизненного его цикла в интересах достижения требуемой эффективности функционирования всей системы. Однако эти исследования направлены на проблематику синтеза офисов и управления программами и проектами. В [4] рассмотрены структурная схема и алгоритм работы системы поддержки принятия решений по диагностике технического состояния газопроводов в Белгородской области, представлена структура и описаны сущности разработанной базы данных, также приведены основные элементы интерфейса пользователя системы поддержки принятия решений. В работе [4] больше внимания уделено принятию решений о необходимости ремонта с помощью

разработанной информационной системы на основе результатов диагностики. При этом, возможности системы принятия решений представляются несколько ограниченными, поскольку [5,6] включает также возможность реструктуризации и реконструкции систем газоснабжения, переходы на резервные линии или их отключение, а описание газопроводов является заведомо неполным (неточным), поэтому на завершающем этапе в [4] предлагается использовать экспертную систему мягкой классификации с применением теории нечетких множеств.

Следовательно, появляется необходимость в разработке информационно-справочного обеспечения мониторинга транспорта газа в системе регионального газоснабжения, которая бы дала возможность реализовывать всю совокупность функций, процессов и операций для достижения основных целей мониторинга – контроля и учета показателей по результатам измерений.

Цель и задачи исследования. Целью статьи является повышение эффективности функционирования системы мониторинга регионального газоснабжения за счёт разработки информационного обеспечения, которое позволит проводить оценку и принимать решения как о состоянии газотранспортной системы, так и транспортируемого продукта.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать структуру информационного обеспечения;
- выбрать программное обеспечение для базы данных;
- реализовать структуру информационного обеспечения в выбранной базе данных.

Разработка информационно-справочного обеспечения. Главным требованием к информационному обеспечению автоматизированного синтеза систем мониторинга регионального газоснабжения является обеспечение аналитиков и экспертов эффективным инструментом для проведения оперативного анализа данных, которые получены из множества источников и накоплены за достаточно долгий период (данные характеризуют объект автоматизации в исторической перспективе) по выбранным критериям [7].

Взаимодействие компонентов автоматизированного банка данных (АБД) между собой и внешней средой осуществляется с помощью средств программного обеспечения.

©Л. И. Нефедов, М. В. Шевченко, М. В. Гавриш. 2015

Рассмотрим структуру информационного обеспечения синтеза СМРГ организационной системы (рис. 1), которое реализовано в виде АБД, включающего в себя базы данных (БД) различной направлен-

ности и систему управления БД (СУБД), регулируюшую механизм доступа к ним (запись, объединение, выдачу и удаление информации) в зависимости от запросов.

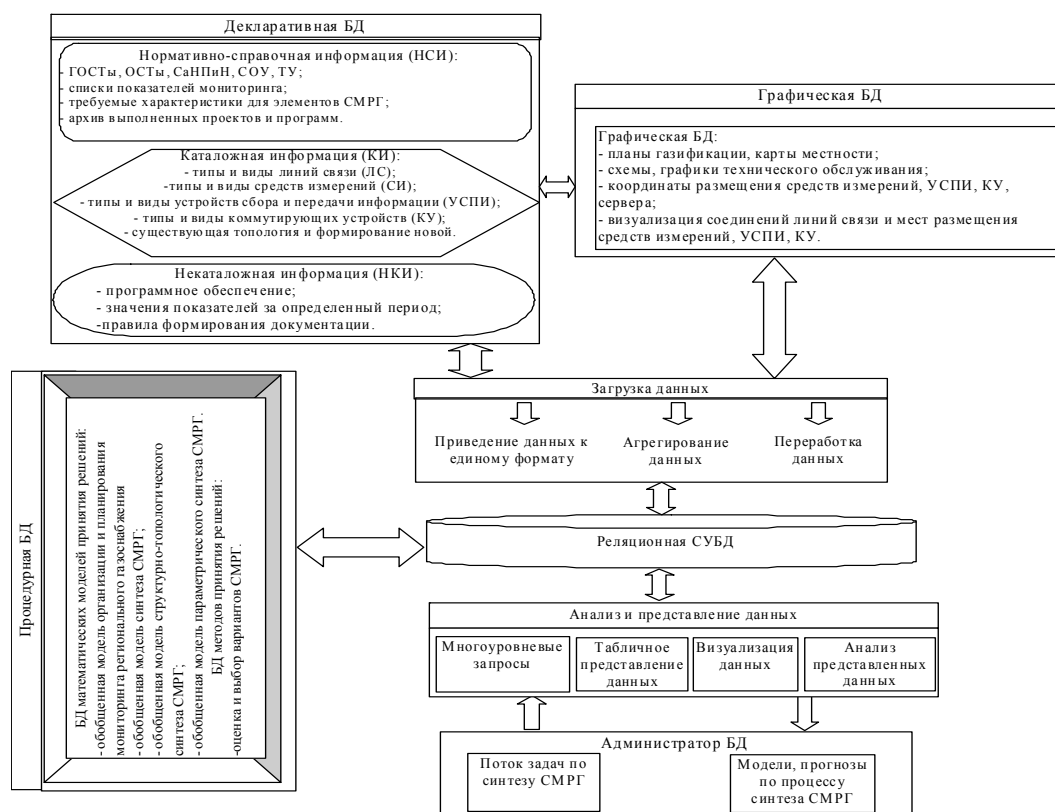


Рис. 1 – Структура информационно-справочного обеспечения

В зависимости от типа хранящейся информации, отражающей разные свойства объектов и процессов мониторинга и синтеза СМРГ, БД подразделяются на декларативные, графические и процедурные [8].

Традиционные системы обработки данных (СОД) с детализированными данными, которым присуща OLTP (оперативная транзакционная обработка), предназначены для выполнения этапа автоматизации в организациях. Этот этап обычно состоит в наведении порядка в процессах рутинной обработки данных. Они используются на нижнем – операционном уровне управления. СОД не предназначены для длительного сохранения данных, по мере старения данные перезагружаются в каталожную и нормативно-справочную информацию декларативной БД и исключают из процедурной и графической БД – таким образом, происходит обмен между разными типами баз данных.

Главным требованием к информационному обеспечению автоматизированного синтеза СМРГ является обеспечение аналитиков и экспертов эффективным инструментом для проведения оперативного анализа данных, которые получены из множества источников и накоплены за достаточно долгий период (данные характеризуют объект автоматизации в исторической перспективе) по выбранным критериям [9].

Декларативная БД содержит в себе следующие разделы по существующей системе транспорта газа:

- нормативно-справочная информация (НСИ), отражающая следующие аспекты: стандарты и требу-

емые характеристики к системе транспорта газа на каждом из уровней; стандарты и характеристики газораспределительных пунктов (ГРП), шкафных регуляторных пунктов (ШРП), компрессорных станций и т.д. для каждого из участков СМРГ, средств измерений (СИ), устройств сбора и передачи информации (УСПИ), коммутирующих устройств (КУ), диспетчерских пунктов (нормативные показатели оборудования, их габаритные размеры и количество); требуемые характеристики сопроводительного (пассивного) оборудования системы мониторинга (короба, розетки, шкафы и стойки); характеристики размещения ГРП, диспетчерских пунктов (ДП) и линий связи (ЛС). Кроме того, в соответствии с действующими ГОСТами, список снимаемых при мониторинге показателей и архив выполненных проектов и программ, что несет скорее справочную информацию о выполненных работах и полученных результатах;

- каталожная информация (КИ) по отдельным принимаемым решениям: каталоги ЛС; каталоги средств измерений (СИ); каталоги УСПИ; каталоги КУ; схемы типовых топологий и конфигураций для сетевых соединений СМРГ, задаваемые матрицами инцидентности; каталоги периферийных (пассивных) устройств; библиотеки с описанием структуры СМРГ каждого участка и каждого уровня в существующем объекте; библиотеки с описанием СМРГ, с указанием конкретных показателей СИ, УСПИ, КУ и ЛС, полученных в результате мониторинга;

– некаталожная информация (НКИ), состоящая из следующих разделов:

1) описания моделей объектов СМРГ, которое содержит следующие базы: свойств - критериев и ограничений, а также их характеристик, включая классификационные признаки;

2) описание программного обеспечения, в котором происходит работа как системы мониторинга, так и администратора, с описанием протоколов и интерфейсов;

3) описания необходимой графической и текстовой документации и правил ее формирования.

Процедурная БД содержит БД математических моделей принятия решений, в которой находится информация об основных критериях, ограничениях, которые используются при синтезе СМРГ и их взаимодействии внутри модели, а также БД методов принятия решений, в которой приведены методы и последовательность их применения при принятии решений на всех этапах синтеза СМРГ.

Опираясь на концепцию хранилищ, при разработке информационного обеспечения для процедурной БД и декларативной БД при обмене данными предусмотрена функция загрузки данных, позволяющая приводить к единому, удобному как для пользователя, так и для самого процесса синтеза, формату процедурную, декларативную и графическую части БД и выполняет некоторые функции представленных выше трех систем (интеллектуальный анализ данных (Data Mining), OLAP, хранилищ данных).

Графическая БД одержит информацию о топологии и местах размещения (координатах) элементов СМРГ, которые представлены матрицами инцидентности, являющиеся, в свою очередь, таблицами, визуальное представление соединений СИ, УСПИ, КУ и ДП между собой с выводом готового документа по СМРГ после синтеза.

Взаимодействие компонентов АБД между собой и внешней средой осуществляется с помощью реляционной СУБД и средств программного обеспечения.

Реализация разработанного информационно-справочного обеспечения осуществляется посредством современных технологий.

Рынок программного обеспечения имеет в своем распоряжении большое число разнообразных по своим функциональным возможностям коммерческих программных средств (баз данных) общего назначения, а также средств их окружения практически для всех массовых моделей персональных компьютеров и для разных операционных систем [10].

Рассмотрим группу программных продуктов, в которую входят:

- dBASE IV, компании Borland International;
- Microsoft Access 2000;
- Microsoft Excel 2000;
- Microsoft FoxPro for Windows, корпорации Microsoft Corp;
- Paradox for Windows, компании Borland.

Для выбора программного средства обоснованы следующие критерии: производительность (ПР), обеспечение безопасности базы данных (ББД), работа в средах со многими пользователями (МП), доступ к данным SQL (ДД), инструментальные средства разра-

ботки прикладных программ (ИСПП), обеспечение целостности данных (ЦД).

Производительность БД оценивается: временем выполнения запросов; скоростью поиска информации в неиндексированных полях; временем выполнения операций импортирования базы данных из других форматов; скоростью создания индексов и выполнение таких массовых операций, как восстановление, вставка, удаление данных; числом параллельных обращений к данным при использовании базы многими пользователями; временем генерации отчета.

Результат выбора программного обеспечения для реализации информационно-справочного обеспечения. Считая критерии для выбора программного обеспечения равной важности рассмотрим задачу выбора наиболее подходящего программного обеспечения (ПО). Из множества ПО отобрано 5, которые образуют следующее множество альтернатив:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}, \quad (1)$$

где x_1 - dBASE IV; x_2 - Microsoft Access 2000; x_3 - Microsoft Excel 2000; x_4 - Microsoft FoxPro for Windows; x_5 - Paradox for Windows.

Оценивать будем по следующим 9 равнозначным критериям, которые образуют множество:

$$C = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8, C_9\}, \quad (2)$$

где C_1 - обеспечение безопасности базы данных; C_2 - обеспечение ЦД; C_3 - время выполнения запросов; C_4 - скорость поиска информации в неиндексированных полях; C_5 - время выполнения операций импортирования базы данных из других форматов; C_6 - скорость создания индексов и выполнение таких массовых операций, как восстановление, вставка, удаление данных; C_7 - число параллельных обращений к данным при использовании базы многими пользователями; C_8 - время генерации отчета; C_9 - доступ к данным SQL.

Каждому критерию из множества C может быть поставлено в соответствие нечеткое множество [11]:

$$A(C_i) = (\mu_{C_i}(x_1), \mu_{C_i}(x_2), \dots, \mu_{C_i}(x_j)), \quad (3)$$

где $\mu_{C_i}(x_j)$ – оценка альтернативы x_j ($j = \overline{1, m}$) по критерию C_i ($i = \overline{1, n}$). Другими словами, она выступает степенью соответствия альтернативы выдвигаемым требованиям по критерию C_i . Решением исходной задачи будет такая альтернатива X_j , которая в наибольшей мере отвечает требованиям всей совокупности критериев. Примем допущение, что решающее правило D выбора наилучшей альтернативы лежит на пересечении соответствующих нечетких множеств:

$$D = A(C_1) \cap A(C_2) \cap A(C_3) \dots \cap A(C_i). \quad (4)$$

В соответствии с определением операции пересечения [11] нечетких множеств функция принадлежности искомого решения находится как

$$\mu_D(x_j) = \min_{i=1, n} (\mu_{A(C_i)}(x_j)), j = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Следовательно, в качестве наилучшей (рациональной) должна быть выбрана такая альтернатива x^* , для которой значение функции принадлежности $\mu_D(x_j)$ окажется максимальным

$$\mu_D(x^*_j) = \max_{j=1, m} (\mu_D(x_j)). \quad (6)$$

Именно эта альтернатива является решением исходной задачи выбора программного обеспечения, поскольку в наибольшей степени удовлетворяет всем критериям в совокупности.

Определив степень соответствия каждого из отобранных ПО установленным критериям, сформируем следующую совокупность (таблица 1), описывающих соответствие по каждому критерию.

Применяя правило выбора искомой альтернативы, найдем пересечение этих множеств, которое будет иметь вид как представлено в табл. 1.

Таблица 1 - Описание функции принадлежности по каждому критерию

| Частные функции принадлежности альтернатив | Значения частных функций принадлежности альтернатив | | | | | | | | | Минимальные значения $\mu_D(x_j)$ |
|--|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|
| | A(C1) | A(C2) | A(C3) | A(C4) | A(C5) | A(C6) | A(C7) | A(C8) | A(C9) | |
| $\mu(x_1)$ | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 0,3 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,8 | 0,6 | 0,1 |
| $\mu(x_2)$ | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,5 | 0,7 | 0,3 |
| $\mu(x_3)$ | 0,6 | 0,8 | 0,5 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,2 |
| $\mu(x_4)$ | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,7 | 0,7 | 0,5 | 0,2 |
| $\mu(x_5)$ | 0,4 | 0,2 | 0,6 | 0,6 | 0,3 | 0,1 | 0,4 | 0,6 | 0,2 | 0,1 |

Или

$D = \{(x_1; 0,1), (x_2; 0,3), (x_3; 0,2), (x_4; 0,2), (x_5; 0,1)\}$, на основе сравнения между собой полученных функций принадлежности каждой из альтернатив, можно сделать вывод о том, что наилучшей альтернативой является x_2 - Microsoft Access 2000.

Обсуждение результатов выбора программного обеспечения для реализации информационно-справочного обеспечения и его практическая реализация. Следует отметить, что в рассматриваемой задаче выбора ПО все критерии C_i предполагались равноправными, т.е. имели одинаковую важность. Однако в практике многокритериального принятия решений чаще встречаются ситуации, когда критерии имеют разные весовые коэффициенты и в условиях нечеткой информации как о значениях самих критериях, так и их весовых коэффициентов необходимо решать оптимизационную задачу и находить максимум целевой функции. В этом случае, в условиях нечеткой информации, следует использовать методы, которые приведены в [12].

С помощью выбранного программного средства была реализована ER-модель, структуры информационно-справочного обеспечения, которая представляет собой реляционную базу данных об объектах мониторинга, в частности об участках системы регионального газоснабжения, их местонахождении и основных характеристиках. Сегмент (часть) ER-модели представлен на рис. 2. Кроме того, данная ER-модель отражает наполнение базы данных в соответствии с приведенной на рис. 1 структурой информационно-справочного обеспечения. Ключевое место в структуре базы данных, представленной в виде ER-модели, занимает сущность «Газопровод», атрибуты которой соответствуют технической информации, хранящейся в архиве, а также содержат ссылку на основные составляющие СМРГ: участки, точки контроля, средства измерений и т.д. Описание основных сущностей приведено в табл. 2.

Дальнейшие исследования направлены на практическую реализацию и внедрения разработанной ER-модели в виде базы данных программно-методического комплекса в выбранном ПО.

Таблица 2 – Описание ключевых сущностей реляционной базы данных

| № | Название сущности | Описание |
|---|--------------------|---|
| 1 | Газопровод | Информация о газопроводах, их местоположении и участках |
| 2 | Журнал решений | Информация о принятых решениях по результатам мониторинга газопровода |
| 3 | Журнал мониторинга | Содержит информацию о результатах проведенного мониторинга |
| 4 | Журнал ремонта | Содержит информацию о выполненных ремонтах с указанием срока проведения, планируемых и фактических затратах |
| 5 | Оборудование | Содержит информацию об основном оборудовании, которое используется при мониторинге |
| 6 | Участки | Содержит информацию об участках СМРГ, их индексах и установленном оборудовании и точках контроля |

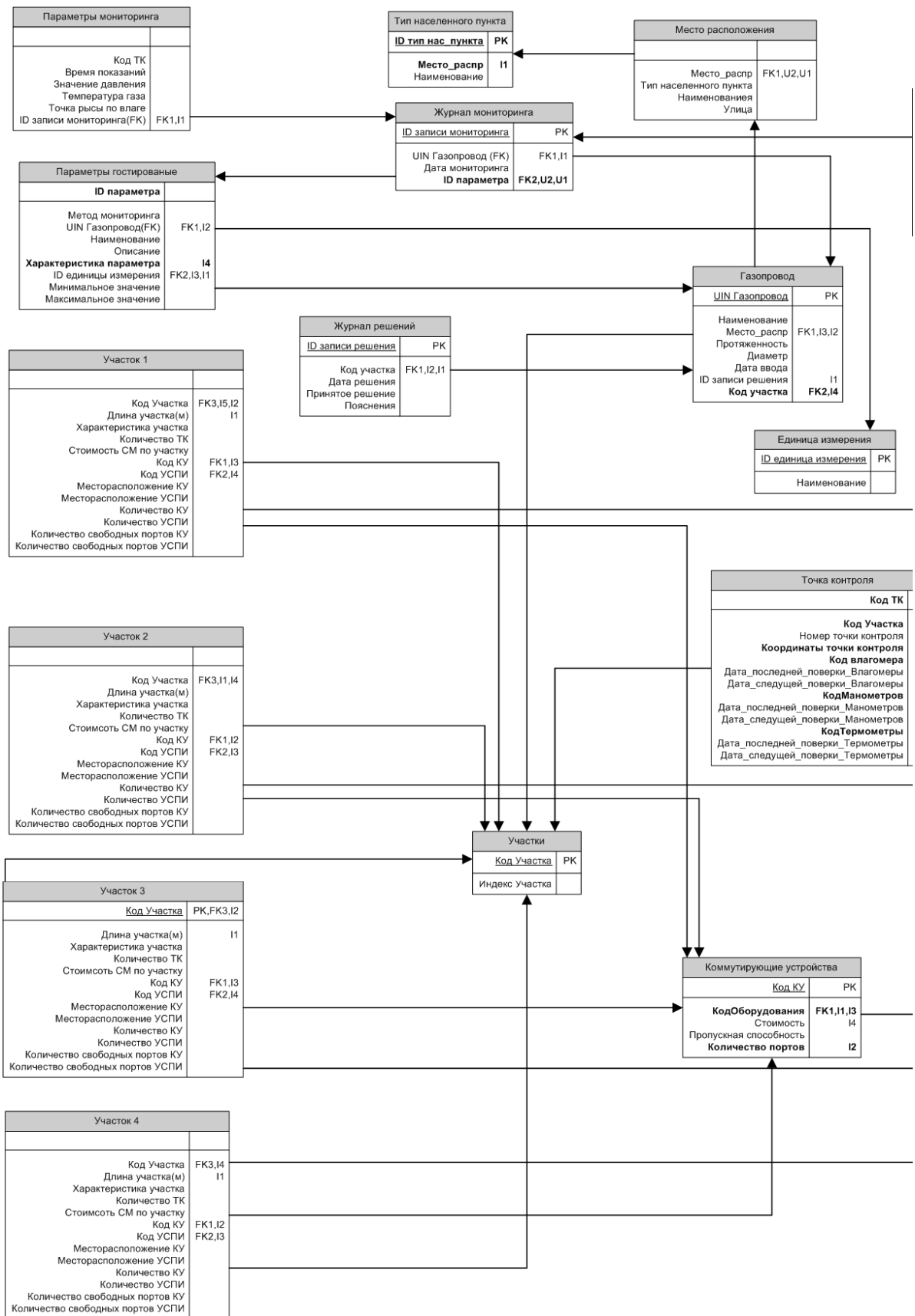


Рис. 2 – Сегмент ER-модели базы данных

Выводы. Разработанная информационная система позволяет автоматизировать работу подразделений системы регионального газоснабжения при монито-

ринге транспорта газа, за счет этого появляется возможность повысить функциональность всей СМРГ.

Впервые разработана модель выбора программного обеспечения для реализации информационно-

справочной системы, которая в отличии от существующих позволяет учитывать нечеткость информации.

Разработанная база данных на основе предлагаемой ER-модели и выбранного программного обеспечения позволяет реализовать систему поддержки принятия решений, способную обеспечить правильное решение по итогам проводимого мониторинга о техническом состоянии газопроводов и состоянии транспортируемого продукта. Практическая новизна предложенной ER-модели базы данных заключается в том, что она в отличие от существующих содержит информацию о результатах мониторинга, позволяет генерировать соответствующие отчеты и визуализировать отдельные элементы СМРГ. Все это в конечном итоге снизит риск возникновения аварийной ситуации и оптимизирует бюджет инвестиций в эксплуатацию газовых сетей.

Список литературы: 1. *Остроух, А. В.* Розробка автоматизованої навігаційної системи диспетчерського контролю та обліку роботи транспорту нафтовидобувних підприємств [Текст] / *А. В. Остроух, А. Б. Ніколаєв, Д. Б. Єфіменко, С. В. Жанказієв*//Нафтова і газова промисловість. – №3. – 2012. – С. 45–49. 2. *Нефедов, Л. И.* Выбор СУБД в условиях нечеткой информации [Текст] / *Л. И. Нефедов, Ю. А. Петренко, А. Б. Биньковская* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – № 1/2 (55). – 2012. – С. 4–6. 3. *Биньковская, А. Б.* Информационное обеспечение синтеза компьютерной сети офисов транспортных систем [Текст] / *А. Б. Биньковская* // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – №1. – 2014. – С. 78–82. 4. *Ломакин, В. В.* Инструментальные средства поддержки принятия решений при диагностировании технического состояния газопроводов на территории Белгородской области [Электронный ресурс] / *В. В. Ломакин, В. А. Несвоев*. – Режим доступа: <http://www.irsit.ru/files/article/295.pdf>. 5. Государственные строительные нормы Украины. ДБН В. 2.5-20-2001. Газоснабжение. Инженерное оборудование зданий и сооружений. Госстрой Украины [Текст]. – К., 2001. – 192 с. 6. НПАОП 60.3-1.03-04. Правила технической эксплуатации газорозподільних станцій магістральних газопроводів. Нормативно-правовий акт з охорони праці. Держнагляд охорони праці України [Текст]. – К., 2004. – 92 с. 7. *Нефедов Л. И.* Структурная модель информационной технологии автоматизированного синтеза системы управления качеством добычи, переработки и транспорта газа [Текст] / *Л. И. Нефедов, М. В. Шевченко, О. Н. Кудырко* //Науковий вісник Херсонської державної морської

академії. – 2014. – №1(10). – С. 289–296. 8. *Джексон, Г.* Проектирование реляционных баз данных с использованием микроЭВМ [Текст] / Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 252 с. 9. *Мейер, Д.* Теория реляционных баз данных [Текст] / *Д. Мейер*. – М.: Мир, 1987. – 608 с. 10. *Харрингтон, Д.* Проектирование реляционных баз данных. Просто и доступно [Текст] / *Д. Харрингтон*. – М.: Лори, 2003. – 230 с. 11. *Пономарев, А. С.* Нечеткие множества в задачах автоматизированного управления и принятия решений: учеб. пособие [Текст] / *А. С. Пономарев*. – Харьков: НТУ ХПИ, 2005. – 232 с. 12. Методы и модели принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности: монография [Текст] / [Э. Г. Петрова, Н. А. Брынза, Л. В. Колесник, О. А. Писклакова]; под ред. Э. Г. Петрова. – Херсон: Гринь Д.С., 2014. – 192 с.

Bibliography (transliterated):1. *Ostroukh, A., Nikolaiev, A., Yefymenko, D., Zhankaziiev, S.* (2012). Rozrobka avtomatyzovanoi navihatsiinoi systemy dyspetcherskoho kontroliu ta obliku roboty transportu naftovydobuvnykh pidpriemstv. Naftova i hazova promyslovist, 3, 45–49. 2. *Nefedov, L., Petrenko, Yu., Binkovskaya, A.* (2012). Vybhor SUBD v usloviyakh nechetkoj informacii. Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovykh tehnologij, 1/2 (55), 4–6. 3. *Binkovskaya, A.* (2014). Informacionnoe obespechenie sinteza kompyuternoj seti ofisov transportnykh sistem. Informatsiino-keruiuchi systemy na zaliznychnomu transporti, 1, 78–82. 4. *Lomakin, V., Nesvoev, V.* (2013). Instrumentalnye sredstva podderzhki prinyatiya reshenij pri diagnostirovaniy tekhnicheskogo sostoyaniya gazoprovodov na territorii Belgorodskoj oblasti. Available at: <http://www.irsit.ru/files/article/295.pdf>. 5. Gosudarstvennye stroitelnye normy Ukrainy DBN V. 2.5-20-2001. (2001). Gazosnabzhenie. Inzhenerne oborudovanie zdaniy i sooruzheniy. Gosstroy Ukrainy [Gas supply. Engineering equipment of buildings and structures. Gosstroy of Ukraine], 192. State building codes Ukraine [in Ukraine]. 6. NPAOP 60.3-1.03-04. (2004). Pravyla tekhnichnoi ekspluatatsii hazorozpodilnykh stantsii mahistralnykh hazoprovodiv. Normativno-pravovyi akt z okhorony pratsi, 92. Derzhnahliadokhoronpratsi Ukrainy [in Ukraine]. 7. *Nefedov, L., Shevchenko, M., Kudyрко, O.* (2014). Strukturnaya model informacionnoj tekhnologii avtomatizirovannogo sinteza systemy upravleniya kachestvom dobychi, pererabotki i transporta gaza. Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii, №1(10), 289–296. 8. *Dzhekson, G.* (1991). Proektirovaniye relyacionnykh baz dannykh s ispolzovaniem mikroEVM, 252. 9. *Mejer, D.* (1987). Teoriya relyacionnykh baz dannykh, 608. 10. *Kharrington, D.* (2003). Proyektirovaniye relyatsionnykh baz dannykh. Prosto i dostupno, 230. 11. *Ponomarev, A.* (2005). Nечetkiye mnozhestva v zadachakh avtomatizirovannogo upravleniya i prinyatiya resheniy, 232. 12. *Petrov, E., Brynza, N., Kolesnik, L., Pisklakova, O.* (2014). Metody i modeli prinyatiya resheniy v usloviyakh mnogokriterialnosti i neopredelenosti, 192.

Поступила (received) 20.12.2015.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шевченко Марія Валерьевна – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, доцент кафедры «Автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий»; Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002; e-mail: mshevchenko81@gmail.com.

Shevchenko Mariia - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of automation and computer-integrated technologies, Kharkiv National Automobile and Highway University; str. Petrovskogo, 25, Kharkiv, Ukraine, 61002; e-mail: mshevchenko81@gmail.com.

Нефедов Леонид Иванович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий», Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет; Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002; E-mail: nefedovli@rambler.ru.

Nefedov Leonid – Doctor of Technical Science, Professor, Department of automation and computer-integrated technologies, Kharkiv National Automobile and Highway University; Petrovskogo, 25, Kharkov, Ukraine, 61002, E-mail: nefedovli@rambler.ru.

Гавриш Марія Валентиновна – студент-магістр, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, кафедра «Автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий»; Петровского, 25, г. Харьков, Украина, 61002; e-mail: lobko_93@mail.ru.

Havrysh Mariia – student, Kharkiv National Automobile and Highway University; Petrovskogo, 25, Kharkov, Ukraine, 61002, tel.: (057) 738-77-92; E-mail: lobko_93@mail.ru.

УДК 621.37/.38/.39/; 621.372.2

В. Г. КУДРЯ

МОДЕЛІ МІЖЗ'ЄДНАНЬ КОМПОНЕНТІВ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ

Виконано дослідження способів інтерпретації мережі міжз'єднань високочастотної, в тому числі і нанотехнологічної електроніки. Системний спосіб їх подання у вигляді синтезу польової та ланцюгової структури дозволив розробити теоретичне обґрунтування схемотехнічного зображення електромагнітних процесів провідників, що утворюють комунікативну мережу компонентів, що виконують локальні функціональні перетворення. Отримані макромоделі міжз'єднань, що дозволяють виконувати оцінки впливу, як внутрішніх, так і зовнішніх позасистемних електромагнітних перешкод. Результати дослідження спрямовані на підвищення ефективності проектування засобів інформаційно комунікаційних технологій.

Ключові слова: високочастотна електроніка, моделі електромагнітних перешкод, MEMC, NEMC, CAD.

Вступ. Темпи розвитку електроніки, настільки великі, що існуючі на сьогоднішній день емпіричні способи та методи виробництва [1...4] випереджають відповідні темпи зростання її фундаментальних, системних методів дослідження та системних технологій проектування [5...8]. Незважаючи на обчислювальні потужності сучасних комп'ютерів, існуючі пакети [2] аналізу електронних засобів (CAD): Spice, MicroCap, OrCad, MultiSim, Atium Designer, – далеко не відповідають запитам технології проектування мікро- та нано- електроніки. Синергетичність різноманітних природних явищ, що забезпечують функціонування нановиробів [9] лише частково піддається моделюванню в межах існуючих програмних продуктів. З цих причин розробка адекватних фізикоматематичних моделей стало предметом дослідження. Переважна більшість робіт [10] переймається розкриттям існуючих, або відкриттям нових природних явищ та процесів, що можуть скласти основу функціонування базових (елементарних, «атомарних») компонентів внутрішньої структури монолітної нанотехнологічної інтегральної схеми. В той же час, питання конструктивно-системної організації цих первинних (атомарних) компонентів та способи їх поєднання і взаємодії (електромагнітної, теплової, радіаційної тощо) в рамках функціональної реалізації розв'язується на основі емпірико експериментальних досліджень.

Постановка проблеми та ціль дослідження. Обмежуючи дослідження обліком електромагнітних перешкод міжз'єднань слід зауважити, що переважна більшість CAD [2] орієнтовані на мінімізацію сумарної довжини трасових доріжок. Разом з тим, такий критерій оптимізації залишаючись справедливим для низькочастотної електроніки є хибним для швидкодіючої цифрової електроніки, що забезпечує швидкодію від гіга до терабайтів мікрооперацій за секунду. Такий стан речей безумовно гальмує розвиток мікро-, а тим більше наноелектроніки.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження стало моделювання електромагнітного впливу міжкомпонентних поєднувачів базових елементів, що складають внутрішню структуру як окремих компонентів комп'ютерних систем у вигляді монолітної інтегральної схеми, так і комп'ютерних систем в цілому.

Аналоги рівнянь Кірхгофа для комунікатора. Конструктивний етап проектування електричного кола здійснюється шляхом з'єднання полюсів його компонентів провідниками струму, що забезпечують між компонентами обмін електромагнітною енергією.

Нагадаємо, що міжз'єднання, як мережа електропровідних зв'язків, які поєднують між собою компоненти будь-якого електронного пристрою або електронної системи, охоплюється одним узагальненим поняттям – комунікатор [8]. Іншими словами комунікатор - розмаїття реальних конструкцій провідників (ліній зв'язку, фідерів, контактних доріжок друкованих плат, конекторів, нанодоріжок тощо).

Історично теорія електричних кіл створювалася для опису процесів в електромагнітних системах, зв'язаних металевими дротами. В класичній теорії ланцюгів комунікатор, як джерело внутрішніх системних електромагнітних завад, або взагалі не враховувався, або замінювався відрізками симетричних довгих ліній. У той же час нанотехнології [10] дозволяють створювати мініатюрні системи, у яких комунікатори істотно впливають на електромагнітний процес, причому цей вплив не можна врахувати методами теорії однорідних чи симетричних неоднорідних ліній. Щоб «просунути» теорію ланцюгів в нанотехнології, необхідно додати до розрахункових моделей рівняння комунікатора, що задовольняють певними умовам: рівняння повинні бути записані для тих же невідомих, котрі фігурують у компонентних рівняннях, тобто для напруг і струмів багатополосників, приєднаних до комунікатора; форма запису рівнянь комунікатора не повинна залежати від способів електродинамічного визначення параметрів комунікатора.

Розподіл кола на компоненти і комунікатори зв'язано не тільки з конструктивними особливостями цих частин, але і з розходженням в описі їхніх електромагнітних проявів. Головні розходження між компонентом і комунікатором полягають у тому, що для комунікатора через велику довжину проводів і їхньої викривленості не можна: вводити в довільних місцях комунікатора поняття напруги і струму без вказівки геометричних характеристик шляхів (для напруг) та поверхонь інтегрування (для струмів); вважати виконаними рівняння Кірхгофа.

Комунікатор сучасного кола являє собою сукупність дерев струмопровідних розгалужених доріжок, що розташовані на платі, або об'ємі тіла чіпа. Введемо поняття морфологічної структури комунікатора. Структура – це реальна конструкція комунікатора, що визначається його геометричною формою (площинна, об'ємна) та електродинамічними матеріальними параметрами. Якщо вважати компоненти геометрично точковими структурами, і вилучити ці точки із структури комунікатора, то остання розсиплеться на окремі

дерева, що не мають між собою гальванічних контактів. Таким чином, кожному «геометричному» дереву в класичній теорії ланцюгів, відповідає вузол. Будь-які дескриптори комунікатора, в тому числі струми і напруги вводяться лише в області їх однозначного визначення (ОВНС), а саме, - в місцях зчленування «точкових» компонентів [8] з комунікатором.

Для кожного дерева комунікатора справедливий електродинамічний закон повного струму в інтегральній формі:

$$\sum_{\text{полюси}} i_k(t) = i_{zc}(t) + i_{\text{вит}}(t), \quad (1)$$

де $i_k(t)$, $i_{zc}(t)$, $i_{\text{вит}}(t)$ – струми провідності, зсуву та витоку, відповідно, з окремого дерева (вузла) комунікатора.

Частини провідників, що належать окремим деревам і проміжки між полюсами компонентів утворюють замкнутий контур, для якого на підставі закону електромагнітної індукції можна записати

$$\sum_{\text{або}} u_k(t) = u_l(t) + u_r(t) \quad (2)$$

де $u_k(t)$, $u_H(t)$, $u_R(t)$ – напруги, відповідно, компонентів, наведені (за законом Фарадея) та омичні напруги усіх провідників, що утворюють контур.

Величини формул (1), (2) – $i_{zc}(t)$, $i_{\text{вит}}(t)$, $u_H(t)$, $u_R(t)$ залежать від типу і режиму роботи комунікатора і визначаються його електромагнітним полем:

$$i_{zc}(t) = -\frac{d}{dt} \int_{S_0} \bar{D} \cdot d\bar{S}; \quad i_{\text{вит}}(t) = \gamma_0 \int_{S_0} \bar{E} \cdot d\bar{S}; \quad (3)$$

$$u_H(t) = -\frac{d}{dt} \int_{S_k} \bar{B} \cdot d\bar{S}; \quad u_R(t) = -\sum_{\Delta_k} \int \bar{E} \cdot d\bar{l}$$

де \bar{E} , \bar{D} – вектори напруженості та індукції електричної, а \bar{B} – магнітної індукції електромагнітного поля, джерелом якого комунікатор, S_0 – бічна поверхня провідників дерева, а S_k – площа, що охоплюється контуром, Δ_k – довжина окремої гілки контура, що закінчується в точці розташування компонента.

Рівняння (1) та (2) можна трактувати, як еквіваленти першого та другого законів Кірхгофа для комунікатора. В цих рівняннях, на відміну від класичних рівнянь Кірхгофа, доданки правих частини рівнянь (1), (2) відбивають морфологічну структуру комунікатора. Їх визначення спряжено з розв'язком відповідних задач електродинаміки з цілком коректним задаванням джерел електромагнітного поля, граничних умов та матеріальних параметрів середовища [8].

Виникає питання: «Як розв'язувати крайову задачу електродинаміки, описану рівняннями в приватних похідних, у випадках, коли комунікатор містить тисячі і більше вузлів?». Розв'язання такої узагальненої задачі лежить в площині дезінтеграції комунікатора на його структурні композиційні елементи, кожний з яких матиме або площинно паралельну, або сферопаралельну структуру поля. Потоки векторів індукції,

що фактично з точністю до постійних множників, представляють собою інтеграли (3), в таких полях обчислюються, як різниці векторних та відповідно скалярних потенціалів [8]. Враховуючи, що поля сферопаралельних структур можна обчислювати за «прототипом» площинно паралельних полів з відповідною заміною координат, можна стверджувати, що обчислення диференціальних значень векторів напруженості (3) електромагнітного поля комунікатора, як правило, не є обов'язковою процедурою. Разом з тим, при необхідності завжди можна визначити рівень похибки переходу від диференціальних до інтегральних характеристик поля та порівняти її з максимально допустимим значенням.

Польові схеми заступу. Представлення реальної електромагнітної системи у вигляді фізичної моделі, що має вигляд електричного кола, можливо, якщо припустимий поділ єдиного електромагнітного процесу на окремі незалежні процеси в компонентах і комунікаторі. На жаль, в нанотехнологіях практично неможливо відокремити ці процеси один від одного, але при певній додатковій конструктивній збитковості: екранування, рознесення у просторі, цей вид взаємодії можна звести до мінімально допустимих проявів. Але і в цьому випадку рівень допустимості застосування тієї чи іншої моделі мусить, в розрахунковому розумінні, ґрунтуватися на використанні певних електродинамічних оцінок. Рівень адекватності відповідно до теореми єдності, можна оцінити рівнем напруг та струмів, величинами яких можна нехтувати, якщо за допомогою екранування забезпечити виконання наступних умов:

а) екрани є добре провідними, тобто дотична складова електричного поля E_τ до поверхні екрана Se мізерно мала у порівнянні з нормальною E_n

$$E_n \gg E_\tau \approx 0 \quad \text{для } Se; \quad (4)$$

б) в об'ємі, що обмежується екраном, мають місце втрати електроенергії, тобто існують струми в провідниках комунікатора, що мають скінченну провідність $0 < \gamma < \infty$;

в) в ОВНС (вікно S_0 зчленування компонента та комунікатора) електромагнітне поле має структуру Т-хвилі, тобто повздовжні складові напруженостей поля, що є нормальними складовими до поверхні вікна S_0 взаємодії комунікатора та компонента, мізерно малі

$$E_\tau \gg E_n \approx 0; \quad H_\tau \gg H_n \approx 0; \quad \text{для } S_0 \quad (5)$$

Зрозуміло, що всередині екранованого комунікатора виконання (4) та (5) зовсім не гарантується. Картина поля змінюється за рахунок не лише геометричних неоднорідностей поверхонь розподілу напрямних систем в об'ємі комунікатора, а і за рахунок зміни зарядів та струмів на їх поверхнях, що суперечить аксіоматиці застосування багатьох спрощених методів аналізу електродинаміки, в тому числі і теорії довгих ліній [8].

Разом з тим, на частотах квазістаціонарної допустимості поділу поля на магнітне та електричне можна визначити струми, що наводяться на деревах комунікатора, та напруги, що наводяться в його контурах як

$$\dot{I}_H = -j\omega\dot{N}, \quad \dot{U}_H = -j\omega\dot{\Phi}, \quad (6)$$

де \dot{N} , $\dot{\Phi}$ – потоки комплексних векторів індукції електричного та магнітного поля, що пронизують дерева та, відповідно, контури комунікатора. Безпосередніми джерелами цих потоків є заряди, що розподілені по поверхням дерев та струми, що течуть в провідниках комунікатора. Таким чином, для визначення потоків \dot{N} , $\dot{\Phi}$ необхідно попередньо визначити їх безпосередні джерела. В свою чергу джерелами безпосередніх джерел в даній математичній моделі є струми полюсів, комунікатора та напруги його дуг. Останні входять до дескрипторів компонентно-комунікаторних рівнянь, які характеризують замкнуту математичну модель електричного кола в цілому. З огляду на це, струми полюсів та напруги дуг компонента можна назвати опосередкованими джерелами електромагнітного поля комунікатора. Незважаючи на те, що ці опосередковані джерела не мають геометричних вимірів, вони відіграють роль крайових умов, для визначення розподілу по поверхням комунікатора первинних джерел його електромагнітного поля. В даному випадку поняття крайові вжиті з огляду на те, що кожне дерево комунікатора приєднується до компонентів через полюси в областях ОВНС, що поєднують геометрично вимірні напруги та струми комунікатора з «топологічними» струмами та напругами компонентів. Компоненти у порівнянні з комунікатором вважаються мізерно малими, тобто такими що мають нульові геометричні розміри.

Оскільки методи розв'язання задач електродинаміки по визначенню потоків N , Φ достатньо відомі [8], то ґрунтуючись на порівнянні наведених в комунікаторі струмів та напруг (6) з допустимими їх значеннями, можна оптимізувати конструкцію комунікатора виходячи з критеріїв внутрішньої електромагнітної сумісності.

Ланцюгова модель комунікатора. Теорія лінійних електричних кіл є найбільш розвинутим науковим напрямом, що практично досягла свого апогею внаслідок вимог суспільного запиту в сфері інфокомунікаційних технологій. Різноманітні види аналізу електричних кіл реалізовані в чисельних системах автоматизованого проектування: MicroCap, EWB, MultiSim, OrCad, Altium Designer тощо. Тому, залишаючись на позиціях обліку електромагнітних перешкод в рамках електродинаміки, спробуємо побудувати ланцюгові схеми заступу комунікатора, враховуючи, що поняття параметрів компонентів R , L , C , G лише за розмірністю співпадають з параметрами комунікатора [8]. Такий підхід дозволить «просунути» накопичений багаж знань теорії електричних кіл в сферу нанотехнологічного виробництва. Цьому сприяє використання означеної вище ідеї декомпозиції нововиробу на ті його композиційні елементи, в яких «працює» теорія ланцюгів і ті – в яких її застосування є хибним.

Розглянемо процедуру побудови еквівалентної схеми комунікатора. Для цього введемо його електродинамічні параметри, що представляються у вигляді матриць

$$\begin{bmatrix} R^d \\ Z^d \end{bmatrix}_{q,n}; \begin{bmatrix} G^d \\ Y^d \end{bmatrix}_{r,n}, \quad (7)$$

де d – верхній індекс, що вказує на їх відмінність від параметрів зосереджених компонентів; нижні індекси визначають розмірність: n – сумарна кількість полюсів усіх компонентів; q та r – кількість незалежних контурів, та незалежних дерев (вузлів) комунікатора.

Електродинамічні параметри (7) дозволяють встановити взаємозв'язок між струмами та напругами полюсів компонентів та правими частинами (1), (2) у вигляді матричних рівнянь

$$\begin{bmatrix} \dot{U}^R \\ \dot{I}^G \end{bmatrix}_{q,1} = \begin{bmatrix} R^d \\ Z^d \end{bmatrix}_{q,n} \begin{bmatrix} \dot{I} \\ \dot{U} \end{bmatrix}_{n,1}; \quad \begin{bmatrix} \dot{U}^\Phi \\ \dot{I}^N \end{bmatrix}_{r,1} = \begin{bmatrix} G^d \\ Y^d \end{bmatrix}_{r,n} \begin{bmatrix} \dot{I} \\ \dot{U} \end{bmatrix}_{n,1} \quad (9)$$

де $\begin{bmatrix} \dot{U}^R \\ \dot{U}^\Phi \end{bmatrix}_{q,1}$; $\begin{bmatrix} \dot{I}^G \\ \dot{I}^N \end{bmatrix}_{r,1}$ наведені в контурах комунікатора: $\begin{bmatrix} \dot{U}^R \\ \dot{U}^\Phi \end{bmatrix}_{q,1}$ – відповідно фарадееві напруги, опосередкованими джерелами яких є струми полюсів $\begin{bmatrix} \dot{I} \\ \dot{U} \end{bmatrix}_{n,1}$, а $\begin{bmatrix} \dot{I}^G \\ \dot{I}^N \end{bmatrix}_{r,1}$ – матриці стовпці струмів витоку та зсуву з незалежних дерев, що виникають за рахунок напруг дуг $\begin{bmatrix} \dot{U} \end{bmatrix}_{n,1}$ комунікатора.

Рівняння (1), (2), (8), (9) та сукупність компонентних рівнянь, дозволяють скласти узагальнену математичну модель, яка в кінцевому підсумку може бути представлена у вигляді замкнутої системи матричних рівнянь, що складена відносно невідомих – струмів полюсів та напруг дуг усіх компонентів

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix}_{2n,2n} \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{I} \\ \dot{U} \end{bmatrix}_{n,1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B \end{bmatrix}_{2n,1}, \quad (10)$$

де $\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix}_{2n,2n}$ – відома матриця, елементи якої обчислюються через параметри комунікатора та компонентів, $\begin{bmatrix} B \end{bmatrix}_{2n,1}$ – відома матриця, елементи якої відображають джерела активних компонентів.

Рівняння (8), (9) встановлюють зв'язок між дескрипторами узагальної математичної моделі (10) через параметри комунікатора. Під дескрипторами слід розуміти струми полюсів та напруги дуг комунікатора в областях ОВНС. Зазначені струми та напруги, як і в теорії електричних кіл, можна вважати точковими, тобто такими, що не мають геометричних розмірів. Але враховуючи, що області ОВНС є енергетичними гранями поєднання «точкових» компонентів, та розподіленого у просторі комунікатора, що вже характеризується певними геометрико-морфологічними властивостями, будемо вважати, що дескриптори є крайовими умовами для розв'язання задач електродинаміки по визначенню параметрів комунікатора. В подальшому крайові умови будемо називати струмовими (струми полюсів) (11) та напруговими (напруги дуг) (12). Нагадаю, що саме вони і є опосередкованими джерелами електромагнітного стану комунікатора. Термін «опосередкованість» вжитий в тому розумінні, що безпосередніми джерелами електромагнітних по-

лів комунікатора є його провідникові дерева, які характеризуються геометричними координатами.

Основу побудови схемотехнічного ланцюгового зображення можуть складати два підходи, один з яких ґрунтується на зовнішньому прояві властивостей комунікатора як «чорної скриньки», а інший на внутрішньому представленні комунікатора з певними схемами віддзеркалення електромагнітного процесу комунікатора у вигляді зосереджених та (або)

розподілених компонентів. Безумовно, для цього потрібно знати матеріальні параметри ϵ , μ , та σ середовища комунікатора. На рівні зовнішнього прояву схеми будуються у вигляді залежних джерел електроенергії, рис. 1.

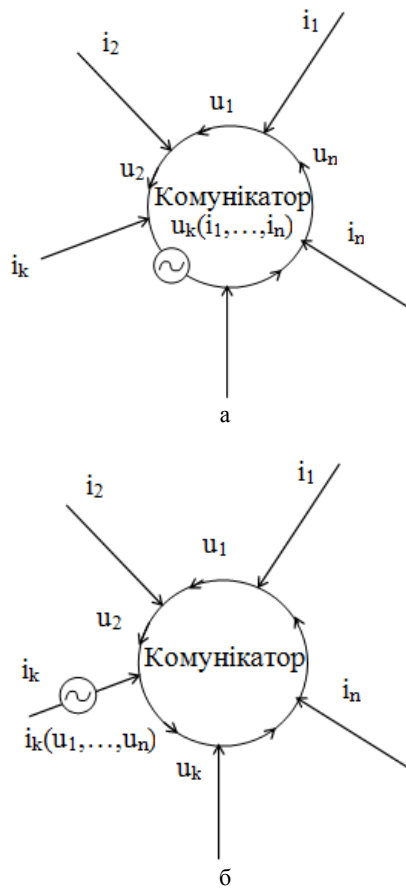


Рис. 1 – Схема заміщення комунікатора для визначення впливу параметрів комунікатора: а - омичних втрат провідників та магнітних потоків; б - омичних втрат в діелектриці та електричних потоків

В рамках запропонованої моделі необхідно розрізнити опосередковані джерела, що визначаються множинами струмів та полюсів та напруг дуг компонентів і безпосередні джерела електромагнітного поля комунікатора, тобто розподіл струмів вздовж провідників та розподіл напруг (зарядів) по поверхнях дерев комунікатора. Іншими словами, при розв'язанні задачі електродинаміки первинні крайові умови для цих задач задають на енергогранях в області ОВНС. Залежні джерела електроенергії визначаються після цього у вигляді матричних лінійних залежностей, між впливом та реакцією через матрицю електродинамічних параметрів комунікатора, спосіб обчислення елементів якої визначається з (8) та (9).

Внутрішній прояв схеми заміщення ґрунтується на знанні локальних джерел внутрішнього електромагнітного стану, а точніше на його моделюванні у вигляді зосереджених компонентів комунікатора, рис. 2.

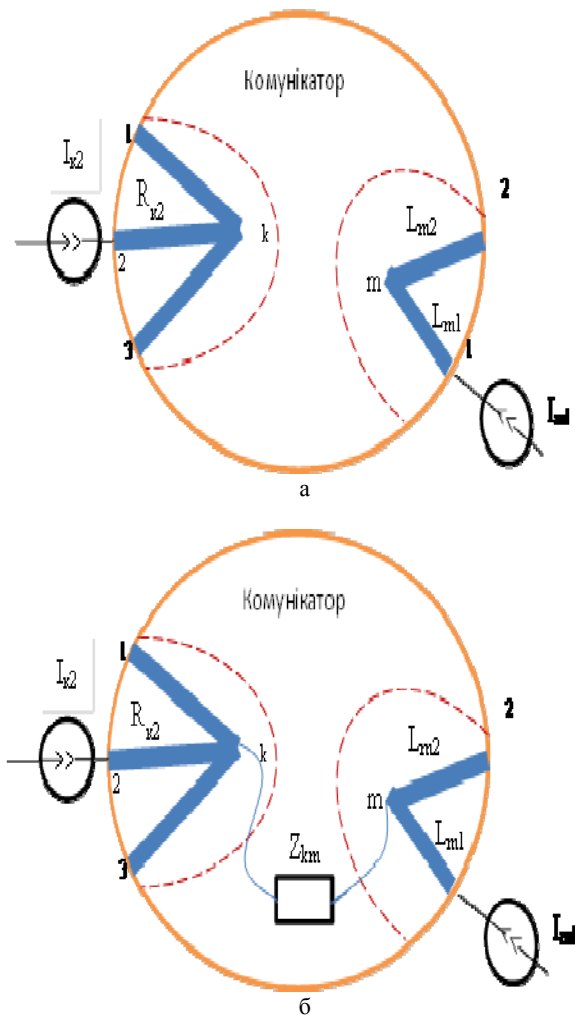


Рис. 2 – Фрагменти схеми: а – струмові джерела; б – напругові джерела

Для визначення їх параметрів за безпосередніми (геометрично розподіленими) струмовими джерелами провідників та напруговими джерелами поверхонь дерев визначають потоки: векторів густини струму через перетин провідників комунікатора; векторів магнітної індукції через довільно обрану сукупність незалежних контурів; векторів густини струму в діелектриках, що розташовані в просторі між деревами; векторів електричної індукції з поверхонь незалежних дерев.

Зазначені підходи мають певну аналогію з принципами синтезу чотириполюсників та довгих ліній на основі первинних та вторинних параметрів [17]. Тобто перший спосіб аналогічний використанню вторинних параметрів, а другий спосіб моделювання еквівалентний використанню первинних (погонних параметрів) комунікатора.

Висновки. Таким чином, в даній роботі приведено дослідження електронних виробів, що характеризуються суттєвим впливом електромагнітних полів міжз'єднань на їх інтегральні характеристики. Запро-

поновано новий системний підхід до розробки фізико-математичного моделювання швидкодіючих компонентів електроніки. Спосіб інтерпретації комунікатора у вигляді польової та ланцюгової структури його схемотехнічного зображення об'єднують задачі схемотехніки та конструювання в єдину системну модель аналізу інтегральної електроніки. Отримані результати сприятимуть підвищенню точності моделей в процесі схемотехнічного проектування.

Список літератури: 1. *Новосядлий, С. П.* Особливості схемотехнічного та фізико-топологічного проектування аналогових інтегральних компараторів [Текст] / С. П. Новосядлий // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 4/5 (70). – С. 4–15. doi: 10.15587/1729-4061.2014.26251 2. *Кечиєв, Л. Н.* Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры [Текст] / Л. Н. Кечиєв. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2007. – 616 с. 3. *Кагадей, В.* Технологии будущего: наноматериалы и нанoeлектроника [Электронный ресурс] // <http://www.youtube.com/watch?v=VDJA93OSXrI> Загружено – 29 ноября 2011. 4. *Кудря, В. Г.* Фізико-математичне моделювання в нанoeлектроніці [Текст] / В. Г. Кудря, Ю. О. Лемехов // Східно-Європейський журнал передових технологій – 2013. – № 1/2 (61). – С. 7–11. 5. *Microelectromechanical Systems and Devices* / Edited by Nazmul Islam // Published by InTech, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, 2012. – 492 p. 6. *Кудря, В. Г.* Фізико-математичне моделювання в нанoeлектроніці [Текст] / В. Г. Кудря, Ю. О. Лемехов, Є. Л. Саркісян // Східно-Європейський журнал передових технологій – 2012. – № 5/3 (59). – С. 10–13. 7. *Скопечкий, В. В.* Математичне моделювання динаміки розподілених просторово-часових процесів [Текст] / В. В. Скопечкий, В. А. Стоян, В. Б. Зваридчук. – К.: Видво «Сталь», 2008. – 316 с. 8. *Кудря, В. Г.* Моделювання нанотехнологічних електронних засобів. Монографія. [Текст] / В. Г. Кудря //

Україна, Херсон: Олді-плюс, 2013. – 780 с. 9. *Хакен, Г.* Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии [Текст] / Г. Хакен // Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 320 с. 10. A resource for nanoscience and nanotechnology, nanoHUB.org was created by the NSF-funded Network for Computational Nanotechnology. [Электронный ресурс] / Copyright © 2009 NCN. <http://nanohub.org/>

Bibliography (transliterated): 1. *Novosyadlyy, S. P.* (2014). Osoblyvosti skhemotekhnichnoho ta fizyko-topolohichnoho proektuvannya analohovykh intehr'nykh komparatoriv. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 4/5 (70), 4–15. doi: 10.15587/1729-4061.2014.26251 2. *Kechiyev, L. N.* (2007). Proyektirovaniye pechatnykh plat dlya tsifrovoy bystrodeystvuyushchey apparatury. Moscow: ООО «Gruppa IDT», 616. 3. *Kagadey, V.* Tekhnologii budushchego: nanomaterialy i nanoelektronika [Yelectronnyy resurs] <http://www.youtube.com/watch?v=VDJA93OSXrI> Zagruzhenno – 29 noyabrya 2011. 4. *Kudrya, V. H., Lyemyekhov, Yu. O.* (2013). Fizyko-matematychne modelyuvannya v nanoelektronitsi. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 1/2 (61), 7–11. 5. *Microelectromechanical Systems and Devices* (2012). Edited by Nazmul Islam. Published by InTech, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, 492. 6. *Kudrya, V. H., Lyemyekhov, Yu. O., Sarkis'yan, Ye. L.* (2012). Fizyko-matematychne modelyuvannya v nanoelektronitsi. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, № 5/3 (59), 10–13. 7. *Skopets'kyi, V. V., Stoyan, V. A., Zvarydchuk, V. B.* (2008). Matematychne modelyuvannya dynamiky rozpodilenykh prostorovo-chasovykh protsesiv. Kiev: Vyd-vo «Stal'», 316. 8. *Kudrya, V. H.* (2013). Modelyuvannya nanotekhnolohichnykh elektronnykh zasobiv. Monografiya. Ukrayina, Kherson: Oldi-plyus, 780. 9. *Khaken, G.* (2003). Tayny prirody. Sinergetika: ucheniye o vzaimodeystvii. Moskva-Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy, 320. 10. A resource for nanoscience and nanotechnology, nanoHUB.org was created by the NSF-funded Network for Computational Nanotechnology. Copyright © 2009 NCN. <http://nanohub.org/>

Надійшла (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кудря Володимир Гризорович – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри "Комп'ютерних систем"; пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: st1537@stalker.in.ua.

Kudrya, Volodymyr – candidate of technical sciences, associate professor, Odessa National Polytechnic University; Boulevard of Shevchenko, 1, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: st1537@stalker.in.ua.

УДК 615.47

О. Г. АВРУНИН, М. Ю. ТЫМКОВИЧ

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ВНУТРИМОЗГОВОЙ СИСТЕМЫ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКИХ КООРДИНАТ НА ОСНОВЕ ЛОФТИНГОВОЙ МОДЕЛИ ТРЕТЬЕГО ЖЕЛУДОЧКА

Работа посвящена возможностям автоматизированной реконструкции модели третьего желудочка с последующим её использованием при нейронавигации, что позволяет выполнять построение внутримозговой системы стереотаксических координат по томографическим данным с учетом индивидуальной вариабельности пациента. В работе рассматриваются основные этапы по реконструкции лобтинговой модели по набору томографических горизонтальных срезов. Наглядно показана возможность автоматизированного построения лобтинговой модели третьего желудочка, с учетом определенных ограничений к исходным данным.

Ключевые слова: нейронавигация, стереотаксис, лобтинговая модель, третий желудочек, компьютерная томография, реконструкция, сегментация.

Введение. Одним из наиболее активно используемых методов доступа в нейрохирургии является стереотаксис [1-3]. Хирургические вмешательства, с использованием стереотаксиса обладают исключительной точностью введения хирургического инструмента к необходимой области мозга. Это позволяет использовать стереотаксические процедуры не только при биопсии участков мозга, дренаже полостей головного мозга, а и при функциональной нейрохирургии, к примеру, для борьбы с паркинсонизмом [4], эпилепсией [5] и т. п.

Стереотаксическая хирургия представляет собой метод хирургического вмешательства, при котором доступ к целевой структуре осуществляется с использованием пространственной системы координат, которая "привязана" к данным интроскопического исследования. Это совмещение позволяет проводить хирургическое вмешательство не только по классической схеме (рамный стереотаксис [6]), а и по безрамной [7].

© О. Г. Аврунин, М. Ю. Тымкович. 2015

В то же время, построение системы координат, используемой при хирургическом вмешательстве, является необходимой задачей. Используемая система координат должна, кроме всего прочего, должна еще и обеспечивать индивидуализацию представления внутреннего строения.

Анализ литературы и литературных источников. Наиболее полно в литературе освещены вопросы использования стереотаксических вмешательств в нейрохирургии [1-3].

Работа [8] посвящена разработке подхода по проведению специализированного хирургического вмешательства применительно к дренажу желудочков головного мозга. Для этого в работе описан алгоритм по расчету трепанационного отверстия и траектории операционного вмешательства.

В то же время в работе [9] рассматривается локализации хирургического инструмента с точки зрения безрамного стереотаксиса.

Кроме того, в работе [10] рассматривается возможность построения координатной системы путем совмещения положения специализированных легко детектируемых оптической системой объектов (маркеров) с их положением на этапе предоперационного хирургического исследования.

Значительное количество работ посвящено использованию внутримозговых структур для задания внутримозговой системы координат. Одной из таких структур является третий желудочек головного мозга [11-14].

Особый интерес вызывает работа [15], которая освещает вопросы, связанные с автоматическим определением анатомических ориентиров третьего желудочка по данным МРТ. Хотя следует принять во внимание то, что данная работа нацелена в основном на диагностирование, а не сопровождение хирургического вмешательства.

В то же время для большинства исследований основной целью является исследования в области использования уже готовых подходов к проведению стереотаксической процедуры и их апробация, а не построение внутримозговой системы стереотаксических координат по томографическим данным с учетом индивидуальной вариабельности пациента.

Также значительное число работ посвящено визуализации медицинских данных [16-18].

Цель работы и постановка задачи исследования. Таким образом, основной целью работы является визуализация базовых внутримозговых стереотаксических ориентиров по данным аксиальных томографических срезов, которая основана на применении лофтинговой математической модели.

Для достижения поставленной цели определены следующие задачи:

- автоматизировать процесс сегментации и анализа контуров третьего желудочка;
- обеспечить построение лофтинговой модели третьего желудочка;
- обеспечить расчет стереотаксических ориентиров.

Материалы и методы. В качестве исходных данных использовались наборы срезов СТ-исследования, которые были получены с компьютерного томографа Toshiba Aquilion 16 с пространствен-

ным разрешением с пространственным разрешением 0.355 мм и расстоянием между срезами 1.0 мм параллельно орбитомеатальной плоскости. Параметры проведения томографического исследования: напряжение трубки KVP=120 кВ, ток трубки AI=300 мА. Данные представлены набором томографических срезов, причем представленное в HFS виде, что указывает на положение пациента во время исследования – вперед головой, лежа на спине (Head First Supine). Кроме того, в качестве входных данных использовались лишь срезы содержащие желудочки головного мозга. Данные томографических исследований были получены у людей с возрастом более 21. В исследовании использовались цифровой методы обработки изображений, фильтрации, сегментации, а также трехмерной визуализации.

Весь томографический объем (рис. 1) представлен 3-х мерным набором вокселей рентгеновской плоскости $I(i, j, k)$ i, j, k представляют собой координатные индексы.

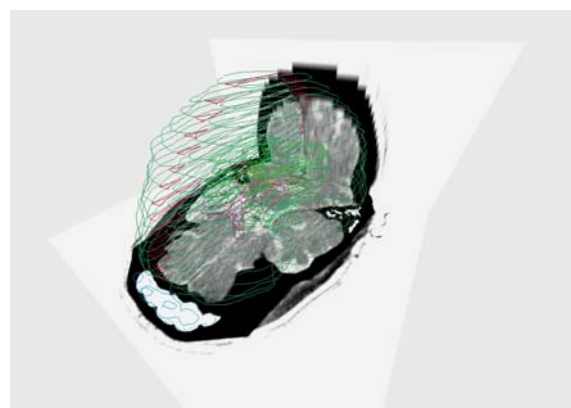


Рис. 1 – КТ срезы головы

Исходя из вышеизложенного, для обеспечения поставленных задач, а также опираясь на входные данные, это можно достичь путем построения следующей схемы (рис. 2).

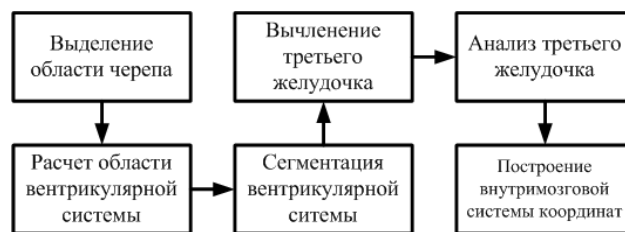


Рис. 2 – Блок схема построения внутримозговой системы координат

Построение лофтинговой модель третьего желудочка. Первой стадией является выделение области черепа, с целью ограничения исследуемого объема. Это возможно с использованием метода пороговой сегментации (1), с порогом $T_h = -148 HU$.

$$I_s(i, j) = \begin{cases} 1, & I(i, j) > T_h; \\ 0, & I(i, j) \leq T_h, \end{cases} \quad (1)$$

где $I_s(i, j)$ – сегментированный срез области головы.

А также последующим выделением границ с использованием цифрового фильтра Собеля (2) и финальной сегментацией области головы (без учета носовых пазух и т.п.) на основе заливки.

$$I_d(i, j) = \sqrt{G_x(i, j) + G_y(i, j)} \quad (2)$$

где $I_d(i, j)$ – контурный срез области головы,

$G_x(i, j)$, $G_y(i, j)$ – приближенные производные по оси x и y .

Таким образом, осуществляется выделение области головы (рис. 3 б) по данным КТ среза (рис. 3 а).

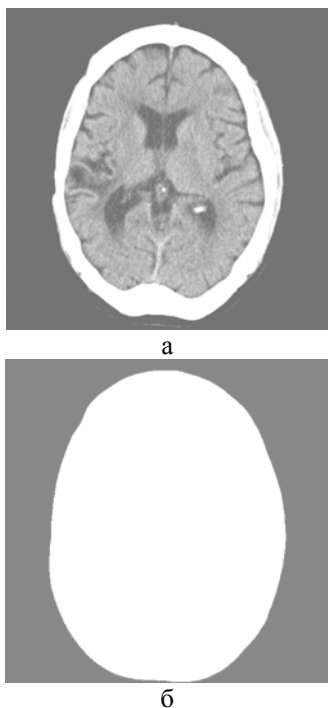


Рис. 3 – Томографические срезы : а – исходный срез; б – срез области головы

На следующем этапе необходимо аппроксимировать область головы эллипсом. Для этого осуществляется расчет ограничивающего прямоугольника, который описывается четырьмя координатами (X_{\min} , Y_{\min} , X_{\max} , Y_{\max}). Далее осуществляется сужение пространства ограничивающего прямоугольника (3).

$$\begin{cases} W_o = 0.6 \cdot W; \\ H_o = 0.6 \cdot H, \end{cases} \quad (3)$$

где W , H – ширина и высота ограничивающего прямоугольника области головы; W_o , H_o – ширина и высота ограничивающего прямоугольника области вентрикулярной системы;

Коэффициент 0,6 получен исходя из анализа данных 10 человек. Коэффициент не учитывает структурные изменения, которые могут быть связаны как с патологией, так и с индивидуальной изменчивостью разных этнических групп пола и др.

Исходя из ширины и высоты ограничивающего прямоугольника области вентрикулярной системы, рассчитываются полуоси эллипса, который определя-

ет (4) интересующую для сегментации область желудочков (рис. 4).

$$\frac{(x - x_c)^2}{a^2} + \frac{(y - y_c)^2}{b^2} = 1, \quad (4)$$

где a , b – полуоси эллипса; x_c , y_c – координаты центра эллипса.

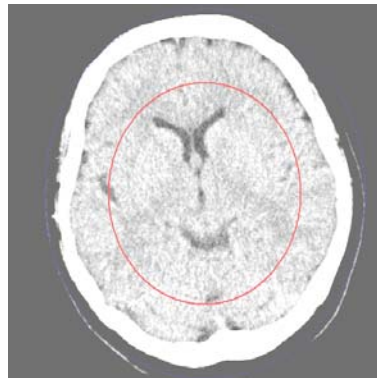


Рис. 4 – Отображение рассчитанной области вентрикулярной системы на срезе

Сегментация вентрикулярной системы осуществляется с помощью пороговой сегментации (1), но в качестве ограничения используются два порога $T_v^l = 10$ HU, $T_v^h = 20$ HU (5).

$$I_s(i, j) = \begin{cases} 1, & I(i, j) > T_v^l \text{ и } I(i, j) < T_v^h; \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (5)$$

Для устранения помех (рис. 5 а) используется набор морфологических операций состоящих из морфологической эрозии и наращивания (рис. 5 б).

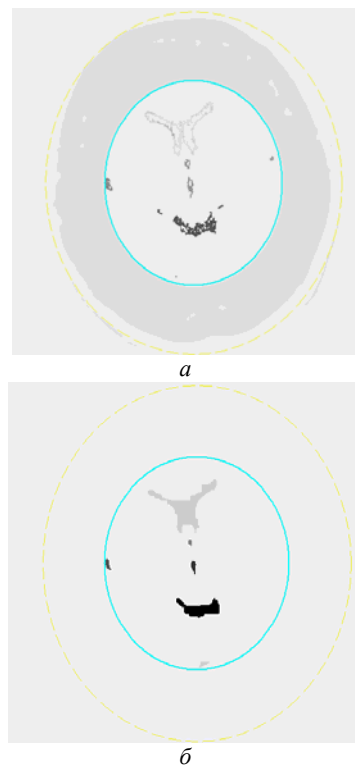


Рис. 5 – Иллюстрация устранения помех: а – срез до обработки; б – срез после обработки

Далее производится выделение третьего желудочка исходя из того, что третий желудочек находится в центре вентрикулярной системы. Поэтому определяется структура, центр масс (6) которой наиболее близок к центру вентрикулярной структуры (рис. 6 а, рис. 6 б, рис. 6 в).

$$C_m = \frac{\sum_{i=1}^N C_i}{N}, \tag{6}$$

где $C_i \in \mathbb{R}^2$ – i -ый элемент вентрикулярной структуры; N – количество элементов в структуре.

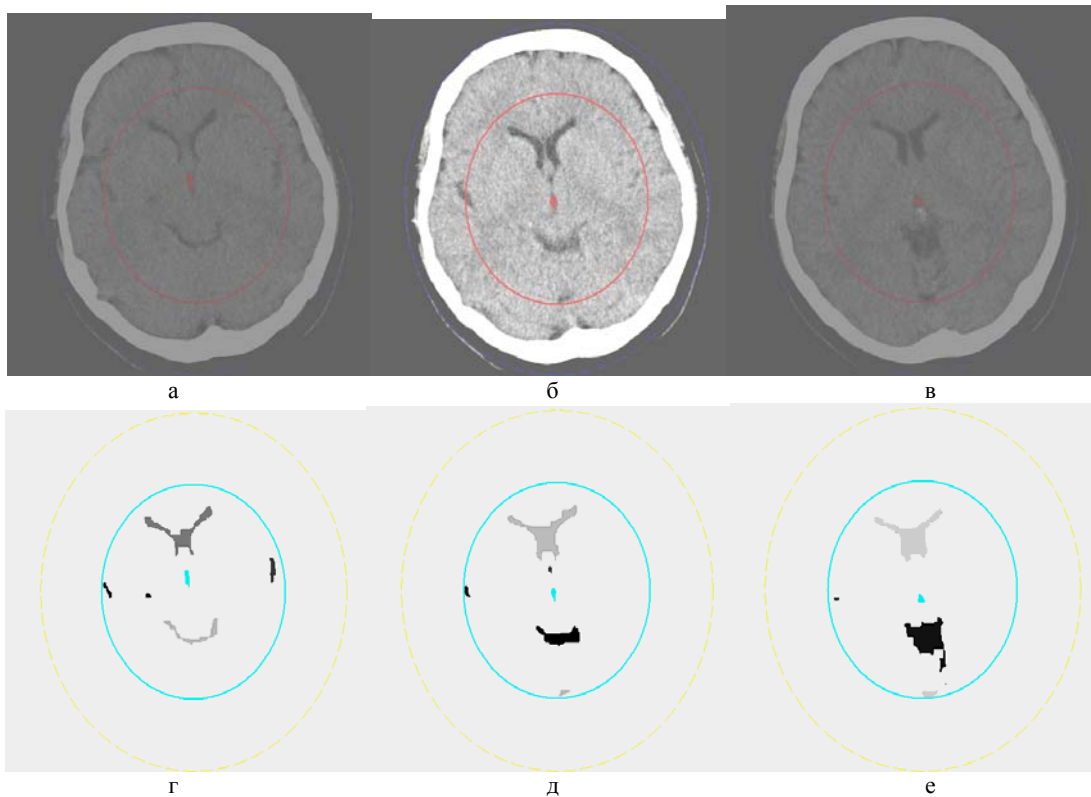


Рис. 6 – Иллюстрация выделения третьего желудочка на разных срезах: а, б, в – сегментированный участок третьего желудочка на исходном срезе; г, д, е – сегментированный участок желудочка на сегментированном срезе

Следует принять во внимание, что на определенных срезах, возникает ситуация, когда третий желудочек в горизонтальном сечении состоит из двух структур (рис. 7). Поэтому в соответствующих случаях необходимо производить сканирование.

По полученным сегментированным срезам третьего желудочка производится построение лофтинговой модели третьего желудочка. На первичном этапе сегментированный объем подвергается цифровой фильтрации с целью детектирования границ (2). Затем, производится векторизация полученной границы любым известным способом. На основе векторного контура желудочка соответствующего среза, осуществляется лофтинг (выдавливание) контура (рис. 8) с целью образования объема. При этом глубина лофтинга соответствует расстоянию между срезами.

По полученной лофтинговой модели вычисляются положения передней (СА) и задней комиссуры (СР). Середина отрезка СА-СР определяет начало координат, ортогональные векторы, один из которых коллинеарен вектору СА-СР, задают двумерную координатную систему. В качестве нулевой горизонтальной координаты используется номер среза желудочка, через который проходит СА-СР (рис. 7).

В свою очередь, векторное произведение задают третий единичный вектор трехмерной координатной системы.

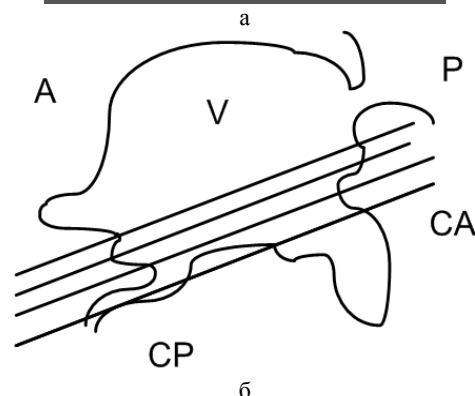
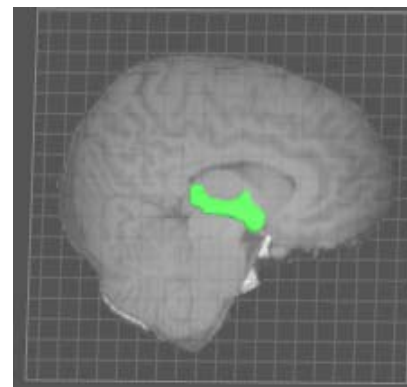


Рис. 7 – Третий желудочек: а – трехмерная визуализация; б – схематическое представление

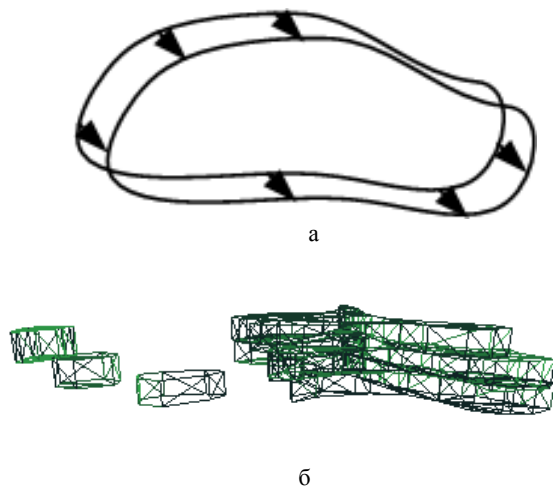


Рис. 8 – Лофтинг контура: а – схема лофтинга; б – лофтинговая проволоочная модель

Выводы. В результате разработки вышеизложенного метода обоснованы ключевые этапы реконструкции трехмерной лофтинговой модели третьего желудочка, и построения, на основе этой модели, внутримозговой системы координат. Такими этапами являются :

- выделение области черепа;
- расчет области вентрикулярной системы головного мозга;
- сегментация вентрикулярной системы;
- вычленение третьего желудочка;
- анализ третьего желудочка;
- построение внутримозговой системы координат.

Каждый из этапов сокращает объем обрабатываемых данных. Так выделение области черепа позволяет ограничить анализируемую область томографического изображения в 2 раза. В свою очередь, расчет области вентрикулярной системы отсекает анализируемое пространство, в котором, что немало важно, присутствуют области границы извилин, имеющие такую же рентгеновскую плотность как и вентрикулярная система.

Выбраны основные методы сегментации, а именно: пороговая сегментация, с ограничением по анализируемому пространству. За счет использования DICOM изображений возможна пороговая фильтрация с фиксированным порогом (порогами) с определенными значениями рентгеновской плотности. Также, используются морфологические операторы для устранения шумовых областей изображения. При разработке метода основной сложностью являлось наличие пересечений значений рентгеновской плотности различными типами структур, но благодаря пространственному анатомическому разделению эту проблему удалось решить. В работе описаны ограничения возможностей определения аномальных конфигураций третьего желудочка, связанные с резкой бивентрикулярной гидроцефалией, тривентрикулярной гидроцефалией, тетраентрикулярной гидроцефалией, субарахноидальным кровоизлиянием и т.п.

Метод апробирован на 8 датасетах и полученные результаты свидетельствуют о потенциальной возможности использования данного подхода для построения внутримозговой системы координат для вы-

полнения функциональных вмешательств области промежуточного и среднего мозга.

Перспективным направлением дальнейших исследований является повышение степени автоматизации при наличии внутримозговых объемных процессов ведущих к искажению контуров желудочковой системы мозга.

Список литературы: 1. Pizzolato, G. Deep brain stimulation for movement disorders [Text] / G. Pizzolato, T. Mandat // *Frontiers in Integrative Neuroscience*. – 2012. – Vol. 6. – P. 1–6. 2. Ersahin, M. The Safety and Diagnostic Value of Frame-Based and CT-Guided Stereotactic Brain Biopsy Technique [Text] / M. Ersahin, N. Karaaslan, M. S. Gurbuz et al. // *Turkish Neurosurgery*. – 2011. – Vol. 21 (4). – P. 582–590. 3. Jenkinson, M. D. Management of cerebral metastasis: Evidence based approach for surgery, stereotactic radiosurgery and radiotherapy [Text] / M. D. Jenkinson, B. Haylock, A. Shenoy, D. Husband, M. Javadpour // *European Journal of Cancer*. – 2011. – Vol. 47. – P. 649–655. 4. Brontë-Stewart, H. Clinical motor outcome of bilateral subthalamic nucleus deep-brain stimulation for Parkinson's diseases using image-guided frameless stereotaxy [Text] / H. Brontë-Stewart, S. Louie, J. M. Henderson // *J. Neurosurgery*. – 2010. – Vol. 67 (4). – P. 1088–1093. 5. Crandall, P. H. Clinical Applications of Studies on Stereotactically Implanted Electrodes in Temporal-Lobe Epilepsy [Text] / P. H. Crandall, R. D. Walter, R. W. Rand // *Journal of Neurosurgery*. – 1963. – Vol. 20 (10). – P. 827–840. 6. Stieglitz, L. H. The Silent Loss of Neuronavigation Accuracy: A Systematic Retrospective Analysis of Factors Influencing the Mismatch of Frameless Stereotactic Systems in Cranial Neurosurgery [Text] / L. H. Stieglitz, J. Fichtner, R. Andres, P. Schucht et al. // *Neurosurgery*. – 2013. – Vol. 72. – P. 796–807. 7. Holl, E. M. Improving Targeting in Image-Guided Frame-Based Deep Brain Stimulation [Text] / E. M. Holl, E. A. Petersen, T. Foltyniec, I. Martinez-Torres et al. // *Neurosurgery*. – 2010. – Vol. 67. – P. 437–447. 8. Clayman, D. Stereotactic instrument guided placement [Text] / D. Clayman, T. Q. Nguyen // *United States Patent*. – 1994. – 10 p. 9. Barnett, G. H. Intraoperative localization using an armless, frameless stereotactic wand [Text] / G. H. Barnett, M. D. Donald, W. Kromos et al. // *J. Neurosurg*. – 1993. – Vol. 78. – P. 510–514. 10. Maurer, C. R. Apparatus and method for registration of images to physical space using a weighted combination of points and surfaces [Text] / C. R. Maurer, R. J. Maciunas, J. M. Fitzpatrick // *United States Patent*. – 2003. – 16 p. 11. Caire, F. Subthalamic Nucleus Location: Relationships between Stereotactic AC-PC-Based Diagrams and MRI Anatomy-Based Contours [Text] / F. Caire, L. Ouchchane, J. Coste, J. Gabrillargues et al. // *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. – 2009. – Vol. 87. – P. 337–347. 12. Kurtcuoglu, V. Computational investigation of subject-specific cerebrospinal fluid flow in the third ventricle and aqueduct of Sylvius [Text] / V. Kurtcuoglu, M. Soellinger, P. Summers, K. Boomsma et al. // *Journal of Biomechanics*. – 2007. – Vol. 40. – P. 1235–1245. 13. Chibbaro, S. Neuroendoscopic management of posterior third ventricle and pineal region tumors: technique, limitation, and possible complication avoidance [Text] / S. Chibbaro, F. D. Rocco, O. Makiese, A. Reiss et al // *Neurosurg*. – 2012. – Vol. 35. – P. 331–340. 14. Chen, F. Optimal entry point and trajectory for endoscopic third ventriculostomy: evaluation of 53 patients with volumetric imaging guidance [Text] / F. Chen, P. Nakaji // *J. Neurosurg*. – 2012. – Vol. 116. – P. 1153–1157. 15. Chech, P. Automatic Identification of Critical Landmarks on the Third Ventricle [Text] / P. Chech, P. C. Cattin, G. Szekely // *Informatik*. – 2006. – P. 459–466. 16. Тьмкович, М. Ю. Способ реконструкции интактной поверхности хирургических доступов [Текст] / М. Ю. Тьмкович, О. Г. Аврунин, Х. И. Фарук // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Информационно-управляющие системы*. – 2014. – № 9(70). – С. 37–41. 17. Книгавко, Ю. В. Компьютерное планирование пластических вмешательств методом деформации полигональной модели лица человека [Текст] / Ю. В. Книгавко // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии*. – 2013. – № 2(61) – С. 11–16. 18. Кисельова, О. Г. Системи тривимірної візуалізації медичних зображень [Текст] / О. Г. Кисельова, О. О. Швець, Є. А. Настенко // *Східно-Європейський журнал передових технологій. Прикладні інформаційні технології*. – 2011. – № 10(50). – С. 16–20.

Bibliography (transliterated): 1. Pizzolato, G., Mandat, T. (2012). Deep brain stimulation for movement disorders. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 6, 1–6. 2. Ersahin, M., Karaaslan, N., Gurbuz, M. S. et al. (2011). The Safety and Diagnostic Value of Frame-Based and CT-Guided Stereotactic Brain Biopsy Technique. *Turkish Neurosurgery*, 21

- (4), 582–590. **3.** *Jenkinson, M. D., Haylock, B., Shenoy, A. et al.* (2011). Management of cerebral metastasis: Evidence based approach for surgery, stereotactic radiosurgery and radiotherapy. *European Journal of Cancer*, 47, 649–655. **4.** *Brontë-Stewart, H., Louie, S., Henderson, J. M.* (2010). Clinical motor outcome of bilateral subthalamic nucleus deep-brain stimulation for Parkinson's diseases using image-guided frameless stereotaxy. *J. Neurosurgery*, 67 (4), 1088–1093. **5.** *Crandall, P. H., Walter, R. D., Rand, R. W.* (1963). Clinical Applications of Studies on Stereotactically Implanted Electrodes in Temporal-Lobe Epilepsy. *Journal of Neurosurgery*, 20(10), 827–840. **6.** *Stieglitz, L. H., Fichtner, J., Andres, R. et al.* (2013). The Silent Loss of Neuronavigation Accuracy: A Systematic Retrospective Analysis of Factors Influencing the Mismatch of Frameless Stereotactic Systems in Cranial Neurosurgery. *Neurosurgery*, 72, 796–807. **7.** *Holl, E. M., Petersen, E. A., Foltynie, T. et al.* (2010). Improving Targeting in Image-Guided Frame-Based Deep Brain Stimulation. *Neurosurgery*, 67, 437–447. **8.** *Clayman, D., Nguyen T.Q.* (1994). Stereotactic instrument guided placement. United States Patent, 10. **9.** *Barnett, G. H., Donald, M. D., Kromos, W. et al.* (1993). Intraoperative localization using an armless, frameless stereotactic wand. *J. Neurosurg*, 78, 510–514. **10.** *Maurer, C. R., Maciunas, R. J., Fitzpatrick, J. M.* (2003). Apparatus and method for registration of images to physical space using a weighted combination of points and surfaces. United States Patent, 16. **11.** *Caire, F., Ouchchane, L., Coste, J. et al.* (2009). Subthalamic Nucleus Location: Relationships between Stereotactic AC-PC-Based Diagrams and MRI Anatomy-Based Contours. *Stereotactic and Functional Neurosurgery*, 87, 337–347. **12.** *Kurtcuoglu, V., Soellinger, M., Soellinger, M. et al.* (2007). Computational investigation of subject-specific cerebrospinal fluid flow in the third ventricle and aqueduct of Sylvius. *Journal of Biomechanics*, 40, 1235–1245. **13.** *Chibbaro, S., Rocco, F. D., Makiese, O. et al.* (2012). Neuroendoscopic management of posterior third ventricle and pineal region tumors: technique, limitation, and possible complication avoidance. *Neurosurg*, 35, 331–340. **14.** *Chen, F., Nakaji, P.* (2012). Optimal entry point and trajectory for endoscopic third ventriculostomy: evaluation of 53 patients with volumetric imaging guidance. *J. Neurosurg*, 116, 1153–1157. **15.** *Chech, P., Cattin, P. C., Szekely, G.* (2006). Automatic Identification of Critical Landmarks on the Third Ventricle. *Informatik*, 459–466. **16.** *Тымкович, М., Аврун, О., Фарук, Н.* (2014). Reconstruction method of the intact surface of surgical accesses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and Controlling System*, 4, 9(70), 37–41. **17.** *Knigavko, Y. V.* (2013). Computer planning of plastic interventions by deformation of a polygonal model of a human face. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information Technology*, 1, 2(61), 11–16. **18.** *Kiseleva, O. G., Nastenka, Y. A., Shvets, O. O.* (2011). Systems of three-dimensional visualization of medical images. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Applied Information Technologies*, 2, 10(50), 16–20.

Поступила (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Аврунин Олег Григорьевич – доктор технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор, професор кафедри "Биомедицинской инженерии"; Україна, г. Харків, пр. Науки, 14, 61166; тел.: 050-598-00-86; e-mail: gavrun@list.ua.

Тымкович Максим Юрьевич – Харківський національний університет радіоелектроніки, асистент кафедри "Биомедицинской инженерии"; Україна, г. Харків, пр. Науки, 14, 61166; тел.: 050-148-27-45; e-mail: maxim_tymkovich@ukr.net.

УДК 004.519.7 (045)

А. І. ВАВІЛЕНКОВА

МОДЕЛІ ЛОГІЧНОЇ КОНВЕРСІЇ ЯК ОСНОВА ПОШУКУ СИНОНІМІЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ В ЕЛЕКТРОННИХ ДОКУМЕНТАХ

Проаналізовано основні способи появи дублікатів серед електронних документів. Запропоновано формальний апарат, що базується на лексичних засобах перифразування як основного джерела виникнення дублікатів. Формалізовано опис тотожних синтаксичних конструкцій залежно від їх лексичних функцій. Проаналізовано зв'язки між компонентами логіко-лінгвістичних моделей двох речень природної мови за наявності у їх складі тотожних синтаксичних конструкцій. Розроблено базові моделі логічної конверсії та описано правила утворення інваріантних форм логіко-лінгвістичних моделей.

Ключові слова: синоніми, логіко-лінгвістична модель, інваріантна форма, синтаксичні конструкції, дублікат, природна мова.

Вступ. Проблема пошуку синонімічних конструкцій займає одну з першочергових позицій при здійсненні змістовної обробки електронних документів. Адже, методи пошуку взаємозамінних синтаксичних складових, що використовуються сьогодні пошуковими системами, – статистичні і не враховують зміст текстової інформації. Через це інформаційний простір наповнений величезною кількістю електронних документів, які дублюються повністю, дещо змінені чи трансформовані за рахунок неточного перекладу, а на запит користувача видаються відповіді з все меншою релевантністю.

Сучасні системи обробки текстової інформації вирішують проблему виявлення синонімічних конструкцій як задачу пошуку фрагментів тексту, що збігається з шаблоном. Зокрема, для цього використовуються алгоритми пошуку підрядочка в рядочку [1, 2]. У комп'ютерній лінгвістиці застосовується поняття відстані Левенштейна, яке означає мінімальну кіль-

кість операцій вставки, видалення та заміни одного символу на інший, що необхідно для перетворення одного рядочку в інший [3].

Тотожними конструкціями вважаються вирази, які співпадають або близькі за лексичним значенням, здатні замінити одне одного в деяких контекстах [4]. Якщо формалізувати умови виявлення синонімів у природно мовних текстах, то стає можливою автоматизація порівняльного аналізу електронних документів з змістом.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. На сьогоднішній день існує велика кількість програмного забезпечення, яке у тій чи іншій мірі використовує алгоритми пошуку дублікатів для коректного виконання завдань їх основного призначення.

Так, Oracle Text – програмний комплекс, інтег-

© А. І. Вавіленкова. 2015

рований в СУБД, дозволяє ефективно працювати із запитам до неструктурованих текстів, здійснювати пошук, класифікацію та кластеризацію документів, вилучати ключові поняття, робити автоматичне анування, шукати в документах асоціативні зв'язки.

Програма Advego – здійснює семантичний аналіз тексту шляхом розрахунку відношення неважливих слів у документі до загальної кількості слів.

IBM Intelligent Miner for Text – представляє собою набір окремих утиліт, що автоматично визначають мову, на якій написано документ; відносить текст до певної категорії; розбиває велику множину документів на групи в залежності від близькості стилю, форми або частотних характеристик; виявляє у документі ключові слова на основі аналізу наперед заданого словника.

Технологія ABBYY Compeno – система розуміння, аналізу й перекладу текстів, здійснює письмовий та усний переклад з однієї мови на іншу, робить інтелектуальний пошук, лексичний, морфологічний та семантико-синтаксичний аналіз, здійснює синтез текстів.

Проте ані перераховані вище програмні продукти обробки текстової інформації, ані теоретичні джерела з аналітичної обробки текстів не містять алгоритмів змістовного аналізу. Так, алгоритми та методи Data Mining, найбільш глибоко описані у книзі Барсегяна А. А. [5], використовують для своєї роботи статистичні закономірності та закони. У роботах Греймаса А.-Ж. [6], Філіппова К. А. [7], Алефіренко Н. Ф. [8] та ін. досліджуються різноманітні підходи до опису та екстракції знань, представлених у вигляді текстової інформації. Проте ці дослідження не містять у своїй основі формального апарату.

Отже, аналіз останніх розробок у сфері інформаційних технологій, стані призначені для аналітичної обробки текстової інформації, а також теоретичних джерел зі сфери комп'ютерної лінгвістики показав необхідність створення нових алгоритмів для здійснення змістовної обробки текстових документів. У свою чергу, для змістовного автоматичного аналізу електронних документів необхідно розробити такий формальний апарат, який об'єднував би в собі всі можливі способи подання контексту (з точки зору лінгвістики) та математичні методи їх виявлення.

Ціль та задачі дослідження. Змістовний пошук синонімічних текстових конструкцій можливо здійснити за наявності моделей, що відображають різні варіанти опису ситуації та побудовані за одним і тим самим шаблоном. Тому метою дослідження є створення інваріантних форм логіко-лінгвістичних моделей та формулювання правил їх утворення.

Досягнення поставленої мети передбачає виконання таких завдань.

1. Дослідити основні способи появи дублікатів серед електронних документів.

2. Формалізувати опис тотожних синтаксичних конструкцій залежно від їх лексичних функцій.

3. Проаналізувати зв'язки між компонентами логіко-лінгвістичних моделей двох речень природної мови за наявності у їх складі тотожних синтаксичних конструкцій.

4. Розробити базові моделі логічної конверсії.

5. Описати основні правила утворення інваріантних форм логіко-лінгвістичних моделей.

Матеріали та методи дослідження синонімічних конструкцій у реченнях природної мови. Для автоматизації процесу пошуку синонімічних конструкцій в електронних документах створено формальний апарат, що базується на лексичних засобах перефразування, як основного джерела виникнення дублікатів. Основою для перефразування та утворення синонімічних конструкцій в природній мові служать такі лексичні функції, як синоніми та аналоги (конверсиви, антоніми, деривати) [9].

Лексична функція представляє собою залежність, що пов'язує слово з його лексичними корелятами: $Y = f(H_0)$, де H_0 – ключове слово. У свою чергу *лексичні кореляти* – це слова, що пов'язані за змістом із ключовим словом в парадигматичному (кореляти-заміни) та синтагматичному (кореляти-параметри) аспекті. Кореляти-заміни вживаються у тесті замість своїх ключових слів, можуть бути урівноваженими додатками або операціями, вони рівнозначні за змістом до ключового слова H_0 , або несуть протилежний зміст [10]. Кореляти-параметрами, вживаються в тексті, як правило, зі своїм ключовим словом H_0 , несуть окремий зміст, який не походить від H_0 , а приєднуються до нього.

Якщо аналіз семантичної структури слова наглядно відображає ступінь самостійності слова та її межі, тобто характеризує системні відношення на рівні одного слова, то синонімія є одним із яскравих прикладів системних відношень між групами близьких за значенням слів. Тому для побудови моделей логічної конверсії введемо такі позначення.

Тотожні конструкції (синоніми) – слова, що співпадають зі своїм ключовим словом H_0 за змістом, належать до тієї ж частини мови, що й H_0 та мають такі ж активні синтаксичні валентності. Якщо H_k , $k = \overline{1, n}$ – слово належить реченню природної мови S_1 , де n – загальна кількість слів у реченні, а H_r , $r = \overline{1, m}$ – слово, що належить реченню природної мови S_2 , де m – загальна кількість слів у реченні, і слова H_k та H_r синоніми, то $H_k \in W_q$ і $H_r \in W_q$ – слова, що відносяться до одного і того ж синонімічного ряду W_q , де $W_q \subseteq W$, W – множина синонімічних рядів природної мови. Як правило, синоніми впорядковані всередині ряду таким чином, щоб їх просторова близькість відображала міру їх семантичного збігу.

Антоніми – слова, що означають властивості, стани або дії, протилежні властивостям, станам або діям, що описують ключове слово H_0 . У одних випадках антонімом є слово, що містить заперечення $\neg H_0$, у інших – протиставлення елементів. Якщо слова H_k та H_r антоніми, то $\tilde{H}_k \in \tilde{A}_q$ і $\tilde{H}_r \in \tilde{A}_q$ – слова,

що відносяться до одного і того ж ряду $\vec{A}_q \in A$ антонімів із множини A .

Конверсиви – слова, які називають теж саме відношення, що й ключове слово H_0 , проте взяте у іншому напрямку. Це відбувається шляхом перестановки тих самих октантів на інші місця, тобто зі зміною відповідності між семантичними змінними та глибино-синтаксичними октантами. Якщо слова H_k та H_r конверсиви, то $\vec{H}_k \in \vec{K}_q$ і $\vec{H}_r \in \vec{K}_q$ – слова, що відносяться до одного і того ж ряду $\vec{K}_q \in K$ конверсивів із множини K .

Нехай прості, не ускладнені однорідними членами речення природної мови представлені у вигляді логіко-лінгвістичних моделей [11]:

$$L(S_1) = p_1(x_1, c_1(x_1), y_1, c_1(y_1), z_1, c_1(z_1), c_1(p_1)).$$

$$L(S_2) = p_2(x_2, c_2(x_2), y_2, c_2(y_2), z_2, c_2(z_2), c_2(p_2)).$$

У логіці предикатів імплікація – це аналог реальних зв'язків дійсності, відображення зв'язків, взаємодій між речами, між частиною і цілим, між ознаками. Для компонентів логіко-лінгвістичної моделі це означає, що:

– якщо відношення $\vec{p}_1 \in \vec{K}_p$ і $\vec{p}_2 \in \vec{K}_p$ – конверсиви, відносяться до одного і того ж ряду $\vec{K}_p \in K$ із множини K , то кортежі характеристик (параметрів) цих відношень, також конверсиви: $\vec{c}_1(\vec{p}_1) \in \vec{K}_{cp}$ і $\vec{c}_2(\vec{p}_2) \in \vec{K}_{cp}$, де $\vec{K}_{cp} \in K$ ряд конверсивів із множини K ;

– якщо конверсиви – суб'єкти – $\vec{x}_1 \in \vec{K}_x$ і $\vec{x}_2 \in \vec{K}_x$, то кортежі характеристик (параметрів) суб'єктів, також конверсиви: $\vec{c}_1(\vec{x}_1) \in \vec{K}_{cx}$ і $\vec{c}_2(\vec{x}_2) \in \vec{K}_{cx}$, де $\vec{K}_{cx} \in K$ – ряд конверсивів із множини K ;

– якщо об'єкти відношень $\vec{y}_1 \in \vec{K}_y$ і $\vec{y}_2 \in \vec{K}_y$ – конверсиви, відносяться до одного і того ж ряду $\vec{K}_y \in K$ із множини K , то кортежі характеристик (параметрів) цих об'єктів, також конверсиви: $\vec{c}_1(\vec{y}_1) \in \vec{K}_{cy}$ і $\vec{c}_2(\vec{y}_2) \in \vec{K}_{cy}$, де $\vec{K}_{cy} \in K$ ряд конверсивів із множини K ;

– якщо предмети відношень $\vec{z}_1 \in \vec{K}_z$ і $\vec{z}_2 \in \vec{K}_z$ – конверсиви, відносяться до одного і того ж ряду $\vec{K}_z \in K$ із множини K , то кортежі характеристик (параметрів) цих предметів, також конверсиви: $\vec{c}_1(\vec{z}_1) \in \vec{K}_{cz}$ і $\vec{c}_2(\vec{z}_2) \in \vec{K}_{cz}$, де $\vec{K}_{cz} \in K$ ряд конверсивів із множини K .

Результати дослідження синонімічних конструкцій у реченнях природної мови. У результаті дослідження різноманітних варіантів формального

представлення синонімічних конструкцій у реченнях природної мови вдалося створити моделі та сформулювати правила утворення інваріантних логіко-лінгвістичних моделей.

Інваріантна логіко-лінгвістична модель $Q(S)$ відповідає тотожному за змістом реченню природної мови, що описується логіко-лінгвістичною моделлю $L(S)$:

$$(L(S) \rightarrow Q(S)) \& (Q(S) \rightarrow L(S)),$$

де $Q(S) \subseteq Q$, Q – множина можливих інваріантних форм логіко-лінгвістичної моделі $L(S)$.

Простий предикат $Q(S)$ представляє собою формулу:

$$Q(S) = p'(x', c'(x'), y', c'(y'), z', c'(z'), c'(p')),$$

де x' – суб'єкт інваріантної до $L(S)$ логіко-лінгвістичної моделі; $c'(x')$ – характеристика суб'єкта x' ; y' – об'єкт, інваріантної до $L(S)$ логіко-лінгвістичної моделі; $c'(y')$ – характеристика об'єкта y' ; p' – відношення, що пов'язує суб'єкт x' з об'єктом y' у інваріантній до $L(S)$ логіко-лінгвістичній моделі; z' – предмет p' -го відношення між суб'єктом x' та об'єктом y' у інваріантній до $L(S)$ логіко-лінгвістичній моделі; $c'(z')$ – характеристика предмету відношення між суб'єктом та об'єктом у інваріантній до $L(S)$ логіко-лінгвістичній моделі; $c'(p')$ – характеристик відношення p' .

На основі існуючих лексичних функцій та їх ознак, перерахованих вище, розроблено базові моделі логічної конверсії. Нехай просте речення природної мови описується логіко-лінгвістичною моделлю

$$L(S) = L_\mu(S) = L_1(S) = p_1(x_1, c_1(x_1), y_1, c_1(y_1), z_1, c_1(z_1), c_1(p_1)).$$

Модель 1. Це базова семантична модель конверсійної деривації, яка заснована на уявленні про призначення класу, що і задає очікувану семантику предиката. При цьому мова іде не про довільну функцію денотата даного класу, а саме про типову, характерну функцію, для якої вони і призначені.

Якщо суб'єкт логіко-лінгвістичної моделі x_1 входить до ряду конверсивів $x_1 \in \vec{K}_x$, де $\vec{K}_x \in K$ – ряд конверсивів із множини K , то від $L(S)$ можна утворити інваріантну логіко-лінгвістичну модель $Q(S) \supset L(S)$, таку, що:

$$Q(S) = p'_1(0, 0, \vec{y}'_1 \equiv \vec{x}_1, 0, 0, 0, 0),$$

де p'_1 – дієслово, що виконує типову, характерну для x_1 функцію; суб'єкт моделі $L(S)$ та об'єкт інваріантної моделі $Q(S)$ – спільнокореневі слова ($\vec{y}'_1 \in \vec{R}_x$ і $\vec{x}_1 \in \vec{R}_x$, відносяться до одного і того ж ряду спільнокорневих слів $\vec{R}_x \in R$ із множини R).

Аналогічно буде утворюватися інваріантна форма логіко-лінгвістичної моделі у випадку, коли до ряду конверсивів входить об'єкт або предмет відношення.

Модель 2. Побудована за принципом ієрархії утворення абстракцій так, що одне більш конкретне співвідношення концептів входить до іншої формули, більш широкої.

Якщо предмет відношення логіко-лінгвістичної моделі z_1 входить до ряду гіперонімів, то від $L(S)$ можна утворити інваріантну логіко-лінгвістичну модель $Q(S) \supset L(S)$, таку, що:

$$Q(S) = p_1(x_1, c_1(x_1), y_1, c_1(y_1), \tilde{z}'_1 \equiv \tilde{z}_1, c_1(z_1), c_1(p_1))$$

де предмет відношення моделі $L(S)$ та предмет відношення інваріантної моделі $Q(S)$ – гіпероніми ($\tilde{z}_1 \in \tilde{G}_z$ і $\tilde{z}'_1 \in \tilde{G}_z$, $\tilde{G}_z \in G$).

Інваріантна форма логіко-лінгвістичної моделі буде утворюватися аналогічно у випадку, коли гіперонімами виступають суб'єкт або об'єкт відношення.

Модель 3. Ця модель близька за змістом до дериваційної моделі дії, передбачає появу нової ознаки, перетворення. Тут відбувається деривація по лінії у двох напрямках: асимілятивному та напрямку перетворення.

Якщо об'єкт логіко-лінгвістичної моделі y_1 можна описати за допомогою конверсійного дієслова, що приписує суб'єкту дії деяку ознаку, то від $L(S)$ можна утворити інваріантну логіко-лінгвістичну модель $Q(S) \supset L(S)$, таку, що:

$$Q(S) = \tilde{p}'_1(x_1, c_1(x_1), \tilde{y}'_1 \equiv \tilde{y}_1, c_1(y_1), z_1, c_1(z_1), c_1(p_1)),$$

де об'єкт моделі $L(S)$ та об'єкт інваріантної моделі $Q(S)$ – синоніми, тобто $\tilde{y}_1 \in \tilde{W}_y$, $\tilde{y}'_1 \in \tilde{W}_y$, $\tilde{W}_y \in W$ належать до одного і того ж ряду синонімів, а предикат інваріантної моделі – конверсійне дієслово \tilde{p}'_1 .

Аналогічно буде утворюватися інваріантна форма логіко-лінгвістичної моделі у випадку, коли суб'єкт або предмет відношення можна описати за допомогою конверсійного дієслова.

Обговорення результатів дослідження синонімічних конструкцій у реченнях природної мови. Для кожного простого речення природної мови, об'єкт, суб'єкт та предмет відношень якого відносяться до ряду конверсивів, можна утворити інваріантну форму логіко-лінгвістичної моделі речення за однією із базових моделей логічної конверсії.

Наприклад, для речення природної мови S_1 : «Свідок тихо сидів у окремії кімнаті».

Логіко-лінгвістична модель даного речення має вигляд:

$$L(S) = L_\mu(S_1) = L_1(S_1) = p_1(x_1, 0, y_1, c_1(y_1), 0, 0, c_1(p_1)),$$

$$L(S) = L_\mu(S_1) = L_1(S_1) = \text{сидів (свідок, 0, кімнаті, окремії, 0, 0, тихо)}.$$

Суб'єкт логіко-лінгвістичної моделі x_1 «свідок» входить до ряду конверсивів, тому можна утворити інваріантну формулу, використовуючи першу базову модель логічної конверсії:

$$Q_1(S_1) = p'_1(0, 0, \tilde{y}' \equiv \tilde{x}_1, 0, 0, 0, 0),$$

$$Q_1(S_1) = \text{був (0, 0, свідком, 0, 0, 0, 0)}.$$

Нехай розглядається речення природної мови S_1 : «Комп'ютерні лінгвісти давно використовують метод кластеризації».

Логіко-лінгвістична модель даного речення має вигляд:

$$L(S) = L_\mu(S_1) = L_1(S_1) = p_1(x_1, c_1(x_1), y_1, 0, z_1, 0, c_1(p_1)),$$

$$L(S) = L_\mu(S_1) = L_1(S_1) = \text{використовують (лінгвісти, комп'ютерні, метод, 0, кластеризації, 0, давно)}.$$

Предмет відношення логіко-лінгвістичної моделі z_1 «кластеризація» є гіпонімом по відношенню до словосполучення «Data Mining» і навпаки – словосполучення «Data Mining» є гіперонімом до слова «кластеризація», тому можна утворити інваріантну формулу, використовуючи другу базову модель логічної конверсії:

$$Q_1(S_1) = p_1(x_1, c_1(x_1), y_1, 0, \tilde{z}'_1, 0, c_1(p_1)),$$

$$Q_1(S_1) = \text{використовують (лінгвісти, комп'ютерні, метод, 0, Data Mining, 0, давно)}.$$

Нехай розглядається речення природної мови S_1 : «Професор жив у багатопверховому будинку біля озера».

Логіко-лінгвістична модель даного речення має вигляд:

$$L(S) = L_\mu(S_1) = L_1(S_1) = p_1(x_1, 0, y_1, c_1(y_1), 0, 0, c_1(p_1)),$$

$$L(S) = L_\mu(S_1) = L_1(S_1) = \text{жив (професор, 0, будинку, багатопверховому, 0, 0, озера)}.$$

Об'єкт логіко-лінгвістичної моделі y_1 «будинок» можна описати за допомогою відношення між конверсійним дієсловом та суб'єктом його дії, що приписує йому деяку ознаку, а саме, «бути забезпеченим житлом», тому можна утворити інваріантну формулу, використовуючи третю базову модель логічної конверсії:

$$Q_1(S_1) = \tilde{p}'_1(x_1, 0, \tilde{y}'_1, 0, 0, 0, c_1(p_1)),$$

$$Q_1(S_1) = \text{був_забезпечений (професор, 0, житлом, 0, 0, озера)}.$$

Висновки. У результаті проведених досліджень вдалося виявити закономірності утворення дублікатів в електронних текстових документах. На основі чого було розроблено базові моделі логічної конверсії. Перший тип базової семантичної моделі базується на конверсійній деривації, що задає семантику предиката. Друга модель побудована за принципом ієрархії

утворення абстракцій так, що одне більш конкретне співвідношення концептів входить до іншої формули, більш широкої. Третя модель близька за змістом до дериваційної моделі дії, передбачає появу нової ознаки, перетворення.

У статті описані правила утворення інваріантних форм логіко-лінгвістичних моделей, вигляд яких залежить від лексичних функцій та ознак слів речень природної мови, що продемонстровано на прикладах.

Список літератури: 1. *Кормен, Т.* Алгоритмы: построение и анализ 3-е изд. [Текст] / Т. Кормен, И. Чарльз, Р. Лейзерсон, Л. Ривест, К. Штайн. – СПб.: Вильямс, 2013. – 1328 с. 2. *Ландэ, Д. В.* Поиск знаний в Internet. Профессиональная работа [Текст] / Д. В. Ландэ. – М.: Диалектика, 2005. – № 2 (73). – С. 119 – 128. 3. *Вавіленкова, А. І.* Аналіз методів пошуку синонімів в електронних документах [Текст] / А. І. Вавіленкова // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»: зб. наук. праць. – Чернігів: Черніг. держ. тех. ун-т, 2014. – № 2 (73). – С. 119 – 128. 4. *Лайонз, Дж.* Лінгвістическа семантика: монографія [Текст] / Дж. Дайонз. – М.: Языки славянской культуры, 2003. – 400 с. 5. *Барсегян, А. А.* Методы и модели анализа данных: OLAP и Data Mining [Текст] / А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с. 6. *Греймас, А.-Ж.* Структурная семантика. Поиск метода [Текст] / А.-Ж. Греймас. – М.: Академический проект, 2004. – 368 с. 7. *Филлипов, К. А.* Лингвистика текста: курс лекций [Текст] / К. А. Филлипов. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2008. – 336 с. 8. *Алефиренко, Н. Ф.* Спорные проблемы семантики: монография [Текст] / Н. Ф. Алефиренко. – М.: Гнозис, 2005. – 326 с. 9. *Мельчук, И. А.* Опыт теории

лингвистических моделей Смысл-Текст [Текст] / И. А. Мельчук. – М.: Языки русской культуры, 1999. – 346 с. 10. *Вавіленкова, А. І.* Формування логіко-лінгвістичних моделей типових природно мовних конструкцій [Текст] / А. І. Вавіленкова // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 3(75). – С. 35–46. 11. *Никитин, М. В.* Курс лингвистической семантики: учеб. Пособие. – 2-е изд. [Текст] / М. В. Никитин. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2007. – 819 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Kormen, T., Charlz, I., Lejzerson, R., Rivest, L., Shtajn, K.* (2013). *Algoritmy: postroenie i analiz* 3-e izd. Saint Petersburg: Vilyams, 1328. 2. *Lande, D.* (2005). *Poisk znaniy v Internet. Professionalnaya rabota.* Moscow: Dialektika, 272. 3. *Vavilenkova, A.* (2014). *Analiz metodiv poshuku sunonimiv v elektronnykh dokumentax.* Visnik Chernigivskogo tehnologichnogo universitety, 2 (73), 119 – 128. 4. *Layons, J.* (2003). *Lingvisticheskaya semantika: monografiya,* Moscow: Yazuki slovyanskoy kultury, 400. 5. *Barshegyan, A., Kupriyanov, M., Stepanenko, V., Xolod, I.* (2007). *Metodu I modeli analiza dannux: OLAP i Data Mining.* Saint Petersburg: BXV-Peterburg, 384. 6. *Graymas, A.* (2004). *Strukturnaya semantika. Poisk metoda.* Moscow: Akademicheskij proekt, 368. 7. *Fillipov, K.* (2008). *Lingvistika teksta: kurs lekcziy.* Saint Petersburg: Saint Petersburg's university, 336. 8. *Alefirenko, N.* (2005). *Spornye problem semantiki: monografiya.* Moscow: Gnozis, 326. 9. *Melchuk, I.* (1999). *Oputteorii lingvisticheskix modeley Smusl – Tekst.* Moscow: Yazuki russkoy kultury, 346. 10. *Vavilenkova, A.* (2015). *Formuvannya logiko-lingvisticheskix modeley tipovux prurodno movnykh konstrukcij.* Shidno-Evropayskij zhurnal передових tehnologiy, 3(75), 35–46. 11. *Nikitin, M.* (2007). *Kurs lingvisticheskoy semantiki 2 izd.,* Saint Petersburg: Izd. RGPU Gerzcena, 819.

Надійшла (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Вавіленкова Анастасія Ігорівна – кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри "Комп'ютеризований систем управління"; пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03068; e-mail: a_vavilenkova@mail.ru.

УДК 004.94+001:372.82

Т. Н. ДУБОВИК, Г. Н. КОДОЛА, Н. С. ВОЛЫНЕЦ

НАСТРОЙКА МОДЕЛИ ОБУЧЕНИЯ С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИЕЙ

Статья посвящена решению актуальной задачи: повышения качества образования путем создания модели обучения с параметрической адаптацией. Данная модель представлена в форме регрессионного уравнения, которое связывает между собой показатели усвоения изучаемого материала с характеристиками личности. Для определения параметров модели обучаемого подобраны тесты, которые положены за основу специализированной компьютерной системы как элемента поддержки обучения. Адаптация модели осуществляется применительно к процессу изучения учебных дисциплин, определенных учебной программой специальности "специализированные компьютерные системы" и "информационные системы". Исходные данные для расчетов сформированы в виде двух реляционных баз данных:

1) база данных всех студентов, содержащая рейтинги каждого студента по всем изученным дисциплинам;

2) база данных всех студентов, содержащая данные тестов, определяющих интеллектуальные и психофизиологические параметры каждого студента.

Ключевые слова: специализированная компьютерная система, база данных, когорта, параметрическая адаптация, математическая модель, корреляция, рейтинг, ситуационная задача.

Введение. При разработке моделей, используемых в процессе построения специализированных компьютерных систем, должны быть учтены и использованы различные аспекты, определяющие качество и особенности обучения, характеристики модели обучаемого, особенности изучаемого материала, способ и темп его подачи. Для определения параметров модели обучаемого подобраны тесты, которые положены за основу специализированной компьютерной системы как элемента поддержки обучения.

Постановка задачи. Для исследования влияния комплекса психофизиологических и интеллектуаль-

ных факторов на познавательные процессы обучаемого используется модель в форме регрессионного уравнения, которое связывает между собой показатели усвоения изучаемого материала (оценки, рейтинги) с характеристиками личности учащегося. К последним относятся такие характеристики как: уровень подготовки по результатам аттестации, интеллектуальные качества, эмоциональная устойчивость, короткая память, долгая память обучаемого и др. Адаптация модели осуществляется применительно к про-

© Т. Н. Дубовик, Г. Н. Кодола, Н. С. Волынец, 2015

цессу освоения учебных дисциплин, определенных учебной программой специальностей "специализированные компьютерные системы" и "информационные системы".

В основе любой учебной дисциплины, как науки, лежит система понятий, которые определяют целесообразную модель учебного предмета.

Исходными данными служат: перечень изучаемых дисциплин, рейтинги этих дисциплин, перечень факторов, определяющих модель учащегося, тестовые оценки факторов, которые в модели входят в виде переменных, а коэффициенты при этих переменных являются параметрами модели. Составной частью является модель знаний и умений в изучаемой предметной области. Она является фундаментом цепочки "модель обучаемого – система тестирования и обучения (ссылки на изучаемый материал) – реализация в компьютерной системе". В процессе настройки параметров СКС необходимо учесть психолого-педагогическую мотивацию использования методов компьютерной поддержки обучения.

При настройке моделей естественным образом должны учитываться различные структурные компоненты модели: основные понятия, структурные элементы; связи, обеспечивающие объективизацию других понятий; элементарные модели деятельности обучаемого; обобщенные понятия на основе системы умственных и практических действий; необходимый комплекс алгоритмов различного назначения. Поэтому, следует считать основными условиями обучения формирование системных знаний и умений, обучаемых на основе настроек структурной модели учебных предметов с ведущей единицей содержания – "системой понятий" [1].

Построение модели обучения осуществляется в четыре этапа.

На первом этапе проводится предварительный анализ частичного влияния каждого из рассмотренных факторов. На основе корреляционного анализа строится матрица влияния факторов на процесс обучения. Для оценки синергетических эффектов вычисляются средние значения коэффициентов корреляции по дисциплинам для каждого фактора и средние значения по факторам для каждой дисциплины.

Средний коэффициент корреляции по дисциплинам вычисляется как среднее арифметическое коэффициентов корреляции рейтингов всех рассматриваемых дисциплин с определенным фактором модели. Этот показатель указывает на относительное влияние данного фактора на усвоение материала по всем рассмотренным дисциплинам. Средний коэффициент корреляции по факторам определяется как среднее арифметическое коэффициентов корреляции всех рассмотренных факторов с одной из дисциплин. Этот коэффициент характеризует степень зависимости данной дисциплины от рассмотренных факторов при их совместном учете в оценках успешности процесса обучения, этот коэффициент может служить мерой синергетического эффекта. С целью определения доминирующих параметров для каждой дисциплины из анализа корреляционной матрицы выделяются те факторы, у которых наблюдается высокий коэффициент парной корреляции с соответствующей дисциплиной, пороговое значение задается (например,

$r > 0,5$). На втором этапе для набора выделенных факторов строятся множественные регрессионные уравнения и исчисляются коэффициенты множественной корреляции.

На третьем этапе осуществляется переход к нормированному переменным для вычисления коэффициентов при соответствующих факторах (параметров модели) для оценки их парциального влияния на качество усвоения материала по различным дисциплинам. Эти коэффициенты и определяют относительный уровень влияния соответствующих факторов модели на качество усвоения материала по изучаемым дисциплинам, которое определяется значениями соответствующих рейтингов.

На четвертом этапе проводится анализ модели обучения и проводится адаптация учебного материала под личность [2, 3].

Описание математической модели. Определим показатель усвоения материала (оценку знаний, рейтинг) $y(y_i)$ как случайную величину, которая выражается через независимую переменную $x(x_i)$ где $j=1,2,\dots,k$, k – целое число, x_i – факторы влияния на процесс познания – интеллектуальные способности, психофизиологические факторы и уровень подготовки (определяются тестированием). Рассмотрим линейное регрессионное уравнение с k – переменными. По результатам n выборочных наблюдений отыскиваются коэффициенты (параметры) \hat{b}_i ($i = \overline{0, k}$) следующего регрессионного уравнения:

$$y = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 x_1 + \hat{b}_2 x_2 + \dots + \hat{b}_k x_k. \quad (1)$$

Более удобно перейти к нормированным переменным

$$w = \frac{y - m_y}{\sigma_y}, \quad u_i = \frac{x_i - m_{x_i}}{\sigma_{x_i}},$$

тогда уравнение (1) переходит в уравнение (2)

$$w = \hat{\beta}_1 u_1 + \hat{\beta}_2 u_2 + \dots + \hat{\beta}_k u_k. \quad (2)$$

Коэффициенты β_i в относительных величинах характеризуют степень влияния i -го фактора на результат. Если коэффициенты β_i определять методом наименьших квадратов, то оценки этих коэффициентов находят решением системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \hat{\beta}_1 + r_{12}\hat{\beta}_2 + r_{13}\hat{\beta}_3 + \dots + r_{1k}\hat{\beta}_k &= r_{01}, \\ r_{21}\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 + r_{23}\hat{\beta}_3 + \dots + r_{2k}\hat{\beta}_k &= r_{02}, \\ \dots & \dots \\ r_{k1}\hat{\beta}_1 + r_{k2}\hat{\beta}_2 + \dots + \hat{\beta}_k &= r_{0k} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где r_{0i} – оценка коэффициента корреляции между величинами y и x_i , $i = \overline{1, k}$; r_{ij} – оценка коэффициента корреляции между величинами x_i и x_j , $i, j = \overline{1, k}$.

Из этой системы уравнений следует, что коэффициенты $\hat{\beta}_i$ при коррелированных факторах не могут быть определены независимо друг от друга. Оценки этих коэффициентов могут быть найдены по фор-

мулам Крамера:

$$\hat{\beta}_i = \frac{D_i}{D}, \quad i = \overline{1, k}.$$

Определитель D системы уравнений имеет вид:

$$D = \begin{vmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{k1} & r_{k2} & r_{k3} & \dots & 1 \end{vmatrix}. \quad (4)$$

Определитель D_i получают из определителя D заменой i -го столбца столбцом правой части системы (3). Оценки коэффициентов b_i находят по формулам:

$$\hat{b}_i = \hat{\beta}_i \frac{s_y}{s_{x_i}}, \quad \hat{b}_0 = \hat{y} - \hat{b}_1 x_1 - \hat{b}_2 x_2 - \dots - \hat{b}_k x_k. \quad (5)$$

Средние квадратичные отклонения ошибок коэффициентов \hat{b}_0 и \hat{b}_i ($i = \overline{1, k}$) вычисляются по формулам:

$$s_{\hat{b}_0} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-k-1}}, \quad s_{\hat{b}_i} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-k-1}} \sqrt{\frac{D_{ii}^*}{D^*}}, \quad (6)$$

где D^* – определитель корреляционной матрицы независимых переменных; D_{ii}^* – определитель, получаемый из определителя D^* вычеркиванием i -й строки и i -го столбца. Определитель D^* имеет вид:

$$D^* = \begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1k} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{k1} & k_{k2} & \dots & k_{kk} \end{vmatrix}, \quad k_{ii} = s_{x_i}^2, \quad k_{ij} = r_{x_i x_j} s_{x_i} s_{x_j}. \quad (7)$$

В качестве оценки дисперсии σ^2 берем величину s^2 . Значение s^2 находится по одной из формул:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left[y_i - (\hat{b}_0 + \hat{b}_1 x_{i1} + \hat{b}_2 x_{i2} + \dots + \hat{b}_k x_{ik}) \right]^2}{n-k-1},$$

$$s^2 = s_y^2 (1-R^2) \frac{n-k-1}{n-1}. \quad (8)$$

При $n \gg k$ параметр s^2 можно определять по формуле:

$$s^2 = s_y^2 (1-R^2). \quad (9)$$

При этом коэффициент множественной корреляции R вычисляется по одной из формул:

$$R = \left[\sum_{i=1}^k r_{0i} \hat{\beta}_i \right]^{\frac{1}{2}}, \quad R = \left(1 - \frac{s^2}{s_y^2} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (10)$$

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \hat{y})(y_{p_i} - \hat{y}_p)}{(n-1)s_y s_{y_p}}, \quad R = \left(1 - \frac{\Delta}{\Delta_{11}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (11)$$

где y_i – опытные значения результирующего фактора; y_{p_i} – значения результирующего фактора, рассчитанные по уравнениям (3).

Определитель Δ представляет собой определитель полной нормированной корреляционной матрицы:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & r_{01} & r_{02} & \dots & r_{03} \\ r_{10} & 1 & r_{12} & \dots & r_{1k} \\ r_{20} & r_{21} & 1 & \dots & r_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{k0} & r_{k1} & r_{k2} & \dots & 1 \end{vmatrix}. \quad (12)$$

Определитель Δ_{11} получают из определителя Δ вычеркиванием первой строки и первого столбца. Этот определитель совпадает с определителем D системы уравнений (3). Скорректированное значение коэффициента множественной корреляции определяется формулой:

$$\hat{R} = \left[1 - \left(1 - R^2 \right) \frac{n-1}{n-k-1} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (13)$$

Квадрат коэффициента множественной корреляции (коэффициент детерминации) показывает долю дисперсии функции отклика, обусловленную выбранным регрессионным уравнением.

Дисперсия ошибки регрессионного уравнения в точке $(x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_k^*)$ определяется выражением:

$$s_{np}^2 = \left[\frac{\sigma^2}{n-k-1} + \sum_{i=1}^k (x_i^* - \bar{x}_i)^2 s_{b_i}^2 + \sum_{i>j} (x_i^* - \bar{x}_i)(x_j^* - \bar{x}_j) K_{b_i b_j} \right]. \quad (14)$$

При этом корреляционный момент между коэффициентами \hat{b}_i и \hat{b}_j вычисляется так:

$$K_{\hat{b}_i \hat{b}_j} = \left(\frac{\sigma^2}{n-k-1} \right) \frac{D_{ij}^*}{D^*}, \quad (15)$$

где D^* – определитель корреляционных моментов всех независимых переменных;

D_{ij}^* – алгебраическое дополнение элемента k_{ij} , определитель, получаемый из определителя (4.6) вычеркиванием i -й строки и j -го столбца и умноженный на $(-1)^{i+j}$.

Дисперсия ошибки прогнозирования функции отклика в точке $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_k^*)$ с учетом разброса индивидуальных значений относительно регрессионного уравнения имеет вид:

$$s_{np}^2 = \left[\sigma^2 + \frac{\sigma^2}{n-k-1} + \sum_{i=1}^k (x_i^* - \bar{x}_i)^2 s_{b_i}^2 + 2 \sum_{i>j} (x_i^* - \bar{x}_i)(x_j^* - \bar{x}_j) K_{b_i b_j} \right] \quad (16)$$

В более компактной форме это выражение можно записать так:

$$s_{np}^2 = \sigma^2 \left[1 + \frac{1}{n-k-1} + \frac{1}{n-k-1} \sum_{i,j=1}^k \frac{D_{ij}^*}{D^*} (x_i^* - \bar{x}_i)(x_j^* - \bar{x}_j) \right] \quad (17)$$

Верхняя и нижняя доверительные границы прогнозируемого значения результирующего фактора в точке $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_k^*)$ вычисляется по формуле:

$$y_{\alpha}, y_{\beta} = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 x_1^* + \hat{b}_2 x_2^* + \dots + \hat{b}_k x_k^* \pm t_{\gamma, n-k-1} s_{np} \quad (18)$$

где $t_{\gamma, n-k-1}$ – коэффициент распределения Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности γ и числу степеней свободы $v = n - k - 1$.

Приведенные выражения можно представить в матричной форме. Уравнение множественной регрессии в матричной форме имеет вид:

$$Y = BX \quad (19)$$

где Y – вектор наблюдений результирующего фактора; X – матрица независимых переменных; B – вектор параметров, подлежащих оцениванию.

Доверительные границы результирующего фактора в точке, определяемой вектором X^* , вычисляются по формуле (1)

$$y_{\alpha}, y_{\beta} = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 x_1^* + \dots + \hat{b}_k x_k^* \pm t_{\gamma, n-k-1} s \sqrt{1 + X^{*'} (X'X)^{-1} X^*} \quad (20)$$

где $t_{\gamma, n-k-1}$ – коэффициент, определяемый из распределения Стьюдента с $(n - k - 1)$ степенью свободы; X' – транспонированная матрица наблюдений; X^* – вектор-столбец, характеризующий точку в k -мерном пространстве, в которой производится прогнозирование функции отклика.

Среднее квадратичное отклонение ошибки прогнозирования в точке, определяемой вектором X^* , записывается так:

$$s_{np} = s \sqrt{1 + X^{*'} (X'X)^{-1} X^*} \quad (21)$$

Выражения (7), (8) эквивалентны. Однако выражением (7) удобнее пользоваться при определении вклада отдельных составляющих в ошибку прогнозирования оцениваемых параметров (2).

Определения и исходные данные. Введем несколько определений для обобщенных рейтингов. Будем различать следующие показатели:

- рейтинг студента по дисциплине – данные контрольных испытаний из соответствующей ведомости;
- рейтинг студента по блоку дисциплин, вычисляется как среднее арифметическое по рейтингам всех дисциплин блока;
- рейтинг студента по дисциплинам, выбранным по некоторому признаку для целей исследования, вычисляется как среднее арифметическое по рейтингам выбранных дисциплин;
- рейтинг студента по всем изученным на данный момент времени дисциплинам, вычисляется как среднее арифметическое по рейтингам всех изученных дисциплин;
- рейтинг дисциплины, вычисляется как среднее арифметическое по рейтингам всех студентов, изучавших данную дисциплину;
- рейтинг блока дисциплин, вычисляется как

среднее арифметическое по рейтингам дисциплин, включенных в блок;

– блок дисциплин остаётся неизменными на протяжении всего исследования, он является результатом классификации. Блоки формируются в соответствии с выводами локального феноменологического анализа.

Исходные данные для расчетов формируются в виде двух реляционных баз данных:

1) база данных всех студентов, содержащая рейтинги каждого студента по всем изученным дисциплинам. Таблица размером $N1 \times N2$, $N1$ – число студентов, $N2$ – число дисциплин;

2) база данных всех студентов, содержащая данные тестов, определяющих интеллектуальные и психофизиологические параметры каждого студента. Таблица размером $N1 \times N3$, $N1$ – число студентов, $N3$ – число характеристик, определенных набором тестов.

Все дисциплины рабочей программы по специальностям "специализированные компьютерные системы" и "информационные системы" разбиты на три блока. Первый блок дисциплин включает цикл дисциплин по программированию, второй – по математическим основам моделирования и алгоритмов, третий блок включает дисциплины, связанные с созданием технических устройств и элементов компьютерной техники. В каждом из блоков выбираются три условно ведущих (или характерных) дисциплины, которые реализованы в составе компьютерной системы.

Для исследований выбираются три когорты студентов – когорты 1 – контроля и когорты 2 и 3 – наблюдения. В когорте 1 контроля (без компьютерной системы, n_1 студентов), в когорте 2 наблюдения (эксперимент с использованием адаптивной компьютерной системы, n_2 студентов), в когорте 3 наблюдения (эксперимент с использованием неадаптивной компьютерной системы, n_3 студентов). Наличие когорты 3 имеет смысл, если имеется набор необходимых статистических данных, что позволяет расширить рамки исследований.

Когорты формируются таким образом, чтобы распределение студентов по успеваемости было статистически близким в смысле близости математических ожиданий и дисперсий рейтингов. Для этих когорт средние значения рейтингов до начала эксперимента обозначены, соответственно, $R_1 \pm r_1$ – когорты 1, $R_2 \pm r_2$ – когорты 2, $R_3 \pm r_3$ – когорты 3, где r_1, r_2, r_3 – отклонения значений от среднего. При больших массивах выборок R_1, R_2, R_3 – вычисляются как математические ожидания рейтингов для соответствующих когорт, r_1, r_2, r_3 – вычисляются как среднеквадратичные отклонения, соответственно.

Для эксперимента отбираются по три дисциплины в каждом кластере: с максимальным, средним и минимальным значениями рейтинга, соответственно. Рейтинги 1, 2, 3 вычисляются для соответствующих групп учащихся (когорт), они преобразовываются в один средний рейтинг для сравнительного анализа рейтингов дисциплин [4, 5].

Адаптация учебного материала позволяет обосновать оба основных режима работы компьютерного системы – контролирующий и обучающий. Применение контролирующего режима не вызывает вопросов, т.к. принципиально ничего нового в его применении нет. При обучающем режиме применение структурной модели позволяет построить сценарий обучения,

опираясь на "задачный подход", модифицированный учетом достигнутого уровня знаний и физиологических параметров [6]. В этом случае генеральное перемещение по системе задач с целью контроля осуществляется по вертикали, переход на следующую "линию" задач возможен только при успешном прохождении в предыдущей. При ошибочном ответе в пределах горизонтали обучаемому предлагается соответствующая вертикали теоретическая доза или ее часть [7, 8]. Таким образом, в основу адаптации системы задач по сути положены следующие известные принципы: дидактической целесообразности; постоянной ориентации на конечный результат; системного подхода, учета дидактической сложности системы задач, учета параметров модели обучаемого [9, 10].

Набор навыков определяет вид ситуационных задач, которые не отличаются по общей структуре от рассмотренной выше. Источниками для построения систем задач служат соответствующие методические материалы по изучаемым дисциплинам, однако в процессе отработки данных эти материалы могут претерпевать некоторые изменения и должны подвергаться соответствующей апробации на основе доказательных экспериментов [11, 12].

Выводы. В процессе работы построена модель в четыре этапа, произведены расчеты, разработаны для расчетов две реляционных баз данных:

- 1) база данных всех студентов, содержащая рейтинги каждого студента по всем изученным дисциплинам;
- 2) база данных всех студентов, содержащая данные тестов, определяющих интеллектуальные и психофизиологические параметры каждого студента.

Разработанная адаптированная модель способствует повышению качества образования для дисциплин специальностей "специализированные компьютерные системы" и "информационные системы".

Список литературы:

1. Алпатов, А. П. Интеллектуальные управляющие информационные системы [Текст] / А. П. Алпатов, Ю. А. Прокопчук, В. В. Костра, И. А. Пилипченко // Сб. трудов межд. конф. по автоматическому управлению "Автоматика – 2000". – Львов: ГосНИИ информационной инфраструктуры, 2000. – Т.6. – С. 20–24. 2. Дубовик, Т. Н. К вопросу об адаптации и настройке моделей обучения [Текст] / Т. Н.

Дубовик, В. А. Семёнов // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2013. – Вип. 3 (86). 3. Дубовик, Т. Н. Когнитивные модели с параметрической адаптацией к характеристикам личности. Методический аспект. Часть 1. [Текст] / Т. Н. Дубовик, И. А. Алпатова // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – 2015. – Вип. 3. – С. 63–71. 4. Быховский, М. Л. Чувствительность и динамическая точность систем управления [Текст] / М. Л. Быховский // Изд. АН СССР, «Техническая кибернетика». – 1964. – Вып. 3. – С. 130–143. 5. Запорожец, А. В. Избранные психологические труды в 2-х томах [Текст] / А. В. Запорожец. – М., 1986. – 316 с. 6. Венгер, Л. А. Психология [Текст] / Л. А. Венгер, В. С. Мухина. – М., 1988. – 336 с. 7. Лефевр, В. А. Формула человека: контуры фундаментальной психологии [Текст] / В. А. Лефевр. – М., Прогресс, 1991. – 109 с. 8. Монмоллен, М. Системы «человек и машина» [Текст] / М. Монмоллен. – М., «Мир», 1973. – 256 с. 9. Симонов, П. В. Физиологические особенности положительных и отрицательных эмоциональных состояний [Текст] / П. В. Симонов. – М., «Наука», 1972. – 136 с. 10. Таран, В. А. Эргатические системы управления [Текст] / В. А. Таран. – М., «Машиностроение», 1976. – 188 с. 11. Дубовик, Т. Н. Особенности разработки адаптивных компьютерных тренажеров [Текст] / Т. Н. Дубовик // Вестник Черкасского государственного технологического университета. – 2010. – №4. – С. 98–105. 12. Сергеева, О. В. Использование тренажеров для учебной среды [Текст] / О. В. Сергеева, Т. Н. Дубовик // Вестник Черкасского государственного технологического университета. – 2010. – №3. – С. 136–140.

Bibliography (transliterated): 1. Alpatov, A. P., Prokopchuk, Yu. A., Kostra, V. V., Pilipchenko, I. A. (2000). Intellectuallyy upravlyayushhie informacionnye sistemy. Sb. trudov mezhd. konf. po avtomaticheskomu upravleniyu "Avtomatika – 2000". Lvov: GosNII informacionnoj infrastruktury, 6, 20–24. 2. Dubovik, T. N., Semyonov, V. A. (2013). K voprosu ob adaptacii i nastrojke modelej obucheniya. Sistemni tehnologii. Regionalnij mizhvuzivskij zbirnik naukovix prac, Vip. 3 (86). 3. Dubovik, T. N., Alpatova, I. A. (2015). Kognitivnye modeli s parametricheskoy adaptaciej k karakteristikam lichnosti. Metodicheskij aspekt. Chast 1. Sistemni tehnologii. Regionalnij mizhvuzivskij zbirnik naukovix prac, Vip. 3, 63–71. 4. Bыхovskij, M. L. (1964). Chuvstvitel'nost i dinamicheskaya tochnost sistem upravleniya. Izd. AN SSSR, «Texnicheskaya kibernetika», Vyp. 3, 130–143. 5. Zapozozhec, A. V. (1986). Izbrannye psixologicheskie trudy v 2-x tomax. Moscow, 316. 6. Venger, L. A. Muxina, V. S. (1988). Psixologiya. Moscow, 336. 7. Lefevr, V. A. (1991). Formula cheloveka: kontury fundamentalnoj psixologii. Moscow, Progress, 109. 8. Monmollen, M. (1973). Sistemy «chelovek i mashina». Moscow, «Mir», 256. 9. Simonov, P. V. (1972). Fiziologicheskie osobennosti polozhitelnyx i otricatelnyx emocionalnyx sostoyanij. Moscow, «Nauka», 136. 10. Taran, V. A. (1976). Ergaticheskie sistemy upravleniya. Moscow, «Mashinostroenie», 188. 11. Dubovik, T. N. (2010). Osobennosti razrabotki adaptivnyx kompyuternyx trenazherov. Vestnik Cherkasskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta, №4, 98–105. 12. Sergeeva, O. V., Dubovik, T. N. (2010). Ispolzovanie trenazherov dlya uchebnoj sredy. Vestnik Cherkasskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta, №3, 136–140.

Поступила (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Дубовик Татяна Николаевна – старший преподаватель, Украинский государственный химико-технологический университет, Кафедра «Специализированных компьютерных систем», пр. Гагарина, 8, г. Днепрпетровск, Украина, 49005; моб. тел. 067–748–84–01; e-mail: Tanya-dubovik@rambler.ru.

Кодола Галина Николаевна – Украинский государственный химико-технологический университет, преподаватель кафедры «Информационных систем», пр. Гагарина, 8, г. Днепрпетровск, Украина, 49005.

Волынец Наталья Сергеевны – Украинский государственный химико-технологический университет, преподаватель кафедры «Информационных систем», пр. Гагарина, 8, г. Днепрпетровск, Украина, 49005.

УДК 658.5:004.94

Ю. А. РОМАНЕНКОВ**ТЕХНОЛОГИЯ НАСТРОЙКИ ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА СОБСТВЕННЫХ ФАЗОВЫХ ТРАЕКТОРИЙ**

Предложен метод параметрического синтеза прогнозной модели на основе ретроспективного анализа собственных фазовых траекторий внутреннего параметра модели, который позволяет осуществлять обоснованный выбор значений настроечного параметра в соответствии с внутренней динамикой, выраженной в виде фазовых портретов, тем самым повышая точность прогнозирования по сравнению с традиционными поисковыми подходами к выбору параметра прогнозной модели. Предлагаемый подход к параметрическому синтезу прогнозной модели позволяет аналитически оценить качество модели в ходе ее использования, тем самым формализуя процесс параметрической настройки прогнозной модели.

Ключевые слова: параметрический синтез прогнозной модели, фазовый анализ, ретроспективный фазовый анализ.

Введение. Эффективное управление сложными организационно-техническими системами невозможно без упреждения тенденций динамики внутренних и внешних по отношению к таким системам параметров. Современные информационные технологии обеспечивают реализацию прогнозных моделей практически неограниченной вычислительной сложности. Однако, объективное качество информации (как правило, экономического характера) является сдерживающим фактором на пути использования сложных прогнозных моделей. Это выражается в неопределенности разного рода, так или иначе присутствующей в рядах данных тех или иных экономических показателей (например, пропусках данных, ложных значениях, быстрой «устаревании» данных и т. д.).

В силу указанных причин, ключевое место в современной практике прогнозирования по-прежнему занимают относительно «простые», в том числе одно- и двухпараметрические прогнозные модели, которые с одной стороны, в большинстве практических ситуаций способны обеспечить удовлетворительное качество прогноза, с другой – являются доступными для понимания и многократного использования широким кругом субъектов прогнозирования.

При использовании подобных прогнозных моделей на передний план выходит задача параметрического синтеза прогнозной модели. По сути, исследователь преобразует перспективную неопределенность наблюдаемого процесса, с которой объективно сталкивается в процессе прогнозирования, в параметрическую неопределенность прогнозной модели. Это приводит к необходимости иметь в арсенале методы и средства параметрического синтеза (настройки) прогнозных моделей, которые, не имея возможности быть единственными или оптимальными в широком смысле, тем не менее, способны обеспечивать определенное качество прогноза при решении практических задач. Основанием включения таких методов в арсенал прогнозиста является, на наш взгляд, корректность базовых гипотез с одной стороны, и практическая работоспособность – с другой.

Таким образом, актуальной задачей является разработка методов параметрического синтеза прогнозных моделей, учитывающих особенности реального состояния статистической информации, накопленной в виде временных рядов (ВР).

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Будем рассматривать группу однопараметрических статистических прогнозных моделей [1],

т.е. моделей, сформированных на базе описания процесса моментным, одномерным, равноотстоящим, полным ВР, для которого существует аналитическая зависимость, связывающая прогнозную оценку на момент времени t и значения ВР в предыдущие моменты времени [2–4]:

$$\hat{y}_t = f(y_{t-i}, \lambda, t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где \hat{y}_t – прогнозная оценка на момент времени t ; y_{t-i} – значения ВР длиной n в предыдущие моменты времени; λ – внутренний параметр прогнозной модели.

Примером таких моделей может служить прогнозная модель Р. Брауна или модель экспоненциального сглаживания [5]. В качестве прогноза в ней используется экспоненциальное среднее значение нескольких последних элементов ВР:

$$\hat{y}_t = \alpha y_{t-1} + \alpha(1-\alpha)y_{t-2} + \dots + \alpha(1-\alpha)^{n-1}y_{t-n} = \sum_{i=1}^n \alpha(1-\alpha)^{i-1}y_{t-i}, \quad (2)$$

где n – длина выборки ВР; α – параметр (константа) сглаживания.

Различные подходы к решению задачи параметрического синтеза прогнозной модели Брауна изложены в работах многих авторов, например, [6–13].

Целью параметрического синтеза прогнозной модели вида (1) является поиск такого значения внутреннего параметра λ , который обеспечивал бы лучшее качество прогнозной оценки, в частности ее максимальную точность [6]. Основой параметрического анализа может выступать парадигма ретроспективного анализа, состоящая в предположении о сохранении в будущем качества ретроспективных прогнозных оценок, полученных для значений ВР в предыдущие моменты времени.

Таким образом, задача параметрического синтеза может быть сведена к решению ретроспективных уравнений следующего вида [14]:

$$\varepsilon_{t-1} = \frac{y_{t-1} - \hat{y}_{t-1}}{y_{t-1}} = 1 - \frac{f(y_{t-1-i}, \lambda)}{y_{t-1}} = 0, \quad i = \overline{1, n-1}. \quad (3)$$

Решения уравнения (3) минимизируют функционал [2]:

$$L(\lambda) = \sum_{i=1}^k (y_{t-i} - \hat{y}_{t-i})^2 \quad (4)$$

для $k=1$, т.е. гарантируя ретроспективную точность прогноза для последнего известного значения ряда.

Объект, предмет и цель исследования. Объектом исследования являются прогнозные модели вида (1), предметом – методы параметрического синтеза подобных моделей, а целью – расширение методического инструментария параметрического синтеза вышеуказанных моделей.

Метод настройки однопараметрических прогнозных моделей на основе анализа ретроспективных фазовых портретов внутреннего параметра. Предположим, что все уравнения (3) имеют вещественные корни внутри области допустимых значений внутреннего параметра модели. Тогда получаем последовательность значений λ для m последних моментов времени:

$$\{\lambda\}_m = \{\lambda_{t-1}, \lambda_{t-2}, \dots, \lambda_{t-m}\} \quad (5)$$

Отметим, что уравнения вида (3) могут иметь более одного корня, и в таком случае последовательность (4) «распадается» на несколько последовательностей. В этом случае необходимо формулировать критерии, по которым возможно сравнение ретроспективных прогнозных оценок [4].

Ряд (5) можно рассматривать как комплексную характеристику пары «ВР – прогнозная модель». В частности, если оказывается, что последовательность $\{\lambda\}_m$ пуста, т.е. в процессе ретроспективного анализа не найдены оптимальные значения $\lambda_{t-1}, \lambda_{t-2}, \dots, \lambda_{t-m}$, то это свидетельствует о неприменимости выбранной прогнозной модели для анализа и прогнозирования рассматриваемого ВР.

Полученный ряд предлагается исследовать с помощью фазового анализа [15]. Методика фазового анализа подробно изложена, например, в [16, 17].

Будем называть последовательность

$$\Phi_2(\Lambda) = \{(\lambda_{t-m+i-1}, \lambda_{t-m+i})\}, \quad i = \overline{1, m-1}, \quad (6)$$

ретроспективным фазовым портретом (РФП) внутреннего параметра прогнозных моделей (1). Пример ВР оптимальных ретроспективных значений внутреннего параметра прогнозных моделей и его фазовый портрет представлены на рис. 1.

Разложение фазового портрета на квазициклы базируется на визуализации фрагментов данного фа-

зового портрета [16]. При этом принимается во внимание характер вращения звеньев, соединяющих соседние точки $(\lambda_t, \lambda_{t+1}), (\lambda_{t+1}, \lambda_{t+2})$ визуализируемого фрагмента (рис. 2).

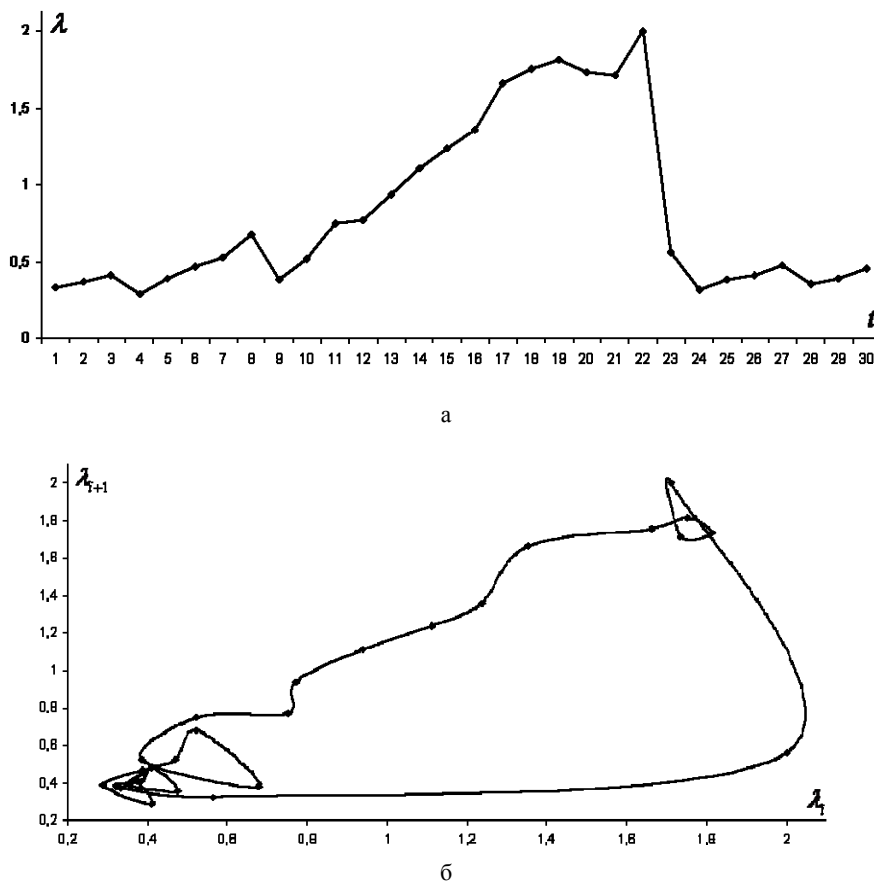


Рис. 1 – Внутренние характеристики прогнозных моделей: а – ВР оптимальных ретроспективных значений внутреннего параметра; б – его фазовый портрет

Определение термина «квазицикл» в некотором смысле близко к определению общепринятого понятия «цикл». Различие между этими двумя понятиями состоит в том, что начальная и конечная точки квазицикла не обязательно должны совпадать. Конечная точка квазицикла определяется ее входением в окрестность начальной точки. При этом допускается самопересечение начального и конечного звеньев квазицикла, если это приводит к наилучшему сближению его начальной и конечной точек.

Для любого ВР предпрогнозная информация на основе его фазового портрета может быть разделена на три группы [16]. К первой группе относят информацию, которая представляется разложением фазового портрета этого ВР на квазициклы (рис. 2).

Для каждого квазицикла строится габаритный прямоугольник (см. рис. 3), точка пересечений диагоналей которого и считается центром соответствующего квазицикла (она же представляет собой центр вращения соответствующего квазицикла). Параметры всех квазициклов и их габаритных прямоугольников можно свести в табл. 1.

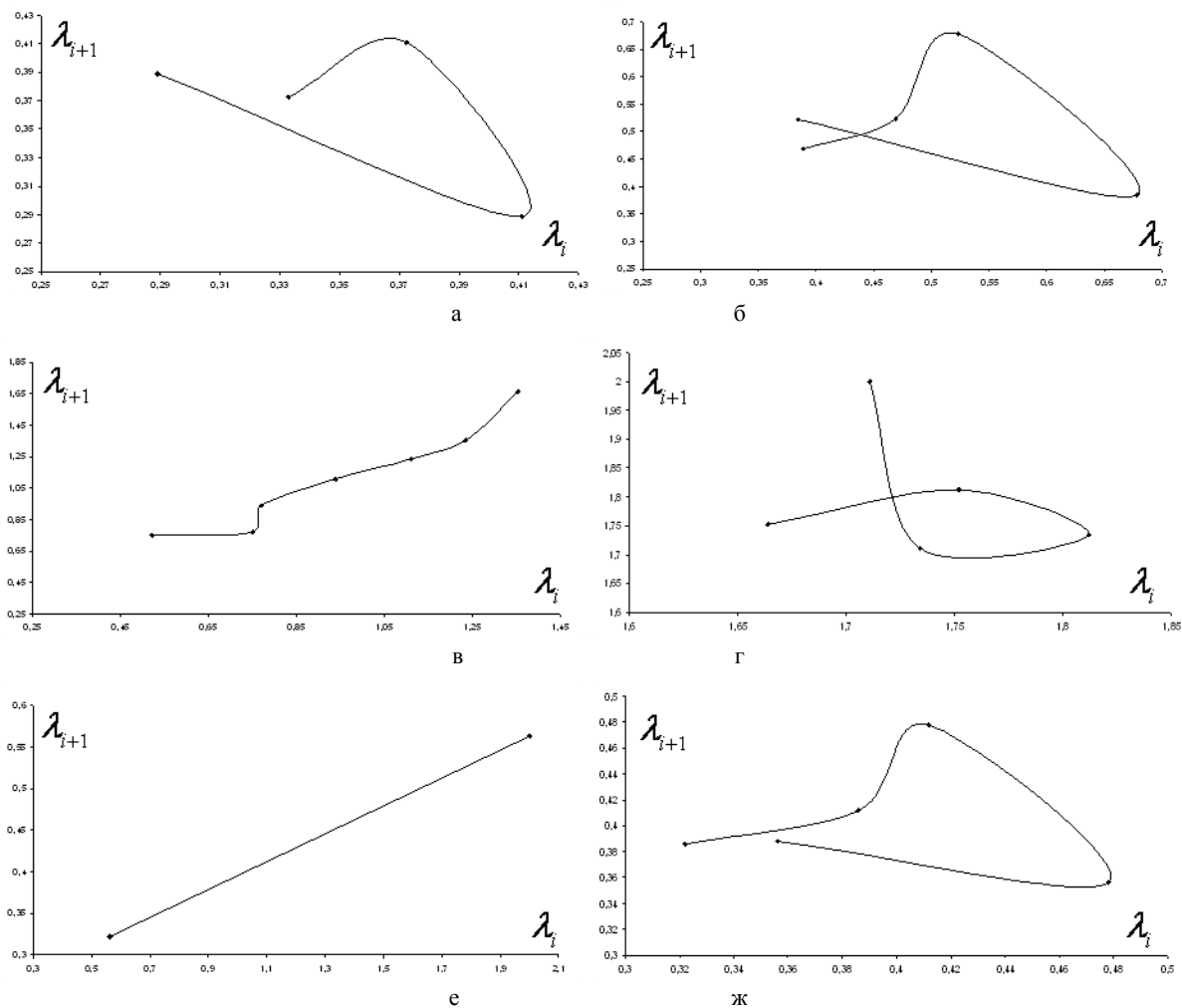


Рис. 2 – Квазициклы РФП внутреннего параметра прогнозной модели для моментов времени: а – 2-5; б – 6-10; в – 11-17; г – 18-22; е – 23-24; ж – 25-30

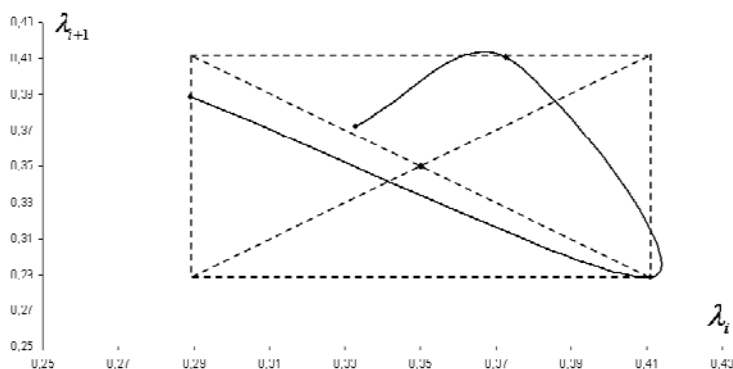


Рис. 3 – Первый квазицикл РФП внутреннего параметра прогнозной модели (рис. 2, б) и его габаритный прямоугольник

Таблица 1 – Параметры квазициклов РФП внутреннего параметра прогнозной модели (рис. 2, б)

| Номер цикла | Длина | Центр | Полупериметр |
|-------------|-------|------------------|--------------|
| 1 | 4 | (0,35; 0,35) | 0,244 |
| 2 | 5 | (0,385; 0,385) | 0,586 |
| 3 | 7 | (0,938; 0,522) | 0,832 |
| 4 | 5 | (1,738; 1,8555) | 0,437 |
| 5 | 2 | (1,2815; 0,4425) | 1,678 |
| 6 | 5 | (0,4; 0,417) | 0,278 |

Ко второй группе относят информацию, представленную траекториями дрейфа центров квазицик-

лов (рис. 4). К третьей группе относят информацию, представленной траекторией дрейфа полупериметров

габаритных прямоугольников квазициклов, полученных в результате разложения рассматриваемого фазового портрета, а также фазовым портретом этой траектории (рис. 5). Представим диаграмму декомпозиции процесса параметрического синтеза прогнозной модели на рис. 6.

ектории (рис. 5). Представим диаграмму декомпозиции процесса параметрического синтеза прогнозной модели на рис. 6.

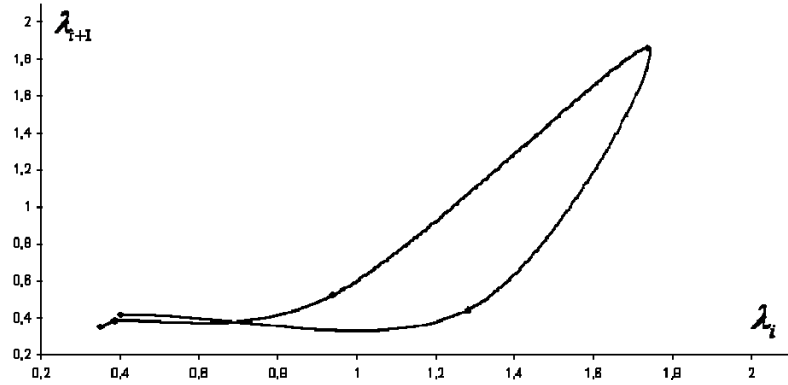


Рис. 4 – Траектория дрейфа центров габаритных прямоугольников квазициклов РФП внутреннего параметра прогнозной модели

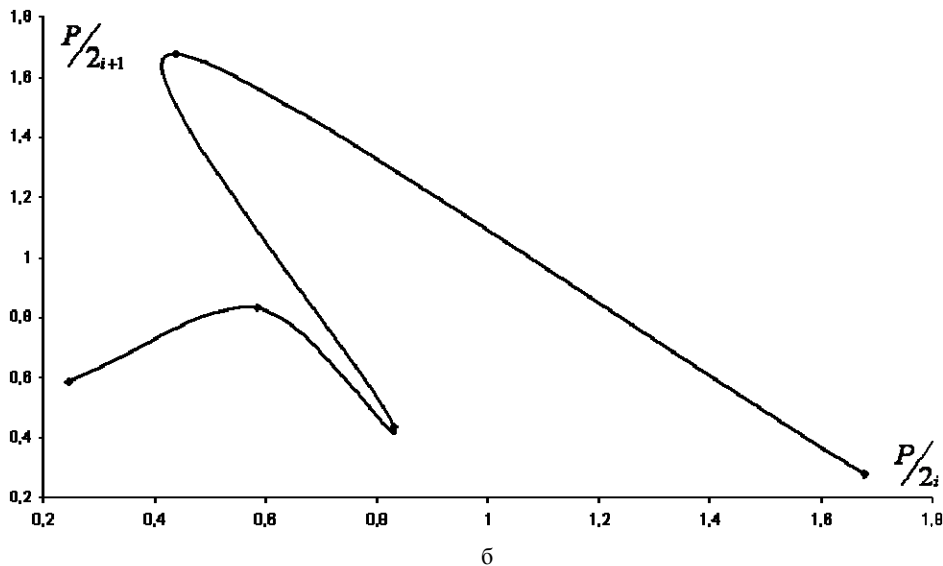
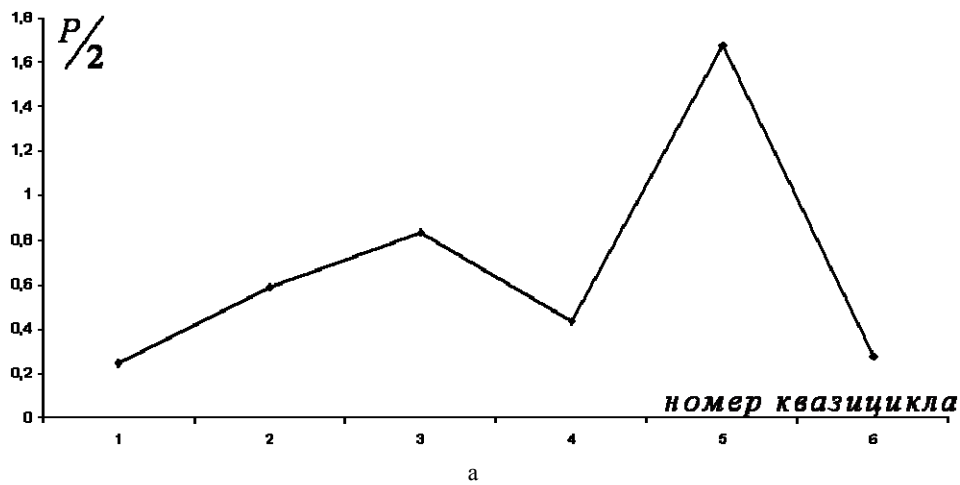


Рис. 5 – Характеристики квазициклов: а – траектория дрейфа полупериметров габаритных прямоугольников; б – фазовый портрет траектории дрейфа

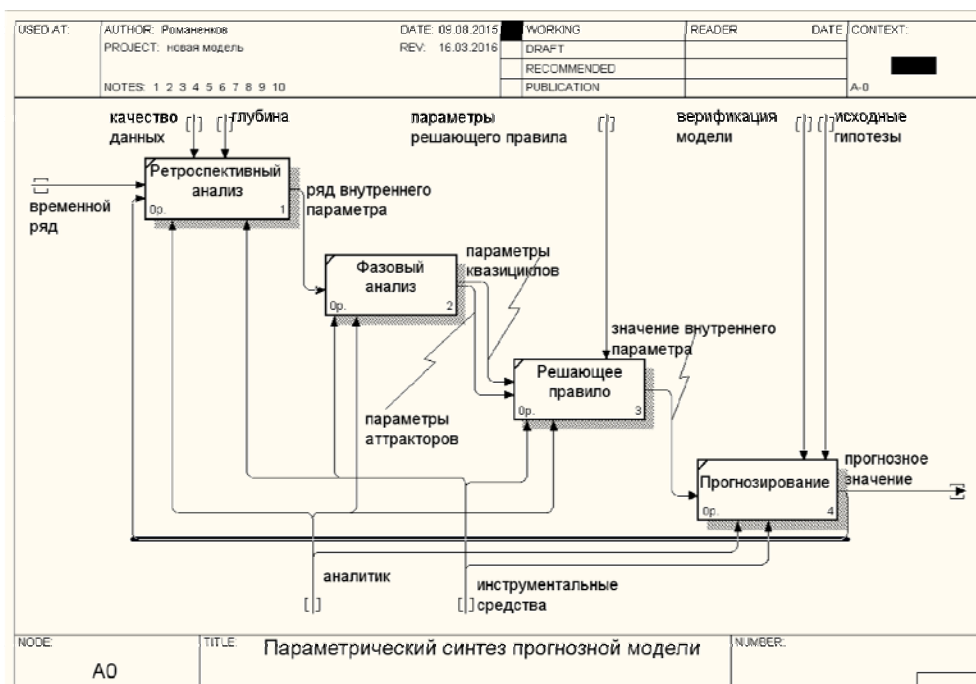


Рис. 6 – Декомпозиция процесса настройки прогнозной модели на основе анализа собственных фазовых траекторий

На основе анализа РФП внутреннего параметра прогнозной модели можно сгенерировать обоснованную оценку внутреннего параметра модели для получения актуального прогноза исследуемого ВР. При этом методологический аппарат фазового анализа выступает в качестве «решающего правила» для выбора внутреннего параметра прогнозной модели. Эта информация, наряду с другими результатами параметрического синтеза, может быть использована исследователем как в процессе прогнозирования значений ВР, так и в процессе выбора адекватной прогнозной модели для прогнозирования конкретного ВР.

Выводы

Предложен метод настройки однопараметрической прогнозной модели, основанный на анализе ретроспективных фазовых портретов внутреннего параметра модели.

Предложенный метод позволяет учитывать и визуализировать динамику ретроспективных оптимальных значений внутреннего параметра, тем самым повысить точность прогнозирования по сравнению с традиционными подходами к выбору параметра прогнозной модели.

Преимуществом предлагаемого метода, помимо наглядности, является принципиальная возможность аналитической оценки качества модели в ходе ее использования, что облегчает пользователю процесс параметрической настройки прогнозной модели и способствует лучшему пониманию особенностей самого исследуемого процесса.

Список литературы: 1. Лукашин, Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов [Текст] / Ю. П. Лукашин // Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с. 2. Гече, Ф. Е. Розробка методу синтезу прогнозуєчої схеми на основі базових прогнозуєчих моделей [Текст] / Ф. Е. Гече, О. Ю. Мулеца, С. Ф. Гече, М. М. Ваишеба // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2015. – № 3/2 (23). – С. 36–41. 3. Кухарев, В. Н. Экономико-математические методы и модели в планировании

и управлении [Текст] / В. Н. Кухарев, В. Н. Салли, А. М. Эрперт. – К.: Вища школа, 1991. – 328 с. 4. Романенков, Ю. А. Параметрические критерии качества ретроспективных прогнозных оценок [Текст] / Ю. А. Романенков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 1 (1110). – С. 85–90. 5. Brown, R. G. Smoothing forecasting and prediction of discrete time series [Текст] / R. G. Brown. – N.Y., 1963. 6. Вартачан, В. М. Параметрический синтез прогнозной модели экспоненциального сглаживания [Текст] / В. М. Вартачан, Ю. А. Романенков, А. В. Кононенко // Вестник НТУ «ХПІ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2005. – № 59 – С. 9–16. 7. Рабочая книга по прогнозированию [Текст]: Редкол.: И.В. Бестужев-Лада (отв. ред.). – М.: Мысль, 1982. – 430 с. 8. Светульников, С. Г. О расширении границ применения метода Брауна [Текст] / С. Г. Светульников // Известия Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов. – 2002. – №3. – С. 94–107. 9. Светульников, С. Г. Методы социально-экономического прогнозирования: учебник для вузов. Том II [Текст] / С. Г. Светульников, И. С. Светульников. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – 103 с. 10. Васильев, А. А. Методы выбора постоянной сглаживания в модели прогнозирования Брауна [Текст] / А. А. Васильев // Вестник Тверского государственного университета, 2013, №1 (серия «Экономика и управление»). 2013, Вып. 17). – С. 183–196. 11. Васильев, А. А. Исследование модели прогнозирования Брауна при классических и запредельных значениях постоянной сглаживания [Текст] / А. А. Васильев, Е. В. Васильева // Вестник Тверского государственного университета, 2013, №1 (серия «Экономика и управление»). 2013, вып. 17). – С. 197–213. 12. Вартачан, В. М. Анализ адекватности моделей прогнозирования экономических показателей предприятий [Текст] / В. М. Вартачан, Ю. А. Романенков, А. В. Кононенко // Бизнес Информ. – Харьков: Хар. Нац. эконом. ун-т, 2007. – № 3–4. – С. 103–106. 13. Романенков, Ю. А. Метод параметрического синтеза модели Брауна на основе ретроспективной многокритериальной оптимизации [Текст] / Ю. А. Романенков, Т. Г. Зейншев // Збірник наукових праць (галузевого машинобудування, будівництва). – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – №2(41). – С. 48–56. 14. Зейншев, Т. Г. Постановка задачи синтеза оптимальных робастных прогнозных оценок в модели экспоненциального сглаживания [Текст] / Т. Г. Зейншев, Ю. А. Романенков // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2014»: Тези доповідей. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2014. – Т. 3. – С. 5. 15. Петерс, Э. Хаос и порядок на рынке капитала. Новый экономический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка [Текст] / Э. Петерс. – М.: Мир, 2000. – 333 с. 16. Беляков, С. С. Ис-

пользование агрегирования в методах нелинейной динамики для анализа и прогнозирования временных рядов котировок акций [Текст]: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13: защищена 21.10.05 / Беляков Станислав Сергеевич. – Ставрополь, 2005. – 157 с. 17. Паровик, Р. И. Фазовый анализ временных рядов геофизических полей [Текст] / Р. И. Паровик, П. П. Фирстов // Вест. КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. – 2013. – №1. – С. 23–29.

Bibliography (transliterated): 1. Lukashin, Yu. P. (2003). Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennykh ryadov. Uchebnoe posobie. Moscow: Finansy i statistika, 416. 2. Geche, F. E. Mulesa, O. Yu. Geche, S. F. Vashkeba, M. M. (2015). Rozrobka metodu sintezu prognozuoyuchoi sxemi na osnovi bazovix prognozuyuchix modelej. Technologicheskij audit i rezervy proizvodstva, № 3/2 (23), 36–41. 3. Kuxarev, V. N., Salli, V. N., Erpert, A. M. (1991). Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli v planirovanii i upravlenii. Kiev: Vishha shkola, 328. 4. Romanenkov, Yu. A. (2015). Parametricheskie kriterii kachestva retrospektivnykh prognoznykh ocenok. Visnik Nacionalnogo texnichnogo universitetu «XPI». Seriya: Strategichne upravlinnya, upravlinnya portfelyami, programami ta proektami. Kharkov: NTU «XPI», № 1 (1110), 85–90. 5. Brown, R. G. (1963). Smoothing forecasting and prediction of discrete time series. N. Y. 6. Vartanyan, V. M., Romanenkov, Yu. A., Kononenko, A. V. (2005). Parametricheskij sintez prognoznoj modeli eksponencialnogo sglazhivaniya. Vestnik NTU «XPI». Sbornik nauchnykh trudov. Tematicheskij vypusk «Sistemnyj analiz, upravlenie i informacionnye tehnologii». Kharkov: NTU «XPI», № 59, 9–16. 7. Rabochaya kniga po prognozirovaniyu (1982). Redkol.: I. V. Bestuzhev-Lada (otv. red.). Moscow: Mysl, 430. 8. Svetunkov, S. G. (2002). O rasshirenii granic primeneniya metoda Brauna. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i finansov, №3, 94–107. 9.

Svetunkov, S. G., Svetunkov, I. S. (2010). Metody socialno-ekonomicheskogo prognozirovaniya: uchebnik dlya vuzov. Tom II. SPb.: Izd-vo SPbGUEF, 103. 10. Vasilev, A. A. (2013). Metody vybora postoyannoj sglazhivaniya v modeli prognozirovaniya Brauna. Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013, №1 (seriya «Ekonomika i upravlenie». 2013, Vyp. 17), 183–196. 11. Vasilev, A. A., Vasileva, E. V. (2013). Issledovanie modeli prognozirovaniya Brauna pri klassicheskix i zapredelnykh znacheniyax postoyannoj sglazhivaniya. Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta, 2013, №1 (seriya «Ekonomika i upravlenie». 2013, vyp. 17), 197–213. 12. Vartanyan, V. M., Romanenkov, Yu. A., Kononenko, A. V. (2007). Analiz adekvatnosti modelej prognozirovaniya ekonomicheskix pokazatelej predpriyatij. Biznes Inform. Xarkov: Xar. Nac. ekonom. un-t, № 3–4, 103–106. 13. Romanenkov, Yu. A., Zejniev, T. G. (2014). Metod parametricheskogo sinteza modeli Brauna na osnove retrospektivnoj mnogokriterialnoj optimizacii. Zbirnik naukovix prac (galuzeve mashinobuduvannya, budivnictvo). Poltava: PoltNTU, №2(41), 48–56. 14. Zejniev, T. G., Romanenkov, Yu. A. (2014). Postanovka zadachi sinteza optimalnykh robnastnykh prognoznykh ocenok v modeli eksponencialnogo sglazhivaniya. Vseukrainska naukovko-texnichna konferenciya «Integrovani komp'yuterni tehnologii v mashinobuduvanni IKTM-2014»: Tezi dopovidej. Xarkiv: Nacionalnij aerokosmichnij universitet im. M. E. Zhukovskogo «Xarkivskij aviacijnij institut», T. 3, 5. 15. Peters, E. (2000). Chaos i porjadok na rynku kapitala. Novyj ekonomicheskij vzglyad na cikly, ceny i izmenchivost rynku. Moscow: Mir, 333. 16. Belyakov, S. S. (2005). Ispolzovanie agregirovaniya v metodax nelinejnoj dinamiki dlya analiza i prognozirovaniya vremennykh ryadov kotirovok akcij: dis. ... kand. ekon. nauk: 08.00.13: zashhishhena 21.10.05 / Belyakov Stanislav Sergeevich. Stavropol, 157. 17. Parovik, R. I., Firsov, P. P. (2013). Fazovij analiz vremennykh ryadov geofizicheskix polej. Vest. KRAUNC. Fiz.-mat. nauki, №1, 23–29.

Поступила 20. 12. 2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Романенков Юрий Александрович – кандидат технічних наук, доцент, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «Харьківський авіаційний інститут», докторант кафедри менеджмента; ул. Чкалова, 17, Харків, Україна, 61070; тел.: 067-57-57-300; e-mail: KhAI.management@ukr.net.

УДК 621.396.931

Б. О. МАЛИК, Н. П. СЕЛЕНКОВА

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ З'ЄДНАНЬ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

Розглянута задача контролю геометричних параметрів місця зварювання різнотипних оптичних волокон при побудові систем автоматизації та управління механіко-технологічними системами та комплексами. На основі інтерференційних методів контролю розроблені методи дискретизації інтерференційних картин та їх подальший аналіз. Запропоновано метод визначення меж з'єднань різнотипних оптичних волокон, створено програмне забезпечення для його реалізації. Проведено експериментальне дослідження методу з використанням установки для отримання інтерференційних картин ОВ та розробленого програмного забезпечення, що автоматизує роботу інтерференційного методу

Ключові слова: оптичне волокно, площина з'єднання, ПЗЗ – фотоприймач, інтерференційні методи, програмне забезпечення.

Вступ. При автоматизації та управлінні механіко-технологічними системами та комплексами важливе значення має збереження амплітудного та часового балансу при передачі інформації між їх складовими. Це вимагає використання високошвидкісних та надійних ліній зв'язку, якими на цей час є лінії на оптичних волокнах.

Завдяки розвитку архітектури оптоволоконних мереж, активно використовуються технології зварювання різнотипних оптичних волокон, які потребують удосконалення методів контролю геометричних параметрів в цілому і нероз'ємних з'єднань зокрема, що обумовлює актуальність досліджень їх використання та модернізації [1].

Постановка задачі досліджень. Волоконно-оптичні системи є одним з найбільш перспективних напрямків при створенні фізичної основи інформаційного простору. Важливим завданням при створенні конструкцій і технологій виготовлення комплектуючих для волоконно-оптичних систем є забезпечення автоматизації операцій контролю параметрів компонентів у процесі їх виробництва, монтажу та експлуатації [2]. При реалізації оптоволоконних ліній зв'язку часто виникає необхідність узгодження оптоелектронних компонентів з різними поперечними перерізами випромінюючої та приймаючої областей і різними числовими апертурами [3]. Варіантом такого завдання може бути з'єднання одномодового (ОВ) та

© Б. О. Малик, Н. П. Селенкова. 2015

багатомодового волокна (БВ), випромінювачів і фотоприймачів з волокнами різних типів [4]. Для поліпшення сполучних характеристик і враховуючи технологічні особливості виготовлення компонентів необхідно розробити нові методи контролю геометричних параметрів різних ділянок волокон що з'єднуються, які забезпечать можливість вільного доступу інструменту в робочу зону [5].

Метою роботи є обґрунтування та дослідження інтерференційного методу контролю параметрів оптичних волокон в технології їх єднань.

Для цього необхідно вирішити наступні задачі:

- вибір оптимального методу контролю ОВ;
- дослідження засобів дискретизації зображення ОВ;
- математичне моделювання методу контролю ОВ;
- експериментальне дослідження ОВ;
- аналіз результатів, отриманих в ході експерименту.

Огляд методів вимірювання геометричних параметрів оптичних волокон. В процесі аналізу методів вимірювання геометричних параметрів ОВ, заснованих на використанні деяких фізичних ефектів, наприклад, дифракції при вимірах мікрооб'єктів, інтерференції, голографії, основним інформаційним параметром є просторово-часова структура картини, отриманої в результаті взаємодії випромінювання з об'єктами, що мають відповідні геометричні параметри.

Пристрої, що реалізують дифракційні методи, відрізняються високою точністю, при якій похибка досягає 0,6 %. Однак, в залежності від використовуваної модифікації методу, пристрої мають, або досить складну конструкцію, або низьку продуктивність [6].

Голографічні методи не схильні до проблем шумів. У пристроях, які їх реалізують, як правило, дві голограми послідовно знімаються на одну платівку. Оскільки фаза пучка, відбитого від предмета, змінюється, у відновленому зображенні утворюються інтерференційні смуги. Однак пристрої, що використовують голографічний метод, мають низьку продуктивність і забезпечують меншу точність. Роздільна здатність – до 100 лін / мм, в той час як високу точність можна отримати тільки при використанні голограми растра з роздільною здатністю 103 лін / мм і більше. Крім того, вони чутливі до вібрацій.

Інтерферометричні пристрої застосовують при вимірах з особливо високою точністю, за винятком областей різких градієнтів показника заломлення (Δn приблизно дорівнює від 10–4 на периферії серцевини до 10–3 в центрі). Їх роздільна здатність 5...50 лін/мм, метод досить простий і допускає будь-яку ступінь автоматизації [7].

Для подальшого дослідження та модернізації був обраний інтерферометричний метод, так як на відміну від дифракційних та голографічних методів він є найбільш точним, простим в реалізації, а його недоліки в порівнянні з іншими методами представляються несуттєвими.

Дискретизація і квантування інтерференційних сигналів. Інтерференційна картина, що отримується при додаванні і квадратичному проектуванні когерентних світлових хвиль, характеризується безпервною зміною інтенсивності світла в полі інтерферен-

ції. Перетворення отриманого зображення в інтерференційний сигнал з дискретними значеннями аргументу часто можна розглядати як результат лінійної операції згортки. Перетворення по-фотонно безпервного інтерференційного сигналу в сигнал з кінцевою безліччю значень є квантуванням. Операція квантування пов'язана з округленням значень безпервного сигналу, тому ця операція є нелінійною.

Похибка дискретизації можна розділити на дві складові: похибка усереднення всередині світлочутливого елемента та похибка, обумовлена геометричним розташуванням елементів дискретизації в площині (x, y). Ці складові похибки можна дослідити на основі математичного апарату інтегральних перетворень і конфліктного аналізу для детермінованих і випадкових відхилень параметрів дискретизації. Похибку квантування зазвичай розглядають як результат впливу детермінованої нелінійності і випадкового шуму квантування. При цьому використовують статистичні методи аналізу.

Комп'ютерна обробка інтерференційних картин. Нові можливості вирішення задачі комп'ютерної обробки інтерференційних картин з'явилися у зв'язку зі створенням лінійних і двовимірних приладів з переносом заряду. Їх перевагами є висока стабільність параметрів і надійність в роботі, висока точність кроку дискретизації (геометрична похибка не більше 0,3 мкм), яка забезпечується мікроелектронною технологією виготовлення, великий динамічний діапазон (до 60 дБ і більше).

Можливість використання приймачів випромінювання ПЗЗ для аналізу інтерференційної картини визначається тим, наскільки повно вони відповідають необхідним вимогам по кроку дискретизації, чутливості і динамічному діапазону.

Серійні зразки приладів з зарядовим зв'язком мають крок дискретизації 12 мкм і менше, тому вони, як правило, забезпечують необхідний крок дискретизації інтерференційної картини.

Дослідження оптичної інтенсивності інтерференційної картини ОВ. Ґрунтуючись на проведених дослідженнях інтерференційних методів та методів квантування та дискретизації інтерференційних картин були змодельовані інтерференційні картини, зображені на рис. 1. Зображення характеризуються оригінальними темними лініями, що покриті інтерференційними смугами. Виходячи з цього, елемент з'єднання двох волокон може бути знайдений тільки за допомогою інтерференційних смуг. Так як на кількість інтерференційних смуг можуть впливати розміри волокна, інтенсивність світла та положення фокальної площини, корекція цих трьох факторів необхідна для отримання задовільного зображення [8].

Використовуючи програмний комплекс MatLab, було обрано частину зображення оптичного волокна, яка характеризує каскадний перехід між двома волокнами, та зображена на рис. 2. За допомогою вбудованих програмних засобів, зображення було завантажено в програмний комплекс для подальшого аналізу [8].

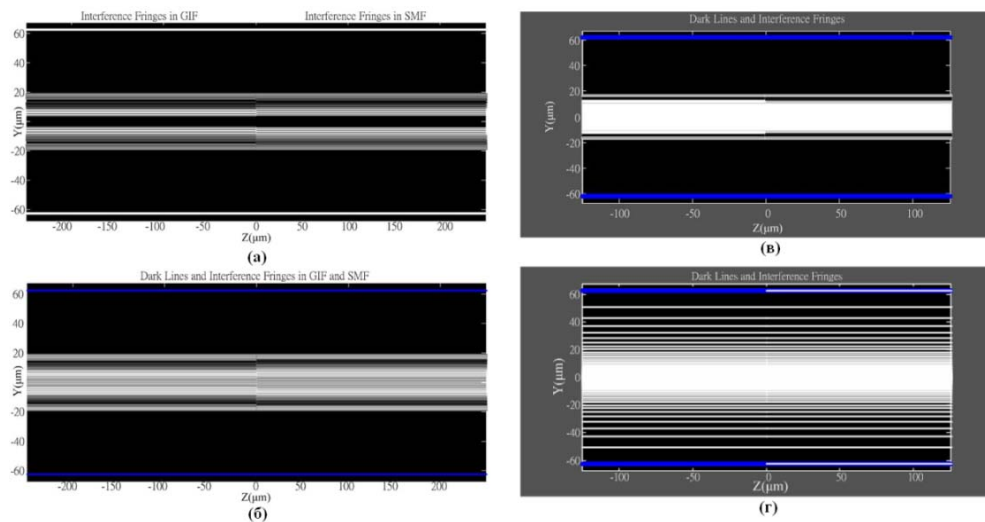


Рис. 1 – Моделі оптичних волокон

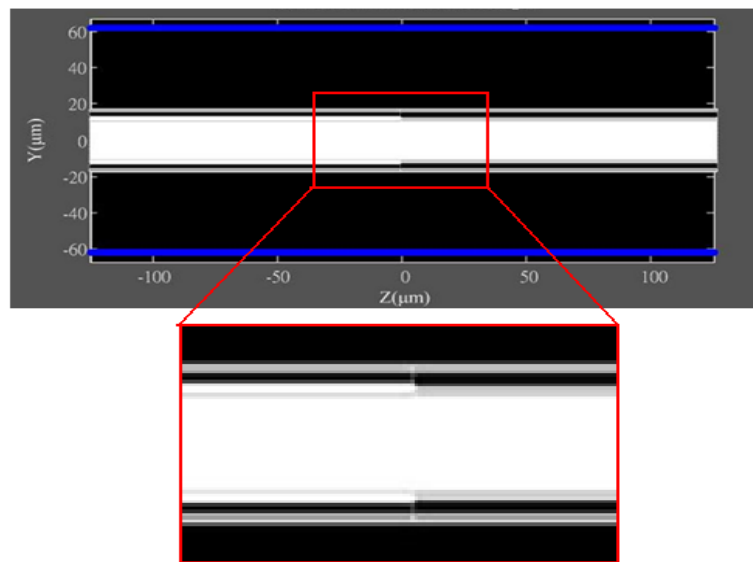


Рис. 2 – Каскадний перехід між двома волокнами.

Обране зображення було дискретизовано за просторовими координатами x та y і квантуванням значення ступені яскравості в кожній дискретній точці.

Дискретизоване зображення представляє собою матрицю чисел

$$I(x, y) = \begin{pmatrix} I_{11} & I_{12} & I_{13} & \dots & I_{1m} \\ I_{21} & I_{22} & \dots & \dots & \dots \\ I_{31} & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ I_{n1} & \dots & \dots & \dots & I_{nm} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де I_{nm} – значення інтенсивності у відповідній точці зображення.

Використовуючи отриману матрицю, інтерференційна картина ОВ була досліджена на наявність зміни типу ОВ. Для цього була написана підпрограма, мета якої визначити на основі даних про яскравість тієї чи іншої частки картини межі типу ОВ [9]. В її основі лежить побудова графіків, які наглядно демонструють положення серцевини ОВ відносно оболонки. Графік залежності оптичної інтенсивності

від поперечної координати інтерференційної картини ОВ першого типу зображена на рис. 3.

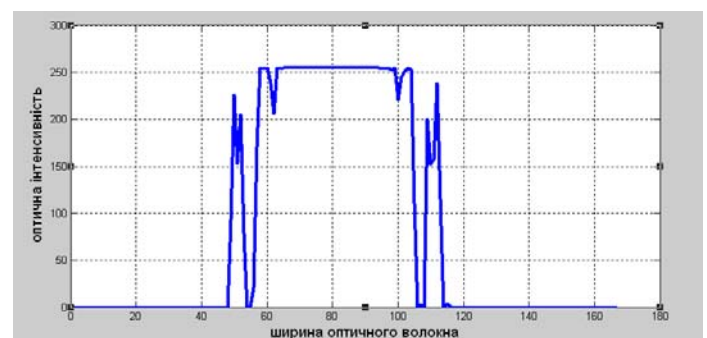


Рис. 3 – Графік залежності оптичної інтенсивності від поперечної координати інтерференційної картини ОВ першого типу

Графік залежності оптичної інтенсивності від ширини ОВ другого типу зображена на рис. 4.

За отриманими графіками визначаються межі стрибків оптичної інтенсивності, в яких знаходиться ОВ, за якими можна визначити координати початку і кінця інтерференційних смуг в ОВ. Це дає змогу,

порівнявши результати, знайти перехід між різнотипними волокнами. Математично це визначається стрибком яскравості, яка визначається за умовою

$$K \geq |d_{i+5} - d_i|, \quad (2)$$

де $K=80$ – коефіцієнт градієнтного переходу; d – ступінь яскравості елемента інтерференційної картини.

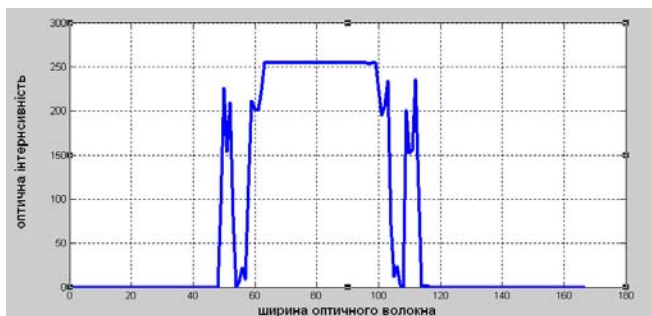


Рис. 4 – Графік залежності оптичної інтенсивності від поперечної координати інтерференційної картини ОВ другого типу

За формулою (2) визначається дві граничні точки, які фактично являються максимальним стрибком інтенсивності інтерференційних смуг ОВ, які в подальшому використовуються для знаходження діаметру волокна та місця переходу між різнотипними волокнами.

Для фільтрації даних від шуму було використано фільтр, який завдяки своєму алгоритму, сканує дані, подані у вигляді графіку і згладжує вірогідні похибки. Це дозволяє з більшою долею вірогідності, порівнюючи результати для двох типів волокон, знайти межі їх з'єднання. Результати роботи фільтру зображені на рис. 5, 6.

Для подальшого вивчення зображення ОВ та визначення положення межі між типами з'єднаних оптичних волокон, було написано підпрограму, яка визначала положення граничних стрибків оптичної інтенсивності відносно середньої лінії ОВ. Дані про зміну верхньої та нижньої границі діаметру сердцевини ОВ зображені на рис. 7.

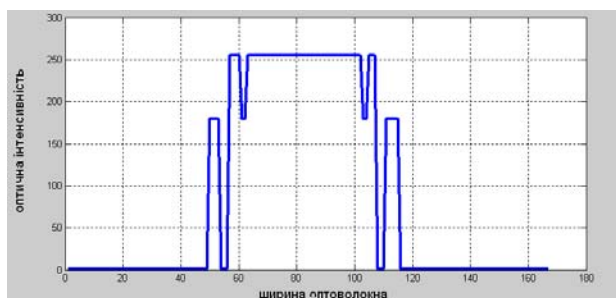


Рис. 5 – Графік залежності оптичної інтенсивності від поперечної координати інтерференційної картини ОВ після фільтрації

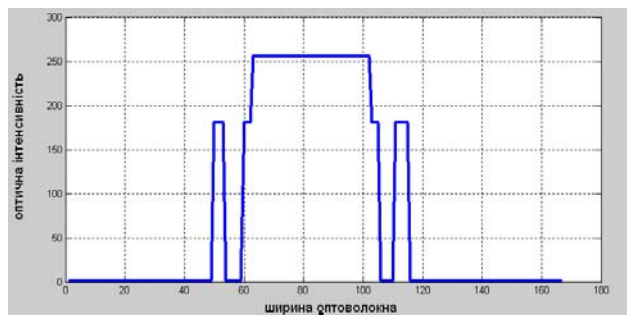


Рис. 6 – Графік залежності оптичної інтенсивності від поперечної координати інтерференційної картини ОВ після фільтрації

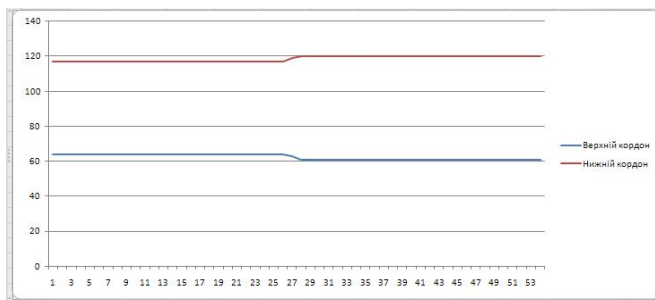


Рис. 7 – Графіки зміни граничної оптичної інтенсивності ОВ відносно довжини ОВ.

Грунтуючись на отриманих даних можна визначити стрибок оптичної інтенсивності за формулою 1, де K – коефіцієнт зміни діаметру ОВ не повинен бути менше 5.

Було проведено моделювання методу, в якому розраховується відстань між крайніми границями оптичної інтенсивності. Для цього розроблено підпрограму, робота якої полягає в визначенні крайньої нижньої та верхньої границь стрибка оптичної інтенсивності та розрахунку відстані між ними. Результат роботи підпрограми зображено на рис. 8.

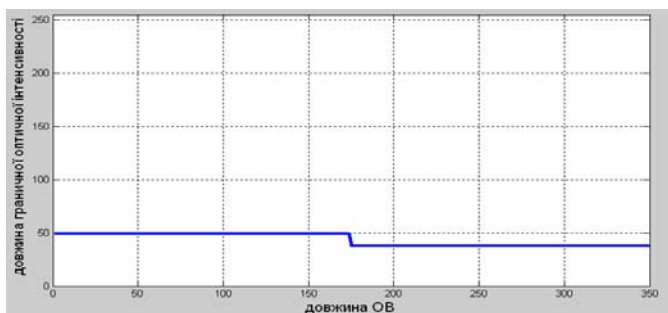


Рис. 8 – Графік залежності відстані між крайніми границями оптичної інтенсивності від довжини ОВ

Грунтуючись на отриманих результатах можна дійти висновку, що метод пошуку межі між двома типами волокон, який ґрунтується на розрахунку відстані між крайніми границями оптичної інтенсивності відповідає поставленій задачі та виконує вимоги в повному обсязі.

Експериментальні дослідження

Запропонований метод контролю для спостереження сполучної площини використовує явище інтерференції. Наступні моделювання і розрахунки дозволяють ідентифікувати місце стику. При 40-мм робочій відстані, яка потрібна сучасним виробництвам, інтерференція світлових променів через волокно істотно збільшується. У таких зображеннях можна спостерігати відмінності між інтерференційними смугами в багатомодових і одномодових волокнах. Інтенсивності і кількості інтерференційних смуг в цих двох секціях волокна будуть різними, що дозволяє визначити місце розташування сполучної площини.

Оскільки зображення, зняте за допомогою контролюючої системи включає вихідну інформацію про зображення і інтерференційну картину, то обидві моделі слід розглядати в один і той же час.

Так як на кількість, положення і інтенсивність інтерференційних смуг можуть впливати розміри волокна, потужність світла і розташування фокальної площини необхідний облік цих трьох факторів для отримання задовільного зображення [10]. Щоб знайти оперативну інформацію про БВ і ОВ ділянках, застосовується програмна і апаратна обробка зображень. Для роботи реальної системи контролю різниця між зображеннями повинна бути досить великою. При довжині хвилі світлового пучка 650 нм і фокальній площині, яка змінюється від 0 до 150 мкм (крок=1 мкм), програма визначає відмінності між ОВ і БВ ділянками в кожній фокальній площині. Гарний результат може бути отриманий, коли фокальна площина знаходиться на відстані $X=60$ мкм. (рис. 9) Цієї інформації достатньо для програми контролю відмінностей на двох ділянках волокна.



Рис. 9 – Результат контролю на відстані фокальної площини $X=60$ мкм

Висновки

1. Були розглянуті різні види неруйнівних методів контролю ОВ, засоби дискретизації та квантування інтерференційних зображень ОВ, основні принципи роботи яких стали основою розробленої програми для автоматичного пошуку місць з'єднань ОВ.

2. Проведено математичне моделювання розробленого методу контролю ОВ.

3. Проведено експериментальне дослідження методу з використанням установки для отримання інтерференційних картин ОВ та розробленого програмно-

го забезпечення, що автоматизує роботу інтерференційного методу пошуку місця зварки двох різнотипних ОВ.

Список литературы: 1. Haibara, T., Monitoring method for axis alignment of single-mode optical fiber and splice-loss estimation [Text] / T. Haibara, M. Matsumoto, T. Tanifuji, and M. Tokuda – Opt. Lett. – 1983. – Vol. 8, No. 4. – P. 235–237. 2. Ohashi, M. Mode coupling at arc-fusion splices in graded-index fibers [Text] / M. Ohashi, K. Kitayama, S. Seikai – IEEE J. Quantum Electron. – 1982. – Vol. QE-18, No. 2. – P. 274–277. 3. Yoda, H. Cascaded GI-fiber chips with a wedge-shaped end for the coupling between an SMF and a high-power LD with large astigmatism [Text] / H. Yoda, T. Endo, and K. Shiraishi – J. Lightw. Technol. – 2002. – Vol. 20, No. 8. – P. 1545–1548. 4. Иванов, А. Б. Волоконная оптика [Текст] / А. Б. Иванов. – М.: Сайрус Системс – 1999 – 658 с. 5. Филипенко, А. И. Контроль геометрических параметров каскадных оптоволоконных структур [Текст] / А. И. Филипенко, Б. А. Малик, Н. П. Селенкова, В. В. Гончар // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №3/5(57). – С. 28–31. 6. Мировицкая, С. Д. Контроль геометрических и оптических параметров волокон [Текст] / С. Д. Мировицкая, Л. П. Лазарев. – М.: Радио и связь, 1988 – 280 с. 7. Филипенко, А. И. Определение геометрических параметров каскадных волокон [Текст] / А. И. Филипенко, Б. А. Малик, Н. П. Селенкова // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2011. – №58. – С. 161–165. 8. Филипенко, А. И. Распределение оптического поля волокон с различным профилем показателя преломления при поперечном освещении [Текст]: / А. И. Филипенко, Б. А. Малик, Н. П. Селенкова // Сборник научных трудов V Международной научной конференции «Функциональная база наноэлектроники» – Харьков–Кацивели, 2012. – С. 243–246. 9. Филипенко, А. И. Использование интерференционных методов контроля при производстве каскадных волокон [Текст] / А. И. Филипенко, Б. А. Малик, Н. П. Селенкова // Материали Другої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми створення електронних засобів промислових автоматизованих систем» – Северодонецьк, 2012 – С. 71–72. 10. Филипенко, О. І. Система интерференционного контроля геометрических параметров каскадных волокон [Текст] / О. І. Филипенко, Б. О. Малик, Н. П. Селенкова // 13-я международная практическая конференция «Современные информационные и электронные технологии» – Одесса, 4–8 июня 2012 г. – С. 212.

Bibliography (transliterated): 1. Haibara, T., Matsumoto, M., Tanifuji, T., Tokuda, M. (1983). Monitoring method for axis alignment of single-mode optical fiber and splice-loss estimation, Opt. Lett, Vol. 8, No. 4, 235–237. 2. Ohashi, M., Kitayama, K., Seikai, S. (1982). Mode coupling at arc-fusion splices in graded-index fibers, IEEE J. Quantum Electron., Vol. QE-18, No. 2, 274–277. 3. Yoda, H., Endo, T., Shiraishi, K. (2002). Cascaded GI-fiber chips with a wedge-shaped end for the coupling between an SMF and a high-power LD with large astigmatism, J. Lightw. Technol., Vol. 20, No. 8, 1545–1548. 4. Ivanov, A. (1999). Volokonnaja optika, Moscow: Sajrus Systems, 658. 5. Filipenko, A., Malyk, B., Selenkova, N., Gonchar, V. (2012). Kontrol' geometricheskikh parametrov kaskadnykh optovolokonnykh struktur, Vostochno-Evropeskij zhurnal peredovykh tehnologij, №3/5(57), 28–31. 6. Mirovickaja, C., Lazarev, L. (1988). Kontrol' geometricheskikh i opticheskikh parametrov volokon. Moscow: Radio i svjaz', 280. 7. Filipenko, A., Malyk, B., Selenkova, N. (2011). Opredelenie geometricheskikh parametrov kaskadnykh volokon, Vestnik nacional'nogo tehnicheskogo universiteta «HPI», №58, 161–165. 8. Filipenko, A., Malyk, B., Selenkova, N. (2012). Raspreделение opticheskogo polja volokon s razlichnym profilem pokazatelja prelomlenija pri poperechnom osvshhenii. Sbornik nauchnykh trudov V Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «Funkcional'naja baza nanojelektroniki», Kharkiv – Katsiveli, 243–246. 9. Filipenko, A., Malyk, B., Selenkova, N. (2012). Ispol'zovanie interferencionnykh metodov kontrolja pri proizvodstve kaskadnykh volokon. Materiali Drugoi Vseukrains'koj naukovopraktichnoj konferencii «Aktual'ni problemi stvorenija elektronnykh zasobiv promislivih avtomatizovanih sistem», Severodonetsk, 71–72. 10. Filipenko, A., Malyk, B., Selenkova, N. (2012). Sistema interferencionnogo kontrolja geometricheskikh parametrov kaskadnykh volokon. 13-ja mezhdunarodnaja prakticheskaja konferencija «Sovremennye informacionnye i jelektronnye tehnologii», Odessa, 212.

Надійшла (received) 20. 12. 2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Малик Борис Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, кафедра технологии и автоматизации производства радиоэлектронных и электронно–вычислительных средств, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166, e-mail: borys.malyk@nure.ua.

Селенкова Наталья Павловна – аспирант, кафедра технологии и автоматизации производства радиоэлектронных и электронно–вычислительных средств, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166, e-mail: nata-selenkova@yandex.ua.

УДК 65.014; 658.012.32

Е. И. ШОСТАК**ФОРМИРОВАНИЕ КОМАНД ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОЕКТОВ НА ИННОВАЦИОННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭКСПЕРТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ СЦЕНАРИЕВ**

Описан подход к формированию команд исполнителей высокотехнологичных проектов, направленный на снижение в процессе реализации будущего проекта неопределенности, связанной с установлением соответствия между задачами проекта, имеющими инновационный характер, и уровнем компетентности потенциальных исполнителей. Ключевыми этапами подхода являются: формирование базы претендентов на участие в проекте; оценивание компетентности претендентов; формирование альтернативных вариантов состава команды проекта; анализ альтернатив с помощью сценарных методов коллективного экспертного оценивания; выбор рационального варианта команды исполнителей проекта. Приведена методика расчета эффективности применения подхода в процессе разработки высокотехнологичных проектов.

Ключевые слова: высокотехнологичный проект, инновационное предприятие, команда исполнителей проекта, экспертное оценивание сценариев.

Введение. Современный этап научно–технического прогресса характеризуется увеличением доли в общей массе разрабатываемых и реализуемых проектов таких, которые принято называть высокотехнологичными – то есть связанными с созданием наукоемких продуктов и услуг [1]. При этом ведущими направлениями в «высоких технологиях» являются нано–, био–, информационные и когнитивные технологии, а также те, которые сформировались в результате конвергенции указанных направлений [2]. Высокотехнологичные проекты выполняются, как правило, на инновационных предприятиях. Предприятие принято считать инновационным, если не менее 70 % его продукции или услуг (в денежном выражении) являются инновационными [3]. В этих условиях весьма актуальной стала задача формирования, с одной стороны, такой команды исполнителей высокотехнологичных проектов (ВТП), уровень компетентности которых даст возможность обеспечить эффективное выполнение ВТП, а с другой – рациональное распределение человеческих ресурсов с целью эффективной реализации портфеля проектов в рамках инновационного предприятия или организации.

Специфика ВТП [1] обуславливает необходимость использования при отборе претендентов на включение в команду проекта ряда специальных методов, базирующихся на принципах компетентностного подхода (competence–based approach). В последние годы за рубежом и в Украине появилось значительное количество публикаций, посвященных проблеме повышения эффективности процессов, обеспечивающих формирование команд исполнителей ВТП на основе компетентностного подхода [4–6]. В этих публикациях рассматриваются, главным образом, вопросы формирования ключевых компетенций сотрудников, а также возможности обеспечения кадрового резерва на высокотехнологических предприятиях. Наряду с этим, до настоящего времени не проведено

исследований в направлении повышения эффективности процессов обеспечения необходимого и достаточного уровня компетентности исполнителей ВТП. Решение данной проблемы невозможно без объективного учета различных точек зрения специалистов–экспертов, знания и опыт которых возникли в результате многолетней практической работы по организации и выполнению ВТП на инновационных предприятиях (ИП). Указанное обстоятельство определяет необходимость дополнения существующей методики формирования команд исполнителей ВТП особыми этапами, на которых будет производиться сбор экспертной информации, её анализ и обработка с целью повышения объективности принимаемых решений по отбору претендентов на включение в команду ВТП, и непосредственно формирование команды исполнителей. Экспертное оценивание в данном случае сопряжено с многокритериальностью, а также многоальтернативностью, необходимостью учета несовпадающих, а иногда и противоречивых экспертных суждений, что является прямым следствием наличия так называемых НЕ–факторов (неопределенность, неполнота, неточность, нечёткость) [7]. Снижение влияния НЕ–факторов на объективность экспертного оценивания возможно путём применения при ранжировании и кластеризации экспертных оценок специальных теорий, а именно нечёткой логики [8], теории свидетельств Демпстера – Шейфера [9], теории правдоподобных и парадоксальных рассуждений Дезера – Смарандаке [10], а также теории грубых множеств [11].

Цель статьи состоит в изложении подхода к формированию команды ВТП на инновационных предприятиях с применением технологий коллективного экспертного оценивания сценариев.

Общая характеристика проблемы. На содержательном уровне задача формирования команды исполнителей ВТП на ИП сводится к определению ком

пактного множества альтернативных вариантов состава команд, участники которых обоснованно выбраны по критериям: компетентности; коммуникабельности; результативности; креативности и другим. При этом должны быть учтены ограничения на загруженность каждого участника при выполнении портфеля проектов на временном периоде, соответствующем портфелю стратегий ИП.

Формальная постановка изложенной выше задачи предполагает описание следующих исходных данных [12]: портфеля проектов ИП P_T , для временного интервала $T = [t_3, t_k]$, представляющего собой множество линейно упорядоченных отношением " \leq " интервалов времени τ , $T = \{\tau\}, \leq \tau \in [t_3, t_k]$, причём начальный момент t_3 соответствует моменту запуска самого раннего из незавершенных к настоящему времени проектов, а T_k – конечной дате, до которой определен портфель стратегий ИП

$$P_T = \{g(\tau_i)\}, \tau_i = [t_i^{(1)}, t_i^{(2)}], i \in \Omega_i, \quad (1)$$

где $g(\tau_i)$ – i -я программа в портфеле проектов P_T , $t_i^{(1)}$ и $t_i^{(2)}$ соответственно моменты начала и завершения i -ой программы, Ω_i – множество номеров интервалов времени τ_i ; в соответствии с требованиями РМІ [13], портфель проектов P_T включает, в качестве объектов меньшего масштаба, проекты P и задачи z , при этом выполняются следующие условия

$$\forall g(\tau_i) | (g(\tau_i) \in P^T) \exists \{p^{(i)}(\tau_j)\}, i \in \Omega_i, j \in \Omega_j, \quad (2)$$

$$\forall p^{(i)}(\tau_j) | (p^{(i)}(\tau_j) \in g(\tau_i)) \exists \{z^{(j)}(\tau_k)\}, i \in \Omega_i, j \in \Omega_j, k \in \Omega_k, \quad (3)$$

где $p^{(i)}(\tau_j)$ – проекты, входящие в состав i -ой программы, $z^{(j)}(\tau_k)$ – задачи в составе j -го проекта, Ω_k – множество номеров интервалов времени реализации задач, составляющих k -ый проект.

Будем относить к исполнителям ВТП лишь работников, составляющих производственный персонал ИП и обозначим его как множество $M^{(П)}$. В этом случае $M^{(П)}$ будет содержаться в $M^{(К)}$, $M^{(П)} \subset M^{(К)}$, где $M^{(К)}$ – кадровый состав ИП, причём $M^{(К)} \supset M^{(А)} \cup M^{(П)} \cup M^{(В)}$, $(M^{(А)} \cap M^{(П)} \cap M^{(В)}) = \emptyset$. Здесь $M^{(А)}$ – административно-управляющий персонал ИП, а $M^{(В)}$ – вспомогательный персонал ИП.

Используя введенные обозначения, задача формирования команды исполнителей ВТП может быть представлена в форме кортежа

$$S = \langle G_{p^{(i)}}^f, \Delta, \rho, \chi \rangle, \quad (4)$$

где $G_{p^{(i)}}^f$ – множество допустимых альтернативных вариантов состава команд исполнителей проекта $p^{(i)}$, $f = \overline{1, N}$ – количество вариантов, Δ – множество неопределенностей (возмущений),

$\rho, \rho : G_{p^{(i)}}^f \times \Delta \rightarrow E$, (E – множество оценок) – функция затрат на формирование команды проекта, χ – функция допустимости существования команды проекта, $\chi : \Delta \rightarrow E$.

Проблема принятия решения в данном случае сводится к выбору допустимого варианта команды проекта $\tilde{g} \in G_{p^{(i)}}^f$ такого, что

$$(\forall \omega_l | \omega_l \in \Delta, l \in \Omega_l) \exists (\rho(\tilde{g}, \omega_l) \leq \chi(\omega_l)), \quad (5)$$

где Ω_l – множество коэффициентов неопределенностей, представленных в Δ .

Для представления процесса формирования вариантов команд исполнителей ВТП в динамике, необходимо рассматривать проекцию множества $G_{p^{(i)}}^f$,

$G_{p^{(i)}}^f \subseteq M^{(П)}$ на множество $T = [t_3, t_k]$:

$$(G_{p^{(i)}}^f \subseteq M^{(П)}) \times T : \{G_{p^{(i)}}^f\} \wedge (P_T(G_{p^{(i)}}^f) = \{\tau\} \subseteq T). \quad (6)$$

Под проекцией $P_T(G_{p^{(i)}}^f)$ здесь понимается множество тех элементов из $T = [t_3, t_k]$, которые могут быть сюръективно отображены из $M^{(П)}$ в $T = [t_3, t_k]$ [14].

В практике формирования команд исполнителей ВТП наиболее проблематичным является снижение уровня неопределенности Δ при оценивании (то есть получении конкретных значений E) для каждого претендента $m_S \in M^{(П)}$, $S = \overline{1, N}$ на включение в команду проекта $G_{p^{(i)}}^f$. При этом E должно включать

в себя совокупность показателей $E \supset E^{(ЛЧ)} \cup E^{(КМ)} \cup E^{(КП)}$, характеризующих личностные качества $E^{(ЛЧ)}$ (в первую очередь, компетентность) претендента на включение в формируемую команду проекта $\tilde{g} \in G_{p^{(i)}}^f$, его способность к работе в команде (коммуникабельность, предыдущий опыт такой работы) $E^{(КМ)}$, а также целесообразность такого включения (непосредственно зависит от стратегии организации и ряда факторов внешнего характера) $E^{(КП)}$. Суть проблемы состоит в невозможности аналитического представления функций ρ и χ , а значит и в невозможности применения в данном случае численных методов.

Выходом из описанной ситуации является разработка специального подхода, в основу которого будут положены эмпирические и эвристические методы обработки информации, собранной от коллектива экспертов. При этом для оценивания $E^{(ЛЧ)}$ целесообразно использовать инструментарий, существующий в рамках компетентностного подхода [4–6]; оценка $E^{(КМ)}$ может быть получена путём анализа набора альтернативных вариантов команд ВТП $G_{p^{(i)}}^f$ средствами нечёткой логики [15]; для оценивания же $P_T(G_{p^{(i)}}^f)$, то есть целесообразности того или иного варианта команды с учетом портфеля проектов P_T организации, эффективным представляется использова-

ние обоймы методов агрегирования оценок отдельных представителей экспертной группы [9–11]. На рис. 1 в нотации IDEF3 [16] представлена процессная декомпозиция процедуры формирования команды проекта на основе технологий коллективного экспертного оценивания.

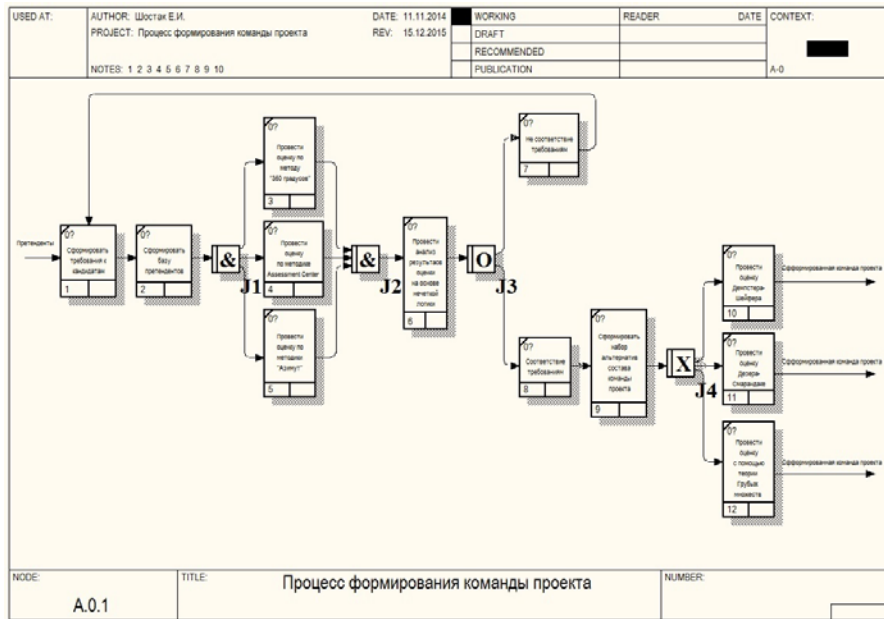


Рис. 1 – Процесс формирования команды ВТП

Оценивание претендентов на включение в команду ВТП на основе компетентностного подхода. Анализ современных исследований в области компетентностного подхода показал, что наиболее перспективными методами оценки компетенций в современных системах является метод «360 градусов», метод Assessment Center и методика «Азимут».

Метод «360 градусов» [17] дает возможность оценить сотрудника компании на основе его поведения в реальных рабочих ситуациях и проявленных им деловых качеств. Данные для оценки получают путем опроса самого сотрудника, его непосредственного руководителя, коллег, подчинённых, а в отдельных случаях и клиентов оцениваемого.

Основная цель обратной связи данного метода – предоставить сотруднику систематизированную информацию об оценке уровня развития компетенций. Преимущества использования этой системы состоят в том, что сотрудник может сравнить свою самооценку компетенций с тем, как другие люди, работающие с ним, оценивают его компетенции и его поведение.

Наиболее эффективно использовать метод «360 градусов» для выявления потребностей в обучении и создания индивидуальных планов развития. Диаграмма в индивидуальном отчете наглядно представляет результаты оценки сотрудника по компетенциям, и позволяет сравнить мнение окружаю-

щих с его самооценкой, что представлено на рис. 2.

В отличие от метода «360 градусов» Assessment Center предполагает комплексную оценку сотрудника по компетенциям. Данная процедура чаще всего включает: интервью с экспертом, в ходе которого собираются данные о знаниях и опыте сотрудника; психологические,

профессиональные тесты; краткую презентацию участника перед экспертами и другими участниками; деловую игру; биографическое анкетирование; описание профессиональных достижений; индивидуальный анализ конкретных ситуаций (бизнес-кейсов); экспертное наблюдение, по результатам которого составляются рекомендации для каждого сотрудника.

Метод Assessment Center не является самодостаточным, так как не предусматривает построение модели компетенций специалистов. Данный метод можно использовать только с точки зрения применения различного

вида психофизиологических, либо профессиональных опросников. Личностные опросники считаются одним из наиболее эффективных методов исследования личности, в связи с чем достаточно широко используются в процедурах оценки персонала во всём мире. В то же время именно в этой области практической психологии в связи с личностными опросниками особенно остро встаёт вопрос их валидности. Как правило, на практике современных компаний, HR-менеджеры используют либо опросники, не ориентированные непосредственно на бизнес-среду, либо переводные методики, не адаптированные к применению на внутреннем рынке.

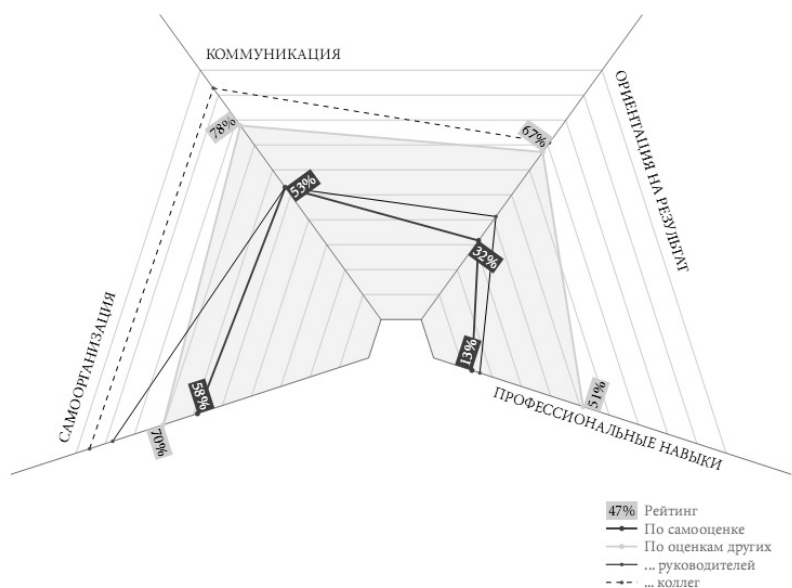


Рис. 2 – Диаграмма оценки сотрудника по компетенциям

Что касается методики «Азимут», то она основана на построении социальной сети компании и позволяет выявить формальные и неформальные связи между сотрудниками, установить проблемы в обмене информацией и в рабочем процессе, увидеть «карту рабочих взаимодействий», установить неформальных лидеров в коллективе, померить степень доверия сотрудников друг к другу, а также получить рекомендации по оптимизации рабочего взаимодействия. Это «быстрая методика». Небольшое количество вопросов позволяет сотрудникам пройти ее очень быстро, затратив минимум рабочего времени. За основу взяты технологии адаптивного тестирования, когда постановка следующего вопроса для участника оценки зависит от его ответов на предыдущие вопросы. Надежность данной методики определяется симметрией в вопросах. Если кто-то из сотрудников пропустил работу с методикой, «Азимут» все равно может сделать выводы о нем на основе ответов его коллег. В действительности приемлемой надежности результатов можно достичь, если «Азимут» пройдут хотя бы две трети сотрудников компании. Информация для оценки собирается на основе ответов сотрудников о рабочем взаимодействии друг с другом его интенсивности, эффективности, доступности коллег и их взаимной востребованности.

Эгоцентрическая схема строится для каждого сотрудника, проанализировав которую, можно построить рейтинги по компетенциям, кадровый резерв, совместимость, ключевые узлы соцсети, проблемы взаимодействий, поиск лидеров, дистанционную оценку.

Современные средства оценки компетенций специалистов стараются интегрировать и сочетать инновационные методики компетентностного подхода, для достижения максимальной полноты и объективности оценки.

Анализ базы претендентов на включение в команду ВТП средствами нечеткой логики

В результате применения методов оценивания компетентности претендентов на включение в команду ВТП, были получены профили компетентности каждого претендента в виде функции [18]:

$$f(\bar{b}) = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot b_i, \quad (7)$$

где n – количество компетенций, необходимых при реализации рассматриваемого ВТП; b_i – уровень i -той компетенции (степень владения i -той компетенцией); ω_i – вес i -той компетенции; $t \in [1, T]$ – момент оценивания претендента на временном интервале, соответствующему портфелю проектов ИП.

При этом вес i -той компетенции выражает её относительную значимость, и задаётся в диапазоне от 0 до 1:

$$0 \leq \sum_{i=1}^n \omega_i \leq 1, i = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Понятие компетенции и её вес, вследствие субъективности, присущей компетентностному подходу, которая проявляется в приблизительном характере умозаключений экспертов и лингвистической природе даваемых ими оценок, является нечётким. Указанное

обстоятельство обуславливает целесообразность применения для анализа результатов, полученных путём использования компетентностного подхода к оцениванию претендентов на включение в состав команды ВТП, теории нечётких множеств [19].

Рассмотрим вариант реализации данного этапа формирования команды ВТП в форме процесса, исходными данными для которого служат функции компетентности каждого претендента $f(\bar{b})$, полученные в ходе последовательного применения базовых методов, применяемых в компетентностном подходе: «360 градусов» (b_1); «Assesment Center» (b_2); «Азимут» (b_3). При этом имеет место $\bar{b} = b_1 \wedge b_2 \wedge b_3$.

В качестве основных параметров, в ходе анализа выступают значения уровней компетенции $b_i^{(H)}$ и $b_i^{(B)}$. На выходе процесса для каждого претендента на включение в команду ВТП формируется значение C (соответствие требованиям), либо \bar{C} (не соответствие требованиям).

Параметры процесса \bar{b} , $b_i^{(H)}$ и $b_i^{(B)}$ будем рассматривать как лингвистические переменные. Как известно [19], лингвистическая переменная описывается набором (X, T, U, G, M) , где X – название переменной, T – множество лингвистических значений X (терм-множество переменной X), причём каждое из таких значений является, в свою очередь, нечёткой переменной X со значениями из универсума U , содержащего базовую переменную u ; G – синтаксическое правило, порождающее названия каждого значения переменной X ; M – семантическое правило, которое ставит в соответствие каждому значению нечёткой переменной X его смысл $M(X)$. При этом конкретное название X , порождённое синтаксическим правилом G , называется термом.

Набор семантических правил M определяется как некоторое отображение множества X , порождаемое функцией принадлежности $\mu_M(X)$, принимающей значения из интервала $[0, 1]$:

$$M = \int_{x \in X} \mu_M(X) / X, \quad (9)$$

где $\mu_M : X \rightarrow [0, 1]$ – функция принадлежности.

Изложенные выше теоретические положения дают возможность построения специального метода нечёткого анализа результатов применения компетентностного подхода к оцениванию уровня компетентности претендентов на включение в команду ВТП. В обобщённом виде метод включает следующие шаги:

1. Формирование терм-множеств для входных параметров \bar{b} , $b_i^{(H)}$ и $b_i^{(B)}$, а также выходных параметров C и \bar{C} .

2. Построение для каждого термина, из сформированных на предыдущем шаге терм-множеств, нечёткого множества M со своим носителем. При этом под носителем нечёткого множества [19] принято понимать множество X' , такое, что

$$X' = \{x \mid \mu_M(x) > 0, x \in X'\}. \quad (10)$$

3. Определение набора правил нечёткого анализа. Правила имеют вид высказываний «ЕСЛИ $P = Q$, ТО $R = Z$ », где P, R – лингвистические переменные; Q, Z – термы соответствующих лингвистических переменных.

4. Построение, с использованием правил, определённых на шаге 3, матриц нечётких отношений вида

$$\begin{aligned} R^{(1)} &= \int_{(x,y) \in X \times Y} \mu_{R^{(1)}}(x,y) / (x,y), \\ R^{(2)} &= \int_{(x,z) \in X \times Z} \mu_{R^{(2)}}(x,z) / (x,z), \\ R^{(3)} &= \int_{(y,z) \in Y \times Z} \mu_{R^{(3)}}(y,z) / (y,z), \end{aligned} \quad (11)$$

при этом X, Y и Z – лингвистические переменные оценок уровня компетентности претендента на включение в команду ВТП, полученные методами «360 градусов»; «Assesment Center» и «Азимут» соответственно.

5. Объединение матриц нечётких отношений на основе правила

$$\mu_R = \max(\mu_{R^{(1)}}, \dots, \mu_{R^{(3)}}). \quad (12)$$

6. Получение итогового заключения о соответствии (C), либо не соответствии (\bar{C}) уровня компетентности данного претендента требованиям ВТП. Здесь уместно использование одного из известных в нечёткой математике композиционных правил логического вывода, например, правил Заде, Мамдани или Мидзумото [15].

В частности, правило Заде является на сегодняшний момент самым популярным, его вид:

$$R(u) = A, R(u,v) = F, \quad (13)$$

причем $R(v) = A \circ F$,

где \circ – знак композиции. При этом функция принадлежности определяется как

$$\mu_R(v) = \max[\min(\mu_R(u), \mu_R(u,v))]. \quad (14)$$

Экспертный анализ альтернативных вариантов команды ВТП с учетом портфеля проектов ИП

Эффективность процесса коллективного экспертного оценивания альтернатив команды ВТП, сформированных на предыдущем этапе, напрямую зависит от компактности представления результата для утверждения лицом, принимающим решения (ЛПР) окончательного состава исполнителей ВТП. На практике это означает, что наилучшим вариантом является получение единственного, наилучшего состава команды. Такой случай теоретически возможен, однако зачастую приходится иметь дело с несколькими вариантами, в процессе анализа которых принято тем или иным способом усреднять оценки отдельных экспертов [20].

Получение усредненной оценки уместно лишь в условиях достаточно высокой согласованности (близости) оценок коллектива экспертов. Анализ публикаций [21–24] показал, что реализация коллективного

экспертного оценивания порождает один из трёх исходов:

1) близость оценок отдельных экспертов даёт возможность рассматривать коллектив экспертов (экспертную комиссию) как единую группу;

2) экспертная комиссия распадается на относительно небольшое количество кластеров, внутри которых оценки близки;

3) состав экспертной комиссии в результате опроса декомпозирован на большое число подгрупп с относительно немногочисленным составом каждой.

В первом из перечисленных выше случаев допустимо усреднение в той или иной форме оценок отдельных экспертов.

Второй и третий случаи предполагают выделение в составе комиссии «типов» экспертов, кардинально различных по своим оценкам. В этих случаях необходимо осуществить разбиение состава экспертной комиссии на подгруппы в соответствии с «типом» входящих в них экспертов и дать характеристику каждой подгруппы. Следующим этапом является усреднение экспертных оценок внутри каждой подгруппы. В результате для принятия окончательного решения о наилучшем варианте состава ВТП лицу, принимающему решения (ЛПР) будет в компактной и наглядной форме представлена информация о средних оценках в каждой подгруппе экспертов, вместе с содержательной характеристикой каждой из подгрупп. Такой подход даёт возможность учёта в принятом решении предпочтений ЛПР (топ менеджера или HR-менеджера) относительно той или иной подгруппы.

Задача кластеризации экспертной комиссии на формальном уровне может быть представлена следующим образом:

$$\begin{aligned} E &= \{e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_n\} \Rightarrow \{E_1\}, \{E_2\}, \dots, \{E_j\}, \dots, \{E_m\}, \\ E &\supset E_1 \cup E_2 \cup \dots \cup E_j \cup \dots \cup E_m, \\ E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_j \cap \dots \cap E_m &= \emptyset, \end{aligned} \quad (15)$$

где: $e_i, i = \overline{1, n}$ – значения экспертных оценок альтернативных вариантов состава команд ВТП, n – общее число оценок; $\{E_j\} = \{e_1, \dots, e_k\}$ – j -й кластер, содержащий элементы $\{e_1, \dots, e_k\}$; $n \geq k \geq 2$ – количество элементов в j -том кластере; $j = \overline{1, m}$ – число кластеров.

Традиционным методом решения описанной задачи является оценка медианы [24]. При этом исходная совокупность экспертных оценок $E = \{e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_n\}$ представляется в одной из двух форм вариационного ряда: $e_{(1)} \geq e_{(2)} \geq \dots \geq e_{(i)} \geq \dots \geq e_{(n)}$ или $e_{(1)} \leq e_{(2)} \leq \dots \leq e_{(i)} \leq \dots \leq e_{(n)}$.

Оценка медианы производится по правилу:

$$e_{med}(n) = \begin{cases} e_{(n+1/2)}, & \text{если } n \text{ нечетно} \\ (e_{(n/2)} + e_{(n+1/2)})/2, & \text{если } n \text{ четно} \end{cases} \quad (16)$$

Проблема состоит в том, что оценка медианы «отсекает» выделяющиеся из общего ряда оценки, однако эта же особенность обеспечивает и робастность оценивания, определяя её устойчивость по отношению к оценкам, данным экспертами – «диссидентами».

Исходя из указанного выше обстоятельства, на практике более эффективным оказывается ранжирование экспертных оценок.

Формально, задача ранжирования экспертных оценок может быть представлена в следующем виде.

Пусть имеется n альтернатив $S_i, i = \overline{1, n}$. Тогда может быть сформирована последовательность:

$$\{S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n\} \Rightarrow \{S_1 \succ S_2 \succ \dots \succ S_i \succ \dots \succ S_n\} \vee \{S_1 \succ S_2 \sim S_3 \succ \dots \succ S_i \sim S_{i+1} \succ \dots \succ S_n\}. \quad (17)$$

В приведенной записи знаки « \succ » и « \sim », а также « \sim » означают предпочтение и эквивалентность соответственно; $\{S_1 \succ S_2 \succ \dots \succ S_i \succ \dots \succ S_n\}$ представляет собой строгую, а

$\{S_1 \succ S_2 \sim S_3 \succ \dots \succ S_i \sim S_{i+1} \succ \dots \succ S_n\}$ – нестрогую ранжировку.

При этом наличие в последовательности знака « \sim » свидетельствует о существовании кластеров.

К настоящему времени разработано и используется на практике большое количество методов ранжирования и выбора наилучших альтернатив [20, 24, 25]. Наиболее популярным, в условиях многокритериальности, является метод анализа иерархий [26], однако лежащая в его основе процедура попарного сравнения альтернатив порождает ряд органических недостатков, которые непосредственным образом влияют на эффективность метода экспертного оценивания [24].

Повышение эффективности процесса оценивания альтернатив, в частности, в задаче рационального выбора команды исполнителей ВТП, следует ожидать от использования таких методов снижения уровня неопределенности в процессе формирования решений для ЛПР, как теория свидетельств Демпстера–Шейфера [9], теория правдоподобных и парадоксальных рассуждений Дезера–Смарандаке [10], а также теория грубых множеств [11].

Особенности расчета эффективности от внедрения подхода к формированию ВТП на основе коллективного экспертного оценивания

Для определения точности (эффективности) итоговой оценки вариантов состава ВТП может быть применен подход, в основе которого лежит расчет так называемого «усеченного среднего», то есть показателя, характеризующего качество структурирования и последующей агрегации оценок, данных членами экспертной комиссии. В работе [24] предложена оценка, которая названа авторами стандартной ошибкой усеченного среднего

$$e_{T(\alpha)} = \sqrt{\frac{SS(\alpha)}{(n-2g)(n-2g-1)}} \quad (18)$$

где n – объем оцениваемой выборки данных; значение g определяется из соотношения $g=[an]$; $[an]$ – наибольшее целое среди значений выборки; $SS(\alpha)$ – сумма квадратов отклонений [27]:

$$SS(\alpha) = (g+1)(x_{(g+1)} - T(\alpha))^2 + \sum_{i=g+2}^{n-g-1} (x_{(i)} - T(\alpha))^2 + (g+1)(x_{(n-g)} - T(\alpha))^2. \quad (19)$$

Стандартная ошибка усеченного среднего в случае $T(\alpha = 0.5) = med$, когда в качестве стабильного аналога выборочной средней принята выборочная медиана [27] имеет вид:

$$e_{med} = 1,25 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (20)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение, которое рассчитывается по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - T(0))^2}. \quad (21)$$

Стандартная ошибка усеченного среднего в случае несимметричного усечения оценивается величиной

$$e_{T(\alpha_L, \alpha_U)} = \sqrt{\frac{SS(\alpha_L, \alpha_U)}{(n-g_1-g_2)(n-g_1-g_2-1)}}. \quad (22)$$

Соответственно сумма квадратов отклонений имеет вид [26]:

$$SS(\alpha_L, \alpha_U) = (g_1+1)(x_{(g_1+1)} - T(\alpha))^2 + \sum_{i=g_1+2}^{n-g_2-1} (x_{(i)} - T(\alpha))^2 + (g_2+1)(x_{(n-g_2)} - T(\alpha))^2 - \frac{\{(g_1)(x_{(g_1+1)} - T(\alpha)) + (g_2)(x_{(n-g_2)} - T(\alpha))\}^2}{n}, \quad (23)$$

где $g_1 = [\alpha_L n]$, $g_2 = [\alpha_U n]$.

Особенность рассматриваемого подхода к расчету эффективности работы экспертной комиссии по формированию состава команды ВТП состоит в том, что стандартная ошибка усеченного среднего, измеряемая в тех же единицах, что и среднеквадратическое отклонение, зависит от объема оцениваемой выборки данных (чем больше объем выборки, тем меньше стандартная ошибка). Таким образом, чем меньше значение имеет стандартная ошибка, тем более эффективной и точной считается полученная оценка усеченной выборочной средней, а значит и качество коллективного экспертного оценивания.

Дальнейшие исследования процессов планирования и реализации высокотехнологичных проектов на инновационных предприятиях предполагается проводить в направлении разработки аналитических моделей поддержки жизненного цикла ВТП [28], а так же применения средств искусственного интеллекта для создания информационной среды реализации высокотехнологичных проектов на инновационных предприятиях [29].

Выводы.

1. Описан подход к формированию команд исполнителей высокотехнологичных проектов, направленный на снижение в процессе реализации будущего проекта неопределенности, связанной с установлением соответствия между задачами проекта, имеющими инновационный характер, и уровнем компетентности потенциальных исполнителей.

2. Изложены содержательная и формальная постановки задачи нечёткого анализа базы претендентов на включение в команду ВТП, что даёт возможность гармо-

низировать для каждого претендента оценки, полученные различными методами оценивания компетентности.

3. Показана возможность применения сценарных методов коллективного экспертного оценивания при анализе альтернативных вариантов состава исполнителей ВТП с целью рационального выбора команды проекта.

4. Рассмотрены особенности расчета эффективности работы экспертной комиссии по формированию команды исполнителей ВТП. Предложено в качестве показателя качества процесса коллективного экспертного оценивания использовать значение усеченной выборочной средней, поскольку эта величина достаточно полно характеризует уровень структуризации и последующего агрегирования оценок отдельных экспертов.

Список литературы: 1. Баранов, М. Н. Развитие и государственная поддержка малого инновационного предпринимательства в научно-технической сфере: монография [Текст] / М. Н. Баранов, Л. В. Саакова, А. Д. Шматко. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2011. – 131 с. 2. Кизим, М. О. Перспективы розвитку інформаційно-комунікаційних технологій і штучного інтелекту в економіках країн світу та України: монографія [Текст] / М. О. Кизим, І. Ю. Матюшенко, І. В. Шостак. – Х.: ВД «ІН-ЖЕК», 2012. – 492 с. 3. Гавва, В. Н. Оценка потенциала предприятия и отрасли: монография [Текст] / В. Н. Гавва. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2004. – 287 с. 4. Жилина, А. И. Эталонная модель профессиональной компетентности менеджера (руководителя) [Текст] / А. И. Жилина. – СПб.: ИОВ РАО, 2002. – 228 с. 5. Завгородняя, А. Управление знаниями в организации [Текст] / А. Завгородняя // Новые знания. – 2001. – №1. – С. 28–30. 6. Зимняя, И. А. Ключевые компетенции – новая парадигма результата образования [Текст] / И. А. Зимняя // Высшее образование сегодня. – 2003. – №5. С. 34–42. 7. Асаи, К. Прикладные нечеткие системы: монография [Текст] / К. Асаи, Д. Вабата, С. Иваи и др.; пер. с япон. – М.: Мир, 1993. – 392 с. 8. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление [Текст] / А. Пегат; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с. 9. Shafer, G. A mathematical theory of evidence [Text] / G. Shafer. – Princeton University Press, Princeton, 1976. – 297 p. 10. Smarandache, F. (Editors), Applications and Advances of DSmT for Information Fusion [Text] / F. Smarandache, J. Dezert // Collected Works, American Research Press, Rehoboth, 2004. – 473 p. 11. Коваленко, И. И. Некоторые прикладные задачи теории грубых множеств [Текст] / И. И. Коваленко, А. В. Швед // Вестник ХНТУ. – 2012. – №1(44). – С. 7–14. 12. Куратовский, К. Теория множеств [Текст] / К. Куратовский, А. Мостовский. – М., «Мир», 1970, 416 с. 13. Режим доступа: www.pmi.org.ua. 14. Шварц, Л. Анализ [Текст] / Л. Шварц; пер. франц., Том.1. – М., «Мир», 1972. – 824 с. 15. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление [Текст] / А. Пегат; пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 798 с. 16. Маклаков, С. В. BPWin и ERWin. CASE-средства разработки информационных систем [Текст] / С. В. Маклаков. – М.: ДИАЛОГ – МИФИ, 1999. – 256 с. 17. Сластенин, В. А. Педагогика: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений [Текст] / В. А. Сластенин, И. Ф. Исаев, Е. Н. Шиянов. – М.: Изд. центр "Академия", 2002. – 576 с. 18. Стрельчук, Е. А. Сравнительный анализ методов определения уровней компетенций ИТ специалистов в системах оценки персонала [Текст] / Е. А. Стрельчук // Системы управления, навигации та зв'язку: Збірник наукових праць Центр науково-дослідного інституту навігації і управління. – 2010. – Вип. 1 (13). – С. 171–175. 19. Заде, Л. Нечеткая логика: понятие лингвистической переменной и его приложение к принятию приближенных решений [Текст] / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 167 с. 20. Ларичев, О. И. Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решений [Текст] / О. И. Ларичев, Е. М. Мошковиц. – М.: Наука. Физматлит, 1996. – 208 с. 21. Кутаев, Н. Н. Групповые экспертные оценки [Текст] / Н. Н. Кутаев. – М.: Знание, 1975. – 64 с. 22. Киселева, Н. Е. Структурный подход к анализу и обработке данных экспертного опроса [Текст] / Н. Е. Киселева, Л. А. Панкова, М. В. Шнейдерман // Автоматика и телемеханика. – 1975. – №4. – С. 64–70. 23. Ильина, Е. П. Оценка и использование показателей качества экспертного решения проблемы [Текст] / Е. П. Ильина // Проблемы программирования. – 2007. – №1. – С. 38–49. 24. Коваленко, И. И. Экспертные технологии поддержки принятия решений: монография [Текст] / И. И. Коваленко, А. В. Швед. – Николаев: Илон, 2013. – 216 с. 25. Орлов, А. И. Экспертные оценки [Текст] / А. И. Орлов. – М.: Экзамен, 2002. – 31 с. 26. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с. 27. Dubois, D. A Set-Theoretic View of Belief Functions [Text] / D. Dubois, H. Prade // International Journal of General Systems. – 1986. – Vol. 12. – P. 193–226. 28. Становський, О. Л. Аналіз динамічних моделей процесу управління проектами [Текст] / О. Л. Становський, К. В. Колеснікова, О. Ю. Лебедева, І. Хелблов // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2015. – №6/3 (78). – С. 46–52. doi: 29. Кучеренко, Е. И. Расширение методов интеллектуального управления сложными объектами [Текст] / Е. И. Кучеренко, А. Д. Дрюк // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2014. – № 4/3 (70). – С. 13–18.

Bibliography (transliterated): 1. Baranov, M. N., Baranov, Saakova, L. V., Shmatko, A. D. (2011). Razvitie i gosudarstvennaya podderzhka malogo innovatsionnogo predprinimatelstva v nauchno-technicheskoy sfere: monografiya. SPb.: Izd-vo SZTU, 131. 2. Kizim, M. O., Matyushenko, I. Yu., Shostak, I. V. (2012). Perspektivi rozvitku informacijno-komunikacijnih tehnologij i shtuchnogo intelektu v ekonomikah krajin svitu ta Ukraini: monografiya. Kharkov: VD «INZhEK», 492. 3. Gavva, V. N. (2004). Ocenka potentsiala predpriyatiya i otrasli: monografiya. Kharkov: Nac. aerokosm. un-t «Xark. aviac. in-t», 287. 4. Zhilina, A. I. (2002). Etalonnyaya model professionalnogo kompetentnosti menedzhera (rukovoditelya). SPb.: IOV RAO, 228. 5. Zavgornyaya, A. (2001). Upravlenie znaniyami v organizatsii. Noveye znaniya, №1, 28–30. 6. Zimnyaya, I. A. (2003). Klyuchevye kompetencii – novaya paradigma rezultata obrazovaniya. Vyshee obrazovaniye segodnya, №5, 34–42. 7. Asai, K., Vataada, D., Iwai, S. i dr. (1993). Prikladnye nechetkie sistemy: monografiya; p er. s yapon. Moscow: Mir, 392. 8. Pegat, A. (2009). Nечetkoe modelirovaniye i upravleniye; per. s angl. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 798. 9. Shafer, G. (1976). A mathematical theory of evidence. Princeton University Press, Princeton, 297. 10. Smarandache, F. Dezert, J. (2004). (Editors), Applications and Advances of DSmT for Information Fusion. Collected Works, American Research Press, Rehoboth, 473. 11. Kovalenko, I. I., Shved, A. V. (2012). Nekotorye prikladnye zadachi teorii grubyx mnozhestv. Vestnik XNTU, №1(44), 7–14. 12. Kuratovskij, K., Mostovskij, A. (1970). Teoriya mnozhestv. Moscow, «Mir», 416. 13. Rezhim dostupa: www.pmi.org.ua. 14. Shvarc, L. (1972). Analiz; per. franc., Tom. 1, Moscow, «Mir», 824. 15. Pegat, A. (2011). Nечetkoe modelirovaniye i upravleniye; per. s angl. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 798. 16. Maklakov, S. V. (1999). BPWin i ERWin. CASE-sredstva razrabotki informacionnyx sistem. Moscow: DIALOG – MIFI, 256. 17. Slastenin, V. A., Isaev, I. F., Shiyonov, E. N. (2002). Pedagogika: Ucheb. posobie dlya stud. vyssh. ped. ucheb. zavedenij. Moscow: Izd. centr "Akademiya", 576. 18. Strelchuk, E. A. (2010). Sravnitelnyy analiz metodov opredeleniya urovnej kompetencij IT specialistov v sistemax ocenki personala. Sistemi upravlinnya, navigacii ta zv'yazku: Zbirnik naukovix prac Centr naukovo-doslidnogo institutu navigacii i upravlinnya, Vip. 1 (13), 171–175. 19. Zade, L. (1976). Nечetkaya logika: ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ego prilozhenie k prinyatiyu priblizhennyx reshenij. Moscow: Mir, 167. 20. Larichev, O. I., Moshkovich, E. M. (1996). Kachestvennye metody prinyatiya reshenij. Verbalnyy analiz reshenij. Moscow: Nauka. Fizmatlit, 208. 21. Kitaev, N. N. (2002). Ekspertnye ocenki. Moscow: Ekzamen, 31. 26. Saati, T. (1993). Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarxij. Moscow: Radio i svyaz, 278. 27. Dubois, D., Prade, H. (1986). A Set-Theoretic View of Belief Functions. International Journal of General Systems, Vol. 12, 193–226. 28. Stanovskij, O. L., Kolesnikova, K. V., Lebedeva, O. Yu., Xelblou, I. (2015). Analiz dinamichnix modelej procesu upravlinnya proektami. Vostochno-Evropeskij zhurnal peredovyx tehnologij, №6/3 (78), 46–52. 29. Kucherenko, E. I., Dryuk, A. D. (2014). Rasshirenie metodov intellektualnogo upravleniya slozhnyimi obektami. Vostochno-Evropeskij zhurnal peredovyx tehnologij, № 4/3 (70), 13–18.

Поступила (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шостак Елена Игоревна – аспирант, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», аспирант кафедры «Менеджмента»; 61070, ул. Чкалова 17, г. Харьков, Украина; e-mail: ei_shostak@mail.ru.

**ТЕХНОЛОГІЇ ТА
ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА**

УДК 621.3:622:519.24

Б. Б. КОБЫЛЯНСКИЙ**ОЦЕНКА НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

На современном этапе технического развития все комплексные системы промышленного производства и в частности угольной промышленности, требуют автоматизации всего процесса включающего работу добычного и транспортного оборудования, что нельзя выполнить без детального математического описания всех специфических явлений характеризующих конкретное производство. Поэтому, для решения задачи управления сложными технологическими, многофакторными системами, предлагается использование непараметрической статистики, которые в отечественной специальной литературе не нашли должного отражения.

Ключевые слова: угольная промышленность, оценка, непараметрическая статистика.

Введение. На современном этапе предприятия угольной промышленности оснащены автоматизированными линиями и комплексами, внедряются современные технологические комплексы и участки, гибкие производственные системы. Все это способствует решению двух взаимосвязанных задач: выпуск более качественной продукции и повышение безопасности производственного процесса. Охрана труда, будучи системой специальных знаний, предназначена в качестве средства обеспечения безопасности технологических процессов и производства [1]. Совершенствованию системы управления охраной труда различных предприятий постоянно уделяется внимание ученых Украины [3-6]. Одним из основных способов оценки техногенного риска на предприятиях повышенной опасности, в частности, угольных, является исследование уровня возможного травматизма.

Методика эксперимента. Химическая и горная промышленность, военные науки, планирование сколько-нибудь серьезных процессов и явлений - везде используются методы математической статистики высокого уровня, базирующиеся на использовании теории распределений, и, в первую очередь, нормальных и квазинормальных распределений. Однако становится очевидным, что по мере усложнения характера протекания рассматриваемых процессов, т. е. при вынужденном использовании других несимметричных распределений, в частности Стьюдента или Колмогорова, для описания массивов экспериментальных данных или их выборок традиционных методов статистики становится уже недостаточно и хотя непосредственно, даже при полном их соответствии к решению ряда задач горной электротехники [2], то использование их для прогноза состояния эргатических систем, например, предприятий угольной промышленности, они не позволяют дать корректную оценку рассматриваемому явлению и выполнить прогноз поведения системы в условиях, отличных от рассматриваемых.

Для того чтобы правильно понять идеи непараметрической статистики (термин был впервые введен Wolfowitz, 1942), следует познакомиться с идеями параметрической статистики. Поэтому изначально следует ознакомиться с понятием статистической значимости критерия, основанного на распределении определенной статистики (вы можете просмотреть эту главу, прежде чем продолжить чте-

ние). Говоря кратко, если вы знаете распределение наблюдаемой переменной, то можете предсказать, как в повторных выборках равного объема будет "вести себя" используемая статистика - т.е. каким образом она будет распределена. Пусть, например, имеется 100 случайных выборок, из одной популяции по 100 взрослых человек в каждой. Вычислим средний рост (возраст или стаж) субъектов в каждой выборке, т.е. построим выборочное среднее. Тогда распределение выборочных средних можно хорошо аппроксимировать нормальным распределением (более точно, t -распределением Стьюдента с 99 степенями свободы). Теперь представьте, что случайным образом извлечена еще одна выборка из жителей некоего города, где, по вашим представлениям, проживают люди с ростом выше среднего. Если средний рост людей в этой выборке попадает в верхнюю 95% критическую область t распределения, то можно сделать обоснованный вывод, что жители города, действительно, в среднем более высокие (чем в целом в популяции), т.е. что это действительно город высоких людей.

Обсуждение методики обработки объемных данных характерных для угольной промышленности Украины. Возникает вопрос: «Действительно ли большинство переменных имеют нормальное распределение? В рассмотренном примере использовался тот факт, что в повторных выборках равного объема средние значения (роста людей) будут иметь t -распределение (с определенным средним и дисперсией). Однако, это верно лишь, если рассматриваемая переменная (рост) имеет нормальное распределение, т.е. что распределение людей определенного роста нормально распределено (рис. 1).

Одним из факторов, ограничивающих применения критериев, основанных на предположении нормальности, является объем выборки. До тех пор пока выборка достаточно большая (например, 100 или больше наблюдений), можно считать, что выборочное распределение нормально, даже если вы не уверены, что распределение переменной в популяции является нормальным. Тем не менее, если выборка мала, эти критерии следует использовать только при наличии уверенности, что переменная действительно имеет нормальное распределение. Однако нет способа проверить это предположение на малой выборке.

© Б. Б. Кобылянский . 2015

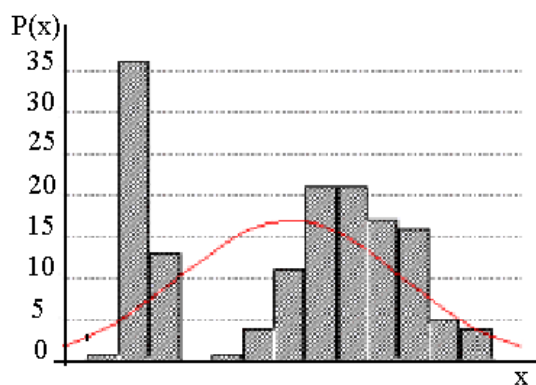


Рис. 1 – Сопоставление законов распределения

Использование критериев, основанных на предположении нормальности, кроме того, ограничено шкалой измерений. Такие статистические методы, как t -критерий, регрессия и т. д. предполагают, что исходные данные непрерывны. Однако имеются ситуации, когда данные, скорее, просто ранжированы (измерены в порядковой шкале), чем измерены точно.

Типичный пример дает группы данных: первую позицию занимает группа с максимальным числом рабочих конкретной специальности, вторую позицию занимает группа с максимальным числом рабочих среди оставшихся групп (среди групп, из которых удалена первая группа) и т. д. Зная рейтинги, а рабочих одной из групп больше числа рабочих другой, но насколько больше, сказать уже нельзя. Представьте, вы имеете 5 групп: А, В, С, D, E, которые располагаются на 5 первых мест. Пусть в текущем месяце мы имели следующую расстановку: А, В, С, D, E, а в предыдущем месяце: D, E, А, В, С. Спрашивается, произошли существенные изменения в рейтингах групп или нет? В данной ситуации, очевидно, мы не можем использовать t -критерий, чтобы сравнить эти две группы данных, и выходим в область специфических вероятностных вычислений (а любой статистический критерий содержит в себе вероятностную калькуляцию!). Мы рассуждаем примерно следующим образом: насколько велика вероятность того, что отличие в двух расстановках групп вызвано чисто случайными причинами или это отличие слишком велико и не может быть объяснено за счет чистой случайности. В этих рассуждениях мы используем лишь ранги или перестановки групп и никак не используем конкретный вид распределения числа посетителей на них.

Для анализа малых выборок и для данных, измеренных в бедных шкалах, применяют непараметрические методы, и в частности, краткий обзор непараметрических процедур. По существу, для каждого параметрического критерия имеется, по крайней мере, одна непараметрическая альтернатива. В общем, эти процедуры попадают в одну из следующих категорий: критерии различия для независимых выборок; критерии различия для зависимых выборок; оценка степени зависимости между переменными.

Вообще, подход к статистическим критериям в анализе данных должен быть прагматическим и не отягощен лишними теоретическими рассуждениями.

Имея в своем распоряжении компьютер с системой STATISTICA, вы легко примените к своим данным несколько критериев. Зная о некоторых подводных камнях методов, вы путем простого экспериментирования выберете верное решение. Развитие сюжета довольно естественно: если нужно сравнить значения двух переменных, то вы используете t -критерий. Однако следует помнить, что он основан на предположении нормальности и равенстве дисперсий в каждой группе. Освобождение от этих предположений приводит к непараметрическим тестам, которые особенно полезны для малых выборок.

Далее имеются две ситуации, связанные с исходными данными: зависимые и независимые выборки, в которых применяется t -критерий для зависимых и независимых выборок соответственно.

Развитие t -критерия приводит к дисперсионному анализу, который используется, когда число сравниваемых групп больше двух. Соответствующее развитие непараметрических процедур приводит к непараметрическому дисперсионному анализу, правда, существенно более бедному, чем классический дисперсионный анализ.

Для оценки зависимости, или, выражаясь несколько высокопарно, степени тесноты связи, вычисляют коэффициент корреляции Пирсона. Строго говоря, его применение имеет ограничения, связанные, например, с типом шкалы, в которой измерены данные, и нелинейностью зависимости, поэтому в качестве альтернативы используются также непараметрические, или так называемые ранговые, коэффициенты корреляции, применяемые, например, для ранжированных данных. Если данные измерены в номинальной шкале, то их естественно представлять в таблицах сопряженности, в которых используется критерий хи-квадрат Пирсона с различными вариациями и поправками на точность. Итак, по существу имеется всего несколько типов критериев и процедур, которые нужно знать и уметь использовать в зависимости от специфики данных. Вам нужно определить, какой критерий следует применять в конкретной ситуации. Непараметрические методы наиболее приемлемы, когда объем выборок мал. Если данных много (например, $n > 100$), часто не имеет смысла использовать непараметрическую статистику. Если размер выборки очень мал (например, $n = 10$ или меньше), то уровни значимости для тех непараметрических критериев, которые используют нормальное приближение, можно рассматривать только как грубые оценки.

Различия между независимыми группами. Если имеются две выборки (например, мужчины и женщины), которые нужно сравнить относительно некоторого среднего значения, например, среднего давления или количества лейкоцитов в крови, то можно использовать t -тест для независимых выборок. Непараметрическими альтернативами этому тесту являются критерии серий Вальда—Вольфовица, Манна—Уитни [7-тест и двухвыборочный критерий Колмогорова - Смирнова.

Различия между зависимыми группами. Если вы хотите сравнить две переменные, относящиеся к одной и той же выборке, например, медицинские показатели одних и тех же пациентов до и после приема

лекарства, то обычно используется t-критерий для зависимых выборок. Альтернативными непараметрическими тестами являются критерий знаков и критерий Вилкоксона.

Если рассматривается более двух переменных, относящихся к одной и той же выборке, то обычно используется дисперсионный анализ (ANOVA) с повторными измерениями.

Для того чтобы оценить зависимость между двумя переменными, обычно вычисляют коэффициент корреляции Пирсона. Непараметрическими аналогами коэффициента корреляции Пирсона являются коэффициенты ранговой корреляции Спирмена R, статистика Кендалла и коэффициент Гамма (более подробно см. например, книгу Кендалл М. Дж., Ранговые корреляции 1975).

Коэффициент ранговой корреляции (rank correlation coefficients) оценивает величину зависимости между переменными, измеренными в порядковых шкалах, т. е. между порядковыми переменными.

Прозрачный способ построения парных коэффициентов корреляции из обобщенного коэффициента корреляции предложил Daniels (Daniels H. E., 1948, *Biometrika*, v. 35, p. 416-417).

Обобщенный коэффициент корреляции определяется формулой:

$$\Gamma = \frac{\sum a_{ij}b_{ij}}{\sqrt{(\sum a_{ij}^2)(\sum b_{ij}^2)}} \quad (1)$$

где $a_{ij} = a(X_i, X_j)$, $b_{ij} = b(Y_i, Y_j)$ — некоторые функции пар наблюдений X и Y соответственно, суммирование ведется по всем парам i, j.

Заметим, что при $a_{ij} = X_j - X_i$, $b_{ij} = Y_j - Y_i$ получаем обычный коэффициент корреляции Пирсона. Если переменные ранжированы, то мы работаем с рангами. Упорядочим значения X_i по возрастанию, то есть построим вариационный ряд этих величин. Номер величины X_i в этом ряду называется ее рангом и обозначается R_i .

Затем упорядочим значения Y_i в порядке возрастания. Номер величины Y_{ij} в этом ряду называется ее рангом и обозначается S_i .

Коэффициент ранговой корреляции Спирмена вычисляется как обобщенный коэффициент парной корреляции с заменой наблюдений их рангами. Формально для обобщенного коэффициента корреляции нужно положить $a_{ij} = R_j - R_i$, $b_{ij} = S_j - S_i$.

Коэффициент Кендалла вычисляется, если в формуле для обобщенного коэффициента положить $a_{ij} = 1$ при $R_i < R_j$ и $a_{ij} = -1$ при $R_i > R_j$. Величины b_{ij} задаются аналогичными соотношениями с заменой рангов R_{ij} ранги S_i наблюдений Y. Итак, мы ясно видим, что идея всех корреляций возникает из одного и того же источника.

Если имеется более двух переменных, то используют коэффициент конкордации Кендалла. Например, он применяется для оценки согласованности мнений независимых экспертов (судей), например, баллов, выставленных одному и тому же участнику конкурса.

Если имеются две категориальные переменные, то для оценки степени зависимости используют стан-

дартные статистики и соответствующие критерии для таблиц сопряженности: хи-квадрат, фи-коэффициент, точный критерий Фишера.

Нелегко дать простой и однозначный совет, касающийся использования этих процедур. Каждая имеет свои достоинства и свои недостатки. Например, двухвыборочный критерий Колмогорова—Смирнова чувствителен не только к различию в положении двух распределений, но также и к форме распределения. Фактически он чувствителен к любому отклонению от гипотезы однородности, но не указывает, с каким именно отклонением мы имеем дело.

В общем, если результат исследования является важным и наблюдений немного (например, отвечает на вопрос — оказывает ли людям помощь определенная очень дорогая и болезненная лекарственная терапия?), то всегда целесообразно испытать непараметрические тесты. Возможно, результаты тестирования (разными тестами) будут различны. В таком случае следует попытаться понять, почему разные тесты дали разные результаты. С другой стороны, непараметрические тесты имеют меньшую мощность, чем их параметрические конкуренты, и если важно обнаружить даже слабые эффекты (например, при выяснении, является ли данная пищевая добавка опасной для здоровья), следует провести многократные испытания и особенно внимательно выбирать статистику критерия.

Классическая статистика хи-квадрат Пирсона замечательна тем, что ее распределение приближается распределением хи-квадрат, для которого имеются подробные таблицы. Процентные точки распределения хи-квадрат могут быть также эффективно вычислены в системе STATISTICA с помощью вероятностного калькулятора.

Свойство критерия хи-квадрат (точность аппроксимации распределения статистики распределением хи-квадрат) для таблиц 2×2 с малыми ожидаемыми частотами может быть улучшено за счет уменьшения абсолютного значения разностей между ожидаемыми и наблюдаемыми частотами на величину 0,5 перед возведением в квадрат. Это так называемая поправка Йетса на непрерывность для таблиц частот 2×2 , которая обычно применяется, когда ячейки содержат только малые частоты и некоторые ожидаемые частоты становятся меньше 5 (или даже меньше 10).

Если сумма частот небольшая, то лучше использовать точный критерий Фишера вместо критерия хи-квадрат.

Известны рекомендации Кокрена для таблиц 2×2 : если сумма всех частот в таблице меньше 20, то следует использовать точный критерий Фишера. Если сумма частот больше 40, то можно применять критерий хи-квадрат с поправкой на непрерывность. Однако эти рекомендации не универсальны [7]. Так как в данных обычно имеются ячейки с малыми частотами (2 и 3), то для улучшения точности критерия хи-квадрат используем поправку Йетса. Поскольку нас интересует односторонняя альтернатива, мы делим уровень $p = 0,0012$ пополам и получаем 0,0006.

Нелегко дать простой совет, касающийся использования непараметрических процедур. Каждая непараметрическая процедура в модуле имеет свои достоинства и свои недостатки. Например, двухвыбо-

рочный критерий Колмогорова-Смирнова чувствителен не только к различию в положении двух распределений, например, к различиям средних, но также чувствителен и к форме распределения. Критерий Вилкоксона парных сравнений предполагает, что можно ранжировать различия между сравниваемыми наблюдениями. Если это не так, лучше использовать критерий знаков. В общем, если результат исследования является важным (например, оказывает ли людям помощь определенная очень дорогостоящая и болезненная терапия?), то всегда целесообразно применить различные непараметрические тесты. Возможно, результаты проверки (разными тестами) будут различны. В таком случае следует попытаться понять, почему разные тесты дали разные результаты. С другой стороны, непараметрические тесты имеют меньшую статистическую мощность (менее чувствительны), чем их параметрические конкуренты, и если важно обнаружить даже слабые отклонения (например, является ли данная пищевая добавка опасной для людей), следует особенно внимательно выбирать статистику критерия. Большие массивы данных и непараметрические методы. Непараметрические методы наиболее приемлемы, когда объем выборок мал. Если данных много (например, $n > 100$), то не имеет смысла использовать непараметрические статистики. Главное здесь состоит в том, что когда выборки становятся очень большими, то выборочные средние подчиняются нормальному закону, даже если исходная переменная не является нормальной или измерена с погрешностью. Таким образом, параметрические методы, являющиеся более чувствительными (имеют большую статистическую мощность), всегда подходят для больших выборок. Большинство критериев значимости многих непараметрических статистик, описанных далее, основываются на асимптотической теории (больших выборок) поэтому соответствующие тесты часто не выполняются, если размер выборки становится слишком малым.

Выводы. Таким образом, из изложенного вытекает, что для обработки объемов выборок в сотни данных, характерных для угольной промышленности Украины, наиболее подходят методы непараметрической статистики.

Список литературы: 1. Минько, В. М. Охрана труда в машиностроении: учеб. для студ. учреждений сред. проф. образования [Текст] / В. М. Минько. – М.: Академия, 2012. – 256 с. 2. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці : НПАОП 0.00-4.12-05. –Х. : Форт, 2005. – 40 с. 3. Ступницька, Н. В. Підвищення ефективності планування заходів запобігання виробничому травматизму на підприємствах машинобудування : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 «Охорона праці» [Текст] / Н. В. Ступницька. – Л., 1999. – 22 с. 4. Кружжилько, О. Є. Удосконалення комплексної оцінки стану охорони праці на підприємствах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 «Охорона праці» [Текст] / О. Є. Кружжилько. – К., 2001. – 20 с. 5. Гунченко, О. М. Вдосконалення системи управління охороною праці на машинобудівних підприємствах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 «Охорона праці» [Текст] / О. М. Гунченко. – Луганськ, 2007. – 20 с. 6. Касьянов, М. А. Проблеми стану і необхідності вдосконалення системи управління охороною праці в галузі машинобудування [Текст] / М. А. Касьянов, В. О. Медяник, О. М. Гунченко, Д. А. Вишневецький // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ : СНУ ім. В. Даля, 2008. – № 6 (124), Ч. 2. – С. 3–9. 7. Елисеєва, І. І. Общая теория статистики : учеб. для студ. вузов, обуч. по направл. и спец. "Статистика" [Текст] / И. И. Елисеєва, М. М. Юзбашев ; под. ред. И. И. Елисеєвой. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 368 с. 8. Кремер, Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для студентов вузов, обучающихся по экономическим специальностям [Текст] / Н. Ш. Кремер. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. – 551 с. 9. Тумасян, А. А. Статистика промышленности: учебное пособие [Текст] / А. А. Тумасян, Л. И. Василевская. – Минск: Новое знание. – Москва: Инфра-М, 2012. – 429 с. 10. Холлендер, М. Непараметрические методы статистики [Текст] / М. Холлендер, Д. Вульф. – М.: Мир, 1983. – 518 с.

Bibliography (transliterated): 1. Minko, V. M. (2012). Ochrana truda v mashinostroenii: ucheb. dlya stud. uchrezhdenij sred. prof. obrazovaniya. Moscow: Akademiya, 256. 2. Tipove polozhennya pro porядok provedennya navchannya i perevirkі znan z pitan oxoroni praci : NPAOP 0.00-4.12-05. –X. : Fort, 2005. – 40 s. 3. Stupnicka, N. V. (1999). Pidvishchennya efektyvnosti planuvannya zahodiv zapobigannya virobничому травматизму na pidpriemstvax mashinobuduvannya: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk : 05.26.01 «Oxorona praci». DU «Lvivska Politehnika». Lvov, 22. 4. Kruzhylo, O. E. (2001). Udoskonalennya kompleksnoi ocinki stanu oxoroni praci na pidpriemstvax : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk : 05.26.01 «Oxorona praci». Kyev, 20. 5. Gunchenko, O. M. (2007). Vdoskonalennya sistemi upravlinnya oxoronoyu praci na mashinobudivnix pidpriemstvax : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk : 05.26.01 «Oxorona praci». Lugansk, 20. 6. Kasyanov, M. A., Medyanik, V. O., Gunchenko, O. M., Vishnevskij, D. A. (2008). Problemi stanu i neobxidnosti vdoskonalennya sistemi upravlinnya oxoronoyu praci v galuzi mashinobuduvannya. Visnik Sxidnoukraїnskogo nacionalnogo universitetu im. V. Dalya. Lugansk : SNU im. V. Dalya, № 6 (124), ch. 2, 3–9. 7. Eliseeva, I. I., Yuzbashev, M. M. (1996). Obshhaya teoriya statistiki : ucheb. dlya stud. vuzov, obuch. po napravl. i spec. "Statistika. Moscow: Finansy i statistika, 368. 8. Kremer, N. Sh. (2007). Probability theory and mathematical statistics: a textbook for university students enrolled on economic specialties. Moscow: UNITY-DANA, 551. 9. Tumasyan, A., Wasilewska, L. I. (2012). Industrial statistics: a manual. Minsk: The new knowledge. Moscow: Infra-M, 429. 10. Hollender, M., Wolfe, D. (1983). Non-parametric statistical methods. Moscow: Mir, 518.

Поступила (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кобылянский Борис Борисович – Кандидат технических наук, Учебно-научный профессионально-педагогический институт Украинской инженерно-педагогической академии, доцент кафедры охраны труда и экологической безопасности; тел.: 050-025-29-06; e-mail: b.kobilyansky@yandex.ua

Kobilyansky Boris Borisovich, PhD tehnycheskyh Sciences, Teaching and Research Professional Pedagogical Institute Ukrainian engineering and Pedagogical Academy, assistant professor of occupational and environmental safety; Tel. : 050-025-29-06; e-mail: b.kobilyansky@yandex.ua

УДК 662.741.3.022

Ш. М. ШАКИР

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СЛАБОСПЕКАЮЩИХСЯ УГЛЕЙ

Данная работа посвящена исследованию возможности применения слабоспекающихся малометаморфизированных углей в шихте для коксования, что в свою очередь позволит снизить себестоимость угольных шихт без ухудшения качества доменного кокса.

Проведенный анализ технологической переработки слабоспекающихся малометаморфизированных углей позволил определить перспективные направления энерготехнологической переработки твердых горючих ископаемых.

В работе исследовано влияние глубокого обогащения на свойства слабоспекающихся углей различных шахт. Проведен анализ глубокого обогащения малометаморфизированных углей в тяжелых средах. Изучена природа угольных образцов до и после обогащения.

Ключевые слова: малометаморфизированные угли, слабоспекающийся уголь, глубокое обогащение, петрографический состав, содержание витринита.

Введение. В настоящее время, за счет увеличения энергоемкости различного вида производств, мировое потребление энергоресурсов характеризуется постоянным ростом [1]. Однако запасы углеводородного сырья не имеют возобновляемых источников. Так, например, современное потребление жидких углеводородов, извлекаемых из важнейшего для человечества полезного ископаемого «нефти», приводит к необратимому истощению ее запасов. При нынешнем потреблении геологических запасов, нефти осталось примерно на 42 года.[2] Вместе с тем, залежей твердых горючих ископаемых, таких как каменные угли, может хватить примерно на 420 лет [3]. Следует отметить тот факт, что в химической промышленности, в том числе и коксохимической, используется лишь малая часть твердых горючих ископаемых. В энергетике угли используют путем банального сжигания с получением определенного количества энергии. Исходя из слов великого русского ученого Д. И Менделеева о том, что «горючие ископаемые – не топливо, топить можно и ассигнациями», можно сделать вывод, что использование жидких и твердых горючих ископаемых только для получения тепла и энергии не является рациональным [4].

Отсюда следует, что эффективное использование горючих ископаемых в качестве химического сырья является актуальной задачей современности.

Цель и задачи работы. Целью работы являлась изучение свойств слабоспекающихся малометаморфизированных углей различных марок и шахт, а также определение возможности применения данных углей в шихте для коксования.

В работе поставлены следующие задачи:

- исследовать возможность глубокого обогащения слабоспекающихся малометаморфизированных углей;

- изучить показатели технического анализа и петрографию концентратов слабоспекающихся углей;

- произвести технологическую оценку, по показателю суммы спекающихся компонентов, использования слабоспекающихся углей в шихте для коксования.

Методика экспериментов по изучению свойств слабоспекающегося угля. В данной работе в качестве материалов исследования использовались слабоспекающиеся малометаморфизированные угли марок «ДГ» шахт «Петровская», «Степная», «Благодатная» и «Г» шахт «им. Героев космоса», «им. Н. И. Сташкова». Обогащение рядовых углей проводилось в тяжелых средах, плотностью $< 1,3 \text{ г/см}^3$, используя хлористый цинк [5]. Оценка качества полученных концентратов проводили при помощи показателей технического анализа и петрографических исследований.

Обсуждение результатов экспериментов по изучению свойств обогащенного слабоспекающегося угля. Принимая во внимание, что уголь является сложным природным композитом [6, 7], в состав которого входят различные органические и неорганические соединения, можно предположить, что при глубоком обогащении слабоспекающихся углей [8-12] возможно получить компонент угольной шихты, который позволит снизить себестоимость шихты для коксования. Для исследования использовались не обогащенные слабоспекающиеся угли, технический анализ которых представлен в табл. 1.

Обогащение данных углей проводилось в тяжелых средах [5]. Изменение показателей технического анализа по содержанию A^d , V^{daf} , S_t^d до и после обогащения представлены на гистограммах (рис. 1, 2).

Таблица 1 – Результаты технического анализа образцов углей

| Проба № | Шахта и марка угля | Показатели технического анализа | | | |
|---------|------------------------------|---------------------------------|-----------|-------------|---------------|
| | | W^a , % | A^d , % | S_t^d , % | V^{daf} , % |
| 1 | им. Героев космоса «Г» | 1.7 | 54.5 | 2.78 | 38.4 |
| 2 | им. Н.И.Сташкова проба№1 «Г» | 3.8 | 40.5 | 2.82 | 37.1 |
| 3 | им. Н.И.Сташкова проба№2 «Г» | 3.4 | 41.5 | 2.64 | 40.4 |
| 4 | Петровская «ДГ» | 3.9 | 40.8 | 2.17 | 43.7 |
| 5 | Степная «ДГ» | 1.7 | 40.8 | 2.35 | 40.2 |
| 6 | Благодатная «ДГ» | 4.3 | 47.7 | 2.44 | 43.1 |

© Ш. М. Шакир . 2015

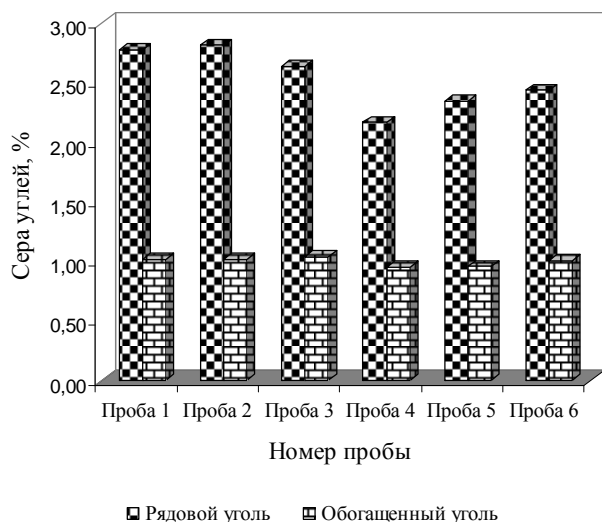


Рис. 1 – Изменение содержания серы в углях до и после обогащения

Из представленных результатов исследования при глубоком обогащении мы видим существенное снижение показателей не только золы угля, но и серы, что является положительным фактором.

После глубокого обогащения полученные концентраты исследовали с помощью петрографического анализа. Показатель отражения витринита представлен на рис. 3.

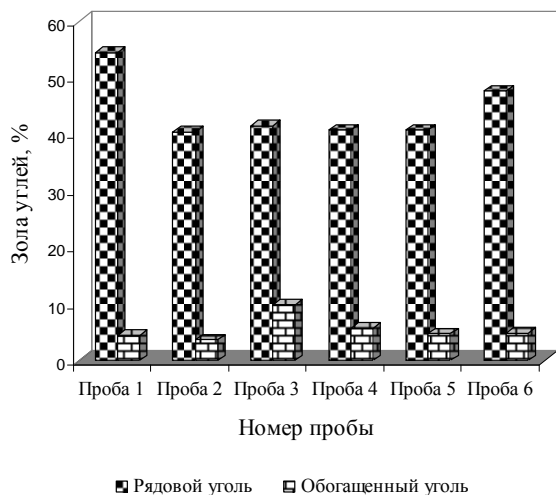


Рис. 2 – Изменение содержания золы в углях до и после обогащения

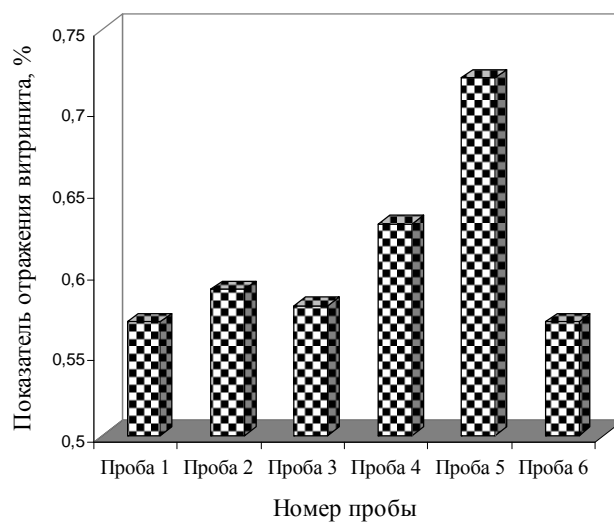


Рис. 3 – Изменение показателя отражения витринита различных проб угля

Марочный и петрографический состав проб угля представлен в табл. 2.

Данные показатели разумно сопоставить с расчетным показателем суммы спекающихся компонентов (ΣСК), который рассчитывается по рефлектограммам из полученных результатов петрографического состава. Изменение показателя суммы спекающихся компонентов представлено на рис. 4.

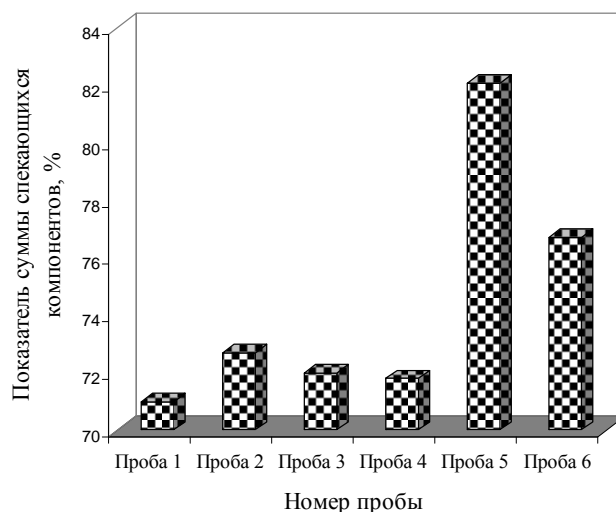


Рис. 4 – Изменение показателя суммы спекающихся компонентов различных проб угля

Таблица 2 – Марочный и петрографический состав проб угля

| Шахта и марка угля | Марочный состав, % | | | | | Петрографический состав, % | | |
|------------------------------|--------------------|------|------|---|---|----------------------------|------|------|
| | Д | ДГ | Г | Ж | К | Vt | L | I |
| им. Героев космоса «Г» | 12,0 | 75,0 | 13,0 | - | - | 58,2 | 12,8 | 29,0 |
| им. Н.И.Сташкова проба№1 «Г» | 5,0 | 74,0 | 21,0 | - | - | 57,7 | 15,0 | 27,3 |
| им. Н.И.Сташкова проба№2 «Г» | 5,0 | 88,0 | 7,0 | - | - | 57,3 | 14,7 | 28,0 |
| Петровская «ДГ» | 1,0 | 62,0 | 37,0 | - | - | 60,4 | 11,4 | 28,2 |
| Степная «ДГ» | - | 20,0 | 80,0 | - | - | 68,0 | 14,1 | 17,9 |
| Благодатная «ДГ» | 15,0 | 83,0 | 2,0 | - | - | 61,1 | 15,6 | 23,3 |

Выводы. Проведенные исследования показывают, что глубокое обогащение углей приводит к улучшению свойств слабоспекающихся малометаморфизированных углей, а именно: значительно уменьшаются показатели серы и золы, изменяется петрографический состав углей, что дает возможность их использования не только в энергетике, но и в коксохимической промышленности, снижая себестоимость угольной шихты.

Список литературы: 1. Старовойт, А. Г. Проблемы и перспективы глобального и европейского рынка стали, кокса и угля [Текст] / В. И. Рудыка, Е. Т. Ковалев // Черная металлургия. – 2009. – № 7. – С. 35–39. 2. Воронина, Н. В. Мировой рынок нефти: тенденции развития и особенности ценообразования [Текст] / Н. В. Воронина // Практический маркетинг. – 2003. – №10. – С. 25–28. 3. Шевченко, Н. Шахт маты [Текст] / Н. Шевченко // Бизнес. – 2008. – №6. – С. 110–114. 4. Менделеев, Д. И. Сочинения [Текст] / Д. И. Менделеев. – Л.:М., 1949. – Т. 10, – 463 с. 5. Калабухов, М. Л. Эффективность обогащения углей в тяжелых гидроциклонах и другой обогатительной технике (Обзор) [Текст] / М. Л. Калабухов // Кокс и химия. – 2003. – № 4. – С. 10–16. 6. Гагарин, С. Г. Фракционирование углей по плотности для решения проблемы сырьевой базы коксования [Текст] / С. Г. Гагарин // Углекимический журнал. – 2010. – № 9. – С. 16–21. 7. Скляр, М. Г. Физико – химические основы спекания углей [Текст] / М. Г. Скляр. – М.: Металлургия, 1984. – 200 с. 8. Грязнов, Н. С. Основы теории коксования [Текст] / Н. С. Грязнов. – М.: Металлургия, 1976. – 311 с. 9. Еремин, И. В. Марочный состав углей и их рациональное использование [Текст] / И. В. Еремин, Т. М. Бро-

невцев. – М.: Недра. 1994. – 254 с. 10. Гагарин, С. Г. Теоретические основы использования фракций угля различной плотности для сжигания [Текст] / С. Г. Гагарин, А. М. Гольмалиев // ХТТ. – 2009. – № 1. – С. 22–30. 11. Гольмалиев, А. М. Структурно-химическое моделирование перехода углей в пластическое состояние [Текст] / А. М. Гольмалиев, С. Г. Гагарин // ХТТ. – 2007. – №1. – С. 23–31. 12. Кабак, Т. А. Изучение свойств слабоспекающегося угля марки ДГ [Текст] / Т. А. Кабак // теория и практика металлургии. – 2013. – №3-4. – С. 15–17.

Bibliography (transliterated): 1. Starovojt, A., Rudyka, V., Kovalev, E. (2009). Problemy i perspektivy global'nogo i evropejskogo rynka stali, koka i uglja. Chernaja metallurgija, 7, 35–39. 2. Voronina, N. (2003). Mirovoj rynek nefti: tendencii razvitiya i osobennosti cenoobrazovaniya. Prakticheskij marketing, 10, 25–28. 3. Shevchenko, N. (2008). Shaht maty. Biznes, 6, 110–114. 4. Mendeleev, D. (1949). Sochineniya. Leningrad-Moscow, t.10, 463. 5. Kalabuhov, M. (2003). Jefferktivnost' obogashheniya uglej v tjazhelyh gidrociklonah i drugoj obogatitel'noj tehnikе (Obzor). Koks i himiya, 4, 16. 6. Gagarin, S. (2010). Frakcionirovanie uglej po plotnosti dlja resheniya problemy syr'evoj bazy koksovaniya. Uglehimicheskij zhurnal, 9, 16–21. 7. Skljар, M. (1984). Fiziko – himicheskie osnovy spekanija uglej. Moscow: Metallurgija, 200. 8. Grjaznov, N. (1976). Osnovy teorii koksovaniya. Moscow: Metallurgija, 311. 9. Eremin, I., Bronevec, T. (1994). Marochnyj sostav uglej i ih racional'noe ispol'zovanie. Moscow: Nedra, 254. 10. Gagarin, S., Gjul'maliev, A. (2009). Teoreticheskie osnovy ispol'zovaniya frakcij uglja razlichnoj plotnosti dlja szhiganiya. ХТТ, 1, 22–30. 11. Gjul'maliev, A., Gagarin, S. (2007). Strukturno-himicheskoe modelirovanie perehoda uglej v plasticheskoe sostojanie. ХТТ, 1, 23–31. 12. Kabak, T. (2013). Izuchenie svojstv slabospekajushhegosja uglja marki DG. Teorija i praktika metallurgii, 3-4, 15–17.

Поступила (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шакир Шван Мохаммед – соискатель ученой степени кандидата технических наук, Национальная металлургическая академия Украины, Кафедра металлургического топлива и огнеупоров, пр. Гагарина 4, г. Днепропетровск, Украина, 49600, e-mail: eng_shwans@yahoo.com.

Shakir Shwan Mohammed – applicant for degree of Candidate of technical science, National Metallurgical Academy of Ukraine, The department of metallurgical fuel and refractories, Gagarina 4, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49600; e-mail: eng_shwans@yahoo.com.

УДК 621.74

А. А. КОСТИКОВ, А. М. ДОВГАЛЬ, А. А. КУЗНЕЦОВ, С. Л. ЗАГРЕБЕЛЬНИЙ

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ВЫБИВАЕМОСТИ ЖИДКОСТЕКольНЫХ СМЕСЕЙ

В данной работе описаны результаты исследований по влиянию природы слоистых соединений графита на выбиваемость жидкостекольных формовочных и стержневых смесей. Для исследований были использованы слоистые соединения графита двух типов: первый содержал в качестве интеркалантов галогениды переходных металлов, а второй - соединения донорно-акцепторного типа. Полученные результаты показали, что слоистые соединения графита первого типа вследствие низкого значения коэффициента термического расширения малоэффективны для использования в качестве модификаторов, повышающих выбиваемость жидкостекольных смесей.

Ключевые слова: слоистые соединения графита, выбиваемость, интеркаланты, жидкостекольные смеси.

Введение. В производстве стальных и чугунных отливок широко применяются жидкостекольные формовочные смеси. Применение этих смесей имеет ряд преимуществ: возможность упрочнения форм и стержней без теплового воздействия, простота получения и низкая себестоимость. Однако, наряду с вышперечисленными преимуществами существует серьезный недостаток для широкого применения этих смесей, а именно очень высокая прочность формовочных и стержневых смесей при стальном и чугунном литье. С целью улучшения выбиваемости жидкостекольной смеси были предложены в качестве

разупрочняющих модификаторов этих смесей слоистые соединения графита (в дальнейшем ССГ) различного типа. Проведенные исследования подтвердили высокую эффективность разупрочняющих модификаторов на основе ССГ донорно-акцепторного типа.

Анализ литературных данных. Улучшение выбиваемости жидкостекольных смесей продолжает оставаться актуальной проблемой. Обычно полагают, что большой эффект может дать снижение содержания жидкого стекла в смеси до 3–3,5 мас.ч.[1]. При этом должно быть обеспечено сохранение высокой прочности смеси за счет введения модифицирующих

© А. А. Костиков, А. М. Довгаль, А. А. Кузнецов, С. Л. Загребельний. 2015

добавок или подбора состава самой связующей композиции. По мнению авторов [2], реализация такого направления привела к противоречию, заключающемуся в том, что затрудненная выбиваемость, обусловленная в первую очередь высокой остаточной прочностью смеси после нагрева до 800-900⁰С, зависит не только от содержания жидкого стекла, но и от исходной прочности смеси. Поэтому выбор модификатора должен сводиться к поиску таких материалов, которые помимо упрочняющего действия в холодном состоянии обладали бы дополнительным свойством разупрочнять спекшуюся массу.

Основной причиной затрудненной выбиваемости жидкостекляных смесей, как считают авторы [3], является расплавление силиката натрия под действием высоких температур при заливке металла. Образовавшаяся силикатная жидкость смачивает зерна песка и, затвердевая при остывании отливки, прочно цементирует их в трудноразбиваемый агрегат (спекшуюся массу). Чем больше жидкого стекла в смеси, тем больше образуется силикатной жидкости и тем хуже выбиваемость. Радикальное средство улучшения выбиваемости - снижение содержания жидкого стекла в смесях до 2-4 % - труднодостижимо на практике, вследствие уменьшения их исходной прочности. Использование глинистых песков снижает ее еще больше, поэтому для получения требуемых прочностных характеристик содержание жидкого стекла в смеси нередко даже увеличивают до 8-10 % в исходном состоянии.

По сложившимся представлениям механизм действия добавок, облегчающих выбиваемость жидкостекляных смесей, сводится либо к выделению газов при деструкции органических веществ, разрыхляющих силикатную прослойку между зернами связующего (кварцевого песка), либо к повышению температуры плавления продуктов взаимодействия жидкого стекла с компонентами формовочных и стержневых смесей. Облегчить выбиваемость можно также используя добавки, повышающие связующие свойства жидкого стекла. Последний путь наиболее перспективен так как сокращение содержания жидкого стекла в смеси, например, вдвое, полностью решило бы проблему выбиваемости. Такими добавками могут являться вещества с ненасыщенными валентными связями, в частности, испытанный сульфит натрия, Na₂SO₃, водный раствор которого имеет щелочную реакцию. Жидкое стекло нагревали до 85-90⁰С и перемешивали с сульфитом натрия с целью улучшения его растворимости. Для изготовления смесей используют охлажденное модифицированное жидкое стекло.

Аналогично действию вышеуказанной добавки - сульфита натрия может иметь добавка, предлагаемая авторами [4]. С целью улучшения выбиваемости жидкостекляной смеси, повышения живучести ее и упрощения технологического процесса, они рекомендуют применять водный сульфат железа - отход производства титановых белил при следующих соотношениях ингредиентов, масс. % : жидкое стекло - 5,0-6,0; водный сульфат железа - 4-7; вода - 3-5; едкий натрий - 1,0-1,5; огнеупорный наполнитель - остальное.

Водный сульфат железа вводится в смесь как разупрочняющая добавка, улучшающая выбиваемость,

в виде отходов производства титановых белил. Эти отходы представляют собой мелкокристаллический порошок салатного цвета, который состоит в основном, из водного сульфата железа - FeSO₄·7H₂O (не менее 96 %). Разупрочняющее действие добавки - сульфата железа - начинает проявляться уже после сушки образцов при 150-250⁰С. Это объясняется тем, что в результате обезвоживания сульфата железа удаляется кристаллизационная вода, что ведет к разрушению связей между зернами и тем самым вызывает разупрочнение смеси. При 650-750⁰С начинает разлагаться сульфат железа с образованием Fe₂O₃ и выделением SO₃, который проходит через смесь и разрывает пленку связующего, при этом связь между зернами наполнителя нарушается и смесь еще в большей степени разупрочняется. Поскольку действие разупрочняющей добавки эффективно в широком интервале температур, предлагаемая смесь может быть использована для изготовления форм и стержней при производстве литья из черных и цветных металлов.

Для облегчения выбиваемости стержней из жидкостекляных смесей авторы [5] рекомендуют вводить в качестве добавок каолин фосфоритную муку и отходы асбоцементного производства. Назначение этих добавок - образовывать в смеси тугоплавкие многокомпонентные соединения с жидким стеклом, которые плавятся в этом случае при температурах, значительно превышающих второй максимум кривой работы выбивки. Стержни, изготовленные из смеси с вышеуказанными добавками, прогреваются до температуры, при которой продукты взаимодействия жидкого стекла с модификаторами не плавятся, и поэтому при последующем охлаждении не образуют сплошной монолит, а значение работы выбивки смесей без добавок и с добавками составляет соответственно 130-140 и 35-40 Дж.

Каолин, фосфоритная мука и отходы асбоцементного производства сдвигают второй максимум кривой работы выбивки в область более высоких температур. Каолин, кроме того, претерпевает еще и фазовые превращения при нагреве и охлаждении, сопровождающиеся значительными изменениями удельного объема твердой фазы и возникновением напряжений, которые приводят к разрушению пленки геля кремневой кислоты. Поэтому из перечисленных добавок следует предпочесть каолин, так как он не только улучшает выбиваемость смеси, но и придает формовочной и стержневой смеси соответствующую прочность при температуре формовки смеси. Благодаря этому при использовании каолина в количестве 3-5 % появляется возможность уменьшить количество жидкого стекла, вводимого в смесь, что также улучшает выбиваемость.

К добавкам, вступающим в химическую реакцию с силикатами натрия и образующими тугоплавкие соединения, относится окись цинка (ZnO). В этой связи авторы [6] с целью улучшения выбиваемости и снижения газотворности жидкостекляной смеси предлагают вводить в ее состав цинкосодержащий шлам.

Авторы отмечают, что пленка жидкого стекла в процессе ее нагрева смеси в широком температурном интервале постоянно подвергается силовому воздействию выделяющихся из шлама газов, что обуслав-

ливаєт хорошу вибиваемість жидкостекольної суміші. При дальнєйшєм ростє температурі образувашася окис цинка (ZnO) вступаєт в хємическую реакцію с силикатами натрія, образуєт тугоплавкіє соединения, что снижаєт общєє количество жидкого стекла в суміші и соотвєтствєнно прочнєсть єє плєнки.

Большой интерес в настоящее время представляет углеродсодержащие добавки, которые выгорают при высоких температурах и вспучивают силикатные пленки. В этом смысле заслуживает внимания жидкостекольная смесь для изготовления литейных форм и стержней, содержащая шунгит. Добавка шунгита, содержащего значительное количество углерода (5-50%), выгорающего при температурах заливки форм жидким металлом, способствует улучшению выбиваемости жидкостекольных форм и стержней.

Однако этот материал является эффективным только до температуры нагрева смеси 60-80⁰С, т.е. в условиях получения чугунных отливок. При более высоких температурах шунгит не является столь эффективным материалом.

В развитие жидкостекольных смесей с шунгитом авторы [6] предложили применять в качестве углеродсодержащей добавки шунгитосодержащий сланец с целью улучшения выбиваемости форм и стержней преимущественно из стальных отливок. Для достижения поставленной цели смесь для изготовления литейных форм и стержней содержит в качестве технологической добавки шунгитосодержащий сланец при следующем соотношении ингредиентов, мас., %: жидкое стекло 4,6-6,0, феррохромовый шлак 3,0-5,0, шунгитосодержащий сланец 0,5-7,5, огнеупорный наполнитель - остальное.

Отличительной особенностью предлагаемой смеси является улучшенная выбиваемость форм и стержней из стальных отливок. Объясняется это введением в состав смеси добавки шунгитосодержащего сланца, который содержит в своем составе до 3-3,5% шунгитового вещества, 10-30% кварца, 35-45% плагиоклаза и 35-55% хлорида.

Для облегчения выбиваемости жидкостекольных смесей возможно применение в составе смесей комбинированных добавок органического и неорганического происхождения. С целью улучшения выбиваемости смеси из отливок и снижения ее прилипаемости к оснастке авторы [7] предлагают вводить в смесь металлургическую пыль и оплаченную сульфитно-дрожжевую бражку в количестве 2,0-4,0% и 1,8-2,2% соответственно. В качестве металлургической пыли используется отход металлургического производства, представляющий собой тонко-дисперсный порошок коричневого цвета, который собирается на фильтрах мокрой и сухой очистки потока технологических газов, отходящих от металлургических печей (электродуговых, мартеновских и т.п.) и вывозится на промышленные свалки.

При введении в смесь металлургической пыли за счет окислов железа, марганца, магния, кальция уменьшается внутренняя энергия жидкого стекла, что вызывает понижение энергии на поверхности раздела огнеупорный наполнитель - жидкое стекло, а это приводит к улучшению выбиваемости и уменьшению прилипаемости смеси к оснастке.

Анализ легковыбигаемых жидкостекольных смесей, представленных в литературном обзоре, позволяет сделать следующие выводы:

- нет однозначных рекомендаций и готовых рецептов легко-выбигаемых жидкостекольных смесей, которые можно было бы рекомендовать для внедрения с целью получения качественных стальных и чугунных отливок.

- для значительного облегчения выбиваемости жидкостекольных смесей, применяемых при изготовлении стальных и чугунных отливок считать самыми эффективными добавками углеродсодержащие, которые при нагреве до высоких температур образуют большое количество газообразных продуктов, например, каолин.

Цель и задачи исследования. Проведенные исследования ставили целью разработать относительно дешевые и эффективные модификаторы формовочных и стержневых жидкостекольных смесей, обладающих относительно низкой (примерно на порядок) работой выбиваемости по сравнению с известными жидкостекольными смесями.

Для достижения данной цели решались задачи разработки модификаторов на основе слоистых соединений графита донорно-акцепторного типа, решающих поставленную проблему и определения оптимальной рецептуры модифицированных формовочных и стержневых смесей, обладающих низкой работой процесса выбиваемости.

Материалы и методы исследования. Для синтеза исследуемых модификаторов были применены разработанные нами оригинальные методики синтеза слоистых соединений графита донорно-акцепторного типа, состоящие в трехступенчатой обработке мелкодисперсного графита соединениями, обладающими сильными окислительными свойствами, например CrO₃, HNO₃, и H₂SO₄ (конц.) с последующей обработкой полученной смеси различными соединениями, которые выполняют роль интеркалантов, внедряющихся в межплоскостное пространство графита. В качестве таких соединений использовались аммиак NH₃, CuCl₂, FeCl₃.

Технологические характеристики модифицированных формовочных и стержневых смесей определялись путем испытаний согласно ГОСТ 23409.0-78.

Результаты исследований. Все добавки, применяемые до этого времени, решали вопрос выбиваемости двумя путями:

- органические добавки, находясь в высокодисперсном состоянии или в состоянии истинного раствора, равномерно распределялись в объеме жидкостекольной пленки и, быстро выгорая при нагревании стержня, приводили к образованию микротрещин, чем и обуславливали снижение остаточной прочности смеси;

- неорганические добавки, вступая в химическое взаимодействие с жидким стеклом, повышали температуру плавления продуктов взаимодействия жидкого стекла с компонентами формовочных и стержневых смесей, а следовательно, и их вязкость.

Условия же выбиваемости смесей в наибольшей степени определяются величиной второго максимума прочности смеси, образование которого связано с "за-

лечиванием” жидким расплавом ранее появившихся трещин. В наших исследованиях решение вопроса выбиваемости жидкостекольной смеси решается совсем другим путем. Для решения поставленной задачи мы применяли ССГ. Применение ССГ для решения данной проблемы впервые было проведено нами.

Разупрочняющее действие ССГ состоит в том, что обработанный специальными добавками обычный кристаллический графит при нагревании до 800-1200°C увеличивается в объеме в 30-100 раз и не дает возможности спекаться жидкому расплаву на стадии второго максимума прочности жидкостекольной смеси.

Нами были исследованы различные модификаторы на основе ССГ. При исследовании были использованы ССГ донорно-акцепторного типа, ССГ, содержащие в качестве интеркалантов переходные металлы и ССГ, содержащие в качестве интеркалантов щелочные металлы [8].

Как показали проведенные нами исследования, ССГ, содержащие в качестве интеркалантов галогениды переходных металлов, малоэффективны в качестве модификаторов, повышающих выбиваемость жидкостекольных смесей вследствие низкого значения коэффициента термического расширения ССГ данного типа. ССГ, содержащие в качестве интеркалантов щелочные металлы, также оказались малоэффективными вследствие довольно низкой термостойкости ССГ данного типа. Наиболее высокие результаты по повышению выбиваемости жидкостекольных формовочных смесей показали ССГ донорно-акцепторного типа, поэтому все дальнейшие исследования производились с ССГ данного типа.

Для выбора оптимальной рецептуры жидкостекольной смеси с ССГ были исследованы физико-механические и технологические свойства смеси в зависимости от изменения её влажности, количества применяемого ССГ, модуля жидкого стекла, времени выдержки смеси после ее изготовления.

Сушка образцов производилась продувкой CO₂ (углекислым газом). Для сравнения были изготовлены и испытаны образцы из обычной жидкостекольной смеси без ССГ.

Результаты изучения влияния изменения влажности смеси на прочность образцов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Влияние влажности смеси на прочность и осыпаемость образцов

| Влажность смеси, % | Прочность при сжатии, МПа | Осыпаемость, % |
|--------------------|---------------------------|----------------|
| 3 | 1,103 | 0,57 |
| 3,3 | 1,108 | 0,52 |
| 3,7 | 1,127 | 0,45 |
| 4,2 | 1,147 | 0,38 |

Анализ табл. 1 показывает, что прочность смеси в исходном состоянии с изменением ее влажности почти не изменяется.

В табл. 1 также приведены результаты изучения влияния изменения влажности смеси на осыпаемость образцов.

Из табл.1 видно, что осыпаемость образцов с увеличением влажности уменьшается.

Результаты изменения времени выдержки смеси на прочность образцов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Влияние времени выдержки смеси на прочность и осыпаемость образцов

| Время выдержки смеси, ч | Прочность при сжатии, МПа | Осыпаемость, % |
|-------------------------|---------------------------|----------------|
| Сразу | 1,422 | 0,1 |
| 1 | 1,294 | 0,15 |
| 2 | 1,186 | 0,22 |
| 3 | 1,088 | 0,27 |
| 4 | 0,99 | 0,33 |
| 5 | 0,882 | 0,39 |
| 6 | 0,765 | 0,45 |

Анализ табл. 2 показывает, что прочность образцов с увеличением времени выдержки смеси уменьшается.

В табл. 2 также приведены результаты влияния времени выдержки смеси на осыпаемость образцов.

Из табл. 2 видно, что осыпаемость образцов с увеличением времени выдержки смеси увеличивается, но не значительно.

Результаты влияния количества вводимого ССГ в смесь на прочность образцов приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Зависимость прочности и осыпаемости смеси от количества вводимого в смесь ССГ

| Количество вводимого в смесь ССГ, % | Прочность при сжатии, МПа | Осыпаемость, % |
|-------------------------------------|---------------------------|----------------|
| 0 | 1,402 | 0,1 |
| 0,5 | 1,323 | 0,15 |
| 1,0 | 1,235 | 0,23 |
| 1,5 | 1,167 | 0,34 |
| 2,0 | 1,088 | 0,50 |
| 2,5 | 1,029 | 0,61 |

Анализ табл. 3 показывает, что прочность образцов с увеличением количества вводимого в смесь ССГ уменьшается, но не значительно.

В табл. 3 также приведены результаты влияния количества вводимого ССГ в смесь на осыпаемость образцов.

Из табл. 3 видно, что осыпаемость образцов с увеличением количества вводимого в смесь ССГ увеличивается.

Была определена также остаточная прочность образцов, прокаленных при температуре 900°C с выдержкой образцов в печи 0,5ч.

Результаты сведены в табл. 4.

Таблица 4 – Зависимость прочности на сжатие от количества, применяемого ССГ

| Количество применяемого ССГ, % | Прочность на сжатие образцов после прокаливании, кгс/см ² |
|--------------------------------|--|
| 0 | 50 |
| 1 | 2,5 |
| 2 | 0,6 |
| 2,5 | рассыпались |

При изучении выбиваемости стержней из отливок в зависимости от количества вводимого ССГ были отлиты технологические пробы из стали с толщиной стенки пробы 20-35 мм.

Выбиваемость стержней из отливок оценивалась количеством ударов на копре до полной пробивки стержня тупым наконечником.

Результаты исследований сведены в табл. 5.

Таблица 5 – Зависимость количества ударов до полной пробивки образца от количества вводимого ССГ

| Количество вводимого ССГ в смесь, % | Количество ударов на копре до полной пробивки образца |
|-------------------------------------|---|
| 0 | 850-1200 |
| 1 | 141-314 |
| 2 | 50-72 |
| 3 | 5-25 |
| 4 | Смесь высыпалась |

Таким образом, оптимальным количеством вводимого ССГ в смесь для обеспечения выбиваемости жидкостекольной смеси является 2-2,5%, при условии получения удовлетворительных физико-механических и технологических свойств смеси.

На основании проведенных исследований [9,10] оптимальной рецептурой смеси необходимо считать, в %: Песок кварцевый - 95,5 - 97; Раствор гидроксида натрия - 1 - 2; Жидкое стекло - 5 - 7; ССГ - 2 - 2,5

Обсуждение результатов. Предлагаемые модификаторы для улучшения выбиваемости жидкостекольных смесей являются более эффективными, чем предлагаемые другими авторами. Эффективность проявляется в том, что необходимое количество вводимого модификатора значительно меньше, чем в других предлагаемых смесях.

Как следует из табл. 4, введение 1 % ССГ уменьшает остаточную прочность образцов стержневой и формовочной жидкостекольной смесей с 4,9 до 0,245 МПа, в то время как для незначительного уменьшения остаточной прочности жидкостекольной смеси авторами [3] предлагалось вводить модификатор сульфат железа в количестве 4-7 %. В предложенной нами формовочной смеси введение 2,5 % ССГ уменьшает остаточную прочность смеси практически до нуля, что свидетельствует о высокой разработанных нами добавок.

Достоинством разработанных нами модификаторов на основе ССГ является то, что они начинают резко понижать остаточную прочность жидкостекольных формовочных и стержневых смесей при прогреве последних до температуры 800-900⁰С, в то время как при более низких температурах остаточная прочность модифицируемых жидкостекольных смесей изменяется незначительно (табл. 2. 3).

Разработанные нами модификаторы могут быть широко использованы при литье крупных стальных и чугунных отливок с использованием жидкостекольных стержневых и формовочных смесей. Их применение позволит значительно уменьшить затраты на выбиваемость этих смесей. При литье отливок небольшой массы их применение имеет меньшую эффективность, т.к. в этом случае проблема выбивки решается другими методами.

Как показали проведенные нами исследования, не все ССГ могут использоваться для модификации жидкостекольных смесей. Так, например, соединения с очень низким коэффициентом термического расши-

рения продуктов ССГ (к которым можно отнести ССГ с интеркалантами в виде галогенидов переходных и щелочных металлов) при термическом ударе малоэффективны для этой цели. Наши исследования показали, что эффективность разработанных на основе ССГ модификаторов тем выше, чем выше их коэффициент термического расширения. Высоким коэффициентом термического расширения обладают ССГ, имеющие в качестве интеркалантов соединения донорно-акцепторного типа [8].

Выводы. Применение разработанных нами модификаторов позволило получить модифицированные формовочные и стержневые смеси с относительно высокой прочностью на сжатие при низких температурах (температуре формовки стержней и форм) и уменьшить прочность на сжатие после заливки металла в применяемые формы на основе жидкостекольных смесей в 20-30 раз по сравнению со стандартными жидкостекольными смесями.

Список литературы: 1. Дорошенко, С. П. Формовочные материалы и смеси [Текст] / С. П. Дорошенко, В. П. Авдокушин, К. Русин, И. Мацашек. – К.: Выща шк., 1990; Прага: СНТЛ, 1990. – 415 с. 2. Жуковский, С. С. Упрочнение и выбиваемость жидкостекольных смесей. [Текст] / С. С. Жуковский, А. А. Иванов / Литейное производство. – 1981. – № 1 – С. 9–11. 3. Васин, Ю. П. Жидкостекольные формовочные смеси с улучшенными свойствами. [Текст] / Ю. П. Васин, М. М. Бортников / Литейное производство. – 1986. – № 4 – С. 1–12. 4. Марковский, Е. А. А. с. 1069922 СССР, МКИ В 22 С 1/02. Смесь для изготовления литейных форм и стержней. [Текст] / Е. А. Марковский, В. П. Гаврилюк и др. (СССР). – № 3472689 / 22–02; заявл. 21.07.82; опубл. 30.04.84; Бюл. № 4. – 2 с. 5. Богуславский, А. М. Улучшение выбиваемости жидкостекольных смесей. [Текст] / А. М. Богуславский, И. О. Середя, А. В. Косин / Литейное производство. – 1986. – № 3 – С. 19–20. 6. Бельский, Е. И. А. с. 1227309 СССР, МКИ В 22 С 1/02. Состав смеси для изготовления литейных форм и стержней. [Текст] / Е. И. Бельский, В. С. Комаров и др. (СССР). – № 3847025 / 22–02; заявл. 21.11.84; опубл. 30.04.86; Бюл. № 16. – 4 с. 7. Осипова, Н. А. А. с. 1311835 СССР, МКИ В 22 С 1/02. Смесь для изготовления литейных форм и стержней. [Текст] / Н. А. Осипова, Н. А. Кидалов и др. (СССР). – № 3916657 / 31–02; заявл. 19.06.85; опубл. 23.05.87; Бюл. № 19. – 4 с. 8. Довгаль, А. Н. Слоистые соединения графита. [Текст] / А. Н. Довгаль, А. А. Кости́ков, А. А. Кузнецов, В. Н. Черномаз / Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 6, № 5 (60). – С. 32–39. 9. Кости́ков, О. А. Пат. 61744 Украина, МПК В22С 1/00. Суміш для ливарних форм та стрижнів [Текст] / О. А. Кости́ков, А. А. Кузнецов; заявник та власник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201100642; заявл. 20.01.11; опубл. 25.07.11, Бюл. № 14 (2011). – 3 с. 10. Довгаль, А. М. Пат. 81048 Украина, МПК В22С 1/00. Суміш для ливарних форм та стрижнів [Текст] / А. М. Довгаль, О. А. Кости́ков, А. А. Кузнецов, В. М. Черномаз; заявник та власник Донбаська державна машинобудівна академія. – № u201211384; заявл. 02.10.12; опубл. 25.06.13, Бюл. № 12 (2013). – 1 с.

Bibliography (transliterated): 1. Doroshenko, S., Avdokushyn, V., Rusyn, K., Matsashek, Y. (1990). Formovochnye materialy i smesy. K.: Vishcha shk.; Praha: SNTL, 415. 2. Zhukovskiy, S., Yvanov, A. (1981). Uprochnenye y vybivayemost zhydkostekolnikh smesei. Lyteinoe proyzvodstvo, 1, 9–11. 3. Vasyun, Yu., Bortnykov, M. (1986). Zhydkostekolnye formovochnye smesy s uluchshennimy svoystvamy. Lyteinoe proyzvodstvo, 4, 1–12. 4. Markovskiy, E. et al. A. s. 1069922 USSR, MPK B 22 C 1/02. Smes dlia yzgotovleniya lyteinikh form y stержней. Institut problem litia AN USSR (1984). № 3472689 / 22–02; declared 21.07.82; published 30.04.84, № 4, 2. 5. Bohuslavskiy, A., Sereda, Y., Kosyn, A. (1986). Uluchshenye vybivayemosty zhydkostekolnikh smesei. Lyteinoe proyzvodstvo, 3, 19–20. 6. Belskiy, E. et al. (1986). A. s. 1227309 USSR, MPK B 22 C 1/02. Sostav smesy dlia yzgotovleniya lyteinikh form y stержней. Belorusskiy ordena Trudovogo Krasnogo Znamenii polytekhnikheskiy institut i Institut obchey neorganicheskoy khymyy AN BSSR. № 3847025 / 22–02; declared 21.11.84; published 30.04.86, № 16, 4. 7. Osypova, N. et al. (1987). A.

s. 1311835 USSR, MKP B 22 C 1/02. Smes dlia yzgotovleniya lyteinikh form y sterzhnei. № 3916657 / 31–02; declared 19.06.85; published 23.05.87, № 19, 4. **8.** *Dovgal, A. N., Kostikov, A. A., Kuznetsov, A. A. Chernomaz, V. N.* (2012). Sloistiye soedineniya graphita. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6/5(60), 32–39. **9.** *Kostikov, A., Kuznetsov, A.* (2011). Patent 61744 Ukraina, MPK B22C 1/00. Sumish dlia lyvarnykh form ta stryzhniv. Donbas'ka derzhavna mashinobudivna akademija.

nobudivna akademija № u201100642; declared 20.01.11; published 25.07.11, № 14, 3. **10.** *Dovgal, A., Kostikov, A., Kuznetsov, A.* (2013). Patent 81048 Ukraina, MPK B22C 1/00. Sumish dlia lyvarnykh form ta stryzhniv. Donbas'ka derzhavna mashinobudivna akademija. № u201211384; declared 02.10.12; published 25.06.13, № 12, 1.

Поступила (received) 22.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Костиков Александр Анатольевич – кандидат физико-математических наук, доцент, Донбасская государственная машиностроительная академия; кафедра информатики и инженерной графики, ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск, Донецкая обл., 84313; e-mail: al_kost_63@mail.ru.

Довгаль Анна Николаевна – студентка, Донбасская государственная машиностроительная академия; кафедра информатики и инженерной графики, ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск, Донецкая обл., 84313.

Кузнецов Андрей Андреевич – кандидат химических наук, доцент, бул. Краматорский, 19, кв.306, г. Краматорск, Донецкая обл., 84331.

Загребельный Сергей Леонидович – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой, Донбасская государственная машиностроительная академия, кафедра информатики и инженерной графики, ул. Шкадинова, 72, г. Краматорск, Донецкая обл., 84313; e-mail: pm@dgma.donetsk.ua.

УДК 66.091.3

А. ДЖ. Т. АЛ-ХАДДАД, Е. В. КИСЕЛЁВА-ЛОГИНОВА, Е. В. ПОПОВ

МАЛЛЕИНИЗАЦИЯ ОЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ В МЯГКИХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрена маллеинизация непредельных жирных кислот на примере олеиновой кислоты в условиях отличных от промышленных с целью снижения энергозатрат и получения более чистого продукта. Предположен механизм взаимодействия олеиновой кислоты с малеиновым ангидридом в среде неполярных апротонных растворителей через образование изополярного шестицентрового промежуточного состояния. Показаны все возможные продукты маллеинизации и их практическое применение. Определены оптимальные параметры технологии маллеинизации олеиновой кислоты. Рекомендована сфера применения продуктов взаимодействия малеинового ангидрида с олеиновой кислотой в промышленности.

Ключевые слова: маллеинизация, олеиновая кислота, малеиновый ангидрид, аддукт, апротонный органический растворитель, катализатор.

Введение. Для конкурентоспособности на мировом рынке современным производствам необходимо обладать несколькими основными качествами: производить экологически чистую продукцию и иметь совершенные новейшие технологии производства. Экологичность продукции обеспечивает, прежде всего, природа материалов и сырья, которые используются для его получения. А вопрос усовершенствования технологий остается актуальным в любое время.

Широкое применение обрели в наше время поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые сопровождают человека, как в его повседневной жизни, так и в технической сфере. Экологически чистыми, обладающими биоразлагаемостью, считаются ПАВ на основе продуктов растительного и животного сырья. Более того, такое сырье возобновляемое и удобно в применении. Интересным классом «органических» ПАВ являются производные жиров, масел и жирных кислот. Как правило, это продукты маллеинизации растительных масел или ненасыщенных жирных кислот с несопряженными кратными связями. Разветвленная структура молекулы и наличие карбоксильных групп в сочетании с углеводородной цепью обуславливают достаточную неионогенность молекулы, и, как результат, позволяет применять такие ПАВ в неполярных средах.

Именно технология получения ПАВ на основе малеинового ангидрида (МА) и олеиновой кислоты

(ОК), как ненасыщенной жирной, стала предметом наших исследований.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Поверхностно-активные вещества производные аддуктов малеинового ангидрида и олеиновой кислоты получают путём маллеинизации последней в плаве при 200–220 °С в течении 3–5 часов [1–3] с последующей обработкой их многоатомным спиртом [1]. Тем самым достигается неионогенность молекулы, что позволяет использовать такие вещества как, например, эмульгаторы второго рода.

Снизить температуру маллеинизации ненасыщенных жирных кислот и масел удалось авторам [4] до 150 °С за счет применения катализаторов – соединений бора. Авторам удалось получить продукт выходом 86–96 %, который они определяли по количеству не прореагировавшего малеинового ангидрида. Соединения бора в промышленности используются как катализаторы окисления углеводородов, что может сказаться на качестве конечного продукта маллеинизации. Определение выхода аддуктов МА и жирных ненасыщенных кислот по степени конверсии МА не совсем корректный метод, так как он может расхо доваться на образование также и побочных продуктов. Потому высокий выход в данном случае можно считать недействительным.

© А. Дж. Т. Ал-Хаддад, Е. В. Киселёва-Логина, Е. В. Попов. 2015

Вопросом маллеинизации ОК и растительных масел задавались еще в середине двадцатого века, однако, с началом двухтысячных эта тема стала вновь актуальной. Так, в [5] сообщается о десяти новых деэмульгаторах нефти на основе аддукта МА и ОК с последующей этерификацией различными многоатомными спиртами по ангидридной группе.

Известна также этерификация ОК, которая осуществляется перед маллеинизацией [4], такой продукт используют для улучшения текучести нефтепродуктов.

В статье [3] The Royal Society of Chemistry 2012 подробно рассмотрена реакция маллеинизации ОК. Авторы указывают, что синтез проводят по аналогии с Альдер-еновым взаимодействием МА с олефинами или как аллильное присоединение. Они считают, что синтез достаточно проводить в течении 3-5 часов при 200-220 °С, без использования растворителей и катализаторов. Также, показано, что в результате получается смесь изомеров аддуктов.

Подтверждение реакции маллеинизации ОК авторы [3] провели при 210 °С в течении 4 часов в атмосфере азота. Продукт подвергали гидролизу в горячей воде и однонормальном едком натрия. При этом структуры ОК, маллеинизированной ОК (МОК) и гидролизованной МОК подтверждали с помощью Bruker DP ЯМР X400 спектрометра на частоте 400 МГц (рис. 1).

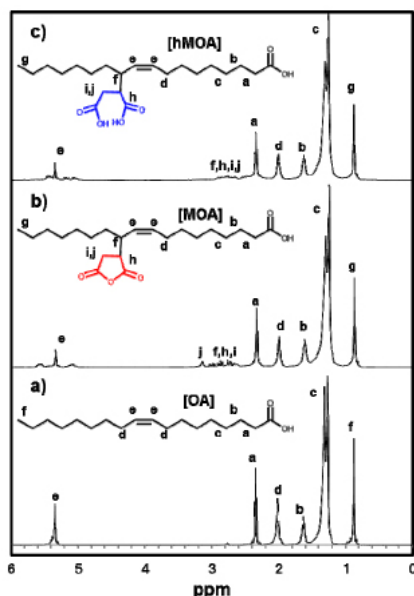


Рис. 1 – ¹HМР спектры олеиновой кислоты (ОА), аддукта маллеинового ангидрида и олеиновой кислоты (МОА), аддукта малеиновой кислоты и олеиновой кислоты (hMOA) [3]

Как видно из рис. 1, ¹HМР спектра аддуктов ОК с МА и с малеиновой кислотой отличаются между собой незначительно, а от спектра ОК кислоты отличаются всплеском небольших пиков в «эфирной» зоне шкалы. Такой всплеск характерен для гетероцикла ангидрида и двух карбоксильных групп янтарной кислоты.

Авторы [6] изучили кинетику взаимодействия малеинового ангидрида с высокоолеинизированным подсолнечным маслом. Отмечено, что реакция в целом второго порядка, и первого порядка по отдельным реагентам. Энергия активации составила $77,2 \pm 3,3$ кДж/моль в исследуемом диапазоне температур (185-225 °С).

Помимо самих ненасыщенных жирных кислот, в реакцию с малеиновым ангидридом могут вступать цис-изомеры их эфиров, как это показано в [4, 2, 7] еще в первой половине 20 века, а также гораздо позже в 2008 году [8]. При этом в последней из перечисленных работ исследована кинетика маллеинизации цис-форм алкильных эфиров высокоолеинизированного подсолнечного масла. Так же авторами отмечено, что в реакции маллеинизации ОК одновременно протекают два различных механизма реакции: аллильного присоединения и енового взаимодействия. Это подтверждено одновременным наличием среди продуктов изомеров со сдвигом и без него двойной связи в молекуле ОК.

Соотношение различных путей маллеинизации ненасыщенных жирных кислот показано в [7]. Здесь взаимодействию с МА подвергали этилолеат при 210 °С. Полученный продукт окисляли щелочным раствором перманганата калия и оценивали соотношение конечных продуктов. Так, доказано, что в указанных условиях преобладает именно еновый механизм с перемещением двойной связи, в соотношении 1:2.

Современная наука позволяет более точно определить и идентифицировать структурные различия продуктов взаимодействия МА с ОК [9]. Для этого разработана методика масс-спектропии.

Как видно из рассмотренных источников, между олеиновой кислотой и малеиновым ангидридом при температурах порядка 150-300 °С возможно взаимодействие по нескольким механизмам: аллильному, еновому и радикальному. При этом продуктом реакции является смесь изомеров, полученных всеми тремя видами взаимодействия.

Других упоминаний о снижении температурного режима процесса маллеинизации ненасыщенных карбоновых кислот, прежде всего, олеиновой кислоты, в литературе нет.

Потому перед нами стала задача рассмотреть возможность взаимодействия МА с ОК в более мягких условиях, отличных от промышленных.

Цель и задачи исследования. Целью работы стало разработать технологию маллеинизации олеиновой кислоты в условиях отличных от плава, определить оптимальные параметры процесса и расширить сферу применения полученных продуктов.

Поставленная цель решалась с помощью следующих задач.

- рассмотреть возможность взаимодействия олеиновой кислоты и малеинового ангидрида в условиях отличных от плава и при более низких температурах (до 150 °С);
- изучить реакцию маллеинизации олеиновой кислоты при использовании катализатора типа кислоты Льюиса;
- выявить факторы, приводящие к разрыву молекулы олеиновой кислоты по углерод-углеродной связи;
- определить оптимальные параметры получения ПАВ на основе олеиновой кислоты и малеинового ангидрида;
- выявить поверхностно-активные свойства полученных производных олеиновой кислоты и малеинового ангидрида;

– предложить возможные сферы применения производного олеиновой кислоты и малеинового ангидрида в качестве ПАВ в промышленности.

Материалы и методы исследования маллеинизации ОК. Были проведены серии синтезов ПАВ из МА и ОК в условиях отличных от плава: в среде органических растворителей и в присутствии катализатора – кислоты Льюиса – титана (IV) хлорида. При этом использовались следующие материалы.

Кислоту олеиновую по ГОСТ 7580-91 «Кислота олеиновая техническая. Технические условия». Ан-

гидрид малеиновый по ГОСТ 11153-75 «Ангидрид малеиновый технический. Технические условия» [10]. Тетрахлорэтан или титана (IV) хлорид более известный, как катализатор Циглера-Натты [11], т.е. как катализатор винилового полимеризации. В качестве органических растворителей для реакции между МА и ОК были выбраны о-ксилол, трихлорэтилен и перхлорэтилен. Некоторые физические свойства выбранных органических растворителей приведены в табл. 2.

Таблица 1 – Физические свойства о-ксилола [12], трихлорэтилена [13] и перхлорэтилена [14]

| Показатель | Значение | | |
|--|-----------------------------|---|--|
| | о-ксилол | Трихлорэтилен | Перхлорэтилен |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Общая формула | C_8H_{10} | C_2HCl_3 | C_2Cl_4 |
| Молярная масса, г/моль | 106,17 | 131,39 | 165,83 |
| Агрегатное состояние при н.у. | Бесцветная жидкость | Бесцветная прозрачная летучая жидкость | Бесцветная жидкость |
| Плотность, г/см ³ (при 18 °С) | 0,8802 | 1,4642 | 1,623 |
| Динамическая вязкость (при 30 °С), мПа·с | 0,809 | 0,58 | 0,88 |
| Органолептические параметры | Резкий запах | Запах «хлороформа» и сладкий жгучий вкус | Резкий запах |
| Температура плавления, °С | «минус» 24 | «минус» 73 | «минус» 22,4 |
| Температура кипения, °С | 144 | 86,7 | 121 |
| Температура вспышки, °С | 32 | - | 45 |
| Растворимость в воде | Менее 0,015% | 0,27 г/л | 0,15 г/л Медленно разлагается с образованием трихлоруксусной и соляной кислот за счет этого растворитель имеет кислую рН |
| Растворимость в органических растворителях | В большинстве растворителей | Не растворим в большинстве спиртов и кетонов | В большинстве растворителях |
| Особенности | | Стабилизируют фенолом и тимолом, т.к. под действием света и воздуха разлагается с образованием фосгена и галогенсодержащих кислот; разлагается также в присутствии металлов, смоляных и жирных кислот | Способен во время транспортировки и хранения накапливать и эмульгировать воду за счет капиллярной конденсации; более устойчивый, чем трихлорэтилен |

Как видно из табл. 1 трихлорэтилен и перхлорэтилен неустойчивы и разлагаются под воздействием воздуха и света или влаги. Это приводит к тому, что для перхлорэтилена, например, возникает понятие рН среды, не смотря на то, что это органический растворитель, не способный к диссоциации в воде. В промышленности эти растворители стабилизируют. А перхлорэтилен ещё и нейтрализуют для предотвращения коррозии оборудования.

Синтезы проводили по методикам указанным ранее в [15, 16].

Обсуждение результатов маллеинизации ОК в мягких условиях. К, так называем, мягким условиям можно отнести снижение температуры процесса за счет применения катализатора или органического растворителя.

В качестве катализатора использовали кислоту Льюиса титана (IV) хлорид, который применяется не

только как катализатор полимеризации, но и образует устойчивые отрицательно заряженные промежуточные комплексы с олефинами, способные к атаке нуклеофильных центров. Атом титана в его хлориде имеет вакантную *d*-орбиталь, которая является акцептором электроном π -связи [11]. Однако, четыреххлористый титан является ядовитым взрывоопасным веществом, крайне не удобным в эксплуатации.

В ходе синтезов с применением такого катализатора в среде органического растворителя (перхлорэтилена) были получены продукты полимеризации олеиновой кислоты и сополимеризации ее с малеиновым ангидридом (твердая темно-коричневая масса с сильным запахом олифы). Подобный метод после более тщательного изучения можно рекомендовать для получения олиф, т.е. пленкообразующих веществ на основе жирных кислот.

В среде гексана с применением катализатора получили осадок, который состоял из смеси веществ (малеиновой кислоты, соединения титана и т. д.), а также коричневый жидкий продукт с характерным запахом сдобы, представляющий собой полимеры олеиновой кислоты и сополимеры МА и ОК, выходом 78 %.

В ходе применения катализатора титана хлорида (IV) при взаимодействии МА и ОК в плаве удалось снизить температуру процесса до 50 °С, основным продуктом являются полимеры ОК и сополимеры ОК с МА, однако, степень конверсии ангидрида после 4 часов выдержки всего 55 % из них только 19 % прореагировало с ОК, остальные 36 % перешли в фумаровую кислоту – устойчивый транс-изомер малеиновой кислоты.

Следовательно, использование катализатора типа титана хлорида (IV) позволяет получить полимеры и сополимеры ОК и МА с различной молекулярной массой. Что может являться основой олиф.

Как уже было сказано выше, маллеинизация ОК может проходить по двум одновременным механизмам, один из которых – еновый.

На скорость енового синтеза могут влиять апротонные неполярные растворители, например, такие как дихлорэтан, циклобензол и т.д. Потому в нашем случае были выбраны для экспериментов о-ксилол, трихлорэтилен и перхлорэтилен.

Присоединение МА к жирным непредельным кислотам в неполярных апротонных органических растворителях по еновому механизму, видимо, происходит через изополярное шестицентровое промежуточное состояние. Тогда схема взаимодействия по аналогии с [17] следующая:

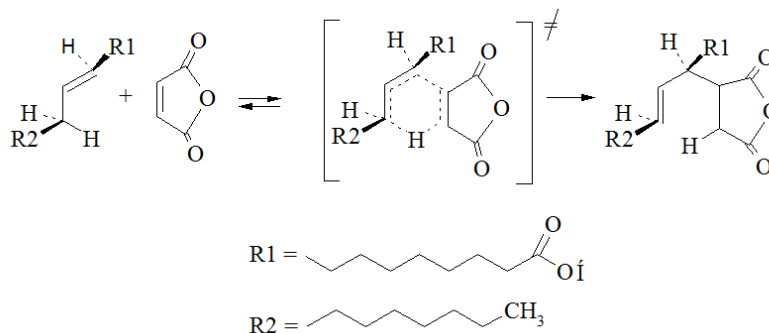


Рис. 2 – Механизм енового взаимодействия МА и ОК в неполярных апротонных органических растворителях

Образование подобных переходных состояний наиболее вероятно в случае цис-изомеров непредельных соединений, каковой и является олеиновая кислота.

Исследования в среде прехлорэтилена показали, что образуются несколько продуктов: прозрачные бесцветные игольчатые кристаллы и коричневая маслянистая жидкость. Ранее [15, 16], нами было предположено, что кристаллы представляют собой аддукт МА и остатка ОК, что подтверждается кислотным числом. Но подробное изучение ¹НМР и ИК спектров продукта показали, и сопоставление их с литературными данными показали, что такое вещество не может образовываться в приведенных условиях. ¹НМР спектр (рис. 3) кристаллического продукта близок к приведенному выше спектру аддукта МА и ОК (рис. 1), явно отличается только одним пиком при 6,5 ppm, который в литературном источнике отсутствует. Тем не менее, полученное вещество также может быть аддуктом МА и ОК (одним из его изомеров), так как имеет характерный всплеск пиков ангидридного кольца в зоне 4-4,5 ppm.

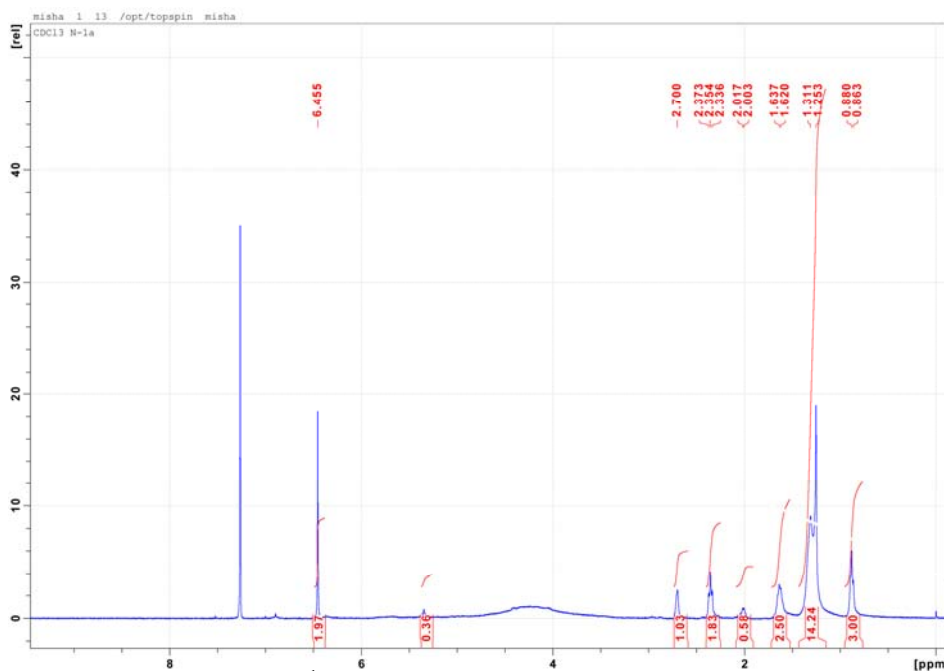


Рис. 3 – ¹НМР спектр кристаллического продукта

Предположено, что образование такого продукта возможно в результате присутствия в перхлорэтилене ионов водорода, как следствия его частичного разложения. Но этот факт стоит детально изучить в дальнейшем.

Таким образом, в ходе применения органического растворителя (перхлорэтилена) удалось снизить температуру процесса до 120-121 °С, что является температурой кипения массы. А продуктами синтеза есть смесь аддуктов МА и ОК изомерного состава.

Дальнейшее изучение поверхностно-активных свойств полученных изомеров показало, что они могут являться диспергаторами в сочетании с другими неионогенными ПАВ, например, с неололом АФБ-12. Этот факт нашел практическое применение в получении Диспергатора ПМЭ-Т и спиртово-топливных эмульсий на его основе.

Так как продукты синтеза в среде перхлорэтилена имеют промышленное значение, то для этого процесса были определены оптимальные параметры (ОК:МА=1:1,25; температура 120-121 °С, время выдержки 4 часа) и на их основе разработана новая экологически чистая и экономически выгодная технология [18]. Особенностью которой является образование нескольких целевых продуктов, которые можно использовать как совместно, так и отдельно каждый.

Выводы. В результате проведенных исследований:

- впервые удалось значительно снизить температуру маллеинизации ОК за счет применения катализатора (до 50 °С) и органических растворителей (121 °С);
- предположен механизм процесса маллеинизации ОК в среде апротонного неполярного органического растворителя через образование изомерного шестицентрового промежуточного состояния;
- обосновано, что в среде перхлорэтилена технического образуются несколько целевых продуктов, которые являются изомерными аддуктами МА и ОК;
- определены оптимальные параметры процесса маллеинизации в среде перхлорэтилена: ОК:МА=1:1,25; температура 120-121 °С, время выдержки 4 часа, - и на их основе разработана технология;
- показано, что применение катализатора титана (IV) хлорида в различных органических растворителях и в плаве способствует образованию сополимеров МА и ОК, что может являться основой получения олиф;
- рекомендовано практическое применение продуктов маллеинизации ОК в среде перхлорэтилена технического как диспергаторов.

Список литературы: 1. *Crecelius, Samuel B.* Пат. 3141897 США МПК С 11 С 3/00, С 11 D 1/00, Reaction product of maleic anhydride unsaturated fatty acid adduct and polyethylene glycol [Text] / *Crecelius Samuel B., Brunelle Thomas E., Rue Larry M. et al.* // ECONOMICS LAB. - № 143566; заявл. 09.10.1961; опубл. 21.07.1964. 2. *Rheineck, A. E.* Reaction of Maleic Anhydride with cis-Isolated Unsaturated Fatty Acid Esters [Text] / *A. E. Rheineck, T. H. Khoe* // Fette, Seifen, Anstrichmittel. - 1969. - Vol. 71, Issue 8. - P. 644-652. doi: 10.1002/lipi.19690710814 3. *Peng, E.* Succinic Anhydrides Functionalized Alkenoic Ligands: A Facile Route to Synthesize Water Dispersible Nanocrystals [Text] / *E. Peng, J. Ding, J. Min Xue* // Journal of Materials Chemistry. - 2012. - Vol. 22. - P. 13832-13840. doi: 10.1039/c2jm30942d 4. Пат. 2569420 США МПК С 10 М 342, Method of Preparing adducts / Milton Kosmin; заявитель и патентообладатель - Monsanto Chemical Company, St; Louis, Mo., a corporation of Dela-

ware. - № 144 385; заявлено 15.02.50; опубликовано 25.09.51. 5. *Al-Sabah, A. M.* Breaking water-in-crude oil emulsions by novel demulsifiers based on maleic anhydride-oleic acid [Text] / *A. M. Al-Sabah, A. M. Badawi, M. R. Noor El-Den* // Petroleum Science and Technology. - 2002. - Vol. 20. Issue 9-10. - P. 887-914. doi: 10.1081/lft-120003685 6. *Wysocki, L.* The Hetero-Ene Reaction: Development and Synthetic Utility [Text] / *L. Wysocki* // Burke Group, 2005. - 61 p. 7. *Holmberg, K.* Addition of maleic anhydride to esters of mono-unsaturated fatty acids [Text] / *Krister Holmberg, Jan-Allan Johansson, Å. Bergman, U. Brunk, G. Dallner, Jan-Eric Berg* // Acta chemical Scandinavica. - 1982. - Vol. 36b. - P. 481-485. doi: 10.3891/acta.chem.scand.36b-0481 8. *Stefanoiu, F.* Kinetics and mechanism of the reaction between maleic anhydride and fatty acid esters and the structure of the products [Text] / *F. Stefanoiu, L. Candy, C. Vaga-Garcia, E. Borredon* // European journal of lipid science and technology. 2008. - Vol. 10. Issue 5. - P. 441-447. doi: 10.1002/ejlt.200700181 9. *Loutelier-Bourhis, Corinne.* Loutelier-Bourhis C. Mechanistic study of maleic anhydride grafting onto fatty double bonds using mass spectrometry [Text] / *Corinne Loutelier-Bourhis, Ornella Zovi, Laurence Lecamp, Claude Bunel, Marie Hubert-Roux, Catherine M. Lange* // Rapid Commun Mass Spectrom. - 2012. - Vol. 26(11). - P. 1265-1276. doi: 10.1002/rcm.6222 10. ГОСТ 11153-75 Ангидрид малеиновый технический. Технические условия [Текст] / Переиздан в августе 1993 г. с изменениями № 1, 2. - М.: Издательство стандартов. - 9 с. 11. *Boor, J. Jr.* Ziegler-Natta Catalysts and Polymerizations [Text] / *J. Jr. Boor.* - N. Y.: Academic Press Inc, 1979. - 670 p. 12. ГОСТ 9410-78 Ксилол нефтяной. Технические условия. - 1978. - 3 с. 13. Трихлорэтилен [Электронный ресурс] / www.himmir.ru - Режим доступа: <http://www.himmir.ru/solvent/trichloret.html> 14. Перхлорэтилен [Электронный ресурс] / www.himmir.ru - Режим доступа: <http://www.himmir.ru/solvent/trichloret.html> 15. *Ал-Хаддад, А. Т. Дж.* Взаимодействие малеинового ангидрида с олеиновой кислотой в растворителях и в присутствии катализаторов [Текст] / *А. Т. Дж. Ал-Хаддад, Е. В. Киселёва-Логинава* // Хімічна промисловість України. - 2014. - № 5 (124). - С. 58-60. 16. *Ал-Хаддад, А. Т. Дж.* Взаимодействие малеинового ангидрида с производными длинноцепочечных олефинов [Текст] / *А. Т. Дж. Ал-Хаддад, Е. В. Киселёва-Логинава, Е. В. Попов* // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. - 2014. - Vol. 3, № 6(69). - С. 13-18. doi: 10.15587/1729-4061.2014.24996 17. *Peixaró, K.* Растворители и эффекты среды в органической химии [Текст] / *K. Peixaró*, перев. с англ. - М.: Мир. - 1991. - 763 с. 18. *Ал-Хаддад, А. Т. Дж.* Разработка технологии 9-сукцинил-8-декеиновой кислоты [Текст] / *А. Т. Дж. Ал-Хаддад, Е. В. Киселёва-Логинава, Е. В. Попов* // Technology audit and production reserves. - 2015. - Vol. 5, № 4(25). - С. 35-40. doi: 10.15587/2312-8372.2015.51052

Bibliography (transliterated): 1. *Crecelius Samuel B., Brunelle Thomas E., Rue Larry M. et al.* (1961). Пат. 3141897 США МПК С 11 С 3/00, С 11 D 1/00, Reaction product of maleic anhydride unsaturated fatty acid adduct and polyethylene glycol. ECONOMICS LAB. № 143566; заявл. 09.10.1961; опубл. 21.07.1964. 2. *Rheineck, A. E. Khoe, T. H.* (1969). Reaction of Maleic Anhydride with cis-Isolated Unsaturated Fatty Acid Esters. Fette, Seifen, Anstrichmittel, Vol. 71, Issue 8, 644-652. doi: 10.1002/lipi.19690710814 3. *Peng, E., Ding, J., Min Xue, J.* (2012). Succinic Anhydrides Functionalized Alkenoic Ligands: A Facile Route to Synthesize Water Dispersible Nanocrystals. Journal of Materials Chemistry, Vol. 22, 13832-13840. doi: 10.1039/c2jm30942d 4. Пат. 2569420 США МПК С 10 М 342, Method of Preparing adducts / Milton Kosmin; заявитель и патентообладатель - Monsanto Chemical Company, St; Louis, Mo., a corporation of Delaware. № 144 385; заявлено 15.02.50; опубликовано 25.09.51. 5. *Al-Sabah, A. M., Badawi, M., Noor El-Den, M. R.* (2002). Breaking water-in-crude oil emulsions by novel demulsifiers based on maleic anhydride-oleic acid. Petroleum Science and Technology, Vol. 20. Issue 9-10, 887-914. doi: 10.1081/lft-120003685 6. *Wysocki, L.* (2005). The Hetero-Ene Reaction: Development and Synthetic Utility. Burke Group, 61. 7. *Holmberg, K., Johansson, Jan-Allan, Bergman, Å. Brunk, U., Dallner, G., Berg, Jan-Eric* (1982). Addition of maleic anhydride to esters of mono-unsaturated fatty acids. Acta chemical Scandinavica, Vol. 36b, 481-485. doi: 10.3891/acta.chem.scand.36b-0481 8. *Stefanoiu, F., Candy, L., Vaga-Garcia, C., Borredon, E.* (2008). Kinetics and mechanism of the reaction between maleic anhydride and fatty acid esters and the structure of the products. European journal of lipid science and technology, Vol. 10. Issue 5, 441-447. doi: 10.1002/ejlt.200700181 9. *Loutelier-Bourhis, Corinne, Zovi, Ornella, Lecamp, Laurence, Bunel, Claude, Hubert-Roux, Marie, M. Lange, Catherine* (2012). Loutelier-Bourhis C. Mechanistic study of maleic anhydride grafting onto fatty double bonds using mass spectrometry. Rapid Commun Mass Spectrom, Vol. 26(11), 1265-1276. doi: 10.1002/rcm.6222 10. GOST 11153-75. (1993). Ангидрид ма-

leinovoy texnicheskij. Texnicheskie usloviya. Pereizdan v avguste 1993 g. s izmeneniyami № 1, 2. Moscow: Izdatelstvo standartov, 9. 11. Boor, J. Jr. (1979). Ziegler–Natta Catalysts and Polymerizations. N. Y.: Academic Press Inc, 670. 12. GOST 9410-78. (1978). Ksilol neftyanoy. Texnicheskie usloviya, 3. 13. Trixloretilen [Elektronnyj resurs] / www.himmir.ru. Rezhim dostupa: <http://www.himmir.ru/solvent/trichloretilen.html> 14. Perxloretilen [Elektronnyj resurs] / www.himmir.ru. Rezhim dostupa: <http://www.himmir.ru/solvent/trichloretilen.html> 15. Al-Xaddad, A. T. Dzh., Kiseleva-Loginova, E. V. (2014). Vzaimodejstvie maleinovoogo angidrida s oleinovoju kislotoju v rastvoritel'nyx i v prisutstvii

katalizatorov. Ximichna promislovist Ukraini, № 5 (124), 58–60. 16. Al-Xaddad, A. T. Dzh. Kiseleva-Loginova, E. V., Popov E. V. (2014). Vzaimodejstvie maleinovoogo angidrida s proizvodnymi dlinno-cepochecnyx olefinov. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, Vol. 3, № 6(69), 13–18. doi: 10.15587/1729-4061.2014.24996 17. Rejxard, K. (1991). Rastvoriteli i efekty sredi v organicheskoj ximii. Moscow: Mir, 763. 18. Al-Xaddad, A. T. Dzh., Kiseleva-Loginova, E. V., Popov, E. V. (2015). Razrabotka tehnologii 9-sukcinil-8-dekenovoju kisloty. Technology audit and production reserves, Vol. 5, № 4(25), 35–40. doi: 10.15587/2312-8372.2015.51052

Поступила (received) 20. 12. 2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Джасім Амір Т. Ал-Хаддад – спешукач, Інститут хімічних технологій (м. Рубіжне) Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, кафедра екології; м. Рубіжне, Луганська обл., вул. Леніна, б. 31; E-mail: ameerhadad@yahoo.com.

Кисельова-Логінова Катерина Валерійвна – кандидат технічних наук, Інститут хімічних технологій (м. Рубіжне) Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, доцент кафедри екології; м. Рубіжне, Луганська обл., вул. Леніна, б. 31; e-mail: perkiara@yandex.ua.

Попов Євген Вадимович – доктор технічних наук, професор, Інститут хімічних технологій (м. Рубіжне) Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, професор кафедри екології; м. Рубіжне, Луганська обл., вул. Леніна, б. 31; e-mail: popov@iht.lg.ua.

УДК 656.073.7: 631.372-631.374

Д. О. МУЗИЛЬОВ, Н. Г. БЕРЕЖНА, О. В. КУТЬЯ

КРИТЕРІЙ ФОРМУВАННЯ ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ З УРАХУВАННЯМ СУЧАСНИХ ЕКОНОМІЧНИХ УМОВ АГРОПРОМИСЛОВОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Зазначено відсутність в роботі аграрного комплексу універсальної методики визначення раціонального варіанту технології доставки сільськогосподарських вантажів з урахуванням можливої продуктивності підприємства. На підставі проведеного аналізу існуючих транспортно-технологічних схем збирання й доставки сільськогосподарських вантажів запропоновано п'ять базових. Обґрунтовано вибір продуктивності комбайну, як першоутворюючого елементу у визначенні складу збирально-транспортного комплексу. Запроваджено новий інтегральний критерій визначення раціональної структури парку і наведена методика його економічного обґрунтування.

Ключові слова: транспортно-технологічна схема доставки, збирально-транспортний комплекс, критерій, економічна ефективність.

Вступ. Сьогодні аграрний сектор України одна з найперспективніших галузей економіки. Пошук нових шляхів розвитку, підвищення ефективності функціонування сільськогосподарського виробництва, за рахунок впровадження раціональних методів планування діяльності аграрних підприємств, фірм та організацій – є ключовим моментом економічного росту аграрного бізнесу.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. В сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу України дуже важко оснастити необхідною технікою аграрні підприємства. Тому більшість сільськогосподарських підприємств країни для зниження транспортної складової у загальній вартості сільськогосподарських виробів використовують технологічні схеми, які було розроблено ще за радянських часів. Однак, для всіх цих схем притаманний один суттєвий недолік – значні експлуатаційні витрати, що пов'язані з використанням значного за своїми розмірами транспортно-логістичного комплексу (велика кількість комбайнів, тракторів, вантажних автомобілів та інших допоміжних засобів механізації). Це є неприйнятною умовою в часи жорсткої ринкової конкуренції [1].

Особливістю функціонування сільськогосподарського підприємства, а точніше, його збирально-

транспортного комплексу (ЗТК) – є сезонність. Обмеження в часі на проведення робіт по збору врожаю накладає додаткові вимоги на пошук раціональних методів формування ЗТК. Загальновідомо, що на надійність своєчасного виконання польових робіт у відведені терміни в значній мірі впливає організація їх проведення [2]. Тобто, яким чином забезпечується терміновість та беззбитковість перевезення зібраного урожаю. При цьому також, не аби яку роль відіграє, координація роботи між усіма елементами ЗТК. Щоб забезпечити безперебійну роботу комплексу, необхідно розрахувати потребу в транспортних засобах (ТЗ) для перевезення продукції [3]. Ряд науковців займалися пошуком методів планування і визначення необхідної кількості та складу збирально-транспортного комплексу. Не зважаючи на ґрунтовані та немалу кількість попередніх досліджень з визначення кількості одиниць ЗТК [4-16], потрібно відзначити дуже різноманітний спектр підходів до вирішення даної проблематики. Основною відмінною особливістю вказаних робіт є використання різних критеріїв оптимальності. Високий рівень розробок математичного апарату, а також необхідність обліку випадкового характеру протікання технологічних процесів в сільськогос-

© Д. О. Музильов, Н. Г. Бережна, О. В. Кутья. 2015

подарському виробництві привели до використання теорії масового обслуговування для вирішення завдань пов'язаних з проектуванням потокових технологічних ліній. В роботі [17] розглядається підхід до визначення ефективних шляхів використання ресурсів підприємств в умовах подальшого розвитку транспортної галузі з урахуванням внутрішніх і зовнішніх факторів. При цьому, немає єдиних рекомендацій щодо розрахунку кількості збиральної техніки, засобів транспорту, що забезпечують перевізний процес сільськогосподарських вантажів та допоміжних навантажувально-розвантажувальних механізмів (машин), які задіяні в процесі перевалки (перевантаження) при використанні конкретної транспортно-технологічної схеми (ТТС) доставки сільгоспвантажів.

Робота збирально-транспортного комплексу базується на продуктивності роботи комбайну. Під його роботу налаштовуються усі інші учасники процесу. Кількість комбайнів, транспортних засобів, навантажувально-розвантажувальних механізмів повинна бути достатньою для безперервної роботи усього ЗТК. Існує безліч ТТС збирання й транспортування врожаю. Нераціонально підібрана чисельність кожної ланки обраної схеми призведе або до затримок в роботі усього комплексу і як слідство, до втрат врожаю, або до невикористання коштів на експлуатацію зайвих збирально-транспортних засобів і перевантажувальних механізмів.

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є формування методики визначення кількісної характеристики ЗТК під час використання обраної ТТС доставки сільгоспвантажів. В період жорсткої конкуренції її відсутність не дає можливості адекватно спланувати роботу й проведення сільськогосподарських й транспортних підприємств.

Задачею досліджень є обґрунтування запропонованого критерію для кінцевого уточнення раціональної технології доставки сільськогосподарських вантажів в умовах ринкової економіки.

Були запропоновані наступні кроки вирішення викладеного завдання:

- розробка математичної моделі системи перевезень сільгоспвантажів та вибір статистичних параметрів системи перевезень;
- визначення впливу структури системи автомобільних перевезень сільгоспвантажів на витрати по доставці та терміну збору врожаю;
- обґрунтування ефективності прийнятих рішень.

Матеріали та методи дослідження. Перелік основних параметрів, їх вплив на економічну складову роботи комплексу, а точніше витрати на доставку ($B_{\text{досм}}$) і термін збору врожаю ($T_{\text{зб}}$) наведено в роботі [18].

При цьому цільова функція виглядає наступним чином:

$$f(B_{\text{досм}}; T_{\text{зб}}) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Виходячи з аналізу наукових досліджень можна зробити висновок, що існує велика кількість ТТС доставки вантажів, які можуть бути застосовані в сільському господарстві. На наш погляд схеми, що викори-

стовуються можна об'єднати за деякими сумісними параметрами в п'ять базових:

- 1) схема: прямий варіант по схемі комбайн-автомобіль-вантажосховище;
- 2) схема: доставка сільгоспвантажу з перевалкою через бурт;
- 3) схема: доставки сільгоспвантажу із перечепленням причепа біля поля;
- 4) схема: доставки сільгоспвантажу із перечепленням напівпричепа біля поля і вантажосховища;
- 5) схема: доставки сільгоспвантажу з перевалкою у місці тимчасового зберігання, що знаходиться на маршруті перевезення.

Вигляд запропонованих варіантів транспортно-технологічних схем доставки (ТТСД) сільгоспвантажу, а також методика розрахунку необхідної чисельності одиниць складу ЗТК, що забезпечать безперебійну роботу усього комплексу, наведено в роботі [19]. За основу в ній обрано технічну продуктивність кожної окремо групи комбайнів, автомобілів та навантажувально-розвантажувальних засобів. Технічна продуктивність – є комплексним показником, що поєднує технічні характеристики кожного з елементів ЗТК (ширину захвату комбайна, номінальну вантажність автомобіля, трактора, причепа або напівпричепа, швидкість переміщення шкребків навантажувачів), технологічні особливості роботи транспортних засобів (відстань перевезення, часові характеристики простоїв під час навантажувально-розвантажувальних операцій, швидкісні параметри режимів руху), а також експлуатаційні умови роботи автомобілів (коефіцієнти використання вантажності та пробігу).

Застосування комбайну – це невід'ємна умова роботи ЗТК. Наведена методика в роботі [19] ще раз це підтверджує. Тому приймаємо комбайн першоутворюючим елементом в визначенні складу комплексу. Для спрощення подальших розрахунків сформовано та розглянуто основні можливі комбінації складу ЗТК:

- усі одиниці ЗТК виробництва країн ближнього зарубіжжя, або вітчизняні;
- комбайни виробництва країн ближнього зарубіжжя у сполученні з транспортною технікою виробництва країн дальнього зарубіжжя;
- транспортна техніка виробництва країн дальнього зарубіжжя, а комбайн – ближнього;
- транспортна техніка виробництва країн дальнього зарубіжжя, а комбайни – ближнього;
- усі одиниці ЗТК виробництва країн дальнього зарубіжжя.

В результаті моделювання та побудови регресійних моделей залежності витрат на доставку та часу збирання врожаю від технічних й технологічних характеристик процесу, отримано інтегральний критерій. Графічна інтерпретація цього комплексного критерію для вибору раціональної технології, з урахуванням обмежень в часі під час збирання врожаю, згідно технологічних карт з вирощування тієї чи іншої сільськогосподарської культури, наведено на рис. 1.

Проекція на вісь X показує, що однозначно обрати раціональну схему доставки вантажів не можливо, точка попадає між 3-ю та 4-ю транспортно-технологічними схемами, тому необхідно додатково

прорахувати витрати в натуральному вигляді для уточнення раціональної технології.

Для визначення економічного ефекту, а саме цей показник відображає практичну значимість запропонованого критерію [20], проведено розрахунок витрат по доставці сільськогосподарського вантажу за схемами №3 та 4. Обрано наступні варіанти комбінацій:

- комбайн (Нива) + трактор з причепом (МТЗ-80+ТСП-6.5) + автотягач: автомобіль + причеп (ГАЗ-53 + ТСП-6.5);

- комбайн (Нива) + трактор з напівпричепом (МТЗ-80+ ПСТ-4) + автотягач: автомобіль + напівпричеп (ГАЗ-53 + ПСТ-4).

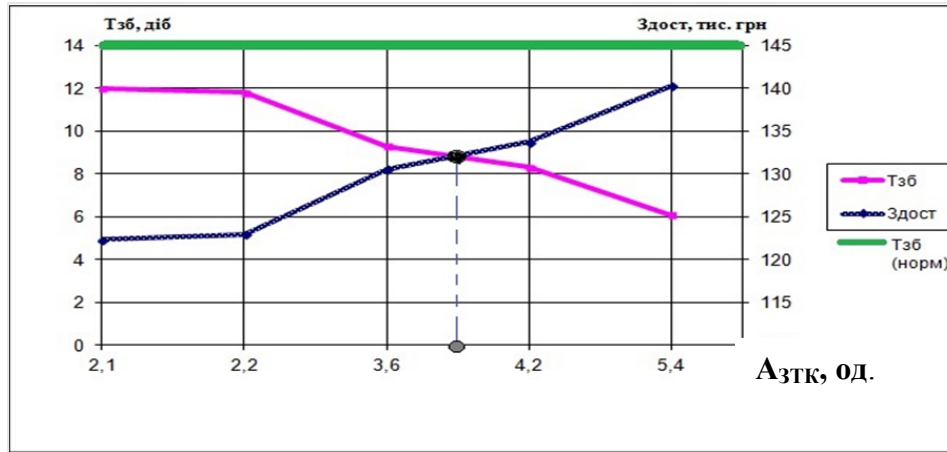


Рис. 1 – Графік вибору раціональної технології доставки врожаю з урахуванням обмежень

Визначаємо витрати по доставці за схемою № 3 у гривні:

$$V_{дост}^{III} = B_{комб} + B_{трак}^{перв} + B_{автот}^{перв} + B_{комб}^{наван} + B_{прич}^{переч} + B_{автот}^{розван} + B_{авт}^{наван} \quad (2)$$

де $B_{прич}^{переч}$ – витрати на перечеплення причепа біля поля, грн; $B_{автот}^{розван}$ – витрати від простою автопотягів під навантаженням у вантажосховищі, грн; $B_{авт}^{наван}$ – витрати від простою автомобілів під навантаженням біля комбайну, грн.

$$B_{прич}^{переч} = C_{прич}^{переч} \cdot n_{прич}^{переч} \quad (3)$$

де $C_{прич}^{переч}$ – вартість однієї операції по перечепленню причепа, грн./од; $n_{прич}^{переч}$ – кількість перечеплень причепа протягом робочої зміни біля поля, од.

$$B_{автот}^{розван} = \sum_{i=1}^n C_{автот_i}^{прост} \cdot t_{автот_i}^{розван} \quad (4)$$

де $C_{автот_i}^{прост}$ – вартість однієї години простою автопотягу i -го виду, грн./год. $t_{автот_i}^{розван}$ – тривалість розвантажень автопотягу i -го виду у вантажосховищі протягом робочої зміни, год.

$$B_{авт}^{наван} = \sum_{i=1}^n C_{авт_i}^{прост} \cdot t_{авт_i}^{навант} \quad (5)$$

де $C_{авт_i}^{прост}$ – вартість однієї години простою автомобіля i -го виду, грн./год; $t_{авт_i}^{навант}$ – тривалість навантажень комбайном автомобіля i -го виду на полі, год.

Визначаємо витрати за схемою № 4 в гривні:

$$V_{дост}^{IV} = B_{комб} + B_{трак}^{перв} + B_{авт}^{перв} + B_{комб}^{наван} + B_{напівприч}^{переч} \quad (6)$$

де $B_{комб}$ – витрати на роботу комбайном, грн; $B_{трак}^{перв}$ – витрати на перевезення врожаю трактором від комбайну до місця перечеплення, грн; $B_{авт}^{перв}$ – витрати на перевезення врожаю автопотягом від поля 1 місця перечеплення напівпричепа причепа до вантажосховища, грн; $B_{комб}^{наван}$ – витрати на перевантаження врожаю із накопичувального бункера комбайну до напівпричепа (причепа) трактору з врахуванням непродуктивних простоїв, грн; $B_{напівприч}^{переч}$ – витрати на перечеплення напівпричепа біля поля та у вантажосховища, грн.

$$B_{комб} = \sum_{i=1}^n T_{комб_i} \cdot S_{поля_i} \quad (7)$$

де $T_{комб_i}$ – тариф на збирання 1 га врожаю комбайном i -го виду, грн./га; $S_{поля_i}$ – площа засівів, що збираються комбайном i -го виду, га.

$$B_{трак}^{перв} = \sum_{i=1}^n C_{трак_i}^{мчр} \cdot T_{трак_i}^{роботи} \quad (8)$$

де $C_{трак_i}^{мчр}$ – вартість машино-години чистої роботи i -го трактору, грн./год; $T_{трак_i}^{роботи}$ – кількість годин роботи i -го виду трактору протягом робочої зміни, год.

$$B_{авт}^{перв} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m T_{авт_{ij}}^{перв} \cdot l_{перев_{ij}} \cdot Q_{фij} \quad (9)$$

де $T_{авт_{ij}}^{перв}$ – тариф на перевезення автопотягом із напівпричепом i -го виду до вантажосховища при j -й їзді, грн./ткм; $l_{перев_{ij}}$ – відстані перевезення автопотягом i -го виду при j -й їзді, км; $Q_{фij}$ – фактичний обсяг перевезення врожаю i -м автопотягом при j -й їзді, т.

$$B_{комб}^{наван} = \sum_{i=1}^n T_{наван}^{1T} \cdot q_{наван_i} + \sum_{i=1}^n T_{трак_i}^{прост} \cdot t_{трак_i}^{прост} \quad (10)$$

де $T_{наван}^{1T}$ – тариф на перевантаження однієї тони врожаю із бункеру комбайну i -го виду, грн./т; $q_{наван_i}$ – обсяг навантаження врожаю комбайном i -го виду, т; n – кількість циклів навантаження комбайнами врожаю протягом робочої зміни, циклів; $T_{трак_i}^{прост}$ – вартість машино-години внутрізмінного простою трактору i -го виду, грн/год; $t_{трак_i}^{прост}$ – тривалість простоїв під навантаженням трактору i -го виду з напівприцепом (прицепом) протягом робочої зміни, год.

$$B_{напівприч}^{переч} = C_{напівприч}^{переч} \cdot n_{напівприч}^{переч}, \quad (11)$$

де $C_{напівприч}^{переч}$ – вартість однієї операції по перечепленню напівпричепа, грн./од; $n_{напівприч}^{переч}$ – кількість перечеплень напівпричепа протягом робочої зміни біля поля та у вантажосховища, од.

За результатами розрахунків обирається найбільш ефективніша ТТС.

Висновки

- 1) Обрано основні параметри, що впливають на економічну складову роботи комплексу, а точніше витрати на доставку ($B_{досм}$) і термін збору врожаю ($T_{зб}$);
- 2) на підставі проведення аналізу існуючих ТТСД сільськогосподарських вантажів обрано п'ять базових;
- 3) запропоновано основні можливі комбінації складу ЗТК;
- 4) визначено комплексний інтегральний критерій для вибору раціональної технології, з урахуванням обмежень в часі в період збирання врожаю;
- 5) застосовано методику визначення економічного ефекту для остаточного обґрунтування практичної значимості запропонованого інтегрального критерію.

Список літератури: 1. Музильов, Д. О. Порядок формування комбінацій вихідних даних для визначення розмірів збирально-транспортного комплексу [Текст] / Д. О. Музильов, А. Г. Кравцов, Н. Г. Бережна, О. І. Усков // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка, присвячений 85 – річчю університету: Транспортні технології / Випуск 160, Мін-во освіти і науки України. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2015. – С. 273–278. 2. Быков, Н. Н. Расчет транспортных средств для перевозки продукции от уборочных агрегатов / Н. Н. Быков // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1981. – № 1. – С. 33–35. 3. Фришев, С. Г. Основи транспортного процесу в АПК : посібник [для сам. роботи студентів] / С. Г. Фришев, В. З. Докуніхін. – К. : Державна академія керівних кадрів, 2009. – 420 с. 4. Лімонт, А. С. Дослідження і розрахунок транспортування вроху в льонозбиральному комбайновому комплексі [Текст] / А. С. Лімонт, В. О. Ломакін // Вісник Житомирського держ. технологіч. ун-тету. - Житомир : ЖДТУ, 2010. - № 2 (53). – С. 91–96. 5. Нефьодов, В. М. Рационалізація технології пе-

реवेशень зерна [Текст] / В. М. Нефьодов, Ю. А. Ткаченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2013. – Вып. 3/3 (63). – С. 13–15. 6. Мазнев, Г. Є. Оптимізація збирально-транспортних комплексів методами теорії масового обслуговування [Текст] / Г. Є. Мазнев // Механізація сільськогосподарського виробництва // Вісник ХНТУСГ. – Х. : ХНТУСГ, 2013. – Т. 2, Вип. 93. – С. 56–68. 7. Столяр, Т. В. Математична модель транспортного обслуговування замовників спеціалізованого автотранспорту при виконанні аварійних ремонтних робіт [Текст] / Т. В. Столяр, В. В. Тютюнік // Автомобильный транспорт // Сборник научных трудов. – Х.: Харьков 2009. – Вып. 24. – С. 72–77. 8. Горяинов, А. Н. Использование методов технической и экономической диагностики в рамках транспортной диагностики [Текст] / А. Н. Горяинов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011, Том 3, № 3(51). – С. 61–64. 9. Музильов, Д. О. Критерий выбора рациональной технологии доставки сельскохозяйственных грузов [Текст] / Д. Музильов, М. Карнаух, Н. Бережна, О. Кутья // Motrol. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Comission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin 2015. – Vol. 17, №7. – С. 67–72. 10. Музильов, Д. А. Определение рациональной структуры уборочно-транспортного комплекса [Текст] / Д. А. Музильов, Н. Г. Бережная // Журнал «Научное обозрение». – 2015. – № 24 – С. 491–469. 11. Шраменко, Н. Ю. Аналіз критеріїв ефективності функціонування логістичних систем при доставці вантажів [Текст] / С. В. Нагорний, Н. Ю. Шраменко // Наукові нотатки: міжвузівський збірник. – Луцьк: ЛНТУ, 2010. – Вип. 28. – С. 353–357.

Bibliography (transliterated): 1. Muzylov, D. O., Kravtsov, A. H., Berezhna, N. H., & Uskov, I. (2015). Poryadok formuvannya kombinatsiy vykhidnykh danykh dlya vyznachennya rozmiriv zbyral'no-transportnoho kompleksu. Visnyk KNTUSH ime. P. Vasylenka, prysvyachenyy 85 – richchyu universytetu: Transportni tekhnolohiyi, 160, 273–278. 2. Bukov, N. N. (1981). Raschet transportnykh sredstv dlya perevozky produktov ot uborochnykh ahreatov. Mekhanyzatsiya y elektrifykatsiya sotsyalistycheskoho sel'skoho khozyaystva, 1, 33–35. 3. Fryshev, S. H., Dokunikhin, V. Z. (2009). Osnovy transportnoho protsesu v APK : posibnyk [dlya sam. roboty studentiv, 420. 4. Limont, A. S., Lomakin, V. O. (2010). Doslidzhennya i rozrakhunok transportuvannya vorokhu v l'onozbyral'nomu kombaynovomu kompleksu. Visnyk Zhytomyr's'koho derzh. tekhnolohich. un-tetu, 2, 53, 91 – 96. 5. Nefodov, V. M., Tkachenko, Yu. A. (2013). Ratsionalizatsiya tekhnolohiyi perevezhen'. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3/3, 63, 13–15. 6. Maznev, H. Ye. (2013). Optymizatsiya zbyral'no-transportnykh kompleksiv metodamy teoriiy masovoho obsluhovuvannya. Visnyk KhNTUSH, 2, 56 – 68. 7. Stolyar, T. V., Tyutyunik, V. V. (2009). Matematychna model' transportnoho obsluhovuvannya zamovnykiv spetsializovanoho avtotransportu pry vykonanni avariynnykh remontnykh robit. Avtomobil'nyy transport. Sbornyk nauchnykh trudov, 24, 72–77. 8. Horyaynov, A. N. (2011). Yspol'zovanye metodov tekhnicheskoy y ekonomicheskoy dyahnostyky v ramkakh transportnoy dyahnostyky. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3, 51, 61–64. 9. Muzylov, D., Karnaukh, M., Berezhna, N. & Kutya, O. (2015) Krytery vybora ratsyonal'noy tekhnolohyyi dostavky sel'skokhozyaystvennykh hruzov. Motrol. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Comission of motorization and energetics in agriculture, 17, 67–72. 10. Muzilev, D. A., Berezhnaya, N. H. (2015). Opredelenye ratsyonal'noy struktury uborochno-transportnoho kompleksa. Zhurnal «Nauchnoe obozrenye», 24, 491–469. 11. Shramenko, N. Yu., Nahornyy, Ye. V. (2010). Analiz kryteriyiv efektyvnosti funktsionuvannya lohistychnykh system pry dostavtsi vantazhiv. Naukovi notatky: mizhvuziv's'kyi zbirnyk, 28, 353–357.

Надійшла (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Музильов Дмитро Александрович – кандидат технічних наук, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П. Василенка, доцент кафедри транспортних технологій і логістики; Харків, вул. Артема, 44; e-mail: murza_1@ukr.net.

Бережна Наталія Георгіївна – аспірант, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П. Василенка, викладач кафедри транспортних технологій і логістики; Харків, вул. Артема, 44; e-mail: bereg_nat@ukr.net.

Кутья Олеся Валеріївна – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П. Василенка, викладач кафедри транспортних технологій і логістики; Харків, вул. Артема, 44; e-mail: beth_2008@meta.ua.

УДК 677.011:677.02

М. Н. НУРИЕВ, Т. Т. МУСАЕВА

ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Изложена задача оценки значимости технологических процессов на текстильных предприятиях. Предложенная методика, которая позволяет определить их влияния на результативность структурных подразделений. Значимость процессов рассчитана с применением методологии функционально-стоимостного анализа. В качестве примера выбран оптимальный вариант совершенствования процессов материально-технического снабжения и подтверждена его эффективность.

Ключевые слова: текстильные предприятия, значимость, функционально-стоимостной анализ, иерархические уровни, процессы материально – технического снабжения, оптимальный вариант.

Введение и постановка проблемы. На предприятиях выпускающие текстильные изделия при построении иерархии процессов системы менеджмента качества (СМК) оценка степени их значимости приобретает особое значение. Для этого на каждом уровне 4-х иерархической зависимости предприятия должны быть сформированы парно-сравнительные матрицы [1–3]. Иерархия процессов конкретного текстильного предприятия (Сумгаитского текстильного парка, Азербайджан) требует построения 54 парно – сравнительных матриц.

На первом уровне иерархии определяется степень относительной значимости элементов иерархии второго уровня; на 2-м уровне значимость элементов третьего уровня; на 3-м четвертого уровня; на 4-м пятого уровня и т. д.

Заполнение матриц осуществлялось на основе экспертных оценок, что проводилось специалистами службы качества предприятия. Экспертные оценки получены с учетом принципа разделения ответственности в соответствии правилами «Руководства по качеству» и результатам анализа процессов системы менеджмента качества (СМК).

Сформированные для 3-х верхних уровней иерархии парно – сравнительные матрицы хорошо согласуются с предложенными матрицами. Поэтому вначале строится парно – сравнительные матрицы для иерархических элементов второго уровня.

Для определения результативности СМК строится парно-сравнительная матрица A_1 . Парно-сравнительные матрицы для иерархических элементов третьего уровня составляются по критерию E_1^2 (выпуск продукции, отвечающие требованиям потребителя). Значимость процессов СМК для иерархических элементов третьего уровня определяется матрицей A_2 . [4, 5]

По критерию E_2^2 (адекватная демонстрация умения обеспечения качества продукции) значимости процессов СМК составляется парно – сравнительная матрица A_3 . По критерию E_3^2 (экономическая эффективность организации и повышение способности к конкуренции) значимости основных процессов СМК строится парно – сравнительная матрица A_4 .

Элементы четвертого уровня иерархии не зависят от всех иерархических элементов третьего уровня, а только зависит от одного основного процесса напрямую. Для определения относительной значимости процесса выбирается один из основных процессов третьего уровня (процессы СМК 1-го и 2-го уровня).

Поэтому на последующих уровнях все 5 матриц (A_5 – A_9) имеют различные количество зависимых процессов (6x6; 7x7; 9x9; 14x14).

По критерию значимости процессов СМК 1-го и 2-го уровней E_1^3 (управление системы менеджмента качества) разработана парно-сравнительная матрица A_5 . По критерию значимости процессов СМК 1-го и 2-го уровней E_2^3 (обеспечение ответственности руководства) строится парно-сравнительная матрица A_6 . По критерию E_3^3 (управление менеджмента ресурсов) значимости процессов СМК 1-го и 2-го уровней строится парно – сравнительная матрица A_7 . По критерию E_4^3 (управление процессами жизненным циклом продукции) значимости процессов СМК 1-го и 2-го уровней строится парно – сравнительная матрица A_8 .

По критерию E_5^3 (измерения, анализ и улучшение) значимости процесс-сов СМК 1-го и 2-го уровней составлен парно – сравнительная матрица A_9 . На пятом уровне иерархии расположены 17 процессов структурных подразделений предприятия. Для этого уровня парно-сравнительные матрицы построены с учетом критерии значимости процессов 1-го и 2-го уровня. Таким образом, на четвертом уровне иерархии всего построены 45 матриц. Для иерархии пятого уровня построена 54 парно – сравнительная матрица. Все парно-сравнительные матрицы удовлетворяет условие $IE < 0,10$, т.е. индекс идентичности должен быть менее 0,10.

Поэтому на основе изложенного алгоритма определения значимости процессов СМК выполняется иерархический синтез приоритетного вектора результативности СМК. Синтез проводится в нескольких этапах, и для каждого уровня иерархии составляется матрица векторов. С этой целью:

1. По каждому основному процессу СМК рассчитывается приоритетные векторы процессов подразделений. Для этого выполняется умножение матричного вектора 4-го уровня сформированных матриц с обратной последовательностью матричных векторов 5-го уровня иерархии.

2. Формируется матрица полученных с умножением матриц $[W_4^1]$ вектора матрицы $[W_4]$ и его умножаем на матрицу векторов третьего уровня $[W_3]$.

3. Полученная матрица $[W_3]$ умножается на матричный вектор $[W_2]$ и в результате находится общий вектор эффективности СМК $[W_1]$.

© М. Н. Нуриев, Т. Т. Мусаева. 2015

Значения итогового вектора указывают на значимости процессов структурных подразделений в деятельности СМК. Эти значения необходимо сравнивать с затратами на качества. С этой целью должна быть осуществлена функциональный анализ процессов СМК.

Функциональный анализ процессов СМК.

Для осуществления функционального анализа (ФА) сравнивали достигнутые результаты расчетов, затраты на несоответствие качества в процессах структурных подразделений и степень значимости процессов в виде приоритетных векторов. Как было отмечено, для сравнения затрат на качества и степени значимости процессов необходимо определить затраты на

несоответствие качества, а потом перевести их на относительную величину. Затем выполняется выбор процесса, требующего улучшения по критерию относительных затрат на единицу значимости [6–8].

Требуемые исходные информации для функционального анализа процессов приведены на табл. 1, 2. Второй столб в табл. 2 является приоритетным вектором $\{W_1\}$ процессов структурных подразделений с точки зрения эффективности СМК, третий столб – доля затрат на несоответствие качества в общих затратах на процессы. После приведения затрат на относительные единицы (4-ый столб) строится функциональная диаграмма, представленная на рис. 1.

Таблица 1 – Затраты на несоответствие качества и относительная значимость процессов СМК

| Процессы подразделений | Степень значимости | Затраты на несоответствие качества | Относительная стоимость затрат на несоответствие | Критерии относительных затрат (затраты / значимость) |
|------------------------|--------------------|------------------------------------|--|--|
| МТС | 0,071 | 55,56 | 0,130 | 1,8386 |
| УП | 0,051 | 25,61 | 0,060 | 1,1706 |
| БУ | 0,046 | 28,88 | 0,068 | 1,4674 |
| ЭМЦ | 0,050 | 12,55 | 0,029 | 0,5928 |
| ИЦ | 0,076 | 18,25 | 0,043 | 0,5635 |
| КНТ | 0,077 | 29,80 | 0,070 | 0,9072 |
| ОУП | 0,042 | 5,90 | 0,014 | 0,3262 |
| ОИТ | 0,077 | 8,39 | 0,020 | 0,5247 |
| ЭМ | 0,068 | 34,08 | 0,080 | 1,1635 |
| ОТК | 0,129 | 2,85 | 0,007 | 0,0519 |
| ЛФ | 0,043 | 16,43 | 0,038 | 0,8860 |
| Итого | 1,00 | 414,46 | 1,00 | – |

Таблица 2 – Морфологическая таблица вариантов улучшения процессов материально-технического снабжения

| Направление совершенствования процесса | Обозначение критерия | Совершенствование процессов по альтернативным мероприятиям | | | | | |
|--|----------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | A 1.1 | A 1.2 | A 1.3 | A 1.4 | A 1.5 | |
| 1. Персонал | – | A 1.1 | A 1.2 | A 1.3 | A 1.4 | A 1.5 | |
| – | P_{ij} | 0,105 | 0,421 | 0,211 | 0,158 | 0,105 | |
| – | Z_{ij} | 0,133 | 0,200 | 0,333 | 0,067 | 0,267 | |
| 2. Работа с поставщиками | – | A 2.1 | A 2.2 | A 2.3 | A 2.4 | A 2.5 | A 2.6 |
| – | P_{ij} | 0,455 | 0,057 | 0,114 | 0,148 | 0,114 | 0,114 |
| – | Z_{ij} | 0,280 | 0,080 | 0,200 | 0,120 | 0,120 | 0,200 |
| 3. Перевозка МТЦ | – | A 3.1 | | A 3.2 | | A 3.3 | A 3.4 |
| – | P_{ij} | 0,375 | | 0,125 | | 0,250 | 0,250 |
| – | Z_{ij} | 0,389 | | 0,167 | | 0,278 | 0,167 |
| 4. Хранение МТЦ | – | A 4.1 | | A 4.2 | | A 4.3 | A 4.4 |
| – | P_{ij} | 0,250 | | 0,375 | | 0,152 | 0,250 |
| – | Z_{ij} | 0,100 | | 0,300 | | 0,200 | 0,400 |
| 5. Работа с документами | – | A 5.1 | | A 5.2 | | A 5.3 | A 5.4 |
| – | P_{ij} | 0,222 | | 0,110 | | 0,333 | 0,333 |
| – | Z_{ij} | 0,217 | | 0,174 | | 0,435 | 0,174 |

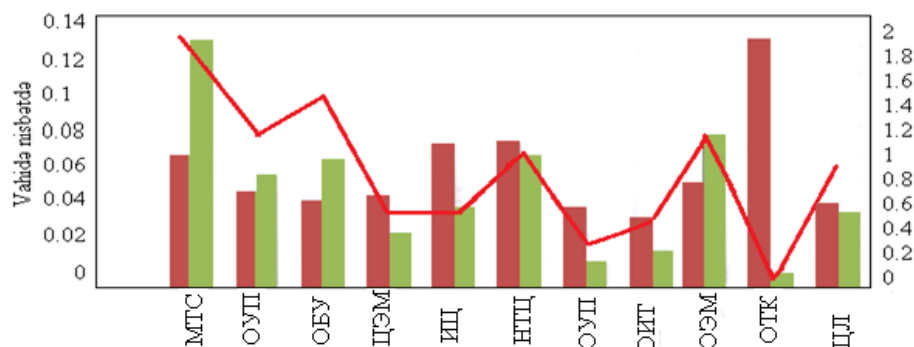


Рис. 1 – Функциональная диаграмма процессов структурных подразделений текстильного предприятия: МТС – отдел материально-технического снабжения; ОУП – отдел управления производством; ОБУ – отдел бухгалтерского учета; ЦЭМ – центр энерго-механический; ИЦ – информационный центр; НТЦ – научно-технический центр; ОУП – отдел управления персоналом; ОИТ – отдел информационных технологий; ОЭМ – отдел экономики и маркетинга; ЦЛ – центральная лаборатория

В діаграмме наглядно видны зоны дисбаланса, в котором затраты на несоответствие больше, чем степень значимости процессов. Дисбалансные участки наблюдаются в процессах отделов материально – технического снабжения (МТС), управление производством (УП), бухгалтерского учета (БУ), экономики и маркетинга (ЭМ) и процессах центральной лаборатории (ЦЛ). Среди перечисленных процессов наиболее нуждающийся в улучшении является процесс, имеющий максимальное значение критерии затрат на единицу значимости процесса. Для каждого процесса величина этой критерии (размер в диаграмме функционально–стоимостного анализа, рис. 1) изображена в форме графика. Из диаграммы следует, что самый большой дисбаланс наблюдается в процессе материально-технического снабжения и для его улучшения необходимо осуществлять определенные организационные мероприятия.

Совершенствование процессов материально – технического снабжения. Результаты функцио-

нального анализа показали, что требуется улучшения процесса материально – технического снабжения. Для этого в первую очередь необходимо определить цели и направления совершенствования. Целью совершенствования процесса МТС выбрана уменьшения несоответствий продукции. Для определения направлений совершенствования построена диаграмма причинно – следственной связи (диаграмма Исикавы, рис. 2). На диаграмме с большими жирными буквами указаны основные факторы, влияющие на качество процессов материально – технического снабжения, менее значительные факторы указаны с курсивом [9, 10]. Как видно из диаграммы, дефекты процесса МТС определяются следующими факторами: работа персонала, работа с поставщиками, перевозки материально – технических ценностей (МТЦ), хранение МТЦ, работа с документацией, экономические расчеты и анализы. Указанные факторы выбраны как основные направления для совершенствования процесса материально – технического снабжения.

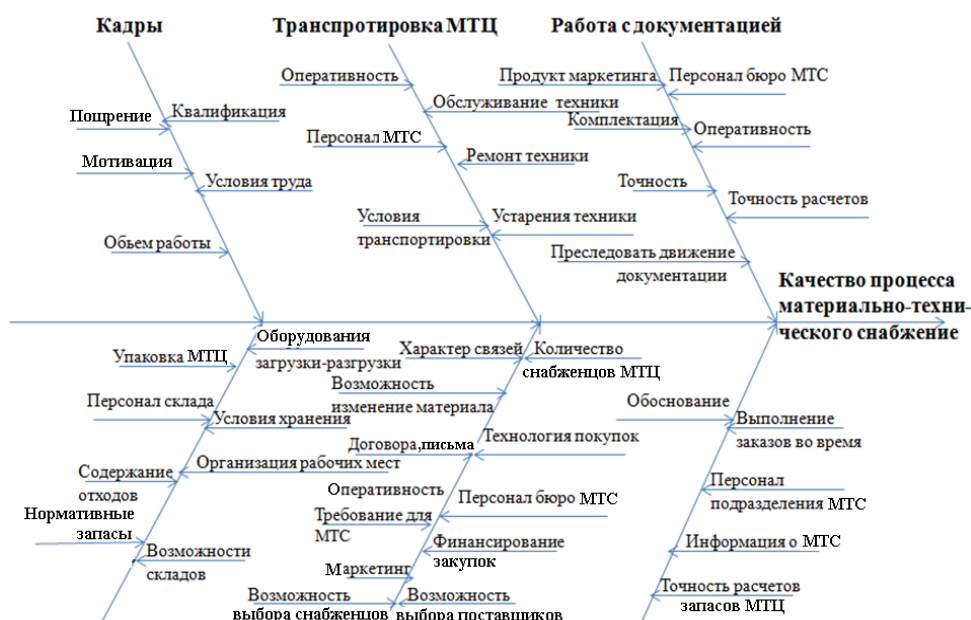


Рис. 2 – Диаграмма причинно-следственной связи процесса материально-технического снабжения

По каждому направлению совершенствования процесса определяется альтернативные мероприятия и строится специальная морфологическая таблица. При заполнении морфологической таблицы используется данные о мероприятиях, уменьшающие уровня несоответствие процессов. В табл. 2 представлена морфологическая таблица вариантов улучшаемых процессов МТС. Проведена оценка критерии результативности предложенных альтернативных мероприятий (P_{ij}) и критерии уровня затрат на выполнение мероприятий (Z_{ij}). Таким образом, в морфологическом множестве мероприятий улучшения процессов материально – технического снабжения, надо найти такую альтернативу, чтобы ее целевая функция $Q(\bar{A})$ достигла бы максимального значения, т.е. $Q(\bar{A}) = P(\bar{A})/Z(\bar{A}) = \max$. Поиск оптимального решения (из комбинации 5 альтернатив) проводится повторным выбором вариантов. Общее количество воз-

можных вариантов по морфологической таблице равно 1920. Очевидно, что проверка в таком количестве вариантов возможно только при помощи программных средств.

Ниже приведены лучшие альтернативные варианты, найдены в результате поиска оптимального решения и упорядочения с последовательностью уменьшения значения целевой функции:

- $Q_1(A1.2, A2.1, A3.4, A4.1, A5.1) = 1.856$,
- $Q_2(A1.2, A2.4, A3.4, A4.1, A5.4) = 1.842$,
- $Q_3(A1.4, A2.1, A3.4, A4.1, A5.4) = 1.835$,
- $Q_4(A1.2, A2.2, A3.4, A4.1, A5.4) = 1.818$,
- $Q_5(A1.4, A2.4, A3.4, A4.1, A5.4) = 1.814$.

Таким образом, оптимальным решением можно считать комбинации (A1.2, A2.1, A3.4, A4.1, A5.4) альтернатив. Здесь: A1.2 – усиление мотивации персонала МТС; A2.1. – выбор поставщиков с приоритетом долгосрочных связей; A3.4 – изменение условий перевозок МТЦ для уменьшения брака; A4.1 – обес-

печение складов с приборами и оборудованием; А5.4 – составление сопроводительных документов в соответствии номенклатуре МТЦ.

После оценки альтернативных мероприятий возможности уменьшения убытков из-за несоответствие процессов материально – технического снабжения оценена в 37 % (табл. 3). Эту цифру с точки зре-

ния эффективности процесса можно считать удовлетворительным результатом. Затраты на указанные мероприятия для улучшения процесса МТС составляет 28700 манат. Эффективность оптимального варианта мероприятия составляет

$$E = P(\bar{A}) / Z(\bar{A}) = 43242,9 / 28700 = 1,51.$$

Таблица 3 – Мероприятия по уменьшению дефектов на предприятии

| Мероприятия по уменьшению дефектов процессов материально-технического снабжения | Существующий уровень дефектов в процессах, % | Уровень дефектов после внедрения мероприятий, % |
|---|--|---|
| Стимулирующие мероприятия по улучшению мотивации работников МТС | 15 | 10 |
| Выбор поставщиков с учетом долгосрочных связей и разработка методики оценки их работы | 13 | 2 |
| Изменение условий и перевозки МТЦ | 16 | 8 |
| Регулирование условий соблюдение правил хранения МТЦ, обеспечение приборами и оборудованием складов | 11 | 2 |
| Определение списка необходимых сопроводительных документов отдела МТС | 9 | 5 |

Таким образом, для принятия окончательного решения об эффективности альтернативных мероприятий должно быть выполнено условие $E > 1$, т.е. результативность процесса должна превышать затраты на его совершенствования, что в нашем случае выполняется. Это показывает, что выбор оптимального варианта мероприятия совершенствование процесса проведен правильно.

Выводы. Проведена оценка значимости технологических процессов структурных подразделений при обеспечении эффективности системы менеджмента качества. Такая оценка позволяет определить степень влияние процессов структурных подразделений предприятия на результативность СМК. В соответствии с методологией функционально-стоимостного анализа значимость процессов структурных подразделений рассчитан на основе затрат на несоответствие качества. По максимальному значению относительных затрат выбран процесс, наиболее нуждающийся в улучшении. Установлено, что процессы материально-технического снабжения на предприятии нуждаются в улучшении. Разработаны альтернативные мероприятия по их улучшению и подтверждена их эффективность. Определены альтернативы улучшения процесса материально-технического снабжения, построены морфологические таблицы и найдены пути решения задачи оптимизации. Для совершенствования процесса материально – технического снабжения выбран оптимальный вариант из комбинаций альтернативных мероприятий и подтверждена его эффективность.

Список литературы: 1. Карлик, Е. М. Затраты на повышение качества продукции на машиностроительных предприятиях [Текст] / Е.

М. Карлик. – СПб., ДНТП, 2009. – 270 с. 2. Карнунин, М. Г. Основы функционально-стоимостного анализа [Текст] / М. Г. Карнунин, Б. И. Мауданчик. – М.: Энергия, 2005. – 174 с. 3. Кубанов, А. Я. Управление машиностроительным предприятием на основе функционально-стоимостного анализа [Текст] / А. Я. Кубанов. – М.: Машиностроение, 2010. – 160 с. 4. Леонов, Т. И. Управление затратами в системе качества промышленного предприятия [Текст] / Т. И. Леонов: автореф. дисс... д.э.н., СПб, 2000. – 32 с. 5. Львов, Д. С. Экономика качества продукции [Текст] / Д. С. Львов. – М.: Экономика, 2002. – 256 с. 6. Моисеев, Н. Н. Функционально-стоимостной анализ в машиностроении [Текст] / Н. Н. Моисеев. – М.: Машиностроение, 2007. – 320 с. 7. Методика формирования системы оценки затрат на качество продукции [Текст]: М.: ВНИИС, 2005. – 159 с. 8. Аверченко, В. И. Проектирование технологических процессов на основе системного подхода [Текст] / В. И. Аверченко, О. А. Горленко. – Брянск: БИТМ, 2007. – 188 с. 9. Андрейчиков, А. В. Компьютерная проработка системы менеджмента качества продукции [Текст] / А. В. Андрейчиков. – М.: Машиностроение, 2008. – 476 с. 10. Мусаева, Т. Т. Стандартизация производства – как фактор повышения конкурентоспособности товаров [Текст] / Т. Т. Мусаева // Научные труды, АзТУ. – 2012. – №1. – 4 с.

Bibliography (transliterated): 1. Karlik, E. M. (2009). Zatraty na povysheniye kachestva produktsii na mashinostroitelnykh predpriyatiyakh. SPb., DNTP, 270. 2. Karnunin, M. G., Maudanchik, B. I. (2005). Osnovy funktsionalno-stoimostnogo analiza. Moscow: Energiya, 174. 3. Kubanov, A. Ya. (2010). Upravlenie mashinostroitelnym predpriyatiem na osnove funktsionalno-stoimostnogo analiza. Moscow: Mashinostroeniye, 160. 4. Leonov, T. I. (2000). Upravlenie zhatratami v sisteme kachestva promyshlennogo predpriyatiya: avtoref. diss... d.e.n., SPb, 32. 5. Lvov, D. S. (2002). Ekonomika kachestva produktsii. Moscow: Ekonomika, 256. 6. Moiseev, N. N. (2007). Funktsionalno-stoimostnoj analiz v mashino-straienii. Moscow: Mashinostroeniye, 320. 7. Metodika formirovaniya sistemy ocenki zhatrat na kachestvo produktsii. (2005). Moscow: VNIIS, 159. 8. Averchenko V. I., Gorlenko, O. A. (2007). Proektirovaniye tekhnologicheskix processov na osnove sistemnogo podkhoda. Bryansk: BITM, 188. 9. Andreychikov, A. V. (2008). Kompyuternaya proderzhka sistemy menedzhmenta kachestva produktsii. Moscow: Mashinostroeniye, 476. 10. Musaeva, T. T. (2012). Standartizatsiya proizvodstva - kak faktor povysheniya konkurentosposobnosti tovarov. Nauchnye trudy, AzTU, №1, 4.

Поступила (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мусаева Тарана Тахир кызы – диссертант, преподаватель, Азербайджанский государственный экономический университет, Кафедра «Стандартизация и сертификация»; ул. Истиглалият, 6, г. Баку, Азербайджан, AZ1001; e-mail: taranamusayeva@mail.ru.

Нуриев Магеммадали Нуреддин оглы – доктор технических наук, профессор, Азербайджанский государственный экономический университет, Кафедра «Стандартизация и сертификация»; ул. Истиглалият, 6, г. Баку, Азербайджан, AZ1001.

УДК 621.822

Т. Н. СОРОКИНА**ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОСТАТОДИНАМИЧЕСКОГО ПОДПЯТНИКА С КАРМАНАМИ РЭЛЕЯ**

Рассмотрено описание экспериментальной установки для исследования гидростатодинамического подпятника с карманами Рэлея на различных режимах эксплуатации. В работе приведены основные компоненты и системы этой установки, конструкция и устройство модернизированной экспериментальной головки, расположение и особенности нагрузочного устройства, состав и конструкция опытного образца гидростатодинамического подпятника с выравнивающим устройством, типы и назначение установленных датчиков и приборов регистрации, состав и описание автоматизированного комплекса регистрации параметров и приборов контроля.

Ключевые слова: экспериментальная установка, гидростатодинамический подпятник, экспериментальная головка, автоматизированный комплекс регистрации параметров.

Введение. На станках, машинах и механизмах с большими осевыми нагрузками используют упорные узлы жидкостного трения. Условия и режимы эксплуатации влияют на выбор типа упорного подшипника скольжения (УПС), выравнивающего устройства и системы подачи смазки в смазочный слой. Для проверки работоспособности упорного узла жидкостного трения используется экспериментальная установка, позволяющая проверить работоспособность его на различных режимах эксплуатации.

Основная цель работы описание экспериментальной установки для проверки работоспособности и эффективности спроектированного и изготовленного упорного узла жидкостного трения на различных режимах эксплуатации.

Анализ исследований и публикаций, постановка проблемы. Проверку работоспособности и эффективности упорных узлов жидкостного трения на различных режимах эксплуатации осуществляют на экспериментальных установках, позволяющих испытать УПС с выравнивающим устройством в зависимости от его типа и особенностей эксплуатации.

Стенд для проведения и результаты экспериментальных исследований гидродинамических УПС с гидростатическим подъемом приведены в работе [1].

Испытания на стенде, с учетом торцевого биения вала для гидродинамических УПС с гидравлическим выравнивающим устройством, были рассмотрены в работе [2].

Экспериментальные исследования УПС с выравнивающим устройством типа Кингсбери, которые позволили проверить работоспособность выравнивающего устройства при торцевом биении вала были проведены на стенде, приведенном в работе [3].

Экспериментальная установка и результаты исследований комбинированного подшипникового узла с гидростатодинамическим УПС приведены в работе [4]. На основании этой работы был апробирован усовершенствованный метод расчета статических характеристик для гидростатодинамического УПС с учетом турбулентного неизоэнтальпического течения смазки. Данный метод расчета представлен нами в работах [5, 6]. Однако, приведенных в работе [4] экспериментальных данных для гидростатодинамического УПС оказалось недостаточно. Поэтому представляется актуальным проведение экспериментальных исследований на стенде, с целью проверки работоспособности гидростатодинамического УПС и сравнение

полученных результатов с теоретическими исследованиями, приведенных в работах [5, 6].

Цель и задачи исследования. Целью работы является описание стенда для проведения испытаний гидростатодинамического УПС на различных режимах эксплуатации, проверка адекватности предложенной теории и работоспособности УПС в условиях турбулентного течения смазки.

Описание экспериментальной установки. Для экспериментальных исследований гидростатодинамического УПС использовался стенд, приведенный в работе [3]. Стенд был создан проф., д. т. н. Хлопенко Н. Я., описание его представлено в работе [7]. Модернизация стенда заключалась в доработке масляной системы, нагрузочного устройства, места под установку опытного образца подпятника, установка, монтаж автоматизированного комплекса регистрации параметров и приборов контроля. Общий вид экспериментальной установки представлен на рис. 1.

Нагрузочное устройство установлено в верхней части экспериментальной головки 11 на плите 13 и служит для плавного изменения дополнительной осевой нагрузки на разных эксплуатационных режимах. Для создания нагрузки использовался динамометр сжатия 14 с штатно установленным индикатором 15.

Масляная система обеспечивает подачу смазки под давлением в опытный образец подпятника и слив масла из внутренней полости экспериментальной головки 11. Она состоит из масляного бака 8, масляного насоса с приводом от электродвигателя 10, масляного коллектора, манометра 9, крана регулировки подачи смазки, шлангов подачи 6 и слива 7 смазки с экспериментальной головки 11, и системы слива избыточной смазки. В качестве смазки использовалось маловязкое масло СГТ [8].

Автоматизированный измерительный комплекс состоит из персонального компьютера 1, программного обеспечения с программой обработки и сохранения информации от установленных датчиков, платы сопряжения с компьютером, токовихревого преобразователя 2, контрольно-измерительного прибора 3, шины подключения датчиков, термопар и токовихревого датчика перемещения, установленных в корпусе опытного образца подпятника. Напряжения от термопар, токовихревого преобразователя 2 поступало на плату сопряжения с компьютером, обрабатывалось и сохранялось при помощи установленной программы. Контроль напряжений от термопар и токовихревого

© Т. Н. Сорокина. 2015

преобразователя осуществлялся цифровым мультиметром. Данный измерительный комплекс производит непрерывные измерения и сохранение истинных значений электрических сигналов с их визуализацией на экране монитора персонального компьютера.

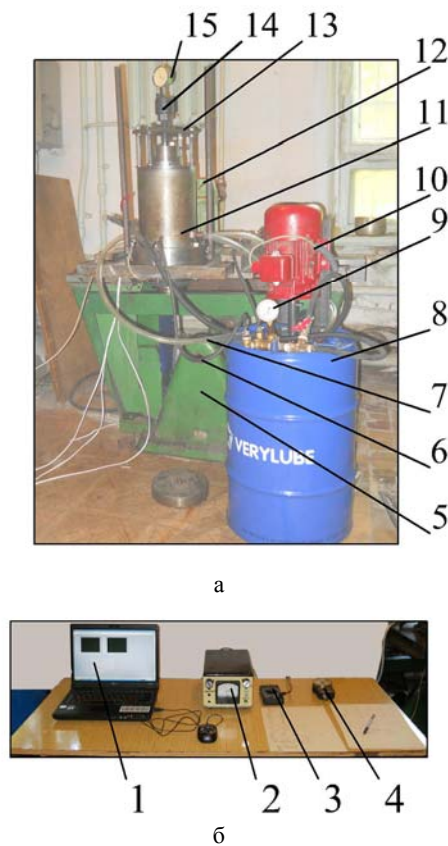


Рис. 1 – Общий вид экспериментальной установки: а – экспериментальный стенд; б – автоматизированный комплекс и приборы контроля; 1 – персональный компьютер; 2 – токовихревой преобразователь; 3 – цифровой мультиметр; 4 – тахометр ИО-10; 5 – станина стенда; 6 – шланг подачи масла; 7 – шланг слива масла; 8 – масляный бак; 9 – манометр МТП-1М; 10 – электродвигатель привода масляного насоса; 11 – экспериментальная головка; 12 – электродвигатель привода экспериментальной головки; 13 – плита крепления динамометра сжатия; 14 – динамометр сжатия ДСП-1; 15 – индикатор ИЧ-10

Она состоит из экспериментальной головки с нагрузочным устройством, масляной системы и автоматического измерительного комплекса. Экспериментальная головка 11, внутри которой установлен опытный образец подпятника, закреплена на плите стенда 5 и имеет привод вращения от электродвигателя 12. Электродвигатель привода 12 приводит во вращение нижний вал экспериментальной головки при помощи ременной передачи с клиновыми шкивами. Привод экспериментальной головки обеспечивает четыре скорости вращения вала.

Для определения скорости вращения электродвигателей приводов 10 и 12 использовался тахометр 4.

Продольный разрез экспериментальной головки представлен на рис. 2. Она состоит из корпуса 26 с двумя торцовыми крышками подшипников 4 и 13, закрепленного к плите стенда 27. Подвижная часть головки представляет собой массивный ротор, состоящий из нижнего 28 и верхнего 11 валов, соединенных

между собой при помощи гайки 23. Нижний вал 28 опирается на подшипник 5 с торцевым уплотнением 3 и подшипник 9. Верхний вал 11 опирается на подшипник 12. Для уменьшения биения сопряжения валов установлены подшипники 10. Установленные радиальные подшипники 10 позволяют валам вращаться независимо друг от друга. Они фиксируются торцевой крышкой 21 при помощи болтов. Опытный образец подпятника 8 установлен между нижним валом 28 и корпусом головки 26 в нижней ее части. Подача масла в подпятник осуществляется по гибким шлангам 7 через головку подачи масла 6, для слива масла используются установленные штуцера 25 с гибкими шлангами 24, которые осуществляют слив масла в масляный бак. Динамометр сжатия 17 с индикатором 18 установлен на плите 16 в верхней части корпуса головки при помощи стоек 14. Передачу нагрузки от динамометра сжатия 17 на верхний вал 11 осуществляется через упорный подшипник 15, величина нагрузки определялась по индикатору 18.

Опытный образец гидростатодинамического подпятника с карманами Рэлея. Основные детали и общий вид опытного образца гидростатодинамического подпятника представлены на рис. 3.

Опытный образец состоит из следующих деталей: секторного не реверсивного подпятника, датчиков температуры и перемещения, выравнивающего устройства и системы подачи смазки.

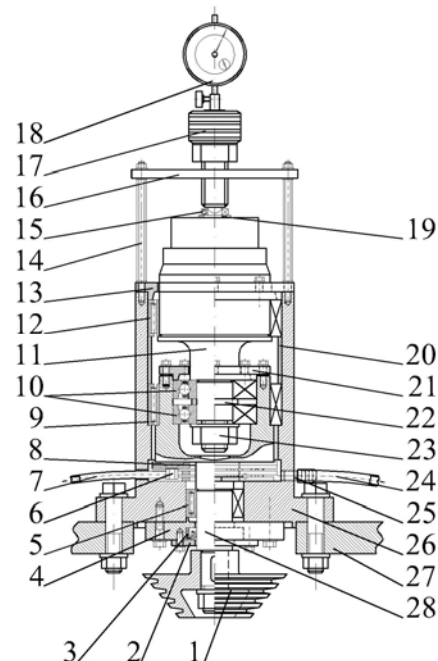


Рис. 2 – Продольный разрез экспериментальной головки: 1 – шкив привода; 2 – торцевая крышка уплотнения; 3 – торцевое уплотнение; 4 – торцевая крышка нижнего подшипника; 5 – нижний игольчатый подшипник; 6 – головка подачи масла со штуцером; 7 – шланг подачи масла; 8 – опытный образец подпятника; 9 – верхний игольчатый подшипник; 10 – радиально упорные подшипники; 11 – верхний вал; 12 – игольчатый подшипник верхнего вала; 13 – торцевая крышка верхнего подшипника; 14 – стойка крепления динамометра; 15 – подшипник динамометра; 16 – плита крепления динамометра; 17 – динамометр сжатия ДСП-1; 18 – индикатор ИЧ-10; 19 – шайба; 20 – верхнее промежуточное кольцо; 21 – торцевая крышка радиально-упорного подшипника; 22 – нижнее промежуточное кольцо; 23 – гайка; 24 – шланг слива масла; 25 – штуцер шланга слива масла; 26 – корпус экспериментальной головки; 27 – плита стенда; 28 – нижний вал.

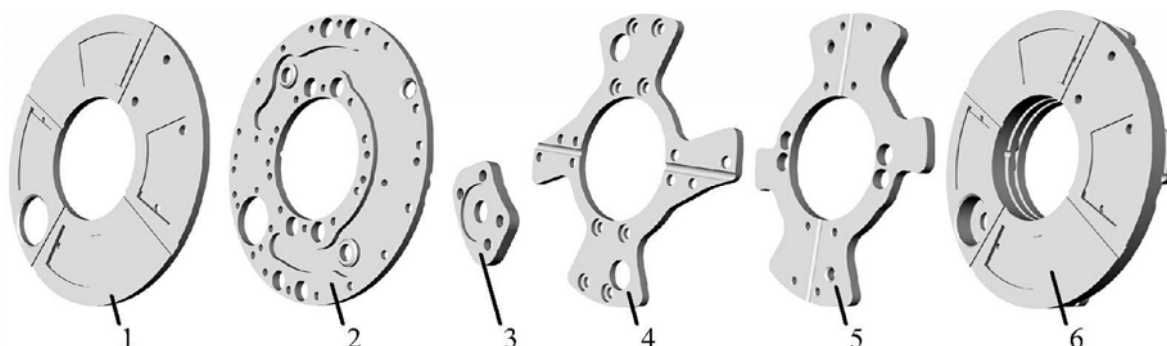


Рис. 3 – Основные детали и общий вид опытного образца гидростатодинамического подпятника со ступенью Рэлея: 1 – верхний диск; 2 – нижний диск; 3 – крышка токовихревого датчика; 4 – верхняя крестовина; 5 – нижняя крестовина; 6 – опытный образец в сборе

Рабочая поверхность подпятника диск 1 состоит из четырех секторов с закрытыми ступенями (карманами). Карман глубиной 1300 мкм расположен в начале сектора. Питающая канавка глубиной 2200 мкм с питателем расположена в начале кармана. Между секторами выполнены дренажные канавки глубиной 900 мкм. Датчики термодпар установлены и закреплены в корпусе дисков 1 и 2, три из них выходят на рабочую поверхность диска 1, а один в канал подачи масла диска 2. Токовихревой датчик закреплен к диску 2 с помощью крышки 3. Выравнивающее устройство карданного типа на роликах состоит из диска 2, верхней 4, нижней 5 крестовин, а также установленных между ними роликов и пружин. Ход выравнивающего устройства - 5 мм. Выравнивающее устройство обеспечило параллельность рабочих поверхностей пяты и подпятника при торцевом биении вала.

Подача смазки к питателям осуществляется от шлангов масляной системы (рис. 2, поз. 7) через головки со штуцерами (рис. 2, поз. 6) и каналу подачи масла в диске 2.

Автоматизированный комплекс регистрации параметров. Основными показателями эффективности работы УПС являются толщина и перегрев смазочного слоя между рабочими поверхностями пяты и подпятника. Контроль и сохранение этих параметров непрерывно по времени с их визуализацией на экране монитора персонального компьютера обеспечивается автоматизированным комплексом регистрации параметров.

Основная аппаратная часть автоматизированного комплекса реализована на базе персонального компьютера и устройства сбора данных National Instruments (NI) USB-6009. Устройство сбора данных NI USB-6009 работает под управлением программного продукта Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW) и выполняет основные функции, необходимые для сбора и сохранения параметров.

Общее описание автоматизированного комплекса, его структура, функциональная схема и основные компоненты представлены в работах [2, 9]. Примеры создания виртуальных приборов на базе платформы LabVIEW представлены в работе [10]. Для создания виртуального прибора контроля, визуализации, обработки и сохранения параметров показаний датчиков использовалась среда разработки и платформа для выполнения программ LabVIEW 2012, использующая

графический язык программирования «G» фирмы National Instruments (США).

Расположение и установка датчиков. Расположение датчиков на опытном образце гидростатодинамического подпятника с карманами Рэлея показано на рис. 4.

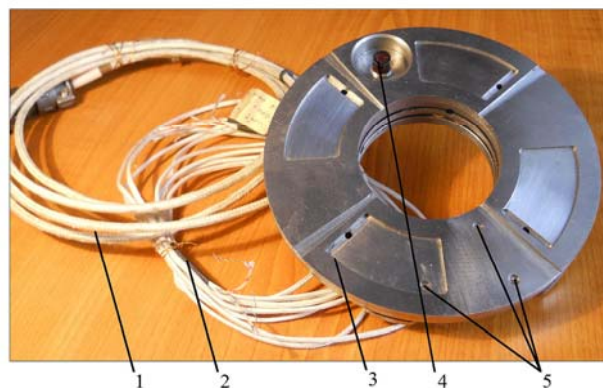


Рис. 4 – Фотография опытного образца гидростатодинамического подпятника с карманами Рэлея в сборе после установки датчиков: 1 – шлейф токовихревого датчика; 2 – выходы концов термодпар; 3 – опытный образец в сборе; 4 – токовихревой датчик; 5 – термодпары

Токовихревой датчик, предназначенный для измерения толщины масляной пленки между поверхностями ротора вала и подпятника (рис.4, поз.4) установлен за карманом в одном из секторов, в противоположном секторе установлены термодпары (рис. 4, поз. 5). Токовихревой датчик закреплен в крышке вихревого датчика (рис. 3, поз. 3) на 420 мкм ниже от рабочей поверхности подпятника. Место установки токовихревого датчика закрывается заглушкой. Токовихревой датчик подключен через армированный изоляционным экраном шлейф (рис. 4, поз. 1) к токовихревому преобразователю (рис. 1, поз. 2). При проходе шлейфа через отверстие в экспериментальной головке установлено сальниковое уплотнение. Для снятия и регистрации выходного сигнала токовихревого датчика напряжение от преобразователя подается на плату сопряжения с компьютером и на цифровой мультиметр (рис. 1, поз. 3).

Хромель-алюмелевые термодпары (рис. 4, поз. 5) установлены: одна в кармане, две на рабочей поверхности подпятника и одна в области подвода смазки.

Расположение термопар позволяет контролировать температуру подаваемой смазки в области питателя, смазочного слоя в кармане и рабочей поверхности подпятника. Термопары установлены в глухих отверстиях сектора подпятника заподлицо с рабочей поверхностью и карманом и залиты эпоксидной смолой. После затвердения смолы рабочая поверхность сектора подпятника в районе термопар шлифовалась по 9 классу чистоты. Провода от термопар подаются через шину подключения датчиков на плату сопряжения с компьютером и на цифровой мультиметр (рис. 1, поз. 3), через отверстие в корпусе экспериментальной головки, с сальниковым уплотнением.

Индикатор часового типа ИЧ-10 (рис. 2, поз. 18), предназначен для определения дополнительной нагрузки от динамометра сжатия ДСП-1 (рис. 2, поз. 17), установлен на штатном креплении в динамометре. Сам динамометр сжатия был установлен на плиту крепления (рис. 2, поз. 16) в верхней части экспериментальной головки. Он позволяет плавно прикладывать нагрузку непосредственно на верхний вал экспериментальной головки через упорный подшипник (рис. 2, поз. 15).

Частоту вращения вала экспериментальной головки контролировали тахометром ИО-10.

Давление подачи смазки в масляную систему после шестеренчатого насоса контролировали при помощи манометра МТП-1М с ценой деления 0,2 МПа.

Выводы

1. Нагрузочное устройство, состоящее из динамометра сжатия ДСП-1 с индикатором ИЧ-10, позволяет плавно изменять нагрузку на подпятник при различных режимах его эксплуатации.

2. Опытный образец подпятника позволил проверить его работоспособность на различных режимах, включая режим старта и остановки. В карманах подпятника исследован турбулентный режим смазки.

3. Модернизированная экспериментальная установка позволяет проводить испытания гидростатодинамического УПС на различных режимах, исследовать влияние гидростатической и гидродинамической составляющих на конструкцию подпятника при турбулентном течении смазки.

Список литературы: 1. Токарь, И. Я. Проектирование и расчет опор трения [Текст] / И. Я. Токарь – М.: Машиностроение, 1971. –

168 с. 2. Романовский, Г. Ф. Динамика упорных подшипников скольжения судовых турбомашин: монография [Текст] / Г. Ф. Романовский, Н. Я. Хлопенко – Николаев: НУК, 2007. – 140 с. 3. Хлопенко, Н. Я. Экспериментальные исследования опытного образца подшипника Кингсбери при торцовых биениях гребня [Текст] / Н. Я. Хлопенко, Д. Л. Кошкин // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2003. – № 1. – С. 57–61. 4. Уилкок, Уин. Повышение долговечности установок с подшипниками качения благодаря использованию комбинированного подшипника [Текст] / Уилкок, Уин // Проблемы трения и смазки: Тр. Америк. о-ва инж.-мех. – М.: Мир, 1970. – № 3. – С. 34–42. 5. Хлопенко, Н. Я. Турбулентная неизотермическая смазка ступенчатого подпятника Рэлея [Текст] / Н. Я. Хлопенко, Т. Н. Сорокина // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2013. – №4. – С. 40–45. 6. Хлопенко, Н. Я. Разностные схемы и точность решения термогидродинамических уравнений смазки подпятника Рэлея [Текст] / Н. Я. Хлопенко, Т. Н. Сорокина // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2015. – №2. – С. 101–106. 7. Хлопенко, Н. Я. Динамика главных упорных подшипников СЭУ [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.08.05 / Николай Яковлевич Хлопенко. – Николаев, 1983. – 201 с. 8. ГОСТ 10289-79. Масло для судовых газовых турбин. Технические условия. [Текст]. – Введ. 1981-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 3 с. 9. Хлопенко, Н. Я. Автоматизированный измерительный комплекс для мониторинга рабочих процессов в упорных подшипниках скольжения судовых турбомашин [Текст] / Н. Я. Хлопенко, С. А. Гаврилов // Проблемы трибологии (Problems of Tribology). – 2007. – №1. – С. 18–22. 10. Батоврин, В. К. LabVIEW: практикум по основам измерительной технологии: Учебное пособие для вузов [Текст] / В. К. Батоврин, А. С. Бессонов, В. В. Мошкин, В. Ф. Папуловский – М.: ДМК Пресс, 2005. – 208 с.

Bibliography (transliterated): 1. Tokar', I. Ja. (1971). Proektirovanie i raschet opor trenija. Moscow: Mashinostroenie, 168 2. Romanovskij, G. F., Hlopenko, N. Ja. (2007). Dinamika upornyh podshpnikov skol'zhenija sudovyh turbomashin: monografija. Nikolaev: NUK, 140 3. Hlopenko, N. Ja., Koshkin, D. L. (2003). Jeksperimental'nye issledovanija opytного obrazca podshpника. Kingsberi pri torcovyh bienijah grebnja. Problemi tribologii (Problems of Tribology), 57–61. 4. Uil'kok, Uin. (1970). Povyshenie dolgovechnosti ustanovok s podshpnikami kachenija blagodarja ispol'zovaniju kombinirovannogo podshpника. Problemy trenija i smazki: Tr. Amer. o-va inzh.-meh., Moscow: Mir, 3, 34–42.5. Hlopenko, N. Ja., Sorokina, T. N. (2013). Turbulentnaja neizotermicheskaja smazka stupenчатого podpjatnika Rjeleja. Problemi tribologii (Problems of Tribology), 2013, 4, 40–45. 6. Hlopenko, N. Ja., Sorokina, T. N. (2015). Raznostnye shemy i tochnost' reshenija termogidrodinamicheskikh uravnenij smazki podpjatnika Rjeleja. Problemi tribologii (Problems of Tribology), 2, 101–106. 7. Hlopenko, N. Ja. (1983). Dinamika glavnyh upornyh podshpnikov SjeU : dis. ... kand. tehn. nauk : 05.08.05. Nikolaev, 201. 8. GOST 10289-79. (1978). Maslo dlja sudovyh gazovyh turbin. Tehnicheskie uslovija. Vved. 1981-01-01. Moscow: Izd-vo standartov, 3. 9. Hlopenko, N. Ja., Gavrilov, S. A. (2007). Avtomatizirovannyj izmeritel'nyj kompleks dlja monitoringa rabochih processov v upornyh podshpnikah skol'zhenija sudovyh turbomashin. Problemi tribologii (Problems of Tribology), 1, 18–22. 10. Batovrin, V. K., Bessonov, A. S., Moshkin, V. V., Papulovskij, V. F. (2005). LabVIEW: praktikum po osnovam izmeritel'noj tehnologii: Uchebnoe posobie dlja vuzov. Moscow: DMK Press, 208.

Поступила (received) 20. 12. 2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сорокина Татьяна Николаевна – аспирант кафедры автоматики, Николаевский национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, пр. Героев Сталинграда, 9, г. Николаев, Украина, 54025; e-mail: tan-sorokina@yandex.ru.

Sorokina Tanya – postgraduate student at department of automatic Nikolayev National Makarov University, pr. Geroev Stalingrada, 9, Nikolaev, Ukraine, e-mail: tan-sorokina@yandex.ru.

УДК 629.7.036.001

Б. Ш. МАМЕДОВ, П. К. ШТАНЬКО**ОСНОВЫ ЕДИНОЙ ТЕОРИИ ДВИЖИТЕЛЕЙ НА НЕПРЕРЫВНЫХ ПОТОКАХ. ВЫВОД ФОРМУЛЫ ТЯГИ И ПОЛЕТНОГО (ТЯГОВОГО) КПД ТРУБКИ ТОКА, НАПРИМЕР, ПОЛИВНОГО ШЛАНГА, КАК ДВИЖИТЕЛЯ**

В данной статье рассматриваются недостатки современной теории воздушно-реактивных двигателей, у которой все ее фундаментальные основы, к которым относятся термодинамический цикл турбореактивных двигателей в координатах P-V, T-S, формулы тяги и полетного (тягового) КПД, теорема о подъемной силе продуваемого профиля, являются ошибочными, что приводит к неточному описанию принципа работы турбореактивных двигателей, физических процессов, имеющих место при работе последних, неточному проектированию, связанному с наличием в турбореактивных двигателях порядка семи конструктивных ошибок, что приводит к задержке технического прогресса в области авиационного строительства, так как существующая формула тяги, $R = G_c C_c$, не работает, поскольку завышает тягу более чем на 300 % по сравнению с реальной тягой.

Ключевые слова: формула тяги, полетного (тягового) КПД трубки тока

Введение. Современная теория воздушно-реактивных двигателей (ВРД) базируется на фундаментальной формуле тяги

$$R = G_c (C_c - V_n) + (P_c - P_n) F_c, \quad (1)$$

которая при $P_c = P_n$ преобразуется в формулу тяги

$$R = G_c (C_c - V_n), \quad (2)$$

которая при $V_n = 0$ преобразуется в формулу тяги

$$R = G_c C_c, \quad (3)$$

и полетном (тяговом) КПД

$$\eta_n = \frac{2}{1 + \frac{C_c}{V_n}} \times 100\%, \quad [1] \quad (4)$$

где R – импульс силы тяги по одному из контуров; G_c – массовый секундный расход газового потока по одному из контуров; C_c – относительная осевая скорость газового потока в выходном сечении С-С реактивного сопла одного из контуров; P_n – статическое давление окружающей среды; V_n – скорость полета, переносная скорость; P_c – статическое давление в выходном сечении С-С реактивного сопла одного из контуров; F_c – площадь выходного сечения С-С реактивного сопла одного из контуров; η_n – полетный (тяговый) КПД по одному из контуров

Исходя из вышеизложенного, перед уже разработанной «Единой теорией двигателей на непрерывных потоках», [2], стояла проблема:

На примере расчета тяги и полетного (тягового) КПД турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРДД) Д-436ТП показать и доказать, что фундаментальные формулы (1) – (4) современной теории воздушно-реактивных двигателей не работают и являются глубоко ошибочными, а значит, не могут являться фундаментальными.

Критика формул тяги и полетного (тягового) КПД современной теории воздушно-реактивных двигателей. Формулы тяги и полетного (тягового) КПД современной теории ВРД не соответствуют экспериментальным данным той же самой современной

теории ВРД и требованиям науки, например:

1. Анализ формулы тяги (1) показывает, что к слагаемой части $G_c (C_c - V_n)$, которая является импульсом силы тяги с размерностью кГ·с, прибавляется второе слагаемое $(P_c - P_n) F_c$ с размерностью кГ. Такая смесь размерностей в одном выражении в науке не допускается.

2. Согласно формулы тяги (1) при $P_c > P_n$, т.е. при недорасширенных газовых потоках, тяга двигателя увеличивается. Экспериментальная часть современной теории ВРД этого не подтверждает, наоборот, она устанавливает, что при $P_c > P_n$ тяга любого ВРД, РД уменьшается, [1, при $\Pi_{c.p.} > \Pi_{c.pасч.}$].

3. Согласно формулы тяги (1) увеличение F_c при $P_c > P_n$ приводит к существенному увеличению тяги ВРД. Экспериментальная часть современной теории ВРД этого не подтверждает, наоборот, она устанавливает, что при $P_c > P_n$, увеличение F_c всегда приводит к уменьшению тяги любого ВРД, см. там же.

4. При $P_c = P_n$, формула тяги (1) преобразуется в формулу (2), согласно которой увеличение $V_n (M_n)$ (где M_n – условное обозначение скорости звука в воздухе) всегда приводит к уменьшению тяги любого ВРД, а при $C_c = V_n$ тяга любого ВРД равняется нулю. Экспериментальная часть современной теории ВРД этого не подтверждает, наоборот, она устанавливает, что при увеличении $V_n (M_n)$ тяга любого ВРД увеличивается и при $V_n (M_n) = C_c$ в несколько раз превышает тягу ТРД при $V_n = 0$, [1].

5. При $P_c = P_n$, $V_n = 0$ формула тяги (1) преобразуется в формулу тяги (3), согласно которой расчет тяги любого ВРД завышается более чем на 300% по сравнению с реальной тягой.

6. Согласно формулы полетного (тягового) КПД (4) при $V_n = C_c$ полетный (тяговый) КПД любого ВРД достигает 100 %, а при $V_n > C_c$ полетный (тяговый) КПД превышает 100 %, что является полным нарушением Закона сохранения энергии, поскольку ни в при

роде, ни в технике не существует такого КПД.

Проведем расчет тяги по первому и второму контуру ТРДД Д-436ТП по формуле (3):

$$R_I = (G_c C_c)_I = 6,6 \cdot 946 = 6250 \text{ кГ} \cdot \text{с}, \quad (5)$$

$$R_{II} = (G_c C_c)_{II} = 32,5 \cdot 188 = 6140 \text{ кГ} \cdot \text{с}, \quad (6)$$

$$R = R_I + R_{II} = 6250 + 6140 = 12390 \text{ кГ} \cdot \text{с}. \quad (7)$$

Реальная тяга по первому контуру ТРДД Д-436ТП составляет 5650 кг·с, а по второму контуру 2000 кг·с, общая тяга на расчетном режиме равна 7650 кг·с [3].

Вывод: формулы тяги, полетного (тягового) КПД (1) –(4) являются ошибочными, поскольку формула полетного (тягового) КПД (4) выдает КПД второго контура свыше 100 %, а формулы (1) –(3) не выполняют третий Закон И. Ньютона – сила действия всегда равна силе противодействия, и почти в два раза превышают тягу ТРДД Д-436ТП ($R=12390$ кГ вместо $R=7650$ кГ), и не могут быть применимы ни в теории, ни в термодинамическом расчете ТРД по математической модели нулевого, первого и второго уровня, у которых тяга двигателя не рассчитывается по формулам (1) –(3), а принимается равной лобовому сопротивлению самолета при расчетной скорости полета, что является неточным. Конструкторам, которые рассчитывают ТРД, это давно известно, но для поддержания престижа отечественной теории ВРД, в основу которой заложены ошибочные фундаментальные формулы тяги и полетного (тягового) КПД (1) –(4), преподавателям авиационных вузов выдают заниженный расход газового потока по первому и второму контуру ТРДД с тем, чтобы произведение $G_c C_c$ равнялось бы тяге ТРДД по соответствующему контуру, например, для ТРДД Д-436ТП расход газа по первому контуру выдают равным 58 кГ/с (вместо реальных 66 кГ/с), а расход газа по второму контуру выдают 105 кГ/с (вместо реальных 325 кГ/с), что является сильнейшим тормозом на пути технического прогресса в области авиационного двигателестроения, поскольку скорость газового потока никогда не генерирует тягу в любом двигателе на непрерывных потоках [4–7].

Постановка цели (задания). Согласно «Единой теории движителей на непрерывных потоках» [2], показать и доказать, что выведенные на ее основе формулы тяги и полетного (тягового) КПД для любой трубки тока, например, поливного шланга, полностью применимы для точного расчета силы тяги и полетного (тягового) КПД ТРДД Д-436ТП и являются единственными для всех типов движителей на непрерывных потоках, включая любые ТРД и ракетные двигатели [8–10].

Вывод формулы тяги и полетного (тягового) КПД трубки тока, например, поливного шланга, как движителя. Вывод формулы тяги и полетного (тягового) КПД любой трубки тока, например, поливного шланга, как движителя, проводится впервые.

Выбор контрольного контура. В качестве контрольного контура выбираем зону Н-Н₁ рис. 1, где Н – сфероидная зона невозмущенного водно-газового потока, рис. 1, поз.2, которая расположена внутри маги-

стрального трубопровода 1, символизирует собой начало ускоренного движения частиц водно-газового потока, при этом необходимо отметить, что при малейшем движении потока воды, вызванным наличием градиента статических давлений, направленного по потоку, из воды начинают выделяться пузырьки растворенного в ней газа, образуется водно-газовый поток, который полностью подчиняется всем законам механики истечения жидкостей и газов; Н₁ – зона невозмущенного потока, конец ускоренного движения частиц водно-газового потока.

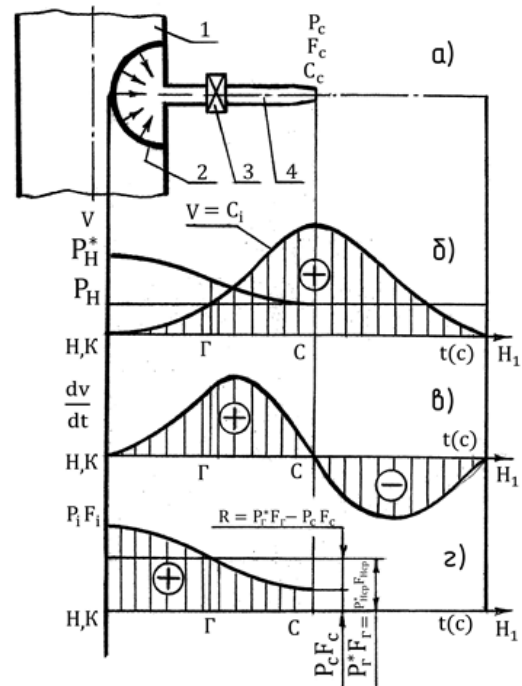


Рис. 1 – Кинематический и силовой анализ движения водно-газового потока в пределах контрольного контура Н-Н₁ для вывода формулы тяги и полетного (тягового) КПД трубки тока, например, поливного шланга, как движителя

Для введения в соответствие с зонами контрольного контура других движителей на непрерывных потоках, например с ТРД, [2, зона К-С], считаем, что сечение зоны невозмущенного потока Н-Н совпадает с сечением К-К, зоной максимального сжатия водно-газового потока в водопроводной магистрали, рис. 1, поз. 1. Таким образом, в рассматриваемой трубке тока (поливном шланге), как и в ракетном двигателе, [2], имеют место только две зоны контрольного контура Н-Н₁: К-С – зона ускоряемого водно-газового потока, в которой генерируется тяга трубки тока (поливного шланга), рис. 1, поз.4; С-Н₁ – зона выходящей струи.

Кинематический анализ характера изменения статических давлений, осевых скоростей, ускорений (вторичных движущих динамических – инерционных сил) и первичных движущих сил. Основой для вывода формул тяги и полетного (тягового) КПД трубки тока (поливного шланга) является кинематический анализ характера изменения статических давлений, осевых скоростей, ускорений (динамических – инерционных сил), первичных движущих сил от изменения статических давлений водно-газового потока в пределах контрольного контура Н-Н₁.

Контрольным вариантом для вывода формулы тяги трубки тока является правильное применение уравнения Эйлера.

На рис. 1 приводятся: 1 – водопроводная магистраль; 2 – сфероидная зона невозмущенного потока Н, которая, как и в ракетных двигателях, [2], совпадает с сечением К-К, зоной максимального сжатия водно-газового потока в водопроводной магистрали 1; 3 – кран водопроводный; 4 – трубка тока (поливной шланг) зоны К-С; а – контрольный контур для вывода формул тяги и полетного (тягового) КПД трубки тока зоны К-С; б – характер изменения статических давлений, осевых скоростей водно-газового потока в пределах контрольного контура Н-Н₁; в – кинематический анализ характера изменения осевых ускорений – вторичных движущих динамических – инерционных сил на основе графического дифференцирования графика изменения осевых скоростей водно-газового потока в пределах контрольного контура Н-Н₁; г – кинематический анализ характера изменения первичных движущих сил от изменения статических давлений водно-газового потока в пределах контрольного контура Н-Н₁.

Кинематический анализ показывает, рис. 1, в, что скорость водно-газового потока в выходном сечении С-С реактивного сопла К-С никогда не создает тягу, поскольку общая сумма вторичных движущих динамических – инерционных сил в пределах контрольного контура Н-Н₁ всегда равна нулю, расчет тяги ТРДД Д-436ТП по формуле $R = G_c C_c$, (3), тому подтверждение. В зоне выходящей струи С-Н₁ градиент первичных движущих сил от изменения статических давлений водно-газового потока всегда равняется нулю, поскольку в выходящей струе, согласно закона Бойля-Мариотта, $P_1 F_1 = const$, водно-газовый поток движется только под действием инерционных сил.

Таким образом, кинематический анализ показывает, что нескомпенсированной зоной первичных движущих сил от изменения статических давлений водно-газового потока, в которой генерируется тяга трубки тока (поливного шланга), является зона реактивного сопла К-С – зона ускорения водно-газового потока под действием градиента первичных движущих сил. Площадь геометрической фигуры, заключенной между кривой и осью абсцисс, рис. 1, г, заштрихованная зона, представляет собой подведенную к водно-газовому потоку работу первичных движущих сил от изменения статических давлений. Заменяем площадь геометрической фигуры площадью прямоугольника со сторонами $P_2^* F_2$, КС.

Таким образом, подведенная к водно-газовому потоку работа равна

$$A_n = P_2^* F_2 \cdot KC, \quad (\text{кГ} \cdot \text{м}), \quad (8)$$

где $P_2^* = P_{нсп}^*$ – среднее статическое давление заторможенного водно-газового потока в среднем сечении Г-Г трубки тока, рис.1г; $F_2 = F_{нсп}$ – площадь водно-газового тракта в среднем сечении Г-Г; КС – длина зоны реактивного сопла К-С. Подведенная магистральным давлением к водно-газовому потоку работа

A_n , формула (8), затрачивается на преодоление работы силы сопротивления

$$A_{cc} = P_c F_c \cdot KC, \quad (\text{кГ} \cdot \text{м}), \quad (9)$$

и на преодоление работы силы тяги R:

$$A_R = R \cdot KC, \quad (\text{кГ} \cdot \text{м}). \quad (10)$$

Таким образом, можно записать:

$$A_n = A_{cc} + A_R, \quad (11)$$

откуда тяга, генерируемая трубкой тока (поливным шлангом) зоны К-С, рис. 1, поз. 4, определяется формулой

$$R = P_{нсп}^* F_{нсп} - P_c F_c = P_2^* F_2 - P_c F_c, \quad (12)$$

где $P_{нсп}^* = P_2^*$ – статическое давление заторможенного потока в сечении Г-Г, для ТРД это сечение совпадает со входом в первый сопловой аппарат турбины; $P_2^* F_2$ – средняя первичная движущая сила от изменения статического давления заторможенного водно-газового потока в сечении Г-Г зоны К-С; $P_c F_c$ – сила сопротивления в выходном сечении С-С реактивного сопла К-С.

Таким образом, тяга трубки тока (поливного шланга) или любого другого движителя на непрерывных потоках, включая турбореактивные и ракетные двигатели, представляет собой разность между средней первичной движущей силой в сечении Г-Г ($P_2^* F_2$) и силой сопротивления $P_c F_c$.

Полетный (тяговый) КПД трубки тока (поливного шланга) определяется из формулы

$$\eta_n = \frac{A_R}{A_n}, \quad (13)$$

откуда

$$\eta_n = \left(1 - \frac{P_c F_c}{P_2^* F_2} \right) \cdot 100\%. \quad (14)$$

Решение поставленной цели (задания). Уже разработанная «Единая теория движителей на непрерывных потоках», [2], утверждает, что формулы тяги и полетного (тягового) КПД, разработанные для трубки тока (поливного шланга), формулы (12), (14), могут быть применены для точного расчета тяги и полетного (тягового) КПД, например, ТРДД Д-436ТП. Технические данные ТРДД Д-436ТП приводятся в [3].

$$R = P_2^* F_2 - P_c F_c = P_2^* F_2 - (P_c F_c)_I - (P_c F_c)_{II}, \quad (15)$$

где $(P_c F_c)_I$ – сила сопротивления в выходном сечении С-С реактивного сопла первого контура; $(P_c F_c)_{II}$ – сила сопротивления в выходном сечении С-С реактивного сопла второго контура; $P_2^* F_2$ – первичная движущая сила на входе в первый сопловой аппарат турбины; P_2^* , F_2 – соответственно давление заторможенного потока и площадь газодинамического тракта на входе в первый соловой аппарат турбины.

$$R = P_2^* F_2 - (P_c F_c)_I - (P_c F_c)_{II} = 24960 - 4960 - 12350 = 7650 \text{ кГ} \quad (16)$$

$$\eta_n = \left[1 - \frac{(P_c F_c)_I + (P_c F_c)_{II}}{P_2^* F_2} \right] \cdot 100\% =$$

$$= \left[1 - \frac{4960 + 12350}{24960} \right] \cdot 100\% = 30\% \quad (17)$$

Таким образом, выведенные формулы тяги и полетного (тягового) КПД, (12), (14), для трубки тока (поливного шланга) являются единичными для всех типов двигателей на непрерывных потоках, включая турбореактивные и ракетные двигатели.

Дополнительно формулы тяги (12) и полетного (тягового) КПД (14) являются фундаментальными основами «Единой теории двигателей на непрерывных потоках», по которым рассчитываются и проектируются любые воздушно-реактивные двигатели.

Применение уравнения Эйлера, как контрольного варианта, для вывода формулы тяги любой трубки тока, например, поливного шланга, как двигателя на непрерывных потоках. Для вывода формулы тяги любой трубки тока, например, поливного шланга, как двигателя на непрерывных потоках, с помощью уравнения Эйлера необходимо обе части этого уравнения разделить на Δt с целью перехода на размерность кГ или Н , после чего уравнение Эйлера преобразуется во второй Закон И. Ньютона:

$$m_2 \frac{\Delta V}{\Delta t} = m_2 \cdot a = \sum P_i, \quad (18)$$

где m_2 – секундный массовый расход водно-газового потока через трубку тока в зоне К-С, рис.1; ΔV – разность осевой скорости водно-газового потока на выходе, V_2 , (сечение С-С) и на входе, V_1 (сечение К-К) в трубку тока в зоне К-С, V_1 для рассматриваемой трубки тока равна нулю; Δt – время импульса внешних сил, действующих на трубку тока в зоне К-С, или время перемещения потока от сечения 1(К-К) до сечения 2(С-С); $\frac{\Delta V}{\Delta t} = a$ – изменение ускорения водно-газового потока в рассматриваемой трубке тока в зоне К-С; $m_2 \cdot a$ – изменение силы инерции водно-газового потока в зоне К-С, которая является одной из внешних сил, действующих на трубку тока в зоне К-С; $\sum P_i$ – сумма всех остальных внешних сил, включая силу тяги R трубки тока в зоне К-С, реакции отсоединенных потоков, которые действуют на сечения К-К и С-С зоны К-С.

В этом случае уравнение Эйлера (18) читается только так: Изменение силы инерции водно-газового потока $m_2 a$, которая является одной из внешних сил, действующих на трубку тока в зоне К-С, всегда равняется сумме всех остальных внешних сил: первичных движущих сил от изменения статических давлений $P_2^* F_2$, силы сопротивления $P_c F_c$, силы тяги R рассматриваемой трубки тока в зоне К-С, а также реакций отсоединенных потоков от первичных движущих сил от изменения статических давлений водно-газового потока и вторичных динамических – инерционных сил, действующих на сечения К – К слева от зоны водной магистрали и на сечение С-С справа, от зоны выходящей струи С-Н₁, при этом, согласно ки-

нематического анализа, представленного на рис.1в, необходимо иметь в виду, что в пределах контрольного контура К-Н₁ сумма динамических-инерционных сил водно-газового потока всегда равна нулю, поскольку в зонах К-С и С-Н₁ эти силы имеют противоположное направление.

Анализ реакций отсоединенных потоков, действующих в качестве внешних сил на сечения К-К и С-С со стороны первичных движущих сил от изменения статических давлений водно-газового потока и вторичных динамических – инерционных движущих сил. В науке существует неизбывное правило: если при рассмотрении равновесия всех внешних сил, действующих на рассматриваемую трубку тока в зоне К-С, отсоединяется выходящая струя С-Н₁ контрольного контура К-Н₁, то будьте добры, к сечению С-С приложите ее реакцию от соответствующих внешних сил.

В выходящей струе С-Н₁ при любых значениях P_c ($P_c = P_n$, $P_c > P_n$, $P_c < P_n$), согласно Закона Бойля-Мариотта, $P_i F_i = const$, т.е. первичные движущие силы от изменения статических давлений водно-газового потока в зоне С-Н₁ не дают градиента этих сил, следовательно их реакция на сечение С-С равна нулю, тоже и на сечение К-К, рис. 1, г.

Вторичные динамические – инерционные силы, действующие в выходящей струе С-Н₁ генерируют градиент этих сил, рис.1в, следовательно их реакция на сечение С-С равна $P_{ин1}$, которая по модулю всегда равна $m_2 \cdot a$. На сечение К-К реакция вторичных движущих динамических – инерционных сил со стороны отсоединенной водной магистрали всегда равна нулю.

Запишем уравнение Эйлера (18) в векторной форме:

$$\overline{m_2 a} = \overline{P_{ин1}} + \overline{P_{Исп}^* F_{Исп}} + \overline{P_c F_c} + \overline{R}, \quad (19)$$

где $P_{ин1}$ – реакция отсоединенного потока выходящей струи С-Н₁ от динамических – инерционных движущих сил, действующих на сечение С-С справа.

Реакция отсоединенного потока выходящей струи С-Н₁ со стороны первичных движущих сил от изменения статических давлений водно-газового потока всегда равна нулю, поскольку отсутствует градиент этих сил, тоже и на сечение К-К, рис. 1, г, поэтому уравнение Эйлера (19) можно записать как:

$$\overline{m_2 a} + \overline{P_{ин1}} = \overline{P_2^* F_2} + \overline{P_c F_c} + \overline{R}. \quad (20)$$

Левая часть этого уравнения является суммой динамических – инерционных движущих сил в пределах контрольного контура К-Н₁, рис. 1, в, которая всегда равняется нулю, тогда в модульной форме:

$$0 = P_2^* F_2 - P_c F_c - R, \quad (21)$$

Откуда

$$R = P_2^* F_2 - P_c F_c. \quad (12)$$

Вывод: уравнение Эйлера – это видоизмененная форма второго закона И. Ньютона, гений которого не мог превзойти даже Эйлер – великий швейцарский, немецкий и российский математик, который, благодаря своей гениальной интерпретации второго закона И. Ньютона, внес неоценимый вклад в становление прогрессивной теории воздушно-реактивных двигателей

– «Единой теории движителей на непрерывных потоках» [2].

Общие выводы, перспективы дальнейших разработок. Таким образом, выведенные на основе кинематического анализа, как основного варианта, и на основе правильного понимания и применения уравнения Эйлера, как дополнительного варианта, фундаментальные формулы тяги и полетного (тягового) КПД, (12), (14), любой трубки тока, например, поливного шланга, полностью соответствуют экспериментальной части современной теории воздушно-реактивных двигателей и применимы для точного расчета тяги и полетного (тягового) КПД турбореактивного двигателя, например, ТРДД Д-436ТП, и дают принципиально новое техническое мышление о процессе генерирования тяги всеми движителями на непрерывных потоках, предоставляют возможность очень просто разбираться и объяснять любые физические процессы, имеющие место при работе любого движителя на непрерывных потоках, включая ТРД, РД, что существенно упрощает методику расчета любого ТРД, ТРДД, ТРДФ, РД и других движителей путем введения точных исходных данных по R , $P_c^* F_c$, $P_c F_c$, T_c^* с целью определения самой основной характеристики ВРД – расхода газового потока.

Безо всякого сомнения, некорректные фундаментальные формулы тяги, (1) – (3), и полетного (тягового) КПД, (4), заложенные в основу современной теории ТРД, повлекли за собой ошибочное описание принципа работы и многих физических процессов, имеющих место при работе ВРД, что приводит к неточному проектированию современных турбореактивных двигателей с очень низкими экологическими (большой расход топлива, высокая децибельная характеристика) и технико-экономическими показателями (большие габариты, низкая тяга, низкая газодинамическая устойчивость работы, нетехнологичность и пр.).

Поэтому перспектива дальнейших разработок будет связана, в первую очередь, с правильным описанием такого сложнейшего теоретического и физического понятия, как процесс сжатия газового потока в компрессорах КНД, КСД, КВД любых ВРД, следующей разработкой будет термодинамический расчет турбореактивных двигателей согласно «Единой теории движителей на непрерывных потоках» [2].

Список литературы: 1. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей [Текст]: учеб. для вузов / Мин-во общ. и проф. образования Рос. Федерации; под ред. С. М. Шляхтенко. – М.: Машиностроение, 1987. – 568 с. 2. Мамедов, Б. Ш. Единая теория движителей на непрерывных потоках [Текст]: моногр. / Б. Ш. Мамедов: Запорожский национальный технический университет. Х.: Технологический центр, 2013. – 296 с. 3. Гражданская авиация России [Текст]: М.: "Военный парад", 2004. – 336 с. 4. Мамедов, Б. Ш. Единая теория движителей. Причины генерирования неустойчивой ра-

боты турбореактивных двигателей при взлете в условиях жаркого климата [Текст] / Б. Ш. Мамедов //Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е.Жуковского «ХАИ». – 2014. – Вып.9/116. – С. 56–62. 5. Мамедов, Б. Ш. Пат. 86788, Украина, МПК F02K 1/00, F02K 3/00, F02C 7/00. Турбореактивный двоконтурный двигун [Текст] / Б. Ш. Мамедов. – Заявник та патентовласник Запорізький нац. техн. ун-т. – №U200607941; заявл. 14.07.2006; опубл. 25.05.2009, Бюл.№10. – 24 с. 6. Мамедов, Б. Ш. Патент 46407, Украина, МПК F04D 27/00, F02K 1/00, F02K 3/00, F02C 7/00. Спосіб підвищення газодинамічної стійкості роботи повітря-реактивних двигунів [Текст] / Б. Ш. Мамедов. – Заявник та патентовласник Запорізький нац. техн. ун-т. – №U200905152; заявл. 25.05.2009; опубл. 25.12.2009, Бюл.№24. – 26 с. 7. Мамедов, Б. Ш. Патент 66619, Украина, МПК F02K 1/00, F02K 3/08, F02K 7/00, F02K 3/11 Турбореактивный двоконтурный двигун [Текст] / Б. Ш. Мамедов. – №U201107779; заявл. 20.06.2011; опубл. 10.01.2012, Бюл.№1. – 12 с. 8. Мамедов, Б. Ш. Единая теория движителей. Новое назначение и принцип работы "нулевой" ступени компрессора низкого давления [Текст] / Б. Ш. Мамедов //Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – 2014. – Вып. 8/115. – С. 55–60. 9. Мамедов, Б. Ш. Патент 66620, Украина, МПК F02C 7/04, F04D 27/02, F02K 1/00, F02K 3/00. Турбореактивный двоконтурный двигун [Текст] / Б. Ш. Мамедов. – № U201107780, заявл. 20.06.2011, опубл. 10.01.2012, Бюл.№1, – 12 с. 10. Мамедов, Б. Ш. Сравнительный анализ расчета тяги и полетного (тягового) КПД турбореактивных двухконтурных двигателей и Единой теории движителей на непрерывных потоках [Текст] / Б. Ш. Мамедов, П. К. Штанько // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, сб.наук.тр. – О.: Госуниверситет УНПК. – 2015. – №24(312). – С. 63–69.

Bibliography (transliterated): 1. Teoriya i raschet vozdušno-reaktivnyx dvigatelej: ucheb. dlya vuzov. (1987). Min-vo obshh. i prof. obrazovaniya Ros. Federacii; pod red. S. M. Shlyaxtenko. Moscow: Mashinostroenie, 568. 2. Mamedov, B. Sh. (2013). Edinaya teoriya dvizhitelej na nepreryvnyx potokax [Tekst]: monogr.: Zaporozhskij nacionalnyj texnicheskij universitet. Kharkov: Technologicheskij centr, 296. 3. Grazhdanskaya aviaciya Rossii: Moscow: "Voennyj parad", 2004. 336. 4. Mamedov, B. Sh. (2014). Edinaya teoriya dvizhitelej. Prichiny generirovaniya neustojchivoj raboty turboreaktivnyx dvigatelej pri vzlete v usloviyax zharkogo klimata. Aviacionno-kosmicheskaya texnika i texnologiya: sb. nauch. tr. Nac. aerokosm. un-ta im. N.E.Zhukovskogo «ХАИ», Vyp. 9/116, 56–62. 5. Mamedov, B. Sh. (2009). Pat. 86788, Ukraina, MPK F02K 1/00, F02K 3/00, F02C 7/00. Turboreaktivnij dvokonturnij dvigun. Zayavnik ta patentovlasnik Zaporizkij nac. texn. un-t. №U200607941; zayavl. 14.07.2006; opubl. 25.05.2009, Byul.№10, 24. 6. Mamedov, B. Sh. (2009). Patent 46407, Ukraina, MPK F04D 27/00, F02K 1/00, F02K 3/00, F02C 7/00. Sposib pidvishhennya gazodinamichnoї stijkosti roboti povitrya-reaktivnix dviguniv. Zayavnik ta patentovlasnik Zaporizkij nac. texn. un-t. №U200905152; zayavl. 25.05.2009; opubl. 25.12.2009, Byul.№24, 26. 7. Mamedov, B. Sh. Patent 66619, Ukraina, MPK F02K 1/00, F02K 3/08, F02K 7/00, F02K 3/11 Turboreaktivnij dvokonturnij dvigun. №u201107779; zayavl. 20.06.2011; opubl. 10.01.2012, Byul.№1, 12. 8. Mamedov, B. Sh. (2014). Edinaya teoriya dvizhitelej. Novoe naznachenie i princip raboty "nulevoj" stupeni kompressora nizkogo davleniya. Aviacionno-kosmicheskaya texnika i texnologiya: sb. nauch. tr. Nac. aerokosm. un-ta im. N. E. Zhukovskogo «ХАИ», Vyp. 8/115, 55–60. 9. Mamedov, B. Sh. (2011). Patent 66620, Ukraina, MPK F02S 7/04, F04D 27/02, F02K 1/00, F02K 3/00. Turboreaktivnij dvokonturnij dvigun. № U201107780, zayavl. 20.06.2011, opubl. 10.01.2012, Byul.№1, 12. 10. Mamedov, B. Sh., Shtanko, P. K. (2015). Sravnitelnyj analiz rascheta tyagi i poletnogo (tyagovogo) KPD turboreaktivnyx dvokonturnyx dvigatelej i Edinoj teorii dvizhitelej na nepreryvnyx potokax.Fundamentalnye i prikladnye problemy tekhniki i texnologii, sb.nauk.tr. O.: Gosuniversitet UNPK, №24(312), 63–69.

Поступила (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мамедов Борис Шамшиадович – кандидат технических наук, доцент, Запорожский национальный технический университет, Кафедра «Начертательная геометрия, инженерная и компьютерная графика», ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, Украина, 69063.

Штанько Петр Константинович – кандидат технических наук, доцент, Запорожский национальный технический университет, Кафедра «Механика», ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, Украина, 69063.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

УДК 536.423+532.528

Ю. О. ШУРЧКОВА, І. О. ДУБОВКІНА

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВОДНО-СПИРТОВИХ СУМІШЕЙ ОТРИМАНИХ В УМОВАХ ЗНАКОЗМІННИХ ІМПУЛЬСІВ ТИСКУ

Проведено дослідження фізико-хімічних параметрів, а саме кількості шкідливих домішок: 1-пропанолу, 2-пропанолу, ацетальдегіду, метанолу, у водно-спиртових сумішах, які були одержані в умовах знакозмінних імпульсів тиску із застосуванням роторно-пульсаційного апарату, в якому реалізована основна концепція дискретно-імпульсного введення енергії. Визначені основні фактори, а саме: час оброблення, температура вихідних компонентів, напруження зсуву потоку, швидкості зсуву потоку, високочастотні осциляції та коливання, які впливають на кількість шкідливих домішок.

Ключові слова: водно-спиртові суміші, процес гідратації, роторно-пульсаційний апарат, дискретно-імпульсне введення енергії, знакозмінні імпульси тиску

Вступ. Необхідність дослідження структурної організації води та водних систем обумовлена їх унікальними властивостями, а також важливим значенням для оточуючого світу: живої і неживої природи, наукового світу, сучасних технологічних схем промислових виробництв.

Водно-спиртові суміші набули широкого розповсюдження в різних галузях промисловості: харчовій, хімічній, фармакологічній, косметичній та ін. Водні системи, а саме бінарні водно-спиртові, є досить складними об'єктами для досліджень, оскільки належать до відкритих систем, та можуть обмінюватись з оточуючим середовищем не лише енергією, але і речовиною. Водночас це метастабільні, системи, що мають певну структурну організацію, властивості яких залежать від багатьох факторів, що є не досить вивченими.

Постановка проблеми. Водно-спиртові суміші являють собою складні системи, що складаються з молекул етанолу та води, а також асоціатів (гідратів) різного типу [1], які поєднані між собою тривимірною сіткою водневих зв'язків. Етиловий спирт, винний спирт або етанол (за Міжнародною класифікацією) вперше був синтезований в 1855 р. Загальна формула C_2H_5OH , а структурна формула рис. 1 [2]:

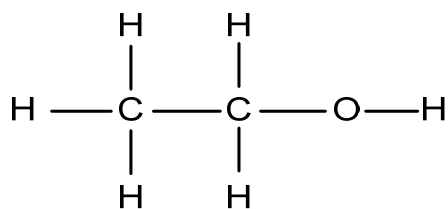


Рис. 1 – Структурна схема етанолу

Вода це асоційована рідина. Асоціація обумовлена наявністю водневих зв'язків, що виникають між молекулами. У чистій воді водневі зв'язки досить сильні, і утворюють безперервну тривимірну сітку, що постійно оновлюється [3].

Оскільки вода амфоліт, то для неї характерна реакція автопротолізу – переносу протону H^+ від однієї молекули до іншої з утворенням комплексів: H_3O^+ , $H_5O_2^+$, та ін.: $H_2O + H_2O = H_3O^+ + OH^-$.

Концентраційні залежності властивостей водних сумішей аліфатичних спиртів дозволяють виділити в них три області структур: вода, змішані водно-спиртові суміші (гідрати) та власне спирт. Подвійні системи H_2O – спирт належать до систем Тиммерманса. Це означає, що вони гомогенні в широкому інтервалі температур і концентрацій. Однак при введенні третього компонента варто очікувати зменшення взаємної розчинності компонентів системи вода – спирт [4]. Змішування спирту з водою супроводжується виділенням тепла та контракцією (адіабатичним стисканням) суміші, причиною цього є утворення асоціативних зв'язків, що приводить до ущільнення молекул і зменшення сумарного об'єму.

Сутність процесу змішування води і спирту полягає передачі протона від спирту до води з утворенням іона гідроксонію та етілату C_2H_5OH : $C_2H_5OH + H_2O = H_3O^+ + C_2H_5OH^-$.

Визначальними процесами, що відбуваються при змішуванні води та етанолу є процеси: гідратації, структуроутворення [5].

Сучасні уявлення про будову водно-спиртових сумішей дають можливість визначати нові способи впливу на фізико-хімічні параметри водно-спиртових сумішей, а також водних систем.

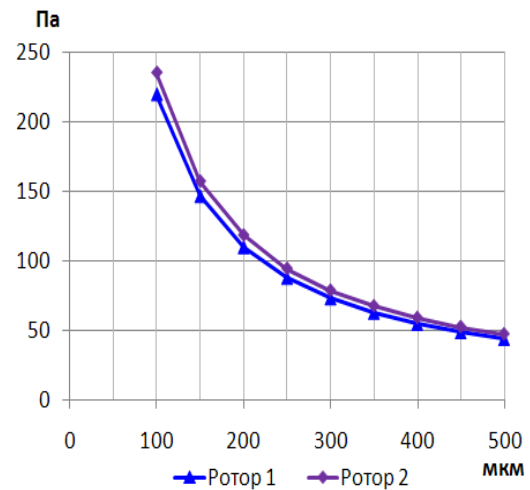
До найбільш розповсюдженого обладнання, що призначене для ініціювання та активізації процесів структуроутворення, гідратації, асоціації, комплексоутворення належать апарати, в яких реалізовано хімічний, фізичний, механічний або комбінований вплив на водні системи та суміші на їх основі.

Аналіз стану розробок в галузі проектування та використання обладнання для процесів змішування свідчить про неефективність проведення процесів в існуючому обладнанні [6]. Основною технічною причиною такого становища є недосконалість традиційних типів обладнання та технологій проведення процесу змішування води та етанолу. З метою зниження енерговитрат та підвищення якості кінцевого продукту перспективним є пошук інноваційного обладнання для проведення процесів змішування та інтенсифікації процесів гідратації, структуроутворення, асоціації в бінарних системах. Одним із фізичних методів, що дає можливість здійснювати вплив на складні системи на мікро- та нано- рівні є метод дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ)[7]. Концепція

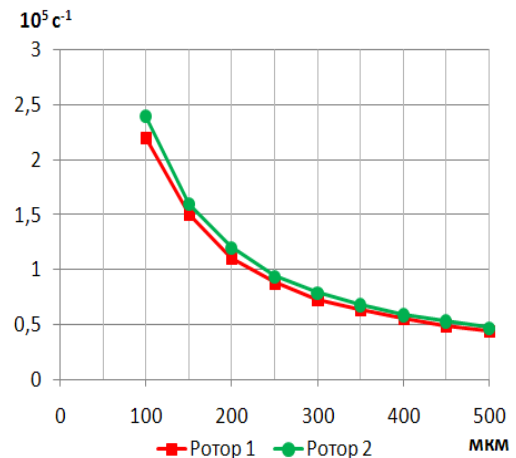
методу полягає у створенні умов, які забезпечують при локальному введенні енергії в технологічну систему, її дискретний розподіл у просторі та імпульсний вплив у часі [8]. Енергія, яка вводиться в систему може бути в різних формах: механічною, тепловою, електричною, електромагнітною та ін. [9]. До основних механізмів ДІВЕ належать: ефекти пов'язані з прискоренням руху неперервної фази, дія напружень зсуву, кавітаційні механізми, механізм вибухового закипання, колективні ефекти в ансамблі бульбашок, збурювання міжфазної поверхні в газорідних бульбашкових середовищах, дія знакозмінних імпульсів тиску [10]. Обробка складних систем в роторно-пульсаційних апаратах (РПА) здійснюється за рахунок імпульсної багатofакторної дії: вихроутворення, мікромасштабних пульсацій тиску, інтенсивної кавітації, ударних хвиль і нелінійних гідроакустичних ефектів [11]. В РПА здійснюється перетворення енергії низької концентрації в енергію високої локальної концентрації у нестійких точках структури речовини [12], що дає можливість ініціювати в системі виникнення водневих зв'язків, інтенсифікувати процеси гідратації, структуроутворення і як наслідок отримати водно-спиртові суміші з покращеними фізико-хімічними параметрами.

Мета роботи. Метою проведених досліджень було встановлення кількості шкідливих домішок: 1-пропанолу, 2-пропанолу, ацетальдегіду, метанолу, які містяться у водно-спиртових сумішах, отриманих в умовах знакозмінних імпульсів тиску та визначення основних факторів, які впливають на параметри водно-спиртових сумішей.

Методика проведення експериментальних досліджень, технічні характеристики обладнання та результати проведених досліджень. Дослідження проводили на експериментальних стендах в лабораторних умовах Інституту технічної теплофізики та у виробничих умовах на підприємствах України [13]. Було встановлено, що найбільша швидкість зсуву потоку та найінтенсивніші напруження зсуву потоку досягаються в апаратах з міжциліндровим зазором 100мкм (рис. 2, а, б)



а



б

Рис. 2 – Розрахункові залежності конструктивних особливостей: а – графік залежності напружень зсуву від міжциліндрового зазору; б – графік залежності швидкості зсуву від міжциліндрового зазору

На базі апарату з розрахованими конструкційними та технічними параметрами було зібрано експериментальні стенди (рис. 3 а, б).

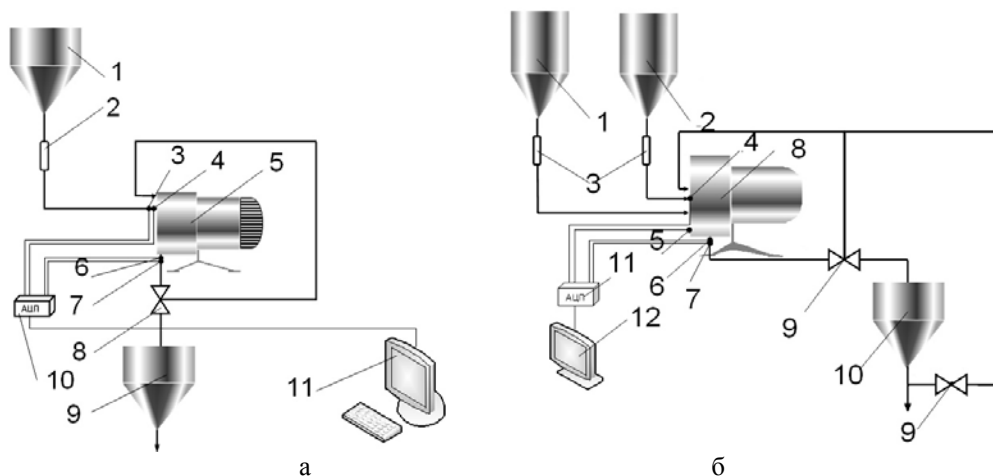


Рис. 3 – Експериментальні стенди для одержання водно-спиртових сумішей в умовах знакозмінних імпульсів тиску: а – 1 – емність вихідної води; 2 – ротаметр; 3 – датчик температури; 4 – датчик тиску; 5 – РПА; 6 – датчик температури; 7 – датчик тиску; 8 – вентиль; 9 – емність обробленої води; 10 – аналого-цифровий перетворювач (АЦП); 11 – ПК; б – 1 – емність зі спиртом; 2 – емність з водою; 3 – ротаметри; 4 – термопари; 5 – перетворювач тиску; 6 – термопара; 7 – перетворювач тиску; 8 – РПА; 9 – вентиль; 10 – емність з водно-спиртовою сумішшю; 11 – АЦП; 12 – ПК.

Дослідження проводились наступним чином (рис. 3, а). Вода або водно-спиртові суміші із ємності 1 подаються в робочу камеру роторно-пульсаційного апарату 3, через витратомір 2. Після оброблення в робочій камері РПА апарату вода або водні системи направляються в збірну ємність 9 через вентиль 8. Лабораторний стенд укомплектований багатоканальною вимірювальною цифровою системою 11, яка дає можливість проводити реєстрацію параметрів технологічного процесу: тиску, температури. Робота експериментального стенду (рис. 3, б) відбувалась наступним чином: вода та спирт із ємностей 1 і 2, відповідно, до заданого співвідношення, залежно від необхідної концентрації кінцевої суміші через витратоміри 3 подаються в робочу камеру роторно-пульсаційного апарату 7. У РПА відбувається змішування води та спирту, після чого одержана водно-спиртова суміш направляється в збірну ємність 10 через вентиль 9. Контролювались тиск та температура. Дослідження кількості вмісту та динаміки шкідливих речовин і домішок у водно-спиртових сумішах, отриманих в умовах знакомінних імпульсів тиску та сумішей, які були отримані за традиційною технологією у апараті з мішалкою проводились на газовому хроматографі Hewlett Packard HP 4890D. Альдегіди у водно-спиртових сумішах представлені в основному оцтовим, пропіоновим та масляним. Проводились дослідження вмісту ацетальдегіду в одержаних водно-спиртових сумішах при різних температурах. Результати представлено на рис. 4.

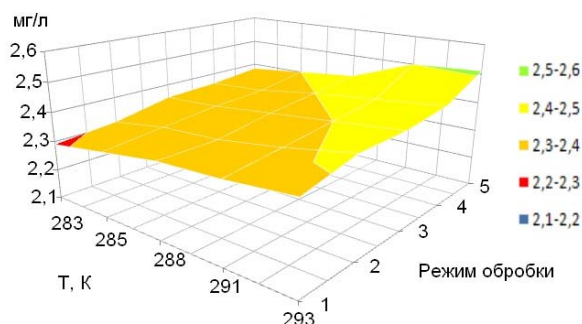
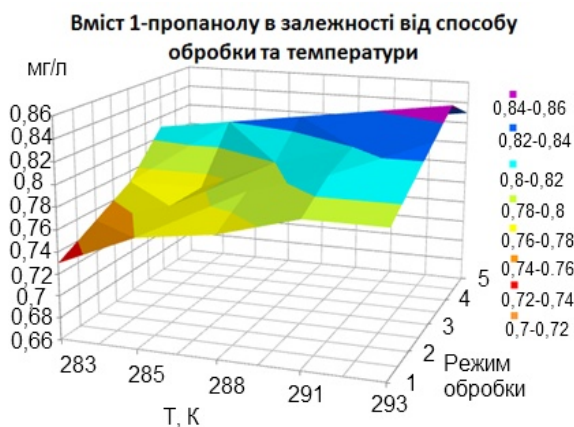
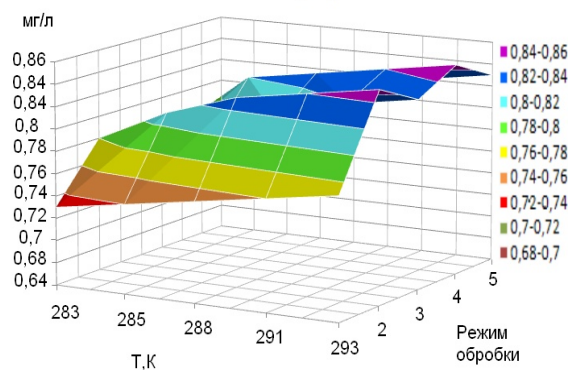


Рис. 4 – Вплив температури та режиму обробки на вміст ацетальдегіду: 1 – змішування в потоці; 2 – режим рециркуляції; 3 – змішування в потоці без активації води; 4 – обробка суміші отриманої за традиційною технологією; 5 – промисловий спосіб



а

Вміст 2-пропанолу в залежності від способу обробки та температури



б

Рис. 6 – Вміст а – 1-пропанолу, б – 2-пропанолу залежно від температури та способу обробки: 1 – змішування в потоці; 2 – режим рециркуляції; 3 – змішування в потоці без активації води; 4 – обробка суміші отриманої за традиційною технологією; 5 – промисловий спосіб

В результаті проведених досліджень було виявлено, що з підвищенням температури відбувається збільшення вмісту ацетальдегіду у водно-спиртових системах, отже чим нижча температура вихідних компонентів, тим менша кількість ацетальдегіду утворюється у водно-спиртових сумішах.

Метанол є шкідливою токсичною домішкою і його вміст у водно-спиртових сумішах повинен контролюватись відповідно до нормативної документації [14], рис. 5.

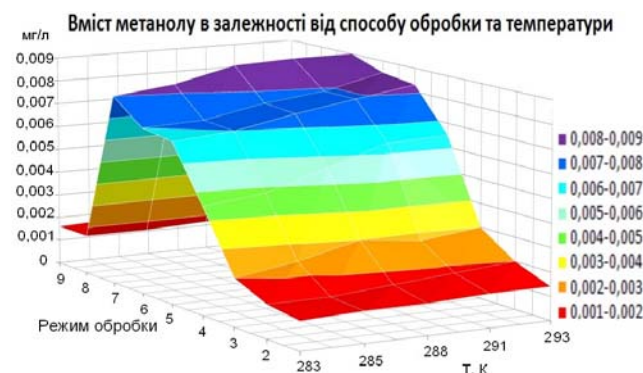


Рис. 5 – Вміст метанолу залежно від способу обробки та температури: 1 – змішування в потоці; 2 – режим обробки 60с; 3 – режим обробки 120с; 4 – режим обробки 180с; 5 – режим обробки 240с; 6 – режим обробки 300с 7 – змішування в потоці без активації води 8 – однократна обробка суміші отриманої за традиційною технологією в апараті з мішалкою; 9 – промисловий спосіб отримання водно-спиртової суміші в апараті з мішалкою

Під час проведення досліджень кількості метанолу рис. 5 в отриманих зразках методом хроматографії було встановлено, що найоптимальнішим технологічним режимом процесу одержання водно-спиртових сумішей є одержання їх в потоці без багатократної обробки. Оптимальною температурою проведення процесу є 15°C .

Вищі спирти з числом вуглеводневих атомів до 10 розчинні у воді (1-пропанол, 2-пропанол) надають спирту неприємного запаху та смаку, окрім цього вони є токсичними речовинами рис. 6, а, б.

Дослідження вмісту 1-пропанолу та 2-пропанолу рис.6 а, б свідчать про найоптимальніше проведення процесу змішування при температурі 15⁰С., оскільки пониження температури вихідних компонентів до 10⁰С при яких відбувається ще істотніше зниження шкідливих домішок значно ускладнює технологічний процес, через необхідність застосування додаткового теплообмінного обладнання, що в свою чергу підвищує вартість кінцевого продукту. Під час використання технології одержання водно-спиртових сумішей в умовах знакозмінних імпульсів тиску відбувається інтенсивний вплив напружень зсуву, швидкостей зсуву потоку, високочастотних осциляцій, що призводить до зниження вмісту шкідливих домішок та покращення фізико-хімічних параметрів водно-спиртових сумішей.

Висновки

В результаті проведених досліджень було встановлено, що метод дискретно-імпульсного введення енергії є перспективним для інтенсифікації фізико-хімічних процесів, що мають місце в бінарних системах спирт-вода в умовах знакозмінних імпульсів тиску, та для оброблення рідинних систем за рахунок енергетичного впливу на мікрорівні. Були визначені оптимальні теплофізичні режими та гідродинамічні фактори дискретно-імпульсного введення енергії що впливають на фізико-хімічні параметри водно-спиртових сумішей. Проведені хроматографічні дослідження демонструють зниження вмісту шкідливих домішок без додаткового введення хімічних речовин та без застосування обладнання для очищення від шкідливих домішок та сполук.

Список літератури: 1. Менделеев, Д. И. Растворы [Текст] / Д. И. Менделеев. – Москва: Издательство Академии Наук СССР, – 1959. – 1163 с. 2. Стабников, В. Н. Этиловый спирт [Текст] / В. Н. Стабников, И. М. Ройтер, Т. Б. Процюк. – М.: Пищевая промышленность – 1976. – 273 с. 3. Nose, A. Effects of Salts, Acids, and Phenols on the Hydrogen-Bonding Structure of Water-Ethanol Mixtures [Text] / A. Nose, M. Hojo, T. J. Ueda // Phys. Chem. B, 2004. – Vol. 108. – P. 798–804. 4. Timmermans, J. Ees solutions concentrees [Text] / J. Timmermans. –Paris, 1936. – P. 12. 5. Долинский, А. А. Гидратация этанола с использованием механизмов дискретно-импульсного ввода энергии [Текст] / А. А. Долинский, Ю. А. Шурчкова, И. А. Дубовкина // Материалы VIII международной конференции «Проблемы промышленной теплотехники», 8-11 октября 2013 г., Киев – Режим доступа: <http://ittf.kiev.ua/conference>. 6. Задорский, В. М. Интенсификация химико-технологических процессов на основе системного подхода [Текст] / В. М. Задорский. – К.: Техника, 1989. – 208 с. 7. До-

линский, А. А. Дискретно-импульсный ввод энергии [Текст] / А. А. Долинский, Б. И. Басок, А. И. Накорчевский, Ю. А. Шурчкова. – К.: ИТТФ НАНУ, 1996. – 196 с. 8. Долинский, А. А. Наномасштабные эффекты при дискретно-импульсной трансформации энергии [Текст] / А. А. Долинский, Б. И. Басок // ИФЖ. – 2005. – Т. 78, № 1. – С. 15–23. 9. Басок, Б. И. Особенности гидродинамики роторно-пульсационных аппаратов дискового типа [Текст] / Б. И. Басок, Б. В. Давыденко, Ю. С. Кравченко, В. О. Кремнев, И. А. Пироженко // Пром. теплотехника. – 2003. – Т. 25, №3. – С. 21–25. 10. Долинский, А. А. Адиабатически вскипающие потоки. Теория, эксперимент, технологическое использование [Текст] / А. А. Долинский, Б. И. Басок, А. И. Накорчевский. – Киев: Наукова думка, 2001. – 207 с. 11. Долинский, А. А. Вода в условия обработки ДИВЭ [Текст] / А. А. Долинский, Ю. А. Шурчкова // Доповіді НАНУ – 2013. – №8. – С. 35–39. 12. Басок, Б. И. Исследование микроструктуры потока жидкости в роторно-пульсационном аппарате [Текст] / Б. И. Басок, Ю. С. Кравченко, Б. В. Давыденко, И. А. Пироженко // Доповіді НАНУ. – 2003. – №11. – С. 71–76. 13. Долинский, А. А. Исследование влияния метода ДИВЭ на свойства воды [Текст] / А. А. Долинский, Ю. А. Шурчкова, И. А. Дубовкина // Международный НПЖ Керамика: наука и жизнь. – 2013. – №2 (20). – С. 4–6. 14. Технологічний регламент на виробництво горілок і лікєро-горілочних напоїв [Текст] : ТР У 18.5084-96. – К.: УкрНДІспиртбіопрод, 1996.–330 с.

Bibliography (transliterated):1. Mendeleev, D. I. (1959). *Rastvory*. Moskva: Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR, 1163. 2. *Stabnikov, V. N., Royter, I. M.; Protsyuk, T. B.* (1976). *Etilovyyi spirt*. Moskva: Pischevaya promyshlennost, 273. 3. *Nose, A., Hojo, M., Ueda, T.* (2004). Effects of Salts, Acids, and Phenols on the Hydrogen-Bonding Structure of Water-Ethanol Mixtures. *J. Phys. Chem. B*. V. 108, 798–804. 4. *Ji Timmermans* (1936). *Les solutions concentrees*. Paris, 12. 5. *Dolinskiy, A. A., Shurchkova, Yu. A., Dubovkina, I. A.* (2013). Gidratatsiya etanola s ispolzovaniem mehanizmov diskretno-impulsnogo vvoda energii. *Materialy VIII mezhdunarodnoy konferentsii «Problemy promyshlennoy teplotehniki»*. Kiev, <http://ittf.kiev.ua/conference>. 6. *Zadorskiy, V. M.* (1989). *Intensifikatsiya himiko-tehnologicheskikh protsessov na osnove sistemnogo pohoda*. Kiev : Tehnika, 208. 7. *Dolinskiy, A. A., Basok, B. I., Nakorchevskiy, A. I., Shurchkova, Yu. A.* (1996). *Diskretno-impulsniy vvod energii*. Kiev: ITTF NANU, 196. 8. *Dolinskiy, A. A., Basok, B. I.* (2005). *Nanomasshtabnye efekty pri diskretno-impulsnoy transformatsii energii*. IFZh., Vol. 78, № 1, 15–23. 9. *Basok, B. I., Davyidenko, B. V., Kravchenko, Yu. S.* (2003). *Osobennosti gidrodinamiki rotornopulsatsionnykh apparatov diskovogo tipa*. *Prom. teplotehnika*, Vol. 25, №3, 21–25. 10. *Dolinskiy, A. A., Basok, B. I., Nakorchevskiy, A. I.* (2001). *Adiabatically vskipyayushchie potoki. Teoriya, eksperiment, tehnologicheskoe ispolzovanie*. Kiev: Naukova dumka, 207. 11. *Dolinskiy, A. A., Shurchkova, Yu. A.* (2013). *Voda v uslovii obrabotki DIVE*. *Dopovidi NANU*, № 8, 35–39. 12. *Basok, B. I., Kravchenko, Yu. S., Davyidenko, B. V., Pirozhenko, I. A.* (2003). *Issledovanie mikrostruktury potoka zhidkosti v rotornopulsatsionnom apparate*. *Dopovidi NANU*, №11, 71–76. 13. *Dolinskiy, A. A., Shurchkova, Yu. A., Dubovkina, I. A.* (2013). *Issledovanie vliyaniya metoda DIVE na svoystva vodyi*. *Mezhdunarodniy NPZh Keramika: nauka i zhizny*, №2 (20), 4–6. 14. *Tehnologichniy reglament na virobnitstvo gorilok i likerogorilchanih napoyiv* (1996). TR U 18.5084-96, Kiev: UkrNDIspirtbloprod, 330.

Надійшла (received) 14.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шурчкова Юлія Олександрівна – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник відділу тепломасообміну в дисперсних системах, Інститут технічної теплофізики НАН України; вул. Желябова, 2а, м. Київ, 03057; e-mail: ittf_tds@ukr.net.

Дубовкіна Ірина Олександрівна – кандидат технічних наук, с.н.с., старший науковий співробітник відділу тепломасообміну в дисперсних системах, Інститут технічної теплофізики НАН України; вул. Желябова, 2а, м. Київ 03057 ; тел.: 097-674-36-72; e-mail: idubovkina@yandex.ru.

УДК 613.5(045)

О. В. СИДОРОВ, Я. Ю. БОГОМАЗЮК, А. В. МАЙДАНЕЦЬ**ОЦІНКА ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ СЕРЕДОВИЩА В САЛОНАХ КРАСИ**

Робота присвячена дослідженню фізичних факторів середовища (температура та вологість повітря, швидкість переміщення повітря, шум, освітленість приміщень, електростатичне поле, електромагнітне випромінювання, іонізуюче випромінювання, легкі аероіони) у салоні краси «НІККО» (м. Буча, Україна). Метою роботи було оцінити відповідність рівнів фізичних факторів середовища у салоні краси встановленим нормативним вимогам та розробити заходи з нормалізації цих факторів у разі їх невідповідності. Новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше були досліджені фізичні фактори приміщень салону краси та оцінені рівні їх безпечності.

Ключові слова: фізичні фактори середовища, салон краси, санітарні норми, нормалізація фізичних факторів.

Вступ. На сьогодні індустрія краси є однією з тих сфер, на послуги якої не спадає попит. Однією із форм малого підприємництва, що покликана надавати послуги у даній сфері є салон краси. Надаючи послуги по покращенню зовнішнього вигляду представникам як жіночої, так і чоловічої статі, салони краси ретельно відслідковують усі загрози контакту відвідувачів з небажаними хімічними та біологічними агентами і притримуються усіх встановлених санітарно-гігієнічних вимог задля цього. При цьому питання впливу фізичних факторів на відвідувачів та працівників завжди було другорядним.

В той же час, не можна заперечувати той факт, що перебуваючи у салоні краси, людина піддається дії цілого ряду фізичних факторів, які при своїй невідповідності безпечним нормативним рівням, здатні робити її негативною для здоров'я людини. Такими факторами є параметри мікроклімату (температура та відносна вологість повітря), шум, вібрація, електромагнітне випромінювання, електростатичні поля, світловий режим, концентрації легких аероіонів, іонізуюче випромінювання [1-3].

Актуальність проблеми відповідності рівнів фізичних факторів працезахоронним нормативам обумовлена різними чинниками. Серед них – широке використання систем кондиціонування без врахування наявних рівнів мікрокліматичних показників, що здебільшого призводить до істотного зниження вологості повітря. Також впливає використання електричного обладнання без визначення його впливу на фізичні параметри середовища приміщень салонів краси. Все перелічене разом із недослідженістю проблеми безпечності рівнів фізичних факторів середовища приміщень салонів краси свідчить про безумовну актуальність даної проблеми.

Мета та задачі дослідження. Мета роботи – оцінка безпечності фізичних факторів середовища у салоні краси та розробка заходів з нормалізації цих факторів у разі небезпечності їх рівнів.

Для досягнення мети роботи були поставлені наступні завдання:

- виконати вимірювання рівнів шуму, температури та вологості повітря, освітленості приміщень, потужності еквівалентної дози іонізуючого випромінювання, густини потоку енергії електромагнітного випромінювання, напруженості електростатичного поля і рівнів іонізації повітря у приміщеннях салону краси «НІККО»;

- провести оцінку відповідності рівнів вимірних факторів санітарним нормам та розробити заходи

з нормалізації фізичних факторів, що не задовольняють нормативні вимоги.

Новизна та практична цінність отриманих результатів. Новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше були досліджені фізичні фактори приміщень салону краси та оцінені рівні їх безпечності.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що завдяки проведеним дослідженням були приведені у відповідність із санітарними нормами ті фізичні фактори середовища салону краси, що до цього не відповідали нормативним рівням. Результати даного дослідження можуть бути використані у подальших дослідженнях факторів приміщень салонів краси.

Проведення досліджень. Дослідження були проведені з листопада 2014 року по січень 2015 року в салоні краси «НІККО» (м. Буча, Київська область), розміщеного в багатоповерховому житловому будинку на першому поверсі.

Вимірювання параметрів повітря (температура повітря, відносна вологість повітря, швидкість переміщення повітря) досліджуваних офісних приміщень виконувалося згідно керівництва з експлуатації цих приладів безпосередньо на місці проведення вимірювань концентрації легких аероіонів з триразовою повторюваністю щогодини. Для вимірювання відносної вологості та температури повітря застосовували багатофункціональний вимірювач параметрів середовища DT-8820, швидкість переміщення повітря у офісному приміщенні вимірювали за допомогою термоанометру ST-8020.

Потужність експозиційної дози вимірювали за допомогою побутового дозиметру Юпітер СІМ-05 відповідно до інструкції з експлуатації приладу з інтервалом проведення виміру 5 с з п'ятиразовою повторністю.

Вимірювання напруженості електростатичних полів проводилося за допомогою вимірювача електростатичних зарядів ІЕЗ-П (Измеритель электростатических зарядов – переносной, ІЕЗ-П, Молдавія) відповідно до паспорту приладу. При визначенні напруженості поля прилад встановлювався перпендикулярно до поверхні джерела поля на відстані 1 см від поверхні. Вимірювання напруженості електростатичного поля площинних джерел проводилося методом конверту із триразовою повторюваністю.

Вимірювання легких аероіонів виконувалося лічильником аероіонів «Сапфір-3к» відповідно до методики [4] та керівництва з експлуатації приладу.

© О. В. Сидоров, Я. Ю. Богомазюк, А. В. Майданець . 2015

Результати досліджень фізичних факторів середовища в салоні краси Для визначення відповідності рівнів температури (рис. 1) та відносної вологості повітря (рис. 2) у салоні краси рівням мікроклімату, що встановлені діючими санітарними нормами, були проведені їх вимірювання. Як бачимо із діаграми, вологість повітря у приміщеннях коливалась від 28 % до 32 %, що є суттєво нижчим рівнем за нормативний [5]. Температура повітря коливалась від 25°C до 28°C, що набагато вище за значення нормативного діапазону [5].

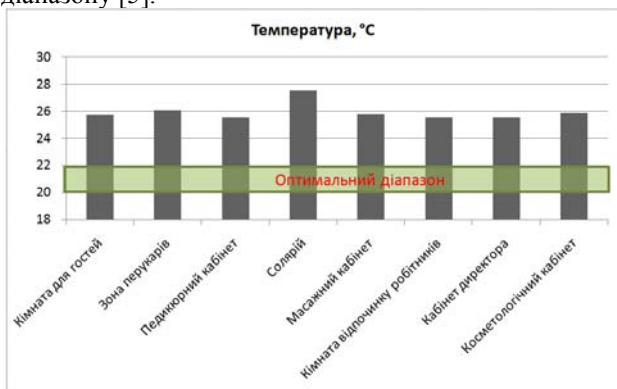


Рис. 1 – Результати вимірювань температури повітря у приміщеннях салону краси



Рис. 2 – Результати вимірювань відносної вологості повітря в приміщеннях салону краси

Результати вимірювань електричного обладнання показали, що електростатичні поля спостерігаються лише навколо енергозберігаючих ламп на відстані 1 см – від 6 до 150 кВ/м [6]. Слід відзначити, що на відстані 20 см від джерела напруженість електростатичного поля спадала до значень, що були нижчі за поріг чутливості вимірювача.

Вимірювання напруженості електромагнітного поля (діапазон частот 50 МГц – 3,5 ГГц) засвідчили, що єдиним джерелом електромагнітного випромінювання в цьому діапазоні є мікрохвильова піч у кімнаті відпочинку робітників. Згідно отриманих результатів при роботі мікрохвильової печі показник густини потоку енергії у фронтальному напрямі становив 2 мкВт/см² (відстань 0,5 м), який не перевищує допустимий рівень в 2,5 мкВт/см² [7].

Задля перевірки радіаційної безпеки [8] приміщень салону краси були проведені вимірювання потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання

за допомогою побутового дозиметра Юпітер СІМ-01 (рис. 3).

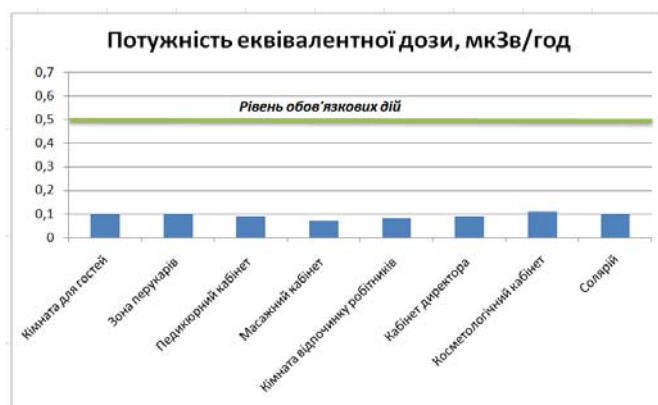


Рис. 3 – Результати вимірювань потужності еквівалентної дози у приміщеннях салону краси

Вимірювання концентрацій легких аероіонів у приміщеннях салону показали, що вони не відповідають вимогам санітарних норм [9], оскільки є значно нижчими за мінімально необхідний рівень (рис. 4). Виключенням було приміщення солярію, де під час роботи солярію концентрації легких аероіонів сягали до 5000 іонів/см³ для аероіонів кожної полярності, що є верхнім порогом для оптимальної концентрації негативних легких аероіонів. Згідно робіт вчених, концентрації легких аероіонів такого рівня використовуються у коротко часових сеансах аероіонотерапії при лікуванні серцево-судинних захворювань, нервових розладів, хвороб дихальних шляхів та легень. Таким чином, можемо констатувати для даного солярію, що окрім засмаги відвідування солярію ще й дозволяє зміцнити стан здоров'я завдяки позитивному впливу легких аероіонів. Однак, слід зазначити, що даний висновок є попереднім, а саме питання продукування легких аероіонів під час роботи солярію та їх впливу на людину потребує подальшого ґрунтовного вивчення.

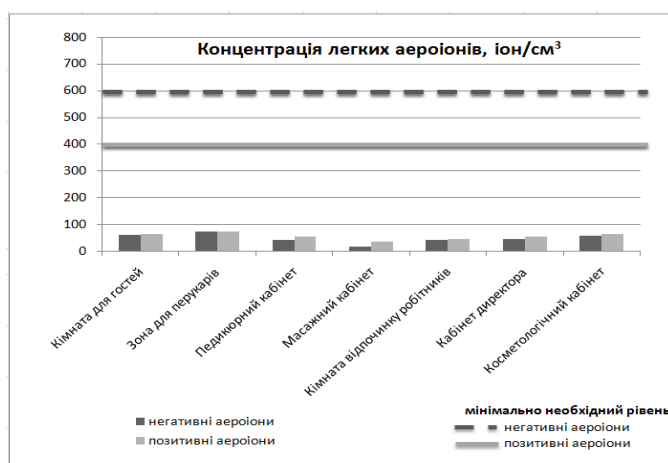


Рис. 4 – Результати вимірювань концентрації легких аероіонів у повітрі приміщень салону краси

Під час роботи працівників салону краси тричі протягом робочого дня проводилися вимірювання рівня шуму (рис. 5). Окремо досліджували шум при роботі фенів (на відстані півметра від джерела). Вимірювання показали, що шум при роботі фенів стано-

вив 78,9 дБА, що значно вище за допустимий рівень (60 дБА) [10]. Середні рівні шуму у приміщеннях не перевищували допустимих рівнів.

Вимірювання рівнів освітленості (рис. 6) приміщень салону показали їх невідповідність санітарним вимогам [5]. Для нормалізації рівня освітленості приміщень були встановлені більш потужні компактні люмінесцентні лампи, що дозволило досягти оптимальних рівнів освітленості приміщень.

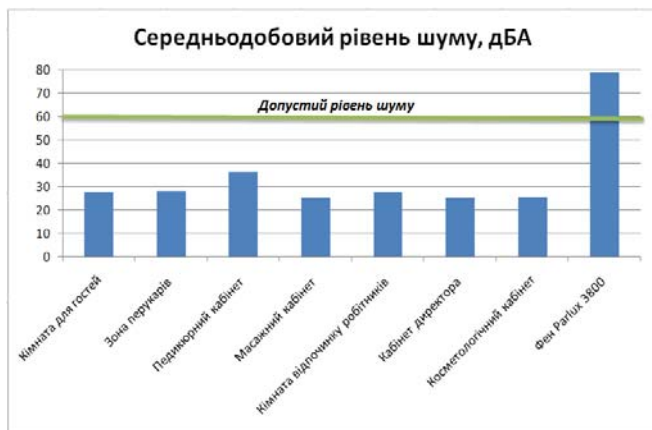


Рис. 5 – Результати вимірювань рівнів шуму у приміщеннях салону краси

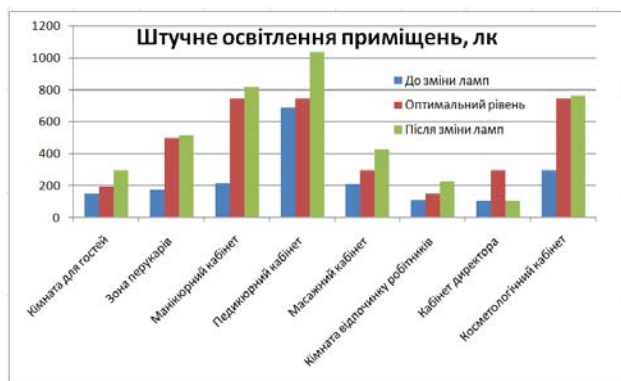


Рис. 6 – Результати вимірювань освітленості приміщень салону краси

Нормалізація фізичних факторів середовища в салоні краси. З огляду на необхідність зниження температури повітря, першочерговим заходом було встановлення загальної системи кондиціонування. Це дозволило привести температурний режим приміщень до нормативних рівнів (20-22°C). Водночас застосування системи кондиціонування призвело до зниження рівнів вологості повітря (на 5-8%) та концентрації легких аероіонів (приблизно вдвічі) в порівнянні з тими низькими рівнями, що й так були наявні до встановлення системи кондиціонування повітря.

Оскільки встановлення систем кондиціонування повітря не дозволило нормалізувати рівні вологості повітря та іонізації повітря, було вирішено оцінити ефективність провітрювання для таких цілей. Результати вимірювань показали, що даний захід нормалізує температурний режим (20-22°C) та істотно наближає рівні вологості повітря (33-40%) та іонізації повітря (490-540 легких негативних іонів на см³ та 550-590 легких позитивних іонів на см³) до нормативних рівнів.

Через невирішеність проблеми відповідності показників вологості повітря та концентрації легких аероіонів санітарним нормам, було проведено оцінку ефективності застосування очищувача повітря з додатковою функцією зволоження повітря.

Результати вимірювання засвідчили, що поєднання заходів провітрювання приміщення та зволоження повітря дало змогу привести у відповідність санітарним нормам показники мікроклімату та майже повністю – показник концентрації легких аероіонів. Отже, поєднання даних заходів дозволило позбутися небезпечних рівнів фізичних факторів та нормалізувати фізичний стан середовища приміщень салону краси.

Висновки

1. Вимірювання показали відповідність рівнів електростатичних полів, електромагнітного випромінювання, іонізуючого випромінювання та середньодобового рівня шуму у приміщеннях салону краси чинним санітарним нормам.

2. Виявлена, завдяки проведеним дослідженням, невідповідність рівнів вологості та температури повітря, шуму (від роботи фенів), концентрації легких аероіонів, освітленості приміщень встановленим нормативним рівням зумовила необхідність у застосуванні заходів щодо нормалізації даних показників.

3. Проведена оцінка ефективності заходів з нормалізації параметрів мікроклімату виявила, що найефективнішим є комбінування щогодинного провітрювання приміщення із застосуванням зволожувача повітря. Завдяки поєднанню цих заходів вдалося підвищити концентрацію легких аероіонів до мінімально необхідного рівня.

4. Застосування насадок, які знижують шум, для фенів дозволило знизити рівень шуму на 22,4 дБА (нижчий за допустимий рівень). А встановлення більш потужних люмінесцентних ламп (24 W (120 W) та 30 W (150 W)) дозволило підвищити рівні освітленості приміщень для забезпечення оптимальних умов праці.

Список літератури: 1. ДНАОП 9.0.30-1.07-97 «Правила охорони праці для перукарень»: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua>. 2. Контроль фізичних факторів середовища, небезпечних для людини / В. А. Тищенко та др.; науч. ред. В. Н. Крутиков и др. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 376 с. 3. Федорович, Г. В. Экологический мониторинг электромагнитных полей [Текст] / Г. В. Федорович. – М., 2004. – 140 с. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ntm.ru/control/60/7004>. 4. Sidorov, A. V. The technique of small air ions concentration measurement at the PC operator working place [Текст] / A. V. Sidorov // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 1. – С. 36 – 41. 5. ДСанПіН 2.2.2.022-99 «Державні санітарні правила та норми для перукарень різних типів»: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua>. 6. ГОСТ 12.1.045-84 "Електростатичні поля. Допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до проведення контролю": [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua>. 7. ДСН 239-96 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань»: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua>. 8. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). – К., 1997. – 121 с. 9. ДНАОП 0.03-3.06-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень №2152-80»: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua>. 10. ГОСТ 12.1.003-83 "ССБТ. Шум. Общие требования безопасности": [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://document.ua>.

Bibliography (transliterated): 1. DNAOP 9.0.30-1.07-97 «Pravyla okhorony pratsi dlia perukaren». Access mode: <http://document.ua>. 2. Tischenko, V., Krutikov, V. (2003). Kontrol fizicheskikh faktorov okruzhayushchei sredy, opasnykh dlia cheloveka, 376. 3. Fedorovich, G. (2004). Ekologicheskii monitoring elektromagnitnykh polei. 140 p. Access mode: <http://www.ntm.ru/control/60/7004>. 4. Sidorov, A. (2014). The technique of small air ions concentration measurement at the PC operator working place. Mashinostroenie i bezopasnost zhiznedeiatelnosti, 1, 36 – 41. 5. DСанPiN 2.2.2.022-99 «Derzhavni sanitarni pravyla ta normy dlia perukaren riznykh typiv». Access mode: <http://document.ua>. 6. GOST 12.1.045-84 "Elektrostatychni polia.

Dopustymi rivni na robochykh mistsiakh i vymohy do provedennia kontroliu". Access mode: <http://document.ua>. 7. DSN 239-96 «Derzhavni sanitarni normy i pravyla zakhystu naselennia vid vplyvu elektromagnitnykh vyprominiuvan». Access mode: <http://document.ua>. 8. Normy radiatsiynoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97). Kyiv, 121. 9. DNAOP 0.03-3.06-80 "Sanitarno-hihienichni normy dopustymykh rivniv ionizatsii povitria vyrobnychykh ta gromadskykh prymischen №2152-80". – Access mode: <http://document.ua>. 10. GOST 12.1.003-83 "SSBT. Shum. Obschie trebovaniia bezopasnosti". Access mode: <http://document.ua>.

Надійшла (received) 22.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сидоров Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри екології; пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058; e-mail: sidorovav@ukr.net.

Богомазюк Яна Юрївна – студент, Національний авіаційний університет, кафедра екології; пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058.

Майданець Анжела Вікторівна – студент, Національний авіаційний університет, кафедра екології; пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058.

УДК 658.562:628

Н. А. ЛЮБИМОВА

ПЛАНИРОВАНИЕ КОНТРОЛЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ С ВЫБОРОМ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ РАНЖИРОВАННЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Рассмотрена возможность применения методов локализованного спектрального анализа для оценки неопределенности случайных амплитудных изменений в гармонических неслучайных составляющих многокомпонентного процесса загрязнения атмосферы энергетическим предприятием. Произведено сравнительное оценивание вероятностей выбросов (раздельно по компонентам загрязнения) на основе анализа дисперсий вейвлет-коэффициентов гармонических составляющих контролируемых во времени компонент. Применение данного метода адаптирует план контроля к реальным условиям протекания технологических процессов и повысит его достоверность.

Ключевые слова: контроль, план, загрязнение, многокомпонентное, вероятностная модель, вейвлет-анализ, ранжирование, адаптация.

Введение.. Производство промышленной продукции всегда сопровождается генерацией отходов, загрязняющих окружающую среду. Процессы загрязнения – это элементы технологической цепи, стабильность и точность функционирования которой, определяют стационарность и статическую предсказуемость появления таких нежелательных случайных событий, как экстремальное превышение норм природопользования (ПДВ, ПДС...). Очистка газовых выбросов от вредных химических загрязнений энергетических предприятий осложняется тем, что многие выбросы несут с собой золу, сажу, частицы пыли, нагретые до высоких температур, и содержат несколько компонентов, удаляемых различными методами очистки. Иногда их концентрации и ритм поступления нестабильны. Способы очистки зависят от физико-химических свойств загрязняющих веществ, их агрегатных состояний, концентрации, температуры и др. Для очистки от них используются различные устройства, технологии и методы. Поэтому при организации контроля таких многокомпонентных (многопараметрических) процессов загрязнения атмосферы энергетическими предприятиями особое значение приобретают задачи организации и планирования с учетом апостериорной информации об интенсивности

превышения норм предельно допустимых выбросов (ПДВ) по компонентам загрязнения

Анализ литературы и постановка проблемы. Оценка таких интенсивностей – это проблема, поскольку превышение норм ПДВ является не только случайным, но и редким событием. К тому же, при фиксации таких событий возможны ошибки контроля [1], из-за неоднородности метрологических характеристик первичных преобразователей и измерительных каналов системы многопараметрического контроля и априорной неопределенности процессов многокомпонентного загрязнения. Оценка интенсивностей выбросов по компонентам, случайно меняющим свой количественный состав во времени, это задача оценивания апостериорных вероятностей критических экстремумов контролируемых многомерных случайных процессов. Такое оценивание способствует решению актуальной проблемы статистического синтеза многопараметрических систем контроля в условиях априорной неопределенности свойств контролируемых процессов загрязнения.

© Н. А. Любимова . 2015

Известные работы по анализу математических моделей выбросов случайных процессов относятся к теории помехоустойчивости систем связи [2, 3] и информационно-измерительным технологиям контроля и технической диагностики [1, 4]. Однако во всех случаях речь идет о математических моделях обнаружения нарушений стационарности информационных процессов, в основном, одномерных. Что касается величин и интенсивностей максимальных выбросов продуктов загрязнения промышленными объектами, то исследование параметров и вероятностных свойств выбросов как случайных процессов теоретически не исследовано. Задача изучения модели экстремальных выбросов ограничивается математическими моделями по расчету выбросов с учетом особенностей и возможных изменений технологических процессов, а также точности и метрологической надежности средств измерения [5, 6]

Цель статьи – раскрыть возможности локализованного спектрального анализа (вейвлет-анализа) в задаче сравнительного оценивания апостериорных вероятностей выбросов в многокомпонентных процессах загрязнения воздушной среды.

Задачей исследования является теоретическое обоснование плана контроля для сравнительного оценивания вероятностей выбросов при выполнении экологического мониторинга и управления процессом очистки дымовых газов, имеющих многокомпонентный состав.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Оценить неопределенность случайных амплитудных изменений в гармонических неслучайных составляющих загрязнения.

2. Разработать структурную модель локально нестационарных контролируемых процессов.

3. Произвести нормирование вероятности одиночных выбросов с оценкой нижних границ в процессе длительного эксперимента.

4. Выявить регулярные частотные и фазовые особенности конечных (суточных и недельных) рядов наблюдения.

5. Ранжировать полученные в процессе вейвлет-анализа вероятности выброса по дисперсиям вейвлет-коэффициентов с дальнейшим использованием данного метода при планировании контроля многокомпонентного загрязнения атмосферы.

Объектом исследования является процесс контроля загрязнения окружающей среды, обусловленный технологическими нарушениями в работе предприятия.

Предметом исследования являются методы повышения достоверности контроля параметров в составе многокомпонентного загрязнения атмосферы промышленными предприятиями.

Вероятностная модель случайных выбросов. Повышение эффективности контроля процессов загрязнения окружающей среды – это, прежде всего, изучение закономерностей поведения процессов случайного изменения контролируемых показателей. Такие закономерности носят локальный частотно-амплитудный характер и трудно различимы на фоне комплексных (по среднему значению и спектру нестационарности) наблюдаемых процессах загрязне-

ния. Знание апостериорных вероятностей состояний динамического объекта контроля (процесса загрязнения) на заданных интервалах времени его наблюдения позволяет повысить точность (экстраполяции) локальных превышений норм ПДВ.

Для этого необходимо выделить в контролируемых нестационарных процессах загрязнения, неслучайные по частоте и случайные по амплитуде локальные тренды. Суммарная по частоте и по времени наблюдения дисперсия таких трендов является мерой неопределенности локальных кратковременных выбросов. Оценка такой дисперсии возможна, если известны вероятностные свойства контролируемых процессов по каждой из измеряемых компонент химического состава загрязнения. Задачи оценивания вероятностных свойств нестационарных по ряду параметров случайных процессов загрязнения являются задачей проблематичной из-за наличия ряда неустраняемых и неконтролируемых факторных влияний. Однако, выявить в таких процессах закономерности и функциональные систематические тенденции вполне возможно, имея даже небольшие выборки результатов измерений.

Существующие в настоящее время методы статистической обработки данных, распределенных во времени, особенно в задачах экологического мониторинга и качественных измерений базируется на теории статистического анализа временных рядов. Эти методы закреплены нормативно в рамках государственных стандартов Украины и используются не только для статистического контроля многомерных показателей качества, но и для регулирования технологических процессов, включая процедуры прогнозирования нарушений качества.

В ходе любого автоматизированного мониторинга выбросов вредных веществ в атмосферу информация о количественных значениях физико-химических показателей загрязнения – это дискретизированные во времени реализации случайных процессов. В силу ограниченности периодов наблюдения и конечности интервалов дискретизации, такие реализации удобно представлять статистическими моделями временных рядов, с частотно-фазовой нестационарностью, присутствующих в таких рядах, низкочастотных и высокочастотных трендов.

Из-за наличия в таких реализациях локальных спектральных возмущений, вызывающих нарушения стабильности временного ряда и превышение нарушений норм предельно допустимых выбросов (ПДВ) имеет смысл использовать для анализа рядов локализованный спектральный анализ (вейвлет-анализ), а не классический спектральный анализ, основанный на преобразованиях Фурье.

Такой анализ, во-первых, позволяет выявить регулярные частотные и фазовые особенности конечных (суточных, недельных и т.п.) рядов наблюдений, во-вторых, дает возможность оценивания по дисперсии вейвлет-коэффициентов амплитудных скачкообразных изменений регулярных локальных трендов разных частот.

В конечном счете, задаваясь структурой модели нестационарности временного ряда (по среднему значению, дисперсии, спектру) можно оценить впо-

следствии апостериорные вероятности превышения норм ПДВ на локализованных интервалах времени в пределах нормативно заданных периодов наблюдения. Знание такой вероятности позволит не только адаптировать план контроля выбросов к реальным условиям протекания технологических процессов, но и даст возможность снизить вероятности ошибок контроля, особенно ошибки второго рода.

При мониторинге случайного процесса $X_s(t)$ загрязнения по выделенной компоненте X_s химического состава, любое превышение нормы ПДВ по этой компоненте будем считать случайным событием, $s = \overline{1, S}$, где S – общее число компонент. Такое событие может появиться или не появиться в ходе измерительных экспериментов, число которых N теоретически очень велико ($N \rightarrow \infty$). При ($N \rightarrow \infty$) множество событий будет представлять собой бесконечную последовательность событий A_{SK} , K – дискретное значение соответствующего компонента. По отношению ко всем S контролируемым компонентам, событие A (превышение норм ПДВ хотя бы по одному компоненту), есть событие достоверное в вероятностном пространстве $(\{A_S\}, \Xi)$ [11].

В этом случае появляется возможность количественного сравнения и раздельного оценивания вероятностей ... при искусственной условии обязательного появления одиночного выброса, хотя бы в одном из процессов за конечное время наблюдения $T_H < \infty$.

Выбор модели вейвлет-преобразования. Прямое, непрерывное вейвлет-преобразование наблюдаемого процесса $x(t)$ осуществляется согласно формальному правилу [8]

$$W(a, b) = \frac{1}{\sqrt{C_\psi |a|}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (1)$$

где a, b – параметры, соответственно, масштаба и сдвига; C_ψ – нормировочный множитель; $\psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ – анализирующий (базисный) вейвлет.

Множитель C_ψ – должен обладать свойством конечности для всех частот ω .

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{|\psi(\omega)|^2}{|\omega|} dx < \infty, \quad (2)$$

а вейвлеты $\psi\left(\frac{x-b}{a}\right)$ должны удовлетворять свойствам:

а) ограниченности

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dx < \infty, \quad (3)$$

б) локализации

$$\begin{cases} |\psi(t)| \leq c(1+|t|)^{-1-\varepsilon} \\ |\psi(\omega)| \leq c(1+|\omega|)^{-1-\varepsilon} \end{cases}, \quad (4)$$

где ω – частота, $\varepsilon > 0$, $c = const$,

в) нулевого среднего, вплоть до порядка K

$$\int_{-\infty}^{\infty} t^K \psi(t) dx = 0 \quad (5)$$

Используя известное свойство интегрирования гауссовых вейвлетов [8, 9], выражение (1) можно преобразовать, представив значение интеграла в виде разности вейвлетов на единицу меньшего порядка при фиксированных a_j и b_e [10].

$$\begin{aligned} W(a_j, b_e) &= \\ &= \frac{a_j}{\sqrt{C_\psi |a_j|}} \sum_{i=1}^N x(t_i) \left[g_K \left(\frac{t_i - b_e}{a_j} \right) - g_{K-1} \left(\frac{t_{i-1} - b_e}{a_j} \right) \right] \end{aligned} \quad (6)$$

В последнем выражении [8, 9]:

$$C_{\psi_K} = 2\pi(K-1)! \quad (7)$$

$$g_K = (-1)^{K+1} \frac{d}{dx^K} \left(e^{-\frac{x^2}{2}} \right) \quad (8)$$

Практическое использование непрерывного вейвлет-преобразования в виде модели (6) позволяет выбирать любые масштабы a_j и сдвиги b_e для базисного вейвлета при фиксированных значениях $x(t_i)$ анализируемого процесса $x(t)$. В этом случае фиксированными для каждого отсчета i будут и вейвлет-коэффициенты g_{K-1} и.

В ходе любого автоматизированного мониторинга выбросов вредных веществ в атмосферу информация о количественных значениях физико-химических показателей загрязнения – это дискретизированные во времени реализации случайных процессов. В силу ограниченности периодов наблюдения и конечности интервалов дискретизации, такие реализации удобно представлять статистическими моделями временных рядов, с частотно-фазовой нестационарностью, присутствующих в таких рядах, низкочастотных и высокочастотных трендов.

Из-за наличия в таких реализациях локальных спектральных возмущений, вызывающих нарушения стабильности временного ряда и превышение нарушений норм предельно допустимых выбросов (ПДВ) имеет смысл использовать для анализа рядов локализованный спектральный анализ (вейвлет-анализ), а не классический спектральный анализ, основанный на преобразованиях Фурье.

Выводы

1. Применение методов локализованного спектрального анализа дало возможность для оценки неопределенности случайных амплитудных изменений в гармонических неслучайных составляющих многокомпонентного процесса загрязнения атмосферы предприятия.

тием путем построения структурной модели локально нестационарных контролируемых процессов.

2. Предложено использовать сравнительное оценивание вероятностей одиночных выбросов (раздельно по компонентам загрязнения) на основе анализа дисперсий вейвлет-коэффициентов гармонических составляющих контролируемых во времени компонент загрязнения. Нормировка этих вероятностей и оценка нижних границ для их значений может быть осуществлена в длительном эксперименте ($T_H \rightarrow \infty$).

3. Использование такого вида анализа, во-первых, позволяет выявить регулярные частотные и фазовые особенности конечных (суточных, недельных и т.п.) рядов наблюдений, во-вторых, дает возможность оценивания по дисперсии вейвлет-коэффициентов амплитудные скачкообразные изменения регулярных локальных трендов разных частот.

Список литературы: 1. Володарський, С. Т. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю: навчальний посібник [Текст] / С. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с. 2. Фомин, Я. А. Теория выбросов случайных процессов [Текст] / Я. А. Фомин, / М.: Связь, 1980. – 216 с. 3. Левин, Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники: в 3-х кн. Кн. вторая [Текст] / Б. Р. Левин – М.: Сов. радио, 1975. – 392 с. 4. Малайчук, В. П. Інформаційно-вимірювальні технології неруйнівного контролю [Текст]: В. П. Малайчук, О. В. Мозговой, О. М. Петренко – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2001. – 240 с. 5. Богданович, И. Автоматизированные системы контроля и учета выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов в атмосферу [Текст] / И. Богданович // Энергетика и ТЭК. – №2. – 2010. – С. 14 – 18. 6. Гейко, О. Н. Автоматизированный многокомпонентный контроль выбросов промышленных объектов в атмосферу [Текст] / О. Н. Гейко, И. Ш. Акмедзянов, Ю. М. Цвельх // Технология и конструирование электронной аппаратуры. – №5. – 2003. –

С.18 – 22. 7. Справочник по теории вероятностей и математической статистике [Текст] / под ред. В. С. Королюка – К.: Наукова думка, 1978. – 584 с. 8. Новиков, Л. В. Основы вейвлет-анализа сигналов. Учебное пособие. [Текст] / Л. В. Новиков // 1999. – 152 с. 9. Ososkov, G. Gaussian Wavelet Features and their Application for Analysis of Discretized Signals [Текст] / G. Ososkov, A. Shitov – Computer Physics Communication. – 2000. – Vol. 126. – pp. 149 – 157. 10. Шитов, А. Б. Разработка численных методов и программ, связанных с применением вейвлет-анализа для моделирования и обработки экспериментальных данных; дисс. докт. тех. наук; 05.13.18 / Андрей Борисович Шитов – Иваново., 2001. – 125 с. 11. Любимова, Н. А. Планирование контроля загрязняющих выбросов энергетических предприятий [Текст] / Н. А. Любимова // Системні дослідження та інформаційні технології. – №3. – 2014. – С. 35 – 41.

Bibliography (transliterated): 1. Volodarsky T., Kuharchuk N, (2001). Metrological support of measurement and control: Vinnitsa: Velez, 219. 2. Fomin, Y. A. (1980). Theory of random processes, 216. 3. Levin, B. (1975). Theoretical basis of statistical radio engineering: 3 kN. KN, second. Moscow: Owls. radio, 392. 4. Malajczuk, V., Brain, A., Petrenko, A. (2001). Information-measuring technologies of nondestructive testing: [proc.] Dnepropetrovsk: DNU RF, 240. 5. Bogdanovich, I. (2010). Automated system of control and accounting of emissions of pollutants and greenhouse gases into the atmosphere. Power and energy, № 2, 14–18. 6. Geyko, O, Akmedzyanov, I., Tsvelych, U. (2003). Automated multicomponent monitoring of industrial emissions into the atmosphere. Technology and electronic hardware design, № 5, 18–22. 7. Handbook on probability theory and mathematical statistics. (1978). Ed. by V. S. Korolyuk. Kiev: Naukova Dumka, 584. 8. Novikov, L. (1999). Foundations of wavelet signal analysis. A tutorial. Moscow: 152. 9. Ososkov, G., Shitov, A. (2000). Gaussian Wavelet Features and their Application for Analysis of Discretized Signals. Computer Physics Communication, Vol. 126, 149–157. 10. Shitov, A. (2001). Development of numerical methods and programs associated with the use of wavelet analysis for the modeling and processing of experimental data; Diss. doctor. technical Sciences; 05.13.18 / Andrey Shitov – Ivanovo, 125. 11. Lyubimova, N. (2014). Planning control pollution emissions of power plants. Systemn dozen informatin technology, № 3, 35–41.

Поступила (received) 22.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Любимова Ніна Олександрівна – доктор технічних наук, Харківський національний аграрний університет ім. В.В.Докучаєва, професор кафедри "Механізації та електрифікації сільськогосподарського виробництва"; Харків, 62483, п/в «Докучаєво», навчальне містечко ХНАУ ім.В.В.Докучаєва, e-mail: n.lioubimova@mail.ru.

Lyubymova Nina – doctor of technical sciences, professor, Kharkov National Agriculture University named after V.V. Dokuchaev; Professor of the Department "Mechanization and electrification of agricultural production Kharkov, 62483, Town of KHAU by V.V. Dokuchaev; e-mail: n.lioubimova@mail.ru

УДК 537.6+57.04+616-006

Т. Ю. НИКОЛАЄНКО, Д. В. ШЕЛЕСТ, А. А. БІЛЮК, В. М. РУДЕНКО, Ю. А. СТУПАК, Є. В. ПИЛИПЧУК

РУХ І НАКОПИЧЕННЯ МАГНІТНИХ НАНОЧАСТОК В ЗОНІ ПУХЛИНИ ОРГАНІЗМУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ТВАРИН ПІД ВПЛИВОМ ПОСТІЙНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Запропоновано методику дослідження транспортування препарату на основі наночастинок магнетиту, кровотоком тварини та наведено перші результати її використання для вивчення характеру руху і процесів накопичення магнітних наночастинок в зоні пухлини у тварин з перещепленою карциномною легень Льюїс під впливом постійного магнітного поля з урахуванням параметрів кровообігу. Показано, що питома масова магнітна проникність органів може слугувати мірою накопичення наночастинок магнетиту у них. Зафіксовано більш виражене накопичення препарату в зоні пухлини при внутрішньочеревному способі введення.

Ключові слова: спрямований транспорт ліків, нанорідини, магнітна сприйнятливність.

©Т. Ю. Ніколаєнко, Д. В. Шелест, А. А. Білюк, В. М. Руденко, Ю. А. Ступак, Є. В. Пилипчук. 2015

Вступ. Експериментальне вивчення впливу зовнішнього магнітного поля на рух і перерозподіл магнітних наночастинок-носіїв лікарських засобів в багатоклітинному організмі є важливим при розробці магнітокерованих методів доставки молекул лікарських засобів, з'єднаних з магнітними наночастинами, у задану область організму [1, 2]. Для проведення таких досліджень необхідно у той чи інший спосіб вирішити задачу визначення концентрації магнітних наночастинок у зразках біологічного походження. Серед широкого арсеналу методів [3–7], що можуть бути використані для вирішення цієї задачі, найбільш простим та оперативним є метод, заснований на вимірюванні магнітних властивостей зразків [8]. Його реалізація не вимагає ні занадто складного і високовартісного експериментального обладнання, ані хімічної або ізотопної модифікації наночастинок. Вимірювальну систему [8] для реалізації такого способу вимірювання було нещодавно запропоновано авторами.

Ціль та задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка методики для оцінки шляхів транспортування і накопичення магнітних наночастинок в організмі тварини та попередня її апробація з використанням наночастинок, кон'югованих із молекулою лікарського препарату доксорубіцину, під час пухлинного росту та впливу постійного магнітного поля.

1. Оцінити питому масову магнітну сприйнятливості органів дослідних тварин за умови внутрішньовенного та внутрішньочеревного введення комплексного препарату.

2. Визначити найбільш оптимальний метод введення препарату (внутрішньо-венний чи -черевний).

Матеріали і методи. В основу запропонованої методики дослідження характеру руху і процесів накопичення магнітних наночастинок в зоні пухлини під впливом постійного магнітного поля з урахуванням параметрів кровообігу покладено взаємозв'язок між масовою концентрацією наночастинок магнетиту у рідинних системах або сухих сумішах із величиною магнітної проникності таких систем, а також – відповідну вимірювальну систему [8] для вимірювання магнітної проникності рідинних наносистем, розроблені авторами. Зазначена вимірювальна система дає змогу визначати ефективну магнітну проникність середовищ із точністю близько $1 \cdot 10^{-3}$, а вміст наночастинок магнетиту в одиниці об'єму зразка – не менше 20% у діапазоні концентрацій від 0,1 до 500 мг/мл. Завдяки цьому така система може бути застосована у медичній біофізиці для здійснення контролю кількості магнітних наночастинок у зразках біологічного походження.

Для відпрацювання методики визначення магнітних наночастинок у різних органах в пілотному дослідженні було використано 11 лабораторних мишей лінії C57Black, 9 із яких не мали пухлини і приймалися за контрольні, а двом іншим було прищеплено пухлину карциноми легень Льюїс. Час від пересадження пухлини двом останнім тваринам до виконання експериментів становив 30 і 20 днів.

На початку експерименту зазначеним двом тваринам вводили препарат, який являв собою рідинну наносистему, приготовану на основі дистильованої води, відфільтрованої через стерильний фільтр з діаметром пор 0,22 мкм, що містила також наночастки

магнетиту (середній діаметр 7,5 нм), вкриті шаром олеату натрію та кон'юговані з лікарським препаратом доксорубіцином (вир. ТЕВА (Ізраїль)). Масова концентрація магнетиту у препаратах становила 5,56 мг/мл, а доксорубіцину – 0,22 мг/мл. Одній з тварин препарати вводили внутрішньобрюшинно (0,2 мл, в область кишечника), а іншій – ретробульбарно (0,1 мл, в судину за оком). Одразу після введення препарату тварин фіксували у комірці квадрупольної магнітної системи [9], індукція магнітного поля на внутрішній поверхні якої становила 1,2 Тл. Завдяки цьому зона організму тварини, в якій знаходилася пухлина, була вміщена у неоднорідне магнітне поле, яке сприяло локалізації магнітних наночастинок в зазначеній області. Час утримання тварин у магнітному полі складав 1,5 год, після чого тварин декапітували дислокацією шийних хребців з дотриманням правил гуманного поводження з експериментальними тваринами [10], та забирали внутрішні органи для дослідження.

Вимірювання магнітної проникності виконували окремо для кожного із досліджуваних внутрішніх органів тварин. Виміри проводили у три етапи. На першому етапі кожен з органів зважували та проводили калібрування системи вимірювання магнітної проникності для порожньої мікро пробірки типу епандорф та заповненої фізіологічним розчином. Систематична похибка вимірювання маси органів не перевищувала 0,005 г. На другому етапі кожен з органів вміщували в мікропробірку і вимірювали його магнітну проникність, після чого кожен з органів гомогенізували з фізіологічним розчином (0,9 % NaCl) у такий спосіб, щоб об'єм отриманого гомогенату складав 1,5 мл (для повного заповнення пробірки). На третьому етапі одержаними гомогенатами заповнювали мікропробірки та вимірювали їхню магнітну проникність.

При встановленні зв'язку між виміряним значенням магнітної проникності проб та вмістом наночастинок у них виходили з наступних міркувань. Одержуване за методикою [8] значення магнітної проникності розраховується виходячи з величини індуктивності вимірювальної котушки, а фактично – величини сумарного потоку Φ вектора індукції магнітного поля через площу усіх витків котушки, яка дорівнює сумі добуток величини індукції магнітного поля B в площині витка та площі витків. Якщо припустити, що досліджуваний зразок має форму циліндра (повністю перебиває поперечний переріз комірки), площа S якого дорівнює площі витків котушки, а висота складає h , то за умови, що котушка вимірювальної системи намотана рівномірно й має постійну величину кількості витків на одиницю довжини (що дійсно має місце у використовуваній вимірювальної системи), кількість витків, магнітний потік через площу яких буде залежати від магнітної проникності зразка, дорівнюватиме:

$$N_{act} = N_0 \cdot h/l, \quad (1)$$

де N_0 – загальна кількість витків котушки, а l – її довжина (у використовуваній вимірювальної системи $l = 30$ мм). Це означає, що амплітудне значення магнітного потоку Φ через усі витки котушки можна подати як:

$$\Phi = S \cdot (\mu_x \cdot N_{act} + \mu_a \cdot (N_0 - N_{act})) \cdot \mu_0 \cdot H, \quad (2)$$

де μ_x – магнітна проникність зразка, μ_a – магнітна проникність повітря (її можна прийняти рівною одиниці), а H є амплітудним значенням напруженості магнітного поля всередині котушки і не змінюється від внесення зразка у котушку. Величина H прямо пропорційна амплітудному значенню струму I , що протікає через котушку: $H = c \cdot I$, де c є сталою приладу. Таким чином, доходимо висновку, що виміряне значення індуктивності L буде:

$$L = ((\mu_x - 1) \cdot S \cdot h + S \cdot l) \cdot N_0 \cdot \mu_0 \cdot c / l, \quad (3)$$

причому добуток $S \cdot h$ в цьому виразі є об'ємом V зразка, а добуток $S \cdot l$ – об'ємом V_0 вимірювальної комірки. Якщо увести тепер ефективну магнітну проникність вимірювальної комірки як $\mu_{ef} = L/L_0$ (використовувана вимірювальна система дозволяє вимірювати саме таку величину), де $L_0 = S \cdot N_0 \cdot \mu_0 \cdot c$ – індуктивність котушки вимірювальної системи, у яку не вміщено зразок, то для μ_{ef} отримаємо вираз:

$$\mu_{ef} = 1 + (\mu_x - 1) \cdot V / V_0, \quad (4)$$

або

$$V_0 \cdot (\mu_{ef} - 1) = \chi_x \cdot V, \quad (5)$$

де $\chi_x = \mu_x - 1$ – магнітна сприйнятливості зразка, яку можна, як показали тестові вимірювання, виконані у [8], можна вважати прямо пропорційною масовій концентрації магнітних наночастинок у зразку. Таким чином, зважаючи на те, що V_0 є константою вимірювальної системи, можна зробити висновок, що між величинами $\mu_{ef} - 1$ та масовою концентрацією C магнітних наночастинок у зразку існує зв'язок виду:

$$(\mu_{ef} - 1) / V = a \cdot C + b, \quad (6)$$

де a і b – константи, що залежать від властивостей конкретних наночастинок та матриці, у якій вони знаходяться. Так, для рідинних системи «магнетит+вода» (об'єм зразка становив 1,0 мл) у [8] було отримано співвідношення $\mu_{ef} = 2,3 \cdot 10^{-5} + 3,8 \cdot 10^{-4} \cdot c$ [мг/мл].

Хоча зразки, що вивчаються в даній роботі, не є рідинними системами, адже роль «розчинника» для наночастинок відіграють тканини того чи іншого органу піддослідної тварини, викладені вище міркування, що привели до лінійного зв'язку між $(\mu_{ef} - 1) / V$ та C , можна вважати справедливими і в цьому випадку. Щоправда, значення констант a і b тепер можуть бути різними для різних органів. Тому встановлене лінійне співвідношення даватиме змогу порівнювати вміст

наночастинок лише у однакових органах. Зважаючи на це, замість об'єму V органів можна використати їхні маси m (які можна виміряти більш точно, ніж об'єми органів), адже густину однакових органів можна вважати однаковою. Таким чином, саме величину $(\mu_{ef} - 1) / m$, – так звану питому масову магнітну сприйнятливості, – використовували в даній роботі як характеристику вмісту наночастинок у органах піддослідних тварин.

Результати та обговорення. У табл. 1 наведено маси органів піддослідних тварин: усереднені по усім мишам контрольної групи («контроль») та однієї з особин цієї групи («тварина №1»), а також – тварина «№2» (що мала пухлину і якій препарат вводили внутрішньочеревно) та «№3» (що мала пухлину і якій препарат вводили внутрішньовенно). Тварину «№1» було виокремлено як таку, у якій маси та магнітні властивості органів (див. нижче) є близькими до середніх по тваринах контрольної групи, і саме для органів тварини №1 вимірювання магнітних властивостей органів проводили як без додаткової обробки (цілих), так і у вигляді гомогенатів; щоправда, у цієї особини нирки були пошкоджені при заборі матеріалу, з цієї причини подальші вимірювання для них не проводили. Для тварин контрольної групи у таблиці 1 наведено як середні значення маси органів, так і середньоквадратичні відхилення від них (після знаку «±»).

Після проведення вимірювань ефективної магнітної проникності зразків із органів піддослідних тварин або гомогенатів цих органів від одержаних значень магнітної сприйнятливості віднімали внесок, зумовлений наявністю у вимірювальній комірці мікропобірки (який виконував роль контейнера) або заповненого фізрозчином (при обробці результатів вимірювання для гомогенатів) відповідно.

Вимірювання магнітних властивостей гомогенізованих органів виконували лише для тварин №1, №2 і №3, тоді як магнітні властивості цілих (негомогенізованих) органів проводили для органів усіх піддослідних тварин.

У табл. 2 та 3 наведено питому масову магнітну сприйнятливості органів піддослідних тварин (табл. 2) та одержаних із них гомогенатів (табл. 3).

Таблиця 1 – Маси органів піддослідних тварин (грам)

| Орган | Контроль | Тварина №1 | Тварина №2 | Тварина №3 |
|-----------|-------------|------------|------------|------------|
| печінка | 0,82 ± 0,08 | 0,89 | 0,89 | 1,00 |
| нирка | 0,19 ± 0,04 | – | 0,32 | 0,10 |
| пухлина | – | – | 1,78 | 2,99 |
| легені | 0,14 ± 0,03 | 0,17 | 0,33 | 0,60 |
| селезінка | 0,15 ± 0,05 | 0,22 | 0,23 | 0,20 |
| серце | 0,09 ± 0,03 | 0,13 | 0,17 | 0,12 |

Таблиця 2 – Питому масову магнітну сприйнятливості (10^{-5} 1/г) органів піддослідних тварин, одержана для зразків цілих органів

| Орган | Контроль | Тварина №1 | Тварина №2 | Тварина №3 |
|-----------|------------|------------|------------|------------|
| печінка | 4,4 ± 0,4 | 4,2 | 6,6* | 15* |
| нирка | 3,2 ± 1,1 | – | 2,4 | 23* |
| легені | 9,8 ± 4,1 | 10 | 11 | 5,5* |
| пухлина | – | – | 2,8 | 1,4 |
| селезінка | 12,1 ± 3,7 | 13 | 4,3* | 6,1* |
| серце | 3,6 ± 1,9 | 5,9 | 7,8* | 6,1* |

Таблиця 3 – Питома масова магнітна сприйнятливність (10^{-5} 1/г) органів піддослідних тварин, одержана для зразків гомогенізованих зразків

| Орган | Тварина №1 | Тварина №2 | Тварина №3 |
|-----------|------------|------------|------------|
| печінка | 2,9 | 3,1 | 8,6* |
| нирка | – | 1,8 | 3,3 |
| легені | 8,2 | 6,9 | 10 |
| пухлина | – | 1,6 | 0,9 |
| селезінка | 4,5 | 3,8 | 14* |
| серце | 8,0 | 3,9* | 12* |

Із наведених даних випливає, що при внутрішньовенному способі введення питома магнітна проникність органів (а отже, і вміст наночастинок магнетиту в них) виявилася загалом більшою, аніж при внутрішньочеревному введенні. Значний розкид значень магнітної проникності легень можна пояснити тим, що в процесі декапітації тварини об'єм крові, що міг потрапити у дихальні шляхи і далі – у легені, не контролювався.

На відміну від цього, питомих масовий вміст наночастинок магнетиту в самій пухлині виявився більшим при внутрішньочеревному способі введення препарату, що дозволяє перейти до скринінгу даної речовини на біологічні властивості в лікуванні різних форм раку з допомогою таргетного впливу на мішень саме з цим способом введення.

Окрім дослідження магнітної проникності органів, було виконано вимірювання магнітної проникності крові тварини №3. Для цього було зібрано 0,55 мл крові тварини та змішано її з фізрозчином так, щоб загальний об'єм зразка становив 1,5 мл. Виміряне значення магнітної проникності такого зразка склало $\mu = 1,0000460$, а після виключення внеску мікропробірки з аналогічним об'ємом фізрозчину для питомої масової магнітної проникності крові (вважаючи її густину рівною $1,0 \text{ г/см}^3$) отримано ($\mu - \mu_{\text{комірк.}}/m = 3,8 \cdot 10^{-5}$ (1/г), що відповідає концентрації наночастинок магнетиту $0,04 \text{ мг/мл}$ за умови, що зв'язок масової концентрації наночастинок та магнітної проникності зразку можна прийняти у вигляді, встановленому в [8]. Слід зазначити, що правда, що така величина лежить на нижній границі чутливості використовуваного приладу, тож може слугувати лише як оцінка порядку величини. Разом з тим, загальна маса уведеного із препаратом магнетиту складала $0,6 \text{ мг}$, тож можна зробити висновок, що навіть за умови внутрішньовенного введення препарату його вміст у крові наприкінці експерименту є нехтовно малим. Це, вочевидь, означає, що уведений наночастинок накопичилися або у пухлині, або у внутрішніх органах тварини.

Це твердження повністю підтверджується даними табл. 2 і 3, згідно з якими питома масова магнітна проникність печінки і нирок №3, які препарат вводили внутрішньовенно, є у 3–7 разів вищою, аніж у цих органів тварин контрольної групи, хоча у тварини №2 такого ефекту не спостерігається. Той факт, що доволі істотна кількість наночастинок накопичилася у печінці, нирках та селезінці (щодо останньої – див. дані табл. 3 для гомогенізованих органів) тварини може свідчити про хорошу фільтрувальну здатність цих органів, а у випадку селезінки – про активацію захисних механізмів.

Якщо припустити, що коефіцієнт пропорційності між концентрацією наночастинок і питомою масовою (на один міліграм) магнітною сприйнятливністю органів є близьким до такого у рідинній системі «магнетит+вода» ($3,8 \cdot 10^{-4}$) або суміші «магнетит+оксид кремнію» ($3,3 \cdot 10^{-4}$), то масовий вміст магнетиту у нирках тварини №3 можна оцінити у $\sim 0,1 \text{ мг}$, а у печінці – $\sim 0,2 \text{ мг}$. Отже, загалом ці органи накопичили близько половини наночастинок із введеного у кров тварини препарату.

Слід відмітити також, що у випадку внутрішньочеревного введення препарату концентрація наночастинок магнетиту в органах тварини №2 виявилася загалом нижчою, а у пухлині – вищою, ніж у тварини №3. З врахуванням наведених вище фактів цей ефект видається очікуваним, оскільки при внутрішньочеревному введенні препарат не «вимивався» кровотоком і більш ефективно утримувався в області пухлини, вміщеної в зовнішнє магнітне поле.

Висновки. Запропоновано методику дослідження транспорту магнітних наночастинок в організмі тварини на основі вивчення магнітних властивостей органів декапітованої тварини. Показано, що питома масова магнітна проникність органів може слугувати мірою накопичення наночастинок магнетиту у них. Запропоновану методику застосовано до вивчення перерозподілу наночастинок магнетиту, кон'югованих із молекулою лікарського препарату доксорубіцину, в зоні пухлини організму лабораторної тварини під впливом постійного магнітного поля при двох різних способах введення препарату в організм тварини. Зафіксовано, що при внутрішньовенному способі введення значна частина введеного препарату (близько половини) накопичується в печінці, нирках та селезінці. В подальшому видається доцільним поширити розпочаті дослідження на більшу кількість піддослідних тварин задля з'ясування величини статистичного розкиду вимірюваних значень і одержання не лише якісних, але і кількісних відомостей про перерозподіл уведеного препарату на основі магнітних наночастинок в організмі лабораторної тварини.

Роботу виконано в рамках теми молодих вчених Київського національного університету імені Тараса Шевченка №15БФ051-01

Список літератури: 1. Горбик, П. П. Синтез и свойства магнитных жидкостей на основе наноразмерного Fe_3O_4 [Текст] / П. П. Горбик, Н. В. Абрамов, А. Л. Петрановская [и др.] // Поверхность. – 2011. – №. 3(18) – С. 245 – 257. 2. Пилипчук, Е. В. Синтез и свойства нанокмозитов на основе магнетита, модифицированного диэтилен-триазинпентауксусной кислотой [Текст] / Е. В. Пилипчук, А. Л. Петрановская, П. П. Горбик // Наноструктурное материаловедение. – 2012. – № 3. – С. 47. 3. Sarid, D. Scanning force microscopy: with

applications to electric, magnetic, and atomic forces [Текст] / D. Sarid. – New York: Oxford University Press, 1994. – 263 p. **4. Неведов, В. И.** Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений [Текст] / В. И. Неведов. – Москва: Химия. – 1984. – 256 с. **5. Sahoo, Y.** Aqueous ferrofluid of magnetite nanoparticles: fluorescence labeling and magnetophoretic control [Текст] / Y. Sahoo, A. Goodarzi, M. T. Swihart, [et al] // J. Phys. Chem. B. – 2005. – № 109(9). – P. 3879–3885. **6. Kempe, S.** Application of electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy and imaging in drug delivery research—chances and challenges [Текст] / S. Kempe, H. Metz, K. Mäder // Eur J Pharm Biopharm. – 2010. – Vol. 74(1). – P. 55–66. **7. Knopp, T.** Magnetic particle imaging: an introduction to imaging principles and scanner instrumentation [Текст] / T. Knopp, T. M. Buzug. – Berlin: Springer-Verlag, 2012. – 204 p. **8. Николаенко, Т. Ю.** Визначення фізико-хімічних властивостей рідинних наносистем на основі вимірювання магнітної проникності [Текст] / Т. Ю. Николаенко, С. В. Пилипчук. – Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Серія: фізико-математичні науки. – 2015. – №2. – прийнято до друку **9.** Вимірювальна система для визначення кількості магнітних частинок у зразку / Т. Ю. Николаенко, К. В. Черевко // Заявка на корисну модель № u201505803 від 12.06.2015 р. **10. Workman, P, et al.** (2010) Guidelines for the welfare and use of animals in cancer research [Текст] / P. Workman, E. O. Aboagye, F. Balkwill [et al.] // British J. Cancer 102:1555–1577.

Bibliography (transliterated): 1. Horbyk, P., Abramov, N., Petranovskaya, A., Turelyk, M., Pilipchuk, E., Oranskaya, E., Konchits,

A., Shevchenko, Yu. (2011). Syntez y svoystva mahnytnukh zhydkostey na osnove nanorazmernoho Fe₃O₄. «Poverkhnost», 3(18), 245 – 257. **2. Pylypchuk, E., Petranovskaya, A., Horbyk, P.** (2012). Syntez y svoystva nanokompozytov na osnove mahnytyta, modyfytsirovannoho dyetylentryazynpentauksusnoy kyslotoy. «Nanostruktturnoe materyalovedenye», 3, 47. **3. Sarid, D.** (1994). Scanning force microscopy: with applications to electric, magnetic, and atomic forces. New York: Oxford University Press, 263. **4. Nefedov, V.** (1984). Renthenoelektronnaya spektroskopyya khymycheskykh soedynenyu. Moskva: Khymyya, 256. **5. Sahoo, Y., Goodarzi, A., Swihart, M.** [et al] (2005). Aqueous ferrofluid of magnetite nanoparticles: fluorescence labeling and magnetophoretic control. J. Phys. Chem. B., 109(9), 3879–3885. **6. Kempe, S., Metz, H., Mäder, K.** (2010). Application of electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy and imaging in drug delivery research—chances and challenges. Eur J Pharm Biopharm, 74(1), 55–66. **7. Knopp, T., Buzug, T.** (2012). Magnetic particle imaging: an introduction to imaging principles and scanner instrumentation. Berlin: Springer-Verlag, 204. **8. Nikolayenko, T., Pylypchuk, E.** (2015). Vyznachennya fizyko-khimichnykh vlastyvostry ridynnykh nanosystem na osnovi vymiryuvannya mahnitnoyi pronykhnosti. Visnyk Kyivskoho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Seriya: fizyko-matematychni nauky, 2, pryynyato do druku. **9.** Vymiryuval'na systema dlya vyznachennya kil'kosti mahnitnykh chastynok u zrazku (2015). Nikolayenko T., Cherevko K. Zayavka na korysnu model' # u201505803 vid 12.06.2015. **10. Workman, P, Aboagye, E., Balkwill, F. et al.** (2010). Guidelines for the welfare and use of animals in cancer research. British J. Cancer, 102, 1555–1577.

Надійшла (received) 21.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Николаенко Тимофій Юрійович – кандидат фізико-математичних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, асистент кафедри молекулярної фізики фізичного факультету; вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, Україна, 01601; e-mail: tim_mail@ukr.net.

Шелест Дмитро Васильович – аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, кафедра біохімії ННЦ «Інститут біології»; вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, Україна, 01601; тел.: 068-235-51-70; e-mail: diamondos@gmail.com.

Билук Анастасія Анатоліївна – аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, кафедра біохімії ННЦ «Інститут біології»; вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, Україна, 01601; тел.: 099-052-75-52; e-mail: nastya_biluk@mail.ru.

Руденко Вікторія Михайлівна – студент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, кафедра біохімії ННЦ «Інститут біології»; вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, Україна, 01601; e-mail: vrudenko@bigmir.ru.

Ступак Юлія Андріївна – інженер, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, кафедра біохімії ННЦ «Інститут біології»; вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, Україна, 01601; e-mail: liudmylagarmanchuk@rambler.ru.

Пилипчук Євген Володимирович – кандидат хімічних наук, Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України, молодший науковий співробітник; вул. Генерала Наумова, 17, м. Київ, Україна, 03164; e-mail: chemind@ukr.net.

УДК 004.942+574.51

Д. Д. ДУБОВИК

АЛГОРИТМ РАЗРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ

Рассматривается моделирование состояния искусственных водохранилищ. Разработан алгоритм построения информационной модели для оценки экологического состояния искусственных водоемов. Для сравнения уровней концентраций веществ в воде по зонам водохранилища в информационной модели используется ранговый анализ. Каждое вещество характеризуется динамикой изменения его концентрации, которая описывается соответствующей графической характеристикой. Подобные графики позволяют определить уровень загрязнения в нужный момент времени, допускают возможность изучения динамики загрязнения в определенном интервале времени наблюдения, что дает возможность получить статистические оценки для решения задачи наблюдения, например, по сезонам.

Ключевые слова: информационная модель, искусственное водохранилище, математическая модель, база данных, элемент, система, мониторинг, полином, оптимизация.

© Д. Д. Дубовик. 2015

Введение. Для формирования информационной модели будем рассматривать систему «искусственное водохранилище – территория водосбора» как территориальную систему, включающую взаимосвязанные природные компоненты и комплексы более низкого таксономического ранга, и формирующаяся под влиянием природных и антропогенных процессов. Функционирование такой системы определено многочисленными связями, внутренними и внешними. Выделяем две подсистемы модели: структурно-компонентную и структурно-морфологическую, которые позволят разработать математическая модель объекта экологического мониторинга для управления экологическим состоянием [1].

Компонентная составляющая состоит из набора всех природных компонентов и связей между ними, синтезирующих обобщенное свойство (эмерджентность - возникающее новое качество системы, как эффект синергии) - природные условия системы. Структурно-морфологическая (территориальная) модель представлена зонами с определенным набором локальных свойств, характерных для выделенной части территории.

Для нормального функционирования антропогенной подсистемы необходим постоянный контроль за состоянием системы «искусственное водохранилище – территория водосбора». Для решения задач управления экологическим состоянием территории требуется создание инструмента для мониторинга, обеспечивающего информацией управляющую систему.

Искусственное водохранилище (ИВ), как объект исследования, мониторинга и управления характеризуется обязательным условием – все входные переменные, или факторы, x_1, x_2, \dots, x_n являются управляемыми, изменяемыми по заданному алгоритму на заданном интервале времени. При этом ИВ рассматривается как единая система с набором определенных качеств.

Введем следующие обозначения. - факторы x_1, x_2, \dots, x_n – измеряемые и управляемые входные переменные ИВ (независимые переменные);

– помехи z_1, z_2, \dots, z_s — неконтролируемые, случайным образом изменяющиеся переменные объекта, недоступные для измерения; они проявляются лишь в том, что изменяют влияние факторов на выходные переменные.

– выходные параметры y_1, y_2, \dots, y_t – контролируемые переменные, которые определяются факторами и связаны с целью управления и мониторинга. Они могут выступать в качестве параметров оптимизации (показатели экологического состояния ИВ). Если удастся ограничиться одним параметром оптимизации, то вектор Y превращается в скаляр y . Тогда функция отклика $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, свяжет параметр оптимизации с факторами, которые в общем случае могут изменяться. Факторы и выходная переменная должны иметь области определения, заданные принципиальными ограничениями. Для решения задачи оптимизации необходимо получить качественную, как правило, статистическую информацию о факторах и зависящей от них выходной переменной. На этой основе строится информационная или математическая модель объекта экологического мониторинга и управления экологическим состоянием [3, 5].

Если пространство с координатами x_1, x_2, \dots, x_n рассматривать как факторное, то графическое изображение функции отклика в факторном пространстве характеризуется поверхностью отклика.

В стационарном состоянии, математическую модель представим полиномом:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n, \beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n). \quad (1)$$

После обработки экспериментальных данных найдем коэффициенты регрессии $b_0, b_1, \dots, b_i, \dots, b_n$, то есть оценки теоретических коэффициентов:

$$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_i, \dots, \beta_n.$$

Математическая модель в форме уравнения регрессии в общем случае будет иметь вид:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_i b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_i b_{ii} x_i^2 + \dots \quad (2)$$

Наряду со статистическими математическими моделями в информационную модель должны быть включены физико-химические модели, описывающие физико-химические закономерности моделируемых процессов. Эти модели представляются системами алгебраических и различных дифференциальных уравнений. Численные значения коэффициентов модели по данным статистической информации находятся на основе решения задачи идентификации. Определим основные термины, которые будут использоваться при разработке информационной модели искусственного водохранилища, которое рассматривается как система, обладающая некоторым набором уникальных свойств и характеристик. При этом будем понимать систему как совокупность связанных элементов, объединенных в одно целое для достижения определенной цели. Под понятием элемент будем подразумевать минимальный неделимый объект. Свойства элемента— это его свойства как целого. Неделимость элемента при этом есть формальное понятие, но не его свойство. Свойства элемента будут зависеть от того, из чего состоит элемент (вода, вещества, микроорганизмы, организмы). При необходимости (в зависимости от целей) элементы могут быть представлены разложением на составляющие или интегрированы в более крупные. Под целью понимается совокупность результатов, определяемых назначением системы. Цель определяет условия объединения элементов в систему [4, 5].

ИВ как инженерные системы описываются с использованием понятий функций и структур. Под функцией системы понимают правила получения результатов, предписанных целью (назначением) системы. При решении различных задач функции системы будем описываться с различной степенью детализации [2, 3].

Под структурой системы будем понимать фиксированную совокупность элементов и связей между ними.

Важнейшим понятием при анализе свойств и качеств ИВ является эффективность как степень соответствия ИВ (системы) своему назначению. Для формализованной оценки эффективности ИВ необходимо

выбрать или сформировать показатель эффективности как меру свойства (характеристик) системы. Показатель эффективности может быть многокомпонентным, то есть может содержать несколько количественных характеристик, относящихся к различным свойствам водохранилища. Для оценок эффективности могут применяться, например, такие показатели, как производительность (рыбное хозяйство, водообеспечение, стоимость единицы объема, надежность, площадь, объем и т. п.). Степень эффективности системы оценивается значением критерия эффективности, который имеет количественный характер, обобщает все ее свойства в одной оценке, мере эффективности системы. Будем использовать два типа критериев – прямой и инверсный. Прямой, если при увеличении эффективности значение критерия возрастает, в противном случае – критерий инверсный.

Для обеспечения адекватности ИМ на всех этапах ее разработки будем обеспечивать сохранение свойств изоморфизма, то есть взаимно-однозначного соответствия свойств ИВ и соответствующей информационной модели [1, 6].

Работа по анализу и конструированию информационных систем выполняется в следующей последовательности.

1. Разработка принципиальной и структурной схемы информационной системы: выявление функций и структуры системы; разработка логической схемы моделирования; анализ алгоритмов модульных задач.
2. Создание математических моделей операций.
3. Разработка алгоритмов, их обоснование, создание рекомендаций по применению.
4. Сортировка и компоновка входных массивов исходных данных.
5. Совокупность систем показателей, языков записи данных, систем кодирования и классификации,

унифицированных систем документации и массивов информации для определения состава информационного обеспечения.

Информационное обеспечение включает:

1. Структуру информации, т. е. правила построения показателей, агрегации документов, и декомпозиции информационных единиц, для целей преобразования информационных единиц в цепочке «вход – система – выход».
2. Перечень информационных единиц или информационных совокупностей (показателей, констант, переменных, документов, других сообщений, необходимых для решения комплекса задач системы).
3. Характеристики качества информации, т. е. систему количественных оценок полезности, значимости, полноты, своевременности, достоверности и других качеств информации.
4. Характеристики движения информации, т. е. количественные оценки потоков информации (объем, интенсивность), определение маршрутов движения документов, построение схем документооборота, временные характеристики функционирования источников информации, получения первичных данных, использования исходных данных, продолжительности хранения, старения и обновления данных.
5. Способы преобразования информации, т. е. методы отбора, доставки, распределения информации, методики расчета показателей, схемы обеспечения информацией подразделений системы управления, подготовки рабочих массивов для решения задач.

При разработке обеспечивается методическое единство информационного обеспечения, т. е. разработка различных подсистем на основе единых принципов, и обеспечение взаимосвязи между системами, подсистемами и модулями ИС.

Таблица 1 – Характеристика стадий исследования и анализа процесса экологического мониторинга искусственного водоема при разработке информационной системы

| Тип наблюдения | Исследование управляющей и управляемой систем | Диагностический анализ | Исследование и формализация частей ИМ |
|--|---|---|---|
| Объект наблюдения: ИВ, бассейн ИВ, территориальные единицы водопользования | Установление входа, выхода, внутренней структуры системы | Влияние элементов входа, выхода, внутренней структуры на показатели экологического мониторинга ИВ | Процессы и процедуры в системе и объекте управления экологическим мониторингом ИВ |
| Единица наблюдения | Материальные и информационные потоки | Результаты решения задач анализа и управления | Информационные или материальные процессы |
| Программа наблюдения | Получение сведений о процессах развития, функционирования и состояния ИВ и его бассейна | Получение сведений о критических параметрах экологического состояния ИВ | Прогноз и анализ возможных состояний |
| Орган наблюдения | Установление графика наблюдений Используемый инструментальный и источники информации. | Обработка информации в соответствии с задачами и функциями системы | Формализация результирующей информации. Состав, периодичность получения |

Территории водосборных районов искусственных водохранилищ представляются зонально-функциональной структурой [2, 4]. Общие площади территорий характеризуются распределением площадей функциональных зон: промышленных предприятий; жилых многоэтажных; жилых зон индивидуальной застройки; рекреационных ландшафтных зон (отдыха); балок, оврагов и пустошей; естественных водных

поверхностей на территории водосбора (реки и озера). Второй блок информации содержит данные о суммарных объемах выбросов токсических веществ в поверхностные воды от подвижных и стационарных источников, площадях территорий, разделяющихся по уровням загрязнения, данные о степени загрязнения воздушной среды, почв, воды по территориям, другие характеристики необходимые для общего экологиче-

ского анализа. Структурирование информации об экологическом состоянии территорий и непосредственно водоемов является основой для разработки баз данных входящих в информационную модель, выбора их структуры, ключей, типа СУБД и т. д. [8]. База знаний информационной модели содержит: методики экологического анализа, методики формирования частных и комплексных показателей загрязне-

ния, методики зонального анализа территории водосбора, классификации территорий водосбора по уровням загрязнения, выделение территорий для наблюдения и контроля, справочники, необходимые для экологического анализа и др.) [6, 7, 9].

Разработка информационной модели осуществляется в соответствии со следующим проектом алгоритма (табл. 2.).

Таблица 2 – Проект алгоритма разработки информационной модели

| № | Действие в соответствии с алгоритмом | Результат выполнения |
|-----|--|---|
| 1 | Вербальное описание территории водосбора искусственного водохранилища | Общие характеристики территории водосбора |
| 2 | Зональное представление водохранилища | Выбор обобщенных зон водохранилища с учетом характера и уровня загрязнения |
| 3 | Схема распределения локальных источников экологической информации по территории водохранилища | Структура информационной модели по локальным территориям |
| 4. | Анализ информационных возможностей других источников информации о состоянии водохранилища | Состав измеряемых характеристик и их периодичность, оценка объема накопленных статистических данных за изучаемый период |
| 5. | Анализ распределения локальных источников экологической информации по территории водосбора | Состав измеряемых характеристик и их периодичность, оценка объема накопленных статистических данных за изучаемый период |
| 6. | Оценка диапазонов изменения концентраций химических соединений в водах водохранилища | Диапазоны изменения концентраций химических веществ |
| 7. | Модель динамики концентраций химических соединений в водах водохранилища | Графики изменения концентраций на исследуемом интервале времени |
| 8. | Расчет средних значений приоритетных загрязняющих веществ по локальным зонам на интервале времени | Средние значения приоритетных загрязняющих веществ по локальным зонам на интервале времени |
| 9. | Анализ источников поступления материалов наилка в водохранилище | Зональное распределение территории водосбора по характеру вносимых в воду веществ |
| 10. | Вычисление объемов наносов, вносимых в водохранилище с зональных территорий водосбора по известным методикам | Вычислительные модули, реализующие различные методики расчета объема наносов, модули баз данных, обеспечивающих работу вычислительных модулей |
| 11. | Сбор данных о характере распределения наносов по территории водохранилища на основании известной картографической информации, данных ДЗЗ, экспедиционных измерений | Модуль базы данных о распределении глубин в зональной системе координат (уровень НПУ) |
| 12. | Вычисление объемов воды квазипараллелепипедов зонального распределения на заданные моменты времени | Динамика изменения объема наносов как функции изменения объемов воды в зональной системе координат. |
| 13. | Построение зонального распределения наносов для различных интервалов времени | Динамические характеристики процесса заиления |
| 14. | Оценка экологического состояния наносов по комплексному коэффициенту K_{Σ} | Иерархическая структура зон водохранилища по комплексному коэффициенту K_{Σ} |
| 15. | Определение категории загрязнения наилка в зонах по комплексному коэффициенту и объединение зон с заданными диапазонами его значений | Площади загрязнения интегрированные по категориям в зависимости от значений комплексного коэффициента |
| 16. | Разработка карты наносов | Карта наносов |
| 17. | Выбор экологических характеристик для оценок по специальным заявкам | Оперативный протокол экологического состояния зоны водохранилища или водохранилища в целом |
| 18 | Формирование планового протокола об экологическом состоянии искусственного водохранилища за месяц, квартал, год. | Протокол об экологическом состоянии |
| 19 | Разработка модели прогноза заиления искусственного водохранилища на различные интервалы времени | Протокол прогноза |
| 20. | Формирование интегрального показателя экологических характеристик территории водосбора | Определение зональных территорий для экологического анализа |

Для информационного моделирования используется информация государственных органов статистики, городских управлений экологии, данных област-

ных и городских СЭС, облгидрометеоцентра, данные, опубликованные учеными академических, отраслевых и региональных исследовательских учреждений. При

моделировании состояния искусственных водохранилищ принято выделять обобщенные зоны наблюдения, которые определяются по географическим и экологическим признакам. Это первый этап разработки информационной модели. Для сравнения уровней концентраций веществ в воде по зонам водохранилища в информационной модели используется ранговый анализ. Каждое вещество характеризуется динамикой изменения его концентрации, которая описывается соответствующей графической характеристикой. Такие графики позволяют определить уровень загрязнения в нужный момент времени. Они допускают возможность изучения динамики загрязнения в определенном интервале времени наблюдения, что дает возможность получить статистические оценки для решения задачи наблюдения.

Ниже приведен пример графика сезонных изменений загрязняющего вещества (рис. 1).

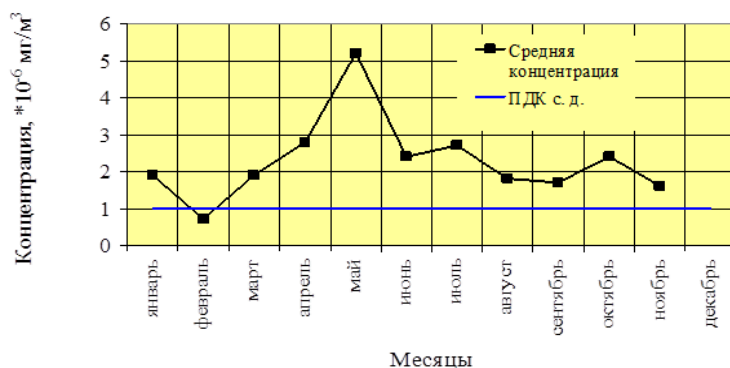


Рис. 1 – Динамика среднемесячных концентраций вещества в воде искусственного водохранилища

Выводы. Построена математическая модель объекта экологического мониторинга и управления экологическим состоянием. Разработана информационная модель, которая позволяет оперативно получать необходимую информацию из базы данных, которая содержит методики экологического анализа, методики формирования частных и комплексных показателей загрязнения, методики зонального анализа территории водосбора, классификации территорий водо-

сбора по уровням загрязнения, выделение территорий для наблюдения и контроля, справочники, необходимые для экологического анализа и графики изменений концентраций химических веществ в воде.

Список литературы: 1. Оксанич, А. П. Інформаційні системи і технології маркетингу [Текст] / А. П. Оксанич. – К.: «Видавничий дім „Професіонал», 2008. – 320 с. 2. Россинский, К. И. Термический режим водохранилищ [Текст] / К. И. Россинский. – М.: Наука, 1975. – 168 с. 3. Колесов, Ю. Б. Моделирование систем. Объектно-ориентированный подход. Учебное пособие [Текст] / Ю. Б. Колесов, Ю. Б. Сениченков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 192 с. 4. Душин, В. К. Теоретические основы информационных процессов и систем: Учебник [Текст] / В. К. Душин. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2006. – 348 с. 5. Волкова, В. Н. Информационные системы: Учебное пособие [Текст] / В. Н. Волкова // под ред. В. Н. Волковой, Б. И. Кузина. – СПб.: СПбГТУ, 2001. – 216 с. 6. Светлов, Н. М. Информационные технологии управления проектами: Учеб. Пособие [Текст] / Н. М. Светлов, Г. Н. Светлова // 2-е издание, перераб. и доп. – М.: ИД. "Форум": ИНФРА, 2012. – 232 с. 7. Мартишин, С. А. Проектирование и реализация баз данных в СУБД MySQL с использованием MySQL Workbench: Учебное пособие [Текст] / С. А. Мартишин, В. А. Симонов, М. В. Храпченко. – М.: ИД. "Форум": ИНФРА, 2012. – 160 с. 8. Michel, B. Ice accumulation at freeze-up or break up. Proc. IAHR Symp. On Ice Problems [Text] / B. Michel Lulea. – 1978. – Part 2. – P. 301–307. 9. Люха, В. О. Основы экологии [Текст] / В. О. Люха, I. Дерій. – К: Фітосоціоцентр, 2000. – 200 с.

Bibliography (transliterated): 1. Oksanich, A. P. (2008). Informacijni sistemi i tehnologii marketingu. Kiev: «Vidavnichij dim „Profesional», 320. 2. Rossinskij, K. I. (1975). Termicheskij rezhim vodoxranilishh. Moscow: Nauka, 168. 3. Kolesov, Yu. B., Senichenkov, Yu. B. (2006). Modelirovanie sistem. Obektno-orientirovannyj podhod. Uchebnoe posobie. SPb.: BXV-Peterburg, 192. 4. Dushin, V. K. Teoreticheskie osnovy informacionnyx processov i sistem: Uchebnik. Moscow: Izdatel'sko-torgovaya korporacija «Dashkov i Ko», 2006. – 348 s. 5. Volkova, V. N. (2001). Informacionnyye sistemy: Uchebnoe posobie. Pod red. V. N. Volkovoj, B. I. Kuzina. SPb.: SPbGTU, 216. 6. Svetlov, N. M., Svetlova, G. N. (2012). Informacionnyye tehnologii upravleniya projektami: Ucheb. Posobie. 2-e izdanie, pererab. i dop. Moscow: ID. "Forum": INFRA, 232. 7. Martishin, S. A., Simonov, V. A., Xrapchenko, M. V. (2012). Proektirovanie i realizaciya baz dannyx v SUBD MySQL s ispolzovaniem MySQL Workbench: Uchebnoe posobie. Moscow: ID. "Forum": INFRA, 160. 8. Michel Lulea, B. (1978). Ice accumulation at freeze-up or break up. Proc. IAHR Symp. On Ice Problems, 2, 301–307. 9. Ilyuxa, V. O., Derij, I. (2000). Osnovi ekologii. Kiev: Fitosociocentr, 200.

Поступила (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Дубовик Денис Дмитриевич – аспирант, Інститут технічної механіки і державне космічне агентство НАН України, ул. Ляшко-Попеля, 15, г. Дніпропетровськ, Україна, 49600; email: denic3d@gmail.com.

УДК 621.319.7.001

В. И. ГОЛИНЬКО, Д. С. ПУСТОВОЙ

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА ОТ ВЫСОКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ

Показана возможность применения импульсного коронного разряда для целей коагуляции мелкодисперсной фазы аэрозоля при использовании зарядного устройства с системой коронирующих электродов типа «острие» и заземленного электрода, выполненного в виде расположенной поперек потока запыленного воздуха крупноячеистой сетки. Установлено, что при значительной скважности импульсного напряжения, величина заряда крупных частиц пыли и время действия внешнего электрического поля под воздействием которого осуществляется направленное движение частиц пыли к заземленному электроду и стенкам зарядной камеры значительно меньше чем в поле униполярного постоянного коронного разряда.

Ключевые слова: аэрозоль, коагуляция, электроионизация, пыль, электрическое поле, зарядная камера, коронный разряд.

Введение. В настоящее время для улавливания аэрозолей из отходящих газов используется широкий класс газоочистного оборудования (циклоны, фильтры, пылеуловители, осадительные камеры и др.). Однако из-за низкой эффективности этого оборудования при улавливании мелкодисперсной пыли и необходимости замены или чистки фильтрующих элементов, область их применения ограничена.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Решением проблемы удаления мелкодисперсной пыли (менее 5 мкм) из запыленного воздуха может быть электростатическое осаждение.

Фундаментальным отличием процесса электростатического осаждения от механических методов сепарации частиц является то, что в этом случае энергия, подводимая к обрабатываемым газопылевым потокам, расходуется преимущественно на оказание непосредственного воздействия на осаждаемые частицы. Этим обусловлены многие преимущества процесса электрофильтрации, основными из которых являются умеренное потребление энергии, а также то, что даже мельчайшие частицы субмикрометрового диапазона улавливаются эффективно, поскольку и на эти частицы действует достаточно большая сила [1].

Энергия, потребляемая в электрофильтре, складывается из энергии, расходуемой генератором тока высокого напряжения, и энергии, необходимой для преодоления гидравлического сопротивления при прохождении газа через электрофильтр. Гидравлическое сопротивление электрофильтра при его правильной эксплуатации не превышает 100...150 Па, т. е. значительно ниже, чем у большинства других пылеуловителей.

Электрофильтр относится к наиболее эффективным пылеулавливающим аппаратам. Эффективность очистки достигает 99,9 % в широких пределах концентраций (от нескольких мг до 200 г/м³) и дисперсности частиц (до долей мкм) и невысокой затрате электроэнергии (около 0,1...0,5 кВт·ч на 1000 м³ газов). Электрофильтр может обеспыливать влажную и коррозионноактивную газовую среду с температурой до 500°C. Производительность электрофильтров достигает сотен тысяч м³/ч очищаемого газа. Однако электрофильтры имеют такие недостатки как их высокая чувствительность к поддержанию параметров очистки, высокая металлоемкость и большие габариты, а также высокая требовательность к уровню монтажа и обслуживания. К недостаткам электрофильтров относится также то, что достигнув поверхности осадительного электрода и отдав ему свой заряд, ча-

стица удерживается на поверхности только молекулярными силами, которым приходится преодолевать размывающее действие воздушного потока, стремящегося оторвать осевшую частицу от электрода. Этот фактор заметно влияет на эффективность электрических фильтров [2]. Кроме того, на эффективность электрофильтров оказывают влияние электрические пробой, возникающие вследствие накопления пыли на осадительных электродах и относительно небольшого расстояния между коронирующим электродом и ближайшими к нему заземленными электродами ионизационной зоны.

Пробой сопровождается кратковременным значительным увеличением тока. Источники питания электрических фильтров обычно снабжены защитой от перегрузок и поэтому при пробоях отключаются. Продолжительность пробоев измеряется долями секунды, однако ввиду того, что число их может доходить до десятков и сотен за 1 мин, они могут привести к существенному снижению эффективности фильтров. Пробой отражается также на состоянии электродов [2].

В настоящее время, несмотря на рассмотренные достоинства электрофильтров применяемых на предприятиях, в частности обогатительных фабриках, предпочтение традиционно отдается инерционным средствам улавливания пыли. Наиболее распространенные из них циклоны, эффективность которых в области улавливания мелкодисперсной фракции низкая. Существующие системы пылеулавливания переделывать невозможно. Необходимо искать решения, чтобы существующие системы без существенного изменения их топологии и конструкции стали более эффективными.

Для повышения эффективности улавливания высокодисперсной пыли в инерционных средствах очистки применяется вынужденная коагуляция пыли с целью ее укрупнения и ускорения оседания [3]. Одним из видов такой коагуляции, является коагуляция частиц под действием специально направленного поля. Таким действием обладает электрическое поле.

Известно устройство для очистки воздуха в котором для повышения эффективности улавливания мелкодисперсных аэрозолей осуществляется их предварительная коагуляция с использованием электрического и ударноструйного взаимодействия, которое состоит из двух зарядных камер (положительного и отрицательно ионизаторов) с разделительными воздуховодами, и ударноструйной камеры коагуляции [4].

© В. И. Голинько, Д. С. Пустовой. 2015

Однако этому устройству присущ ряд недостатков, основной из которых заключается в накоплении пыли в зарядных камерах, что приводит к появлению обратной короны, электрическим пробоям, снижает эффективность зарядки частиц пыли и обуславливает необходимость в периодической очистке зарядных камер от накопленной пыли. Кроме того, наличие ударноструйной камеры, ввиду несущественности инерционного взаимодействия мелкодисперсных частиц пыли в сравнении с электростатическим, практически не влияет на эффективность их коагуляции, а приводит лишь к дополнительным энергетическим затратам на перемещение запыленного воздуха.

Другое устройство, реализующее коагуляцию мелкодисперсных частиц пыли, содержит трубопровод для подвода запыленного воздуха, разделитель потока, две взаимноизолированные зарядные камеры, смеситель и трубопровод для отвода запыленного воздуха с встроенным в него соленоидом для воздействия на заряженные частицы электромагнитным полем [5].

Этому устройству также присущ недостаток, связанный с накоплением пыли в зарядных камерах. Кроме того, введение в устройство соленоида для создания магнитного поля приводит только к дополнительным энергетическим затратам и не способствует повышению эффективности коагуляции, что объясняется несущественной величиной сил Лоренца, действующих на заряженные частицы в магнитном поле при небольших скоростях потока, в сопоставлении с силами электростатического взаимодействия.

Цель работы. Повышение эффективности коагуляции мелкодисперсных частиц пыли за счет предотвращения осаждения пыли в зарядных камерах при одновременном снижении затрат на коагуляцию и очистку зарядных камер от пыли.

Материалы исследований зарядки аэрозолей импульсным коронным разрядом с целью коагуляции мелкодисперсной фазы аэрозоля. Процессы зарядки частиц пыли достаточно хорошо изложены в литературе для зарядных камер с протеканием коронного разряда в системе электродов типа «нить - цилиндр», для которых имеется более-менее строгое математическое описание напряженности поля между электродами и распределения ионов в междуэлектродном пространстве. Коронирующие электроды типа «нить» широко использовали в первое время в электрофильтрах [6], однако в последующем при разработке как однозонных, так и двухзонных электрофильтров в качестве коронирующих электродов в основном стали использовать систему электродов типа «острие» («игла»), расположенную над поверхностью, служащей для осаждения пыли [7, 8]. Такие электроды обеспечивают протекание значительного ионного тока при существенно меньшем напряжении, чем при применении коронирующих электродов типа «нить».

Зарядка частиц с $\rho > 1$ мкм осуществляется в основном за счет направленного движения ионов к частице. Выведенное Потенье [9] уравнение зарядки хорошо согласуется с экспериментом и имеет для частиц сферической формы вид:

$$g = g_m \frac{\pi k e n_0 t}{4\pi \varepsilon_0 + \pi k e n_0 t} = 4\pi \varepsilon_0 \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 1} \right) E_0 \rho^2 \frac{\pi k e n_0 t}{4\pi \varepsilon_0 + \pi k e n_0 t}, \quad (1)$$

где g_m – величина предельного заряда, Кл; E_0 – напряженность внешнего электрического поля, В/м; k – подвижность ионов, м²/В·с; e – заряд иона, Кл; n_0 – концентрация ионов в невозмущенной среде, м⁻³; ρ – эквивалентный радиус частицы, мкм; t – время зарядки, с; ε – относительная диэлектрическая проницаемость частицы.

Для зарядных камер в которых в качестве коронирующих электродов используется острие процесс зарядки математически достаточно строго описан для 3-х секционных и 2-х секционных [10] плоских зарядных устройствах (рис. 1), в которых заряд частиц слабо зависит от положения их траектории.

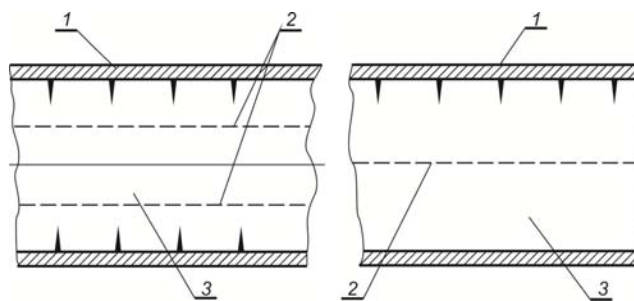


Рис. 1 - Трехзонное и двухзонное зарядные устройства: 1 - коронирующие электроды; 2 – сетка; 3 – зона зарядки

Для уменьшения осаждения пыли на стенках камеры к сеткам зарядной секции прикладывается переменное напряжение с частотой $f = 100 \dots 800$ Гц. Кроме того, запыленный воздух выпускается полоской по центру зарядной секции, а в остальную часть камеры поступает воздух, предварительно очищенный от пыли с помощью фильтров. Такая конструкция зарядных секций позволяет получить практически по всему объему секций равномерную концентрацию ионов и постоянную напряженность поля, что использовалось авторами [9] для определения концентрации монодисперсных аэрозолей. Ввиду значительной сложности этих камер, применение их в устройствах для интенсификации улавливания пыли нецелесообразно.

Для случая, когда зарядка частиц пыли в поле коронного разряда используется для коагуляции мелкодисперсной фазы аэрозоля, нет необходимости в интенсификации процесса зарядки крупнодисперсной фазы аэрозоля и осаждения ее под воздействием электростатических сил. Наоборот, задача состоит в том, чтобы минимизировать процесс осаждения пыли в зарядных камерах, что исключает необходимость в их периодической очистке от накопленной пыли и возможность пробоя разрядного промежутка или появления обратной короны при накоплении пыли в зарядной камере. Поэтому, для снижения величины зарядов крупнодисперсных частиц аэрозоля следует свести к минимуму длительность процесса зарядки частиц непосредственно в поле коронного разряда под воздействием направленного движения ионов к

частице пыли. Это можно обеспечить при применении зарядного устройства с системой коронирующих электродов типа «острие» и расположенной поперек потока запыленного воздуха крупноячеистой сеткой, одиночный элемент которого приведен на рис. 2.

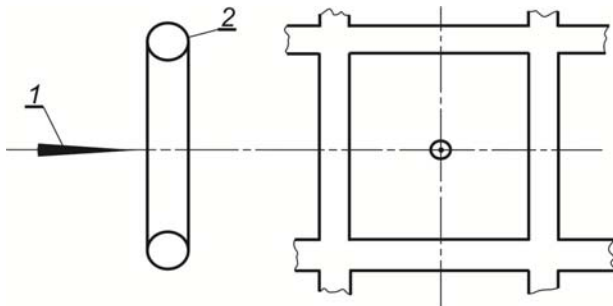


Рис. 2 - Зарядное устройство типа «острие-сетка»: 1 - коронирующие электроды; 2 – сетка

Величина зарядов частиц пыли, приобретаемых ими в поле коронного разряда, определяется двумя процессами – направленным движением ионов к частице под действием внешнего электрического поля (процесс ударной зарядки) и диффузией ионов к поверхности частицы. В зависимости от размеров частиц перечисленные процессы играют различную роль. Зарядка крупных частиц пыли осуществляется в основном за счет направленного движения ионов к частице, а мелких частиц пыли - за счет диффузии ионов к их поверхности.

В предложенном методе ударная зарядка крупных частиц пыли и их возможное осаждение в зарядной камере осуществляется только в разрядном промежутке во время действия импульсов напряжения.

Ввиду того, что электрическая энергия расходуется в основном на образование ионов и на зарядку мелкодисперсной фазы аэрозоля, а не на протекания ионных токов, при таком режиме зарядки значительно снижается также энергопотребление устройства в сравнении с рассмотренными аналогами. Благодаря тому, что удельная величина заряда крупных частиц пыли существенно меньше, чем удельная величина заряда мелких частиц, их взаимодействие происходит уже в зарядных камерах за счет поляризационного взаимодействия, что в свою очередь дополнительно повышает эффективность пылеочистки.

Для такого метода зарядки характерным является неравномерное распределение концентрации ионов и напряженности поля по сечению камеры, а, следовательно, заряд частиц может зависеть от положения их траектории относительно оси камеры.

Ввиду сложности распределения концентрации ионов и напряженности электрического поля в камере такой формы аналитическое описание процесса зарядки весьма затруднено. С целью получения математического описания рассмотрим процессы зарядки пыли в близкой по протекающим процессам камере типа "игла - цилиндр" (рис. 3).

При этом введем следующее ограничение: процесс зарядки протекает при высоких скоростях просасывания аэрозоля и малых токах коронного разряда так, что для крупных частиц выполняется условие

$$g_i < 0,2 g_{imax}, \tag{2}$$

где g_i – заряд, который приобретает частица в зарядной камере, Кл; g_{imax} – максимально-возможный заряд частицы при аналогичной напряженности поля, Кл.

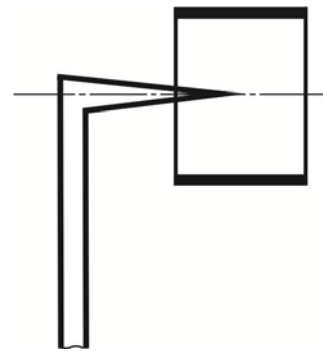


Рис. 3 - Зарядная камера типа «цилиндр-острие»

Введение такого режима зарядки приводит к тому, что в течении времени прохождения частицей зарядной камеры процесс зарядки частицы линейно связан с концентрацией и подвижностью ионов в зарядной камере, то есть в уравнении (1) выполняется условие:

$$\pi k e n_0 t \ll 4 \pi \epsilon_0. \tag{3}$$

При этом уравнение (1) с достаточной для практических целей точностью можно представить в виде:

$$g_i = \left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 1} \right) E_0 \rho_i^2 \cdot \pi k e n_0 t.$$

Кроме того при выводе уравнения зарядки частиц введем следующие допущения:

1. Расстояние частицы от оси зарядной камеры остается постоянным в процессе зарядки.
2. Скорость воздуха в любой точке камеры постоянна и равна v_0 .

Справедливость первого условия вытекает из того, что согласно расчету скорость дрейфа частиц с $\rho = 10$ мкм в электрическом поле напряженностью $2 \dots 3 \cdot 10^5$ в/м, при зарядах частиц, близких к предельным для этой напряженности, составляет 0,7-1 м/с [11]. В нашем случае при зарядах частиц, составляющих $(0,1 \dots 0,2) g_{max}$ с учетом неустановившегося режима движения частиц под воздействием электрического поля и зарядки частиц по мере движения ее в камере, следует ожидать на один - два порядка уменьшения средней скорости дрейфа частиц. Поэтому при высоких скоростях просасывания ($v_0 \geq 2$ м/с) и малой длине зарядной камеры, смещение частиц весьма незначительно. Второе условие справедливо при расположении зарядной камеры в зоне неустановившегося движения воздуха. При симметричном расположении острия относительно стенок зарядной камеры величина тока коронного разряда через элементарную площадку $2\pi r dl$ равна (рис. 4):

$$dI = 2\pi r k_r n_r E_r e \sin \varphi dl,$$

где n_r, k_r – концентрация и подвижность ионов на участке dl ; E_r – напряженность поля на участке; φ –

угол между элементарной площадкой цилиндра и вектором тока или напряженности поля.

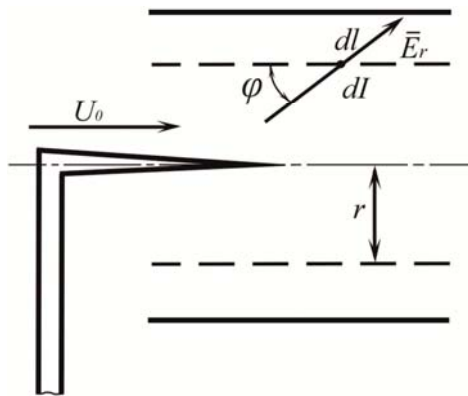


Рис. 4 - К расчету зарядки частиц в системе электродов "цилиндр - острие".

Практически для всего сечения зарядной камеры, при малых токах коронного разряда, $\sin \varphi$ можно считать равным единице, так как наличие ионов при этом незначительно искажает электрическое поле камеры и движение ионов происходит по линиям с наибольшей напряженностью поля, угол наклона которых к поверхности цилиндра близок к 90° . Уменьшение угла φ на периферии пучка ионов сопровождается одновременно снижением концентрации ионов в этой зоне, поэтому, для зоны камеры в которой происходит интенсивная зарядка частиц в уравнении (3) примем равным единице. Исключение составляет зона вблизи острия, где угол φ изменяется практически от 0 до 90° . Однако эта зона занимает незначительную часть камеры и поэтому не вносит существенного вклада в величину суммарного заряда потока аэрозоля.

Заряд dg_r , который приобретает частица на участке dl соответственно равен

$$dg_r = \pi e \rho^2 \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right) E_r k_r n_r \frac{dl}{U_0}.$$

Выразив из уравнения (3) величину dl через dI с учетом $\sin \varphi = 1$ получим

$$dg_r = \frac{dI}{2rU_0} \rho^2 \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right).$$

Полную величину заряда, которую приобретает частица в камере при прохождении через пучок ионов, определим путем интегрирования по всей длине участка зарядки

$$g_r = \int_0^l dg_r = \frac{\rho^2}{2rU_0} \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right) \int_0^l dI.$$

Ввиду того, что все ионы, образующиеся в зоне коронного разряда, осаждаются на поверхности цилиндрического электрода зарядной камеры и проходят через цилиндр с радиусом r , интеграл $\int_0^l dI$ равен полному току коронного разряда. Тогда

$$g = \rho^2 \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right) \frac{I}{2rU_0}. \quad (4)$$

Как видно из полученного выражения заряд частиц пыли, при принятом режиме зарядки, линейно связан с величиной тока коронного разряда и обратно пропорционален скорости газа и радиусу удаления частицы от оси камеры. При постоянной величине тока коронного разряда величина заряда частиц пыли не зависит от изменений параметров окружающей среды.

Наличие в знаменателе выражения (4) величины r свидетельствует о том, что полученное выражение имеет ограниченную зону действия, а именно часть камеры, где соблюдается условие (2) и принятые ограничения. В центральной части камеры при $r \rightarrow 0$ выполнение этих условий невозможно, ввиду высокой напряженности поля и концентрации ионов у острия коронирующего электрода. Кроме того за счет действия электростатических сил и турбулентных пульсаций, происходят относительно большие (по сравнению с радиусом) смещения частиц. Эти факторы снижают величины зарядов частиц в центральной части камеры по сравнению с расчетными по формуле (4). С другой стороны изменение угла φ в этой части камеры от 0 до 90° значительно расширяет зону интенсивной зарядки частиц, компенсируя этим указанное ранее снижение величины зарядов. Дать точную количественную оценку степени влияния упомянутых факторов на величины зарядов частиц и какой из них имеет решающее значение невозможно. Поэтому в центральной зоне камеры заряды частиц однозначно не могут быть определены. Однако количество частиц в данной зоне и их влияние на суммарный заряд всего потока аэрозоля весьма незначительно. Так, например, если принятые условия выполняются в зоне от $R/5$ до R , то для 96 % частиц заряд можно рассчитать по выражению (4). Общий заряд всех частиц i -го радиуса, который они приобретают в камере в единицу времени, при концентрации n_{oi} равен

$$Q_i = U_0 \int_0^R g_i n_{oi} 2\pi r dr = \pi R n_{oi} \left(1 + 2 \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right) I \rho_i^2.$$

Из полученного выражения видно, что суммарный заряд частиц, при зарядке в такой камере, линейно связан с ее радиусом, током коронного разряда и не зависит от изменения параметров атмосферы и скорости просасывания аэрозоля.

В зарядных камерах типа "сетка - острие" особый интерес представляет вариант зарядки аэрозоля в поле импульсного униполярного коронного разряда с малой длительностью импульсов и большой их скважностью (рис. 5).

Так как интенсивная зарядка крупной фазы может происходить только в моменты действия мощного внешнего электрического поля, то следует ожидать, что эта фаза в поле импульсного коронного разряда с малой длительностью и большой скважностью импульсов будет приобретать незначительные заряды и только в зоне межэлектродного пространства где, в момент действия импульса имеется высокая напря-

женность электрического поля. Тонкая фракция с $\rho < 10^{-6}$ интенсивно может заряжаться как в моменты действия импульсов, так и при их отсутствии, как в междуэлектродном пространстве, так и за его пределами, при условии выноса ионов за пределы разрядного промежутка. Если обеспечить концентрацию ионов и время зарядки достаточную для приобретения мелкой фазой аэрозоля зарядов близких к предельным, то при последующем смешивании воздушных потоков при взаимодействии мелких частиц с разнополярными зарядами будет протекать их интенсивная коагуляция.

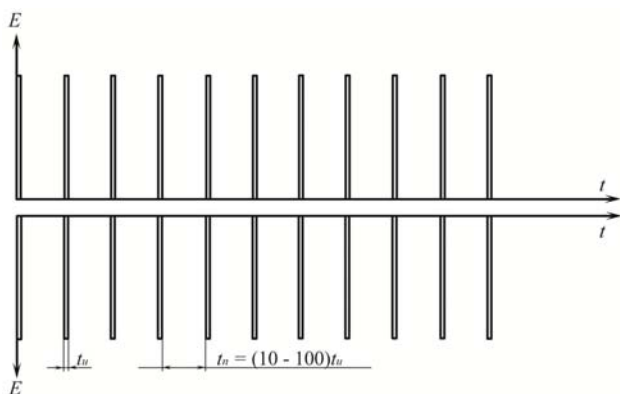


Рис. 5 - Временная диаграмма напряжения для зарядки мелкодисперсной фазы аэрозоля

Особенностью данного метода зарядки является то, что во время действия импульса высоковольтного напряжения наблюдается интенсивная ионизация среды в междуэлектродном пространстве, а в моменты паузы между импульсами напряжения происходит вынос движущейся пылегазовой средой образовавшихся ионов за пределы разрядного промежутка. Зарядка крупнодисперсной фазы аэрозоля при этом практически происходит только в междуэлектродном пространстве в течение времени действия импульсного напряжения. Зарядка мелкодисперсной фазы аэрозоля осуществляется в течении всего времени нахождения частиц, как в междуэлектродном пространстве, так и при дальнейшем перемещении пылегазовой среды в трубопроводе, вплоть до перемешивания двух потоков с разноименными ионами. Длительность импульса напряжения для такого зарядного устройства целесообразно выбрать такой, чтобы, с одной стороны, за время его действия полностью происходило насыщение междуэлектродного пространства ионами, а с другой - свести к минимуму стекание ионного тока во время действия импульса на сетку. В таком случае энергия источника высоковольтного напряжения будет в основном расходоваться на насыщение среды ионами и обеспечиваться максимальная энергетическая эффективность процесса зарядки. В первом приближении она может быть рассчитана как

$$t_u = \frac{a}{kE_{cp}},$$

где a – расстояние между электродами, м; E_{cp} – среднее значение напряженности поля в междуэлектродном пространстве, В/м.

Выразив напряженность поля через величину напряжения импульса U_u , получим

$$t_u = \frac{a^2}{kU_u}. \tag{5}$$

При известных расстояниях между электродами и величине напряжения импульса, рассчитанная по приведенному выражению длительность импульса напряжения зависит от подвижности ионов. В зависимости от подвижности, ионы принято делить на легкие, средние, и тяжелые. Отрицательно заряженные ионы образуются при присоединении к нейтральной молекуле электрона, причем к электрону примерно через 10^{-7} секунды присоединяется до 3-9 нейтральных молекул, образуя при этом отрицательно заряженный ионный кластер. Положительно заряженные ионы - молекулы у которых, как правило, не хватает одного электрона. Такие молекулы примерно через 10^{-7} секунды присоединяет к себе 4-12 нейтральных молекул, образуя положительно заряженный ионный кластер. Ввиду этого подвижность ионов может изменяться в довольно широких пределах и существенно зависит от времени, прошедшего с момента образования иона. Так, авторами работы [12] установлено, что в непосредственной близости около короны подвижность ионов в среднем составляет $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$, а по мере удаления от разряда она снижается до $0,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. В этом случае при подвижности $0,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ - рассчитанная по выражению (5) длительность импульса напряжения для зарядного устройства с расстоянием между электродами 0,05 м при напряжении импульса равном 25 кВ составит $2 \cdot 10^{-3}$ с. Длительность паузы между импульсами напряжения целесообразно выбирать такой, чтобы обеспечить за это время вынос образовавшихся ионов движущимся пылегазовым потоком за пределы разрядного промежутка. При расположении конца острия непосредственно у сетки и толщине сетки b , длительность паузы в первом приближении может быть определена как

$$t_n = \frac{b}{V_{cp}},$$

где V_{cp} – скорость движения пылегазовой среды, м/с;

В реальном устройстве параметры импульсного напряжения должны быть уточнены путем поиска максимума потока ионов на контрольный электрод, расположенный в трубопроводе за междуэлектродным пространством по ходу движения пылегазовой среды.

Величина зарядов частиц крупнодисперсной фазы аэрозоля может быть рассчитана по выражению (5).

Выводы

Показана возможность применения импульсного коронного разряда для целей коагуляции мелкодисперсной фазы аэрозоля при использовании зарядного устройства с системой коронирующих электродов типа «острие» и заземленного электрода, выполненного в виде расположенной поперек потока запыленного воздуха крупноячеистой сетки.

На основі аналізу процесу зарядки пылі в полі імпульсного уніполярного коронного розряду для системи електродів «остріє - сітка», отримані висновки для визначення основних параметрів процесу зарядки мелкодисперсної фази аерозолю, що дозволяють забезпечити енергоефективний режим роботи системи.

Список літератури: 1. *Ветошкин, А. Г.* Процессы и аппараты пылеочистки [Текст] / *А. Г. Ветошкин.* – Пенза.: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005. – 210 с. 2. *Пирумов, А. И.* Обеспыливание воздуха [Текст] / *А. И. Пирумов.* – М.: Стройиздат, 1974. – 207 с. 3. *Белюсов, В. В.* Теоретические основы процессов газоочистки [Текст] / *В. В. Белюсов.* – М.: Металлургия, 1988. – 256 с. 4. А.с. 227958, Е 21 F 5/20. Устройство для коагуляции аэрозолей [Текст] / *Бабенко С. А. Москвина Т. А. Гусев В. П. Витюгин В. М.* – № 1100002; 21. 03. 83 (46) 30.06.84. Бюл. № 24 (72). – 2 с. 5. А.с. 787678, Е 21 F 5/20. Устройство для коагуляции пыли [Текст] / *Соболев В. А. Троянская Н. В., Олейник Е. И., Степовая Н. И.* – № 11787678; 23. 02. 79 (46) 15.12.80. Бюл. № 46. – 2 с. 6. *Шеерсон, Б. Л.* Электрическая очистка газов [Текст] / *Б. Л. Шеерсон.* – М.: Металлургия, 1960. – 187 с. 7. *Кизим, И. А.* Исследование и разработка осадительных электродов для горизонтальных электрофильтров [Текст] / *И. А. Кизим, А. Д. Мальгин, И. К. Решидов* // Сб.: Электрическая очистка газов. – М.: Энергия, 1968. – С. 34-41. 8. *Левитов, В. И.* О связи электрических характеристик коронирующих электродов и скорости осаждения пыли в электрофильтре [Текст] / *В. И. Левитов, В. И. Ткаченко* // Сб.: Электрическая очистка газов. – М.: Энергия. – 1968. – С. 24-33. 9. *Верещин, И. П.* Основы электрогазодинамики дисперсных систем [Текст] / *И. П. Верещин, В. И. Левитов, Г. З. Мирзакбеян, М. М. Пашин.* – М.: Энергия, 1974. – 480 с. 10. *Мальгин, Н. А.* Экспериментальное исследование малогабаритных зарядных устройств [Текст] / *Н. А. Мальгин, Л. М. Логвинов* // Труды. ЛИАП.

– 1976. – Вып. 103. – С. 76–81. 11. *Капцов, Н. А.* Электрические явления в газах и вакууме [Текст] / *Н. А. Капцов.* – М.; Л.: ОГИЗ, 1974. – 498 с. 12. *Джуварлы, Ч. М.* Трехосный диэлектрический эллипсоид в электрическом поле при учете проводимости [Текст] / *Ч. М. Джуварлы, Г. В. Вечхайзер, В. Я. Штейнрайбер* // Известия АН СССР, «Энергетика и транспорт», 1969. – №1.

Bibliography (transliterated): 1. *Vetoshkin, A. G.* (2005). Processy i apparaty pyleochnistki. Penza.: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 210. 2. *Pirumov, A. I.* (1974). Obespylivanie vozduxa. Moscow: Strojizdat, 207. 3. *Belousov, V. V.* (1988). Teoreticheskie osnovy processov gazochnistki. Moscow: Metallurgiya, 256. 4. *Babenko, S. A. Moskvina, T. A. Gusev, V. P. Vityugin, V. M.* (1984). A.s. 227958, E 21 F 5/20. Ustrojstvo dlya koagulyacii aerezolej. № 1100002; 21. 03. 83 (46) 30.06.84, Byul. № 24 (72), 2. 5. *Sobolev, V. A. Trojanskaya, N. V., Olejnik, E. I., Stepovaya, N. I.* (1980). A.s. 787678, E 21 F 5/20. Ustrojstvo dlya koagulyacii pyli. № 11787678; 23. 02. 79 (46) 15.12.80, Byul. № 46, 2. 6. *Sheerson, B. L.* (1960). Elektricheskaya ochnistka gazov. Moscow: Metallurgizdat, 187. 7. *Kizim, I. A., Malgin, A. D., Reshidov, I. K.* (1968). Issledovanie i razrabotka osaditelnyx elektrodov dlya gorizontalnyx elektrofiltrrov. Sb.: Elektricheskaya ochnistka gazov. Moscow: Energiya, 34–41. 8. *Levitov, V. I., Tkachenko, V. I.* (1968). O svyazi elektricheskixarakteristik koroniruyushih elektrodov i skorosti osazhdeniya pyli v elektrofiltrre. Sb.: Elektricheskaya ochnistka gazov. Moscow: Energiya, 24–33. 9. *Vereshhagin, I. P., Levitov, V. I., Mirzabekyan, G. Z., Pashin, M. M.* (1974). Osnovy elektrogazodinamiki dispersnyx system. Moscow: Energiya, 480. 10. *Malygin, N. A. Logvinov L. M.* (1976). Eksperimentalnoe issledovanie malogabaritnyx zaryadnyx ustrojstv. Trudy. LIAP, Vyp. 103, 76–81. 11. *Kapcov, N. A.* (1974). Elektricheskie yavleniya v gazax i vakuume. Moscow; L.: OGIZ, 498. 12. *Dzhuvarly, Ch. M., Vechxajzer, G. V., Shtejnshrajber, V. Ya.* (1969). Trexosnyj dielektricheskij elipsoid v elektricheskom pole pri uchete provodimosti. Izvestiya AN SSSR, «Energetika i transport», №1.

Поступила (received) 20. 12. 2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Голинько Василь Іванович – доктор технічних наук, професор, Кафедра Аерології та охорони праці, Державне вище навчальне закладення «Національний горний університет, пр. К. Маркса, 19, г. Дніпропетровськ, Україна, 49027 E-mail: golinko@nmu.org.ua

Пустовой Дмитрій Сергеевич – аспірант, Кафедра Аерології та охорони праці, Державне вище навчальне закладення «Національний горний університет, пр. К. Маркса, 19, г. Дніпропетровськ, Україна, 49027 E-mail: dimon145886@mail.ru.

УДК 614.89

С. І. ЧЕБЕРЯЧКО, Д. І. РАДЧУК, Ю. І. ЧЕБЕРЯЧКО

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПОРУ ДИХАННЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО РЕСПІРАТОРА НА ЦИКЛІЧНОМУ ПОТОЦІ ПОВІТРЯ

Визначення теоретичної залежності для розрахунку перепаду тиску фільтрувальних респіраторів на пульсуючому потоці повітря. До процесу дослідження ламінарного руху газу у пористому середовищі використовували спрощені рівняння Нав'є-Стокса у формі Ейлера з урахуванням фіктивних масових сил опору Жуковського. Встановлено, що розподіл тиску на фільтрувальному елементі респілятора, зі збільшенням фази вдиху, стає більш нерівномірним за рахунок виключення частини площі півмаски й нерівномірності щільності упакування волокон. Визначені фактори, які впливають на рівномірність розподілу повітряного навантаження за висотою респілятора. Визначено рівняння руху повітря через фільтрувальний елемент респілятора під час дихання з урахуванням об'ємів дихання. Встановлено залежність перепаду тиску від щільності упакування волокон, що дозволить забезпечити мінімальний опір диханню при різних режимах дихання.

Ключеві слова: протипиловий респіратор, перепад тиску, опір диханню, частота дихання, глибина дихання, навантаження.

Вступ. Опір респілятора є важливою ергономічною характеристикою, від якої залежать додаткові затрати енергії організму людини при виконанні виробничих завдань. Для підтримки максимальної працездатності людини, яка користується протипиловим респіратором, на всьому проміжку робочої зміни, необхідно забезпечувати мінімальний додатковий опір диханню.

Величина опору повітряному потоку фільтрів залежить від режиму дихання і характеристик фільтрувального матеріалу: діаметру волокна, щільності упакування волокон, товщини фільтрувального шару. На сьогодні відомі теоретичні залежності, які дозволяють визначити перепад тиску на протипилових респіаторах, які отримані виходячи з постійного потоку повітря

© С. І. Чеберячко, Д. І. Радчук, Ю. І. Чеберячко. 2015

ря [1–3]. Однак, процес дихання – це переміщення деякого об'єму повітря із атмосфери в легені, а потім зворотно. У першому наближенні можна рахувати, що він здійснюється за законом гармонічних коливань. Враховуючи те, що збільшення швидкості повітряного потоку може призвести до погіршення як ергономічних, так і захисних властивостей засобів індивідуального захисту органів дихання, то дослідження впливу на ці показники саме циклічного потоку є актуальною задачею, вирішення якої дозволить покращити якість індивідуальних засобів захисту.

Виділення невирішеної проблеми. Публікацій з теоретичних досліджень опору повітряному потоку фільтрів існує велика кількість, в той же час з оцінки опору дихання фільтрувальних засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) – небагато. Основна причина – це складність вирішення нестационарної задачі руху повітря через фільтр респіратор. Важливим елементом якої є встановлення адекватної моделі пористого середовища для розрахунку поля течії поблизу волокон фільтрувального шару.

Для більшості пористих матеріалів, включаючи фільтри, характерний режим в'язкого руху повітря, коли виконується основний лінійний закон фільтрування Дарсі. Відповідно до якого при відсутності масових сил, можна записати основне векторне співвідношення вказане А.Е. Шейдегером

$$v = \frac{k_{\Pi}}{\mu} \text{grad}(p) \quad (1)$$

де k_{Π} – проникність пористого середовища, м^2 ; μ – динамічна в'язкість повітря, (Па·с); p – перепад тиску, Па/м; v – швидкість руху повітряного потоку біля волокон, м/с

Із рівняння (1) можна отримати для компонентів швидкості за осями x , y , z основні формули

$$u = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad v = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial y}, \quad w = -\frac{k}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z}$$

Вихідні дані закону Дарсі використовують для дослідження опору фільтрувальних елементів за двома різними напрямками. У першому випадку фільтр представляють як пористе тіло з системою взаємопов'язаних каналів. Для розрахунку опору досліджується рух повітря в цих каналах і визначення розмірів пор, для чого вводиться поняття гідравлічного радіусу.

У другому випадку модель фільтра являє собою систему із відокремлених волокон. Тоді, загальний опір дорівнює сумі опорів всіх волокон в об'ємі фільтрувального елемента. Вирішення цієї задачі базується на рівняннях Нав'є-Стокса.

Рух повітря крізь фільтр респіратор можна представити за гармонічним законом, що повинно бути враховано при розрахунку перепаду тиску на ЗІЗОД. Однак, майже всі існуючі моделі з визначення опору повітряному потоку різних фільтрувальних середовищ базуються на стаціонарному режимі течії повітряного середовища. Це призводить до різниці між експериментальними і теоретичними даними, яку заміщають введенням різних поправкових коефіцієнтів. Тому, виникає задача у визначенні зміни перепаду

тиску на респіраторі при циклічному русі повітряного потоку.

Аналіз останніх досліджень та постановка проблеми. Найбільш відомим виразом для визначення перепаду тиску на фільтрах, отриманим за першим підходом, є класичне рівняння Козені-Кармана, що пов'язує проникненість і пористість фільтрувального шару

$$\Delta p = \frac{22\mu\beta^2 Hu}{d_e^2 \varepsilon (1-\beta)^3},$$

де β – щільність упакування волокон; H – товщина фільтрувального шару, м; d – діаметр волокон, м; ε – пористість фільтра.

$$k = \frac{r^2 \varepsilon}{KT^2(1-\varepsilon)},$$

де r – еквівалентний радіус пор, м; T – кривизна каналів пор, м; K – константа.

Необхідно зауважити, що існує безліч інших формул, які виражають пористість з параметрами фільтрувального шару. Наприклад, рівняння Девіса, для волокнистих фільтрів, щільність яких знаходиться в діапазоні від 0,006 до 0,3.

$$\Delta p = \frac{16\mu\mu H}{d^2 \varepsilon} \beta^{1.5} (1 + 56\beta^3)$$

Однак, всі підходи об'єднують вирішення рівняння при постійному русі повітря та невисоких швидкостях, коли можна знехтувати інерційними складовими, тоді як для респіраторів характерний циклічний потік.

У роботі [4] запропоновано теоретичну залежність зміни опору фільтрувальних елементів R в часі для пульсуючого потоку повітря

$$R = \frac{R_0}{\omega^2 + k^2} (\omega^2 \cos\omega t + k\omega \sin\omega t + k^2 e^{kt}),$$

де R_0 – початкове значення опору чистого фільтрувального матеріалу, $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с}^2)$; t – час заповнення фільтра, с; k – коефіцієнт, який характеризує інтенсивність застосування фільтруючого елемента, $1/\text{с}$; ω – частота пульсацій, $1/\text{с}$.

Хоча даний вираз добре співпадає з експериментальними даними, все ж таки він не дозволяє оцінювати вплив циклічного потоку п зміни об'ємів дихання, наприклад під час збільшення навантаження.

Метою роботи є визначення теоретичної залежності для розрахунку перепаду тиску фільтрувальних респіраторів на пульсуючому потоці, для встановлення основних параметрів, які впливають на ергономічні показники фільтрувальних півмасок.

Визначення залежності перепаду тиску на респіраторі від циклічного руху повітря з урахуванням об'єму та частоти дихання людини. *Постановка задачі.* Представимо, що рух повітря відбувається у пористому просторі з еквівалентним радіусом δ_k . (рис. 1). Пов'яжемо з каналом декартову систему координат. Вісь Ox – перпендикулярно потоку, вісь Oy – уздовж пористого фільтра у в напрямку руху повітря, а вісь Oz – за шириною фільтра.

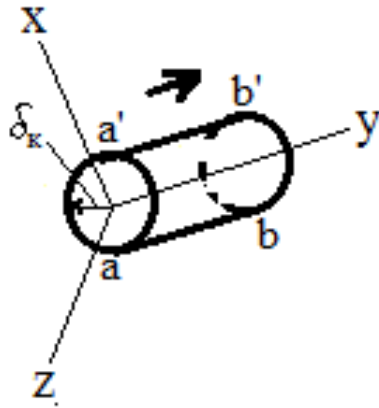


Рис. 1 – Розрахункова схема каналу по якому рухається повітряний потік

Проекції швидкості фільтрування на осі позначимо u_x, v_y, w_z ; вони будуть функціями від координат x, y, z і часу t . Виділимо у пористому тілі елементарний канал у формі циліндра, який обмежено перетинами aa' і bb' . За час t в напрямку осі Oy в цей отвір через перетин aa' зайде маса газу $\rho v_y dy dx dt$, а через перетин bb' вийде наступна кількість $\rho v_y dy dx dt + \frac{\partial}{\partial z}(\rho v_y dy dx dt) dz$, так що накопичена маса газу в елементарному об'ємі за час dt буде дорівнювати

$$-\frac{\partial}{\partial t}(\rho v_y dy dx dt) dz = -\frac{\partial}{\partial t}(\rho v_y) dx dy dz dt \quad (2)$$

Аналогічно знайдемо і маси накопиченого газу в середині отвору при русі за іншими напрямками Ox, Oz . Тоді повне накопичення маси газу за час dt складе $-\left(\frac{\partial}{\partial x} \rho u_x + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w_z)\right) dx dy dz dt$. З іншого боку, за той же самий час газом буде зайнято деякий об'єм пор $\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon \rho) dx dy dz dt$, якщо прирівняти ці дві складові, то отримаємо рівняння нерозривності руху газу в пористому середовищі

$$\rho \frac{\partial u_x}{\partial x} + \rho \frac{\partial v_y}{\partial y} + \rho \frac{\partial w_z}{\partial z} + \varepsilon \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0. \quad (3)$$

Для процесу дослідження ламінарного руху газу в пористому середовищі використаємо основні рівняння гідродинаміки у формі Ейлера з урахуванням фіктивних масових сил опору Жуковського, які при нехтуванні проекціями абсолютного прискорення, мають вигляд

$$\begin{cases} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = X - X_0 \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = Y - Y_0 \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = Z - Z_0 \end{cases} \quad (4)$$

Відповідно до гіпотези Жуковського, що фіктивні сили залежать від швидкості фільтрування u , динамічній в'язкості μ , проникненості пористого середовища k_{Π} , і щільності газу ρ [5]

$$X_0 = \frac{k_{\Pi} \mu u_x}{\rho}; \quad Y_0 = \frac{k_{\Pi} \mu v_y}{\rho}; \quad Z_0 = \frac{k_{\Pi} \mu w_z}{\rho}.$$

Тоді, рівняння (2) будуть мати вигляд

$$\begin{cases} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = X - \frac{k_{\Pi} \mu u_x}{\rho} \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = Y - \frac{k_{\Pi} \mu v_y}{\rho} \\ \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = Z - \frac{k_{\Pi} \mu w_z}{\rho} \end{cases} \quad (5)$$

Ці рівняння разом з рівнянням нерозривності потоку дозволяють повністю описати процес руху газу через пористе середовище. За умови, що відома функція $\rho = f(p)$, яка пов'язує густину газу з тиском, рівняння (5) перепишемо відносно компонентів швидкості

$$\begin{cases} u_x = \frac{k_{\Pi} \rho}{\mu \left(X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \right)} \\ v_y = \frac{k_{\Pi} \rho}{\mu \left(Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} \right)} \\ w_z = \frac{k_{\Pi} \rho}{\mu \left(Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \right)} \end{cases} \quad (6)$$

Якщо підставити до рівняння (3) вирази (6), та нехтуючи мовими силами, отримаємо загальне рівняння ламінарного руху газу в пористому середовищі отримане Л. С. Лейбензоном

$$\begin{aligned} \nabla^2 \left(\frac{k_{\Pi} \rho}{\mu} p \right) &= \varepsilon \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{k_{\Pi} \rho^2}{\mu} X \right) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{k_{\Pi} \rho^2}{\mu} Y \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{k_{\Pi} \rho^2}{\mu} Z \right) \end{aligned} \quad (7)$$

Допускається, що масові компоненти сил при дослідженні руху газу можна прийняти $X=Y=Z=0$, тоді враховуючи, що густина газу залежить від тиску

$\rho = f(p, T)$, можна записати, що $\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{d\rho}{dp} \frac{\partial p}{\partial t}$. Як-

що скористатись рівнянням Бойля-Маріотта та рахувати, що зміна стану газу відповідає ізотермічному процесу, яка виражається наступною залежністю $p = R_s \rho T_0$, отримаємо

$$\frac{\partial p}{\partial t} = q_z \frac{\partial^2 p}{\partial y^2}, \quad (8)$$

де $q_z = \frac{k_{II} T_0 R_z}{\epsilon \nu}$, м²/с; R_r – відносна газова постійна (287,07 Дж/кг К [6]); T_0 – температура газу, К.

Вважаючи, що переміщення повітря при процесі дихання відбувається тільки у площині y , за рахунок зміни перепаду тиску p_0 у площині фільтра, запишемо рівняння (8) у вигляді

$$\frac{\partial p}{\partial t} = q_z \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + f_1 p_0, \quad (9)$$

де $f_1 = q_z / S_f$, с⁻¹; S_f – площа фільтра, м².

Отримане рівняння є класичним рівнянням неновідної теплопровідності. За умови, що процес дихання в першому наближенні можна описати гармонійним законом, тобто для його визначення можна скористатися виразом $p_0 = R_1 V_d e^{i\omega t}$, де R_1 – аеродинамічний опір дихання при швидкості руху повітря 1 л/с знаходиться у діапазоні 11,7 – 24,5 (Па·с)/м³ [7]; V_d – об'єм повітря при вдиханні або видиханні, м³/с; ω – частота пульсації, 1/с.

В такому випадку рішенням цього рівняння з урахуванням початкових умов; $p(y, 0) = 0$; $0 < y < l$ $p(0, t) = 0$; $p(l, t) = 0$; $0 < t < \infty$, де l – довжина фільтра, відповідно до Г. Лемба, є

$$\Delta p(y, t) = \frac{i R_1 V_d}{f_1 \omega} \left[1 + \frac{ch(1+i)\kappa(l-y)}{ch(1+i)\kappa l} \right] e^{i\omega t}, \quad (10)$$

де $\kappa = \sqrt{\omega / 2q_z}$ – параметр, який залежить від проникності фільтрувального шару і його пористості, 1/м.

Прийнявши, що величина κl незначна, то відкинувши уявну частину, отримаємо

$$\Delta p(y, t) = \frac{R_1 V_d}{f_1 \omega} \sin(\omega t) + \frac{\omega R_1 V_d}{f_1 \omega} e^{\kappa y} \sin(\omega t - \kappa y) \quad (11)$$

Результат розрахунків показує, що весь об'єм повітря, який коливаючись проходить через фільтр респіратору, моа представити як матеріальну точку, при цьому вплив в'язкості майже всутній.

Отже, за формулою (11)

можна визначити залежність перепаду тиску на ЗІЗОД від циклічного руху повітря з урахуванням об'єму та частоти дихання людини, параметрів фільтра – коефіцієнта проникнення та пористості фільтрувального шару.

Результати і обговорення дослідження. В якості числового прикладу, візьмемо респіратор «Лепесток», довжина якого складає $l=200$ мм (координата y). Виготовлений цей виріб із волокнистого фільтрувального матеріалу «Елефлен» щільність упаковки волокон складає $k=0,08$, середній діаметр волокон $2,5$ мкм, товщина фільтрувального шару $H=0,006$ м. Пористість фільтрувального матеріалу, яка

виражає долю вільного від волокон об'єму можна визначити.

$$\epsilon = 1 - \frac{G}{H \rho_s}, \quad (12)$$

де G – поверхнева щільність волокон матеріалу, г/м²; ρ_s – питома вага матеріалу (поліпропілен) з якого виготовлений фільтрувальний шар, г/м³

Витрату повітря через фільтрувальну півмаску можна розрахувати за формулою [8]

$$Q(t) = \pi V_d \sin(\pi \omega t). \quad (13)$$

Початковий опір повітряному потоку, який відповідає витраті повітря 30 л/хв., складає 18 Па. Для забезпечення вказаної витрати повітря частота дихання складає 8 цикл/хв., об'єм дихання 1500 мл.

На рис. 2. наведена залежність перепаду тиску на респіраторі від часу дихання, при різній витраті повітря V_d .

Аналіз отриманих показників підтвердив те, що потік повітря з легенів при виконанні легкої помірної роботи можна описувати гармонійним законом. Різницю між теоретичними і експериментальними результатами можна пояснити тим, що вони теоретично не враховано, оскільки об'єм повітря при вдиханні більший чим при видиханні. Крім того, відмінність результатів може виникати через те, що при розрахунку перепаду тиску не враховується конфігурація фільтра, яка перерозподіляє швидкість фільтрування. З'являються ділянки з більшим повітряними навантаженням (у верхній частині гофри [7]), що також підвищує опір диханню. В деяких випадках суміжні гофри фільтра, через недостатньо жорсткість можуть злипатись і тим самим значно збільшувати опір диханню.

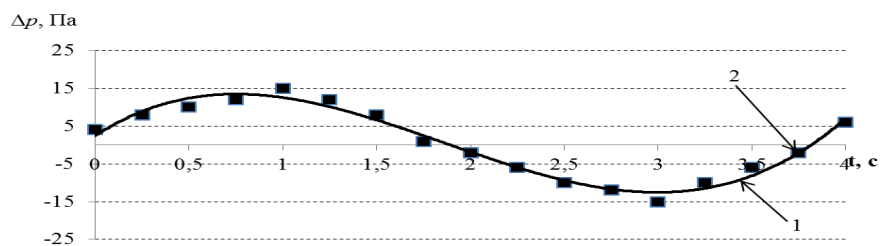


Рис. 2 – Залежність перепаду тиску (Δp) на протипиловому респіраторі Лепесток від часу (t) при виконанні легкої роботи: крива (1) розрахована за формулою (11); маркером (2) позначені експериментальні дані

Процес зміни перепаду тиску при важких роботах має деякі відмінності, які теоретично, за вище наведеними формулами, описати не можна. Зі зростанням навантаження виникають зміни у структурі дихального процесу: фаза вдихання в часі зменшується, а фаза видихання, навпаки, збільшується, що призводить до значних розбіжностей між величиною перепаду тиску на респіраторі при вдиханні і видиханні. Організм таким чином намагається нейтралізувати додатковий опір диханню. Тож, при цьому збільшується глибина і частота дихання. Це в свою чергу призводить до зміни щохвилинного об'єму дихання від 10

л/хв. до 50 л/хв. при більш важких роботах. При цьому максимальні об'ємні витрати повітря перевищують щохвилинний об'єм у 3 – 4 рази [9]. Цей факт необхідно враховувати при визначенні опору дихання респіраторів.

Отже, теоретично можна визначити перепад тиску на фільтрувальних респіраторах від об'єму легеневої вентиляції за формулою (11) тільки для легкої та помірної роботи. Так, побудована крива, яка отримана при виконанні легкої роботи має незначне відхилення. Це пояснюється тим, що при розрахунках швидкість повітря за площею фільтра рахувалась рівномірною. Насправді, вона неоднакова і результуючий перепад тиску визначається деякою частиною фільтрувальної поверхні, оскільки при вдиханні частина фільтра виключається з процесу очищення повітря за рахунок злипання суміжних слоїв.

Залежність перепаду тиску від витрати повітря, на відміну від відомого уявлення, є нелінійною (3). Оскільки у другу складову виразів для розрахунку опору фільтрів входить експонента, яка відповідає за характер розподілу повітряного навантаження за висотою фільтрувальної півмаски та залежить від проникності та пористості матеріалу з якого виготовлено фільтр у формулі (11).

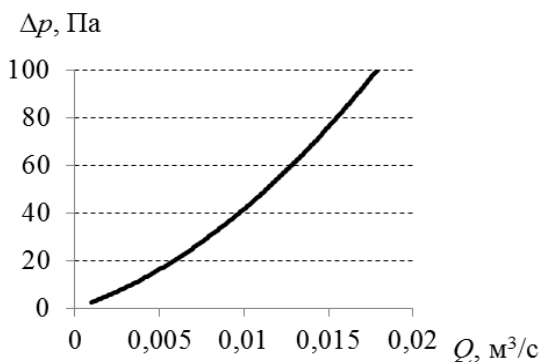


Рис. 3 – Залежність перепаду тиску (Δp) на респіраторі від витрати повітря (Q)

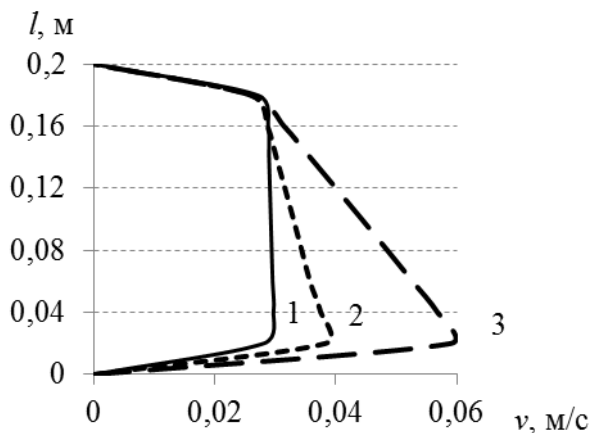


Рис. 4 – Залежність швидкості фільтрування (v) за висотою півмаски (l) від витрати повітря, Q , л/хв: 90 (1); 60 (2); 30 (3)

Зростання частоти дихання, відповідно і витрати повітря, призводить до нерівномірного розподілу швидкості фільтрування на окремих ділянках півмаски (рис. 5), що збільшує нелінійність перепаду тиску півмаски від витрати повітря. На практиці таке явище дійсно має місце у одноразових протипилових респіраторів без клапану видиху. При вдиханні швидкість фільтрування на поверхні півмаски розподіляється нерівномірно. Тому деякі ділянки ЗІЗОД мають більшу кількість осілого пилу, ніж інші (рис. 6). Цей факт підтверджується експериментальними дослідженнями та даними з визначення ефективної площі фільтрів після запылення [10, 11].

Найбільший вплив на нерівномірність швидкості фільтрування на поверхні респіратора має параметр κ (рис. 7), що залежить від проникності фільтрувального матеріалу, частоти пульсацій та пористості фільтра. Для того, щоб компенсувати його збільшення за рахунок зростання частоти дихання, необхідно збільшувати пористість фільтра, або зменшувати його проникність (рис. 8).

Зменшити проникність респіраторів без погіршення захисних властивостей ЗІЗОД в цілому є складною задачею. Відомо, що на його величину впливають розміри діаметру волокон, щільності їх упакування та товщини фільтрувального шару.

Єдиним параметром, яким можна варіювати – це пористість фільтра (рис. 7). Однак, її збільшення можливе за рахунок зменшення щільності упакування волокон, від якого залежить величина коефіцієнта захисту [12]

$$K_s = \frac{1}{K_{\Pi}} = \frac{1}{\exp\left[-\frac{2\eta(a)(1-\varepsilon)H}{\pi a}\right]}, \quad (14)$$

де K_{Π} – коефіцієнт проникнення фільтрувального шару, %; $\eta(a)$ – сумарний коефіцієнт захоплення аерозольних частинок волокнами фільтра.

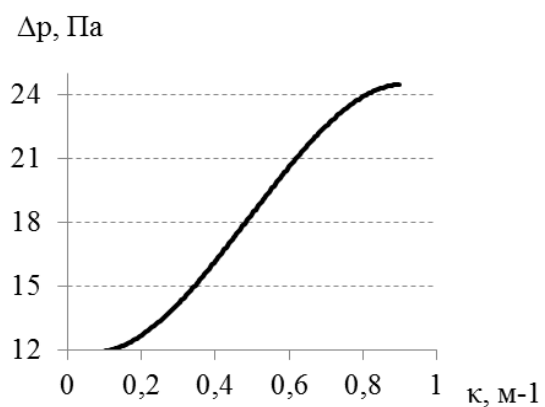
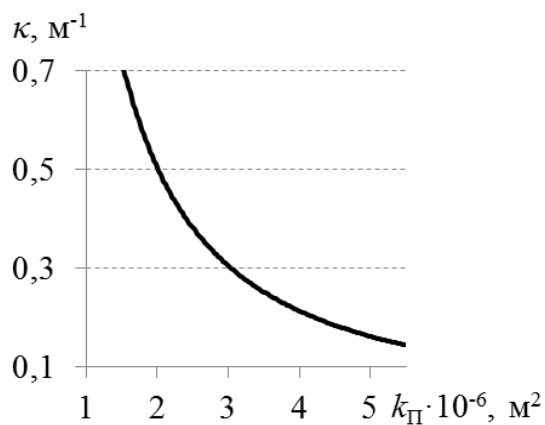
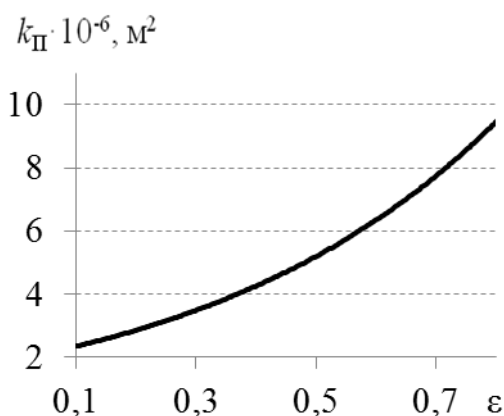
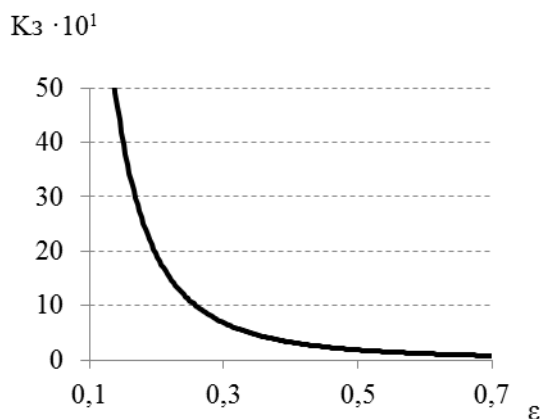


Рис. 5 – Залежність перепаду тиску (Δp) від параметру (κ)

Рис. 6 – Залежність параметру (κ) від проникності фільтра респіратора ($k_{\text{П}}$)Рис. 7 – Залежність проникності фільтра респіратора ($k_{\text{П}}$) від його пористості (ϵ)Рис. 8 – Залежність коефіцієнта захисту (K_z) від пористості фільтра (ϵ)

Отже існує певне значення пористості фільтрувального шару, що забезпечить рівномірний розподіл перепаду тиску за площею фільтра при високому коефіцієнті захисту респіратора. З рис. 8 видно, що раціональні показники пористості фільтрувального шару, для забезпечення мінімального перепаду тиску при достатньо високій захисній ефективності для протипилевого респіратора знаходяться у діапазоні 0,4–0,5.

Висновки

1. Визначено рівняння проходження циклічного ламінарного повітряного потоку через пористий матеріал. При цьому можна використовувати рівняння гідродинаміки, які описують процес руху газу в пористому середовищі, які представлені у формі Ейлера з урахуванням фіктивних масових аеродинамічних сил опору Жуковського. У моделі взаємопов'язаних каналів це дозволило визначити залежність перепаду тиску на фільтрувальному респіраторі для циклічного руху повітря з урахуванням об'єму, частоти дихання людини та параметрів фільтра – проникності й пористості фільтрувального шару.

2. Визначена теоретична залежність перепаду тиску на фільтрах від швидкості руху повітря під час дихання, яку отримано з використанням моделі взаємопов'язаних каналів, дає адекватні значення тиску лише для умов виконання легкої роботи, тоді як для умов важкої роботи призводить до значних розбіжностей з експериментальними даними. Це обумовлено тим, що указана залежність перепаду тиску під час вдихання і видихання не враховує збільшення фази вдихання та видихання при зростанні дихального навантаження, тобто розглянута модель не є достатньо адекватною.

3. Доведено, що зростання витрати повітря через фільтрувальну півмаску призводить до нерівномірного розподілу швидкості фільтрування на окремих її ділянках, що збільшує перепад тиску на респіраторі.

4. Досягнення рівномірного розподілу швидкості фільтрування за висотою одноразової фільтрувальної півмаски при збільшенні витрати повітря можливе за рахунок зменшення пористості фільтрувального шару при забезпеченні мінімального коефіцієнта проникнення респіратора.

5. Встановлена залежність між коефіцієнтом проникності та пористістю фільтрувального шару, що дозволяє забезпечити максимальну захисну ефективність фільтрувального респіратора, за рахунок рівномірного розподілу повітряного навантаження за висотою фільтрувальної півмаски при різній частоті дихання. Раціональні показники пористості фільтрувального шару, для забезпечення мінімального перепаду тиску для протипилевого респіратора знаходяться у діапазоні 0,4 – 0,5.

Список літератури: 1. Каминский, С. Л. Основы рациональной защиты органов дыхания на производстве [Текст] / С. Л. Каминский. – СПб.: Проспект Науки. – 2007. – 208 с. 2. Басманов, П. И. Средства индивидуальной защиты органов дыхания: Справочное руководство [Текст] / П. И. Басманов, С. Л. Каминский, А. В. Коробейников, М. Е. Трубицына. – СПб.: ГИПП «Искусство России», 2002. – 399 с. 3. Логачев, Л. И. Аэродинамические основы аспирации: Монография. [Текст] / Л. И. Логачев, К. И. Логачев. – С.Петербург: Химиздат. – 2005. – 659 с. 4. Потапенко, И. А. Гидродинамическое сопротивление фильтрующего элемента противопылевого респиратора [Текст] / И. А. Потапенко // Горноспасательное дело: сб. науч. тр. – Донецк, НИИГД. – 2010. – № 47. – С. 133–141. 5. Лойцянский, Л. Г. Механика жидкости и газа. [Текст] / Л. Г. Лойцянский. – М.: Дрофа. – 2003. – 840 с. 6. Грачев, В. А. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Пособие. [Текст] / В. А. Грачев, С. В. Сдобурь. – М.: Пожжннга, 2006. – 288 с. 7. Засоби індивідуального захисту органів дихання: монографія [Текст] / В. І. Голінько, С. І. Чеберячко, Д. І. Радчук, Ю. І. Чеберячко. – Д.: ЧП Федоренко С.С., 2009. – 93 с. 8. Аврунин, О. Г. Динамическая модель процесса прохождения воздуха через носовую полость [Текст] / О. Г. Аврунин, Н. И. Белецкий, А. И. Березняко // Біофізичний вісник. – 2009. – №

23(2). – С. 101–105. **9.** Haruta, H. Experimental and theoretical investigation of the performance of N95 respirator filters against ultrafine aerosol particles tested at constant and cyclic flows [Текст] / H. Haruta, T. Honda, R.M. Eninger // *Influenza and Other Respiratory Viruses*. – 2009. – Vol. 25. – P. 75–88. **10.** Кириш, А. А. Фильтрация аэрозолей волокнистыми материалами ФП [Текст] / А. А. Кириш, А. К. Будыка, В. А. Кириш // *Российский химический журнал*. – 2008. – Т.52. №5. – С. 97–101. **11.** Чеберячко, С. І. Дослідження захисної ефективності фільтрувальних респіраторів при циклічному потоку повітря [Текст] / С. І. Чеберячко // *Сучасні ресурсо-енергозберігаючі технології гірничого виробництва*. – 2013. – №2(12). – С. 205–212. **12.** Голінько, В. І. Дослідження захисної ефективності протипилових респіраторів при наявності додаткових витоків [Текст] / В. І. Голінько, В. С. Колесник, С. І. Чеберячко // *Строительство, материаловедение, машиностроение. Серия безопасность жизнедеятельности: Сб. научн. тр. / Под. Ред. В. И. Болшакова*. – Д.: ГУВЗ «Приднпр. Гос. Академия ст-ва и архитектуры». – 2015. – №83. – С. 87–95.

Bibliography (transliterated): **1.** Kaminskij, S. (2007). *Osnovy racionalnoj zashhity organov dyxaniya na proizvodstve: Uchebnoe posobie*. SPb.: Prospekt Nauki, 208. **2.** Vasmanov, P. I., Kaminskij, S. L., Korobejnikov, A. V., Trubicyna, M. E. (2002). *Sredstva individualnoj zashhity organov dyxaniya: Spravochnoe rukovodstvo*. SPb.: GIPP «Iskusstvo Rossii», 399. **3.** Logachev, L., Logachev, K. (2005). *Aerodinamicheskie osnovy aspiracii: Monografiya*. S. Peterburg:

Ximizdat, 659. **4.** Potapenko, I. (2010). *Gidrodinamicheskoe soprotivlenie filtruyushhego elementa protivopylevogo respiratora. Gornospasatelnoe delo: sb. nauch. tr. Doneck, NIIGD, № 47, 133–141*. **5.** Lojcyanskij, L. (2003). *Mexanika zhidkosti i gaza*. Moscow: Drofa, 840. **6.** Grachev, V., Sobyur, S. (2006). *Sredstva individualnoj zashhity organov dyxaniya. Posobie*. Moscow: Pozhkniga, 288. **7.** Golinko, V., Cheberyachko, S., Radchuk, D., Cheberyachko, Yu. (2009). *Zasobi individualnogo zaxistu organiv dixannya: monografiya*. D.: ChP Fedorenko S.S., 93. **8.** Avrunin, O., Beleckij, N., Bereznyako, A. (2009). *Dinamicheskaya model processa prokhozheniya vozduxa cherez nosovoyu polost. Biofizichnij visnik, № 23(2), 101–105*. **9.** Haruta, H., Honda, T., Eninger, R. (2009). *Experimental and theoretical investigation of the performance of N95 respirator filters against ultrafine aerosol particles tested at constant and cyclic flows. Influenza and Other Respiratory Viruses, Vol. 25, 75–88*. **10.** Kirsh, A., Budyka, A., Kirsh, B. (2008). *Filtraciya aerorozlej voloknistymi materialami FP Rossijskij ximicheskij zhurn, T.52., №5., 97–101*. **11.** Cheberyachko, S. (2013). *Doslidzhennya zaxisnoї efektyvnosti filtruvalnix respiratoriv pri ciklichnomu potoku povitrya Suchasni resurso-energozberigayuchi tehnologii girnichogo virobnytva, №2(12), 205–212*. **12.** Golinko, V., Kolesnik, V., Cheberyachko, S. (2015). *Doslidzhennya zaxisnoї efektyvnosti protipilovix respiratoriv pri nayavnosti dodatkovix vitokiv. Stroitelstvo, materialovedenie, mashinostroenie. Seriya bezopasnost zhiznedeyatelnosti: Sb. nauchn. tr. / Pod. Red. V. I. Bolshakova. D.: GUVZ «Pridnpr. Gos. Akademiya st-va i arxitektury», №83, 87–95*.

Надійшла (received) 20. 12. 2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чеберячко Сергій Іванович – доктор технічних наук, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», професор кафедри «Аерології та охорони праці», пр. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, Україна, 49027;; e-mail: sihc@yandex.ua.

Чеберячко Юрій Іванович – кандидат технічних наук, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», доцент кафедри «Аерології та охорони праці», пр. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, Україна, 49027;; e-mail: cheberiyachkoyi@ukr.net.

Радчук Дмитрій Ігоревич – кандидат технічних наук, Государственный ВУЗ "Национальный горный университет", доцент кафедры «Аэрологии и охраны труда», пр. К. Маркса, 19 м. Днепропетровск, 49027 Украина;; e-mail: riko2509@ukr.net.

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

УДК 621:658.562 (043.5)

ХАДІ АМІНЕ

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ В АВТОМОБИЛЕСТРОИТЕЛЬНОЙ КОМПАНИИ IRAN KHODRO

В статье проведен анализ системы управления качеством в компании Iran Khodro, которая является крупнейшим автомобилестроительным предприятием в Иране и производит автобусы, микроавтобусы, легковые автомобили, грузовики, а также запчасти к ним. Продукция компании Iran Khodro соответствует самым современным стандартам качества, что подтверждается Сертификатом соответствия ISO 9001, выданным Международной организацией по стандартизации RW-TUV. Компания Iran Khodro реализует принцип «Ориентация на потребителя», что позволяет ей учитывать превосходства в качестве выпускаемой продукции в условиях современной экономики.

Ключевые слова: качество, управление, управление качеством, промышленное предприятие, конкурентоспособность, стандарт

Введение. Как известно, в последнее время мировая автомобильная промышленность нарастила огромный потенциал и предлагает на рынке большое разнообразие автомобилей различных компаний и марок, которые различаются как по стоимости, так и по функциональным возможностям, что приводит к большой конкуренции. Вместе с тем в развитой рыночной экономике автомобилестроительная отрасль традиционно носит как социально-ориентированный, так и инфраструктурный характер, которая с учетом достижений технического прогресса может определять и регулировать конкурентные условия для большинства отраслей промышленности [1]. В этой связи, для эффективной деятельности на рынке, проводимая автомобилестроительными предприятиями политика повышения качества автомобильной продукции должна органично вписываться в деятельность всего предприятия.

Повышение качества и конкурентоспособности автомобилестроительной продукции для любой страны мира, в том числе и Ирана, в которой она производится, является одним из решающих условий вовлечения реальных средств и инвестиций в преодоление кризисных явлений, увеличение сбыта, как на внутреннем, так и внешнем рынке, и, как следствие, в подъем экономики.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. В условиях жесткой конкуренции на современных промышленных рынках наблюдается значительное усиление роли бизнес-потребителей, в связи с чем возникает необходимость формирования стратегии управления взаимоотношениями с ними. Эффективное выстраивание взаимоотношений с корпоративными клиентами и постоянное взаимодействие с ними позволяет своевременно и качественно удовлетворять их потребности, что, в свою очередь, способствует удержанию и повышению лояльности покупателей.

С развитием науки представление о качестве изменялось. Решающий вклад в создание и развитие современных систем качества внесли такие ученые, как: М. К. Розова, Р. А. Фатхутдинов, В. Я. Белобрагина, А. В. Гличева, К. Исикава, Э. Деминг, У. Шухарт, Дж. Джуран, Ф. Кросби, А. Фейгенбаум, Т. Тагути и др.

Иранский рынок был весьма привлекателен для этих компаний как по экономическим параметрам — с точки зрения потребительского спроса, относительно дешевой рабочей силы и перспектив сбыта производимой продукции на всем Ближнем Востоке, так и по причинам благоприятного инвестиционного климата, созданного в стране для иностранных инвесторов [2]. Компания Iran Khodro являлась не исключением.

В компании Iran Khodro осуществляется полный цикл производства автобусов, микроавтобусов, легковых автомобилей, грузовиков, спецтехники, которые пользуются спросом как на Среднем, так и Ближнем Востоке. В последние годы компания Iran Khodro совершила стремительный скачок в своем развитии, а современная технологическая база позволяет производить продукцию, которая соответствует мировым стандартам.

Качество продукции компании Iran Khodro является одними из важнейших показателей ее деятельности и характеризует ее конкурентоспособность. На качественную продукцию всегда есть спрос, ее реализуют по более высокой цене и, соответственно, предприятие получает большую прибыль [3]. Продукция компании Iran Khodro соответствует самым современным стандартам качества, что подтверждается Сертификатом ISO 9001, выданным организацией по стандартизации RW-TUV. Завод компании оснащен современным высокотехнологичным оборудованием, соответствующим самым последним тенденциям — высокий уровень безопасности, охраны здоровья и защиты окружающей среды подтверждены Сертификатами соответствия по ISO 14001 и OHSAS 18001 [4].

Внедрение системы менеджмента качеством (СМК) продукции на любом предприятии требует совершенствования управления в формате функциональных его обязанностей, которые должны согласовываться с его основной задачей в этой сфере. Комплексное решение вопросов диагностики, моделирования, оптимизации процессов управления с целью обеспечения качества выпускаемой продукции, в том числе автомобильной, является актуальной, как для производства, так и для государства в целом. И связано это, прежде всего, с внедрением и учетом как технических, так и экономических условий.

© Хаді Амине. 2015

Как известно, СМК позволяет производителям гарантировать выпуск качественной продукции. Однако на сегодняшний день не существует единого подхода к пониманию сущности СМК, действия ее механизмов, структуры элементов, роли персонала (человеческих ресурсов) и т.п., что приводит к существенным препятствиям во время ее внедрения на конкретных предприятиях [5].

Качество продукции относится к достаточно сложной динамической категории и оценивается по нескольким критериям, которые всегда находятся в развитии [6].

Сейчас в мире основным подходом к обеспечению качества продукции является удовлетворение требований потребителя, которое может выражаться как качество для потребителя. В этой связи, одним из определений понятия «качества продукции» является «удовлетворение определенных ожиданий и потребностей потребителей», что в основном и формирует характеристики и свойства продукции при ее создании, которые, в зависимости от требований заказчиков и потребителей, могут быть самыми разнообразными как по уровню, так и по сочетанию [7].

Практически вся производственная деятельность компании Iran Khodro и все то, что обеспечивает ее деятельность, прямо или косвенно, в большей или меньшей степени влияет на формирование качества продукции, которую она выпускает, в том числе: качество проектирования, уровень технологии, качество покупных изделий и материалов, условия труда и т. д.

В условиях рыночной экономики потребитель заинтересован не только в качестве самой продукции, но и в оказании ему высококачественных дополнительных услуг, связанных с этой продукцией. В связи с этим важным приемом конкурентной борьбы выступает глобализация продукции, которая предусматривает переход от системы «потребитель – продукция» к системе «проблема, которая волнует потребителя – глобальное решение проблемы» [8].

Управление качеством в автомобилестроительной компании Iran Khodro. Мало кто знает, что в 2009-2011 годах Иран по производству автомобильной продукции занимал первое место на Ближнем Востоке и 12-е место в мировом рейтинге автопроизводителей. К середине 2009 года совокупный ежегодный экспорт автомобилей Ирана оценивался в 1 миллиард долларов, а к 2012 году планировалось довести количество экспортируемых автомобилей до 1,13 миллиона единиц. К 2015 году доля автомобильной промышленности страны в общем объеме ВВП составляла около 3,5 %, а руководство Ирана рассматривало отечественный автопром как вторую по величине экспортную составляющую страны.

Активно развивалось и сотрудничество Ирана с ведущими мировыми автопроизводителями, такими, например, как французские «Peugeot», «Citroen» и «Renault», немецкий «Volkswagen», японские «Toyota» и «Nissan», «Kia Motors» из Южной Кореи, «Chery» из Китая, которые к 2009 году наладили массовый лицензированный выпуск своей продукции.

В компании Iran Khodro, как и в ведущих мировых автомобилестроительных компаниях вершиной развития менеджмента является управление по целям,

и в результате реализации достигнутых в сфере управления качеством сформировалась система всестороннего менеджмента качества, которая вобрала в себя все прогрессивные технологии американских, японских и европейских фирм. В свою очередь, двумя основными факторами, которые стимулировали этот процесс, были: жесткая конкурентная борьба за мировые рынки и соревнование в конкурентных видах продукции.

Руководство компании понимает, что деятельность по управлению качеством не может быть эффективной после того, как продукция произведена – эта деятельность должна осуществляться в ходе всего цикла производства продукции. Важна также деятельность по обеспечению качества, которая предшествует процессу производства. По данным исследователей, около 80 % всех дефектов, которые выявляются в процессе производства и использования изделий, обусловлены недостаточным качеством процессов разработки концепции изделия, конструирования и подготовки его производства. Около 60 % всех сбоев, которые возникают во время гарантийного срока службы изделия, имеют свою причину в ошибочной, поспешной и несовершенной разработке. Выпуск своей продукции компания Iran Khodro рассматривает как систему, поскольку она состоит из отдельных компонентов, которые связаны между собой и образуют определенную структуру, которая, в свою очередь, предоставляет определенные свойства. Они могут быть полезными, менее полезными, конкретными – все зависит от требований и назначения продукции. Однако, все свойства зависят от структурных элементов системы, причем не от арифметической суммы, а от взаимодействия отдельных элементов, которые образуют определенную структуру.

Известно, что при разработке и производстве продукции действует правило десятикратных затрат – если на одной из стадий круга качества изделия допущена ошибка, которая выявлена на следующей стадии, то для ее исправления потребуются затратить в 10 раз больше средств, чем если бы она была обнаружена вовремя. Если она была обнаружена через одну стадию – то уже в 100 раз больше, через две стадии – в 1000 раз и т.д. [9].

Качество автомобильной продукции определяется совокупностью многих влияющих случайных, местных и субъективных факторов. Для предупреждения влияния этих факторов на уровень качества выпускаемой продукции необходима комплексная система управления качеством. При этом нужны не отдельные разрозненные и эпизодические усилия, а совокупность мер постоянного воздействия на процесс создания продукции с целью поддержания соответствующего уровня качества.

Для реализации принципа «Ориентация на потребителя» для компании Iran Khodro определен перечень критериев для оценки удовлетворенности потребителей.

Оценка уровня удовлетворенности потребителей является обычной практикой для большинства компаний, в том числе и для Iran Khodro, которая регулярно проводит опросы для измерения уровня удовлетворенности покупателей своей продукцией.

Как известно, оценка удовлетворенности потребителей может проводиться несколькими методами [10]:

- балльная оценка;
- оценка на основе мультиатрибутивной модели товара;
- расчет индекса удовлетворенности потребителя;
- расчет чистого индекса промоутера;
- шкала Лайкерта.

1. Для оценивания удовлетворенности потребителей компании Iran Khodro выбран метод оценки по шкале Лайкерта - метод многофакторной оценки, при котором респондентам нужно сделать выбор, используя предлагаемые варианты ответов: полностью удовлетворен, в некоторой степени удовлетворен и т.д. Шкала Лайкерта обычно бывает пятипозиционной и включает следующие шаги [11]:

1) формирование широкого множества высказываний, выражающих различные нюансы мнений по избранной проблеме;

2) отбор высказываний, редактирование с целью исключения туманностей и двусмысленностей;

3) оценка (обычно по 5-балльной шкале) оставшихся в списке высказываний испытуемыми из выборки на основании их собственного мнения (согласия-несогласия с утверждениями);

4) статистическая обработка оценок;

5) формирование итоговой шкалы, в которую включаются пункты, по которым обнаружены наиболее сильные расхождения в оценках испытуемых с самыми низкими и самыми высокими итоговыми оценками из всей выборки.

Как видно, шкала Лайкерта представляет собой порядковую шкалу измерения: она позволяет оценить выраженность установки, сравнить установки разных людей по интенсивности; из статистических процедур допускается определение медиан распределений, вычисление коэффициентов ранговой корреляции и сопряженности; дает возможность определить степень суждения, что особенно полезно при рассмотрении важных или сложных тем и вопросов. Градация ответов помогает проще определять области, нуждающиеся в улучшении [12].

Оценка качества в системе управления Iran Khodro дало возможность охарактеризовать этот процесс как комплекс стратегических и тактических мер по организации эффективной работы всех звеньев производственного процесса и проверки качества изделия, в частности, управленческого решения.

Было определено что, для обеспечения соответствия качества своей продукции требованиям потребителя, компании Iran Khodro необходимо обеспечивать постоянный контроль уровня удовлетворенности потребителей по выбранным критериям с применением рекомендуемого метода оценивания. Это позволит ей определять как текущий уровень удовлетворенности ее клиентов, так и оперативно реагировать на изменение требований рынка, и далее соответствовать самым современным стандартам качества, занимая лидирующую позицию в автомобилестроительной области не только в Иране, но и на всем Среднем и Ближнем Востоке.

Однако мировая автомобильная промышленность имеет свои стандарты качества продукции, которые учитывают ее специфику и предназначены для повышения производительности и конкурентоспособности, а также непрерывного ее совершенствования. В этой связи многие производители транспортных средств настаивают на сертификации в соответствии с требованиями стандарта ISO/TS 16949:2009 «Quality management systems - Particular requirements for the application of ISO 9001:2008 for automotive production and relevant service part organizations», в котором описаны требования к СМК предприятий, занимающихся проектированием, разработкой, производством, установкой и обслуживанием продукции автомобильной промышленности [13, 14].

Стандарт ISO/TS 16949 представляет собой технические условия, согласующие между собой американские, немецкие, французские и итальянские стандарты систем качества в автомобильной промышленности в рамках мировой автомобилестроительной отрасли. Он определяет требования к системам качества в области проектирования, разработки, изготовления, монтажа и сервисного обслуживания автомобильной продукции. На сегодняшний день по нему было выдано свыше 47 500 Сертификатов соответствия в трех крупнейших деловых регионах: Америке, Европе и Азии.

Преимущества стандарта ISO/TS 16949:

- возможность получения лицензии на международную торговлю и расширения своей деятельности;
- возможность совершенствования процессов, сокращения отходов и предотвращения дефектов;
- исключение необходимости в получении нескольких сертификатов в области автомобилестроения;
- возможность интегрирования стандарта ISO/TS 16949 с другими системами менеджмента;
- возможность демонстрации соответствия стандартам для получения новых заказов и привлечения инвестиций.

Применение основных моментов стандарта ISO/TS 16949, который затрагивает все категории поставщиков автомобильной продукции от небольших производителей до крупнейших транснациональных корпораций, действующих в любой точке мира, актуально и для компании Iran Khodro, которая стремится войти в список ведущих предприятий мира и, в частности, потенциальных поставщиков той или иной автомобилестроительной компании-заказчика.

В заключении можно констатировать, что внедрение СМК в компанию Iran Khodro позволило повысить качество выпускаемых автомобилей и производительность, снизить уровень затрат, повысить конкурентоспособность, улучшить производственный климат, обеспечить удовлетворенность потребителей, что привело к тому, что продукция компании Iran Khodro составляет 70 % внутреннего рынка автомобилей и запасных частей Ирана.

Выводы. Таким образом, опыт и достижение компании Iran Khodro в области управления качеством может быть полезен для развивающихся автомобильных предприятий разных стран мира. Сочета-

ние всех упомянутых принципов, в единой управленческой концепции является достаточно сложной задачей. Анализ подходов Iran Khodro к выпуску своей продукции показывает, что для достижения превосходства в качестве в условиях современной экономики, нужно находить в основном в применение знаний, инновации и обучение. Это хороший пример, который может быть заимствован, для методов управления, принятый в качестве аксиомы менеджерами в автомобильных компаниях развивающихся стран.

Список литературы: 1. Никитина, Н. В. Управление качеством машиностроительной продукции на основе маркетингового подхода, 2003 г. [Электронный ресурс]: автореферат диссертации [Текст] / Н. В. Никитина; – Режим доступа: <http://economy-lib.com/upravlenie-kachestvom-mashinostroitelnoy-produktsii-na-osnove-marketingovogo-podhoda#ixzz3vFae8Kzx>. – Название с экрана. – Дата обращения: 17.03.2016. 2. Икрам, Сабиров. Иранский автопром — амбициозные цели и сложные реалии [Текст] / Сабиров Икрам // Иранский автопром — амбициозные цели и сложные реалии: интернет-журн. – 2010. – Вып. 4. – 13 с. – Библиогр.: [Электронный ресурс]: <http://regnum.ru/news/1872149.html>– Назва з екрану. <http://regnum.ru/news/1872149.html> 3. Juran, J. M. Juran's Quality Handbook [Текст] / Juran J. M., Godfrey A. B. – 5-th ed. – McGraw-Hill, 1998. – 1730 p. 4. Иран Ходро - крупнейший производитель автомобилей в Иране. [Электронный ресурс] / Иран Ходро - крупнейший производитель автомобилей в Иране: [Электронный ресурс]: Название с экрана. <http://www.investiran.com.ua/index.php/economy-of-iran/avtomobili/155-iran-khodro-krupnejshij-proizvoditel-avtomobilej-v-irane> 5. Новая версия ISO 9001:2015 [Электронный ресурс] / Методы менеджмента качества 07. 2014 г [Текст]: Системы менеджмента качества. [Электронный ресурс]: Название с экрана. – Требования: [http://www.pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-9001-2015-\(rus\).pdf](http://www.pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-9001-2015-(rus).pdf) 6. Фатхутдинов, Р. А. Инновационный менеджмент : учебник для ВУЗов [Текст] / Р. А. Фатхутдинов. – [4-е изд.]. – М. : ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез», 2003. – 400 с. 7. Кросби, Ф. Б. Качество бесплатно. Искусство убеждать в необходимости качества [Текст] / Ф. Б. Кросби. – Нью-Йорк : МакГро-Хилл, 1979. – 309 с. 8. Пичурин, И. И. Сущность понятия «качество» [Текст] / И. И. Пичурин // Стандарты и качество. – 2002. – № 8. – С. 62–63. 9. Степанов, А. В. О терминологии и процессном подходе [Текст] / А. В. Степанов // Стандарты и качество. – 2007. – № 1. – С. 84–88. 10. Управление качеством и ISO 9000 [Электронный ресурс] / Управление качеством и ISO 9000 [Электронный ресурс]: Название с экрана: http://www.cfin.ru/management/iso9000/iso9000_tech.shtml 11. Труш, Ю. Я. Обгрунтування основних шляхів підвищення управління якістю продукції [Текст] / Ю. Я. Труш // Формування ринкових відносин в Україні. – 16949/0.

2011. – № 8. – С. 91–94. 12. Wuensch, Karl L. (October 4, 2005). «What is a Likert Scale? and How Do You Pronounce 'Likert?'».[Текст] / Karl L. Wuensch // East Carolina University. Retrieved April 30, 2009. 13. Разъяснения по шкале Лайкерта. [Электронный ресурс] / Разъяснения по шкале Лайкерта : интернет-журн. – Режим доступа: <https://ru.surveymonkey.com/mp/likert-scale/>. 14. Автомобильная промышленность [Электронный ресурс] / Автомобильная промышленность : интернет-журн. – Режим доступа: <http://www.bsigroup.com/ru-RU/ISO-TS-16949/0>.

Bibliography (transliterated): 1. Nikitina, N. V. (2016). Upravlenie kachestvom mashinostroitelnoj produkcii na osnove marketingovogo podhoda, 2003 g. [Elektronnyj resurs]: avtoreferat dissertacii. Rezhim dostupa: <http://economy-lib.com/upravlenie-kachestvom-mashinostroitelnoy-produktsii-na-osnove-marketingovogo-podhoda#ixzz3vFae8Kzx>. Nazvanie s ekrana. Data obrashheniya: 17.03.2016. 2. Ikram, Sabirov. (2010). Iranskiy avtoprom — ambicioznye celi i slozhnye realii. Iranskiy avtoprom — ambicioznye celi i slozhnye realii: internet-zhurn, Vyp. 4, 13. Bibliogr.: [Elektronnyj resurs]: <http://regnum.ru/news/1872149.html>– Nazva z ekranu. <http://regnum.ru/news/1872149.html>. 3. Juran, J. M., Godfrey, A. B. (1998). Juran's Quality Handbook. 5-th ed. McGraw-Hill, 1730. 4. Iran Khodro – krupnejshij proizvoditel avtomobilej v Irane: [Elektronnyj resurs]: Nazvanie s ekranu. <http://www.investiran.com.ua/index.php/economy-of-iran/avtomobili/155-iran-khodro-krupnejshij-proizvoditel-avtomobilej-v-irane>. 5. NOVAYa VERSIYa ISO 9001:2015[Elektronnyj resurs] / METODY MENEDZHMENTA KACHESTVA 07. 2014 g: Sistemy menedzhmenta kachestva. [Elektronnyj resurs]: Nazvanie s ekranu. Trebovaniya: [http://www.pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-9001-2015-\(rus\).pdf](http://www.pqm-online.com/assets/files/pubs/translations/std/iso-9001-2015-(rus).pdf). 6. Fatxutdinov, R. A. (2003). Innovacionnyj menedzhment : uchebnik dlya VUZov. [4-e izd.]. Moscow : ZAO «Biznes-shkola «Intel-Sintez», 400. 7. Krosbi, F. B. (1979). Kachestvo besplatno. Iskustvo ubezhdvat v neobxodimosti kachestva. Nyu-York : MakGro-Xill, 309. 8. Pichurin, I. I. (2002). Sushhnost ponyatiya «kachestvo». Standarty i kachestvo, № 8, 62–63. 9. Stepanov, A. V. (2007). O terminologii i processnom podhode. Standarty i kachestvo, № 1, 84–88. 10. Upravlenie kachestvom i ISO 9000 [Elektronnyj resurs] / Upravlenie kachestvom i ISO 9000 [Elektronnyj resurs]: Nazvanie s ekranu: http://www.cfin.ru/management/iso9000/iso9000_tech.shtml. 11. Trush, Yu. Ya. (2011). Obruntuvannya osnovnix shlyaxiv pidvishhennya upravlinnya yakistyu produkcii. Formuvannya rinkovix vidnosin v Ukraïni, № 8, 91–94. 12. Wuensch, Karl L. (2009). «What is a Likert Scale? and How Do You Pronounce 'Likert?'». East Carolina University. Retrieved April 30. 13. Razyasneniya po shkale Lajkerta : internet-zhurn. Rezhim dostupu: <https://ru.surveymonkey.com/mp/likert-scale/>. 14. Avtomobilnaya promyshlennost [Elektronnyj resurs] / Avtomobilnaya promyshlennost : internet-zhurn. Rezhim dostupu: [http://www.bsigroup.com/ru-RU/ISO-TS-](http://www.bsigroup.com/ru-RU/ISO-TS-16949/0)

Поступила (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Хади Амин – Аспирант, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Кафедра 303 - авиационных приборов и измерений, ул. Чкалова, 17, г. Харьков, Украина, 61000; e-mail: hadiamineh@hotmail.com.

УДК 621.224

В. В. ЛІТВІНОВ, Є. В. ГАЛЬКО

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ГІДРОАГРЕГАТАМИ З НЕІДЕНТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ТУРБІН

В статті досліджено проблему роботи гідроагрегатів у системі САРЧП та запропоновано її вирішення шляхом удосконалення методу розподілу навантаження між гідроагрегатами при роботі в САРЧП. Удосконалення методу полягає в тому, що на гідроелектростанціях, які мають неідентичні характеристики турбін навантаження між агрегатами розподіляється виходячи з умови максимізації загальностанційного ККД та мінімізації кількості перевідних режимів. Для розв'язання сформованої оптимізаційної задачі використано генетичний алгоритм.

Ключові слова: гідроагрегат, турбіна, оптимізація, завдання потужності, генетичний алгоритм, ГРАП, загальностанційний ККД.

© В. В. Литвінов, Є. В. Галько. 2015

Вступ. Починаючи з 90-х років XX століття в електроенергетичній системі України дуже гостро стоїть проблема забезпечення балансу між генерацією та споживанням електричної енергії в умовах необхідності підтримання нульового сальдо за міждержавними перетоками електроенергії та забезпечення якості електроенергії, в першу чергу за частотою.

Останнім часом вирішення цієї проблеми ускладнилось через зниження генерації теплових електростанцій України внаслідок дефіциту первинного палива. Найбільш ефективним рішенням цієї проблеми є використання маневрових потужностей гідроелектростанцій (ГЕС) Дніпровського та Дністровського каскаду, а також гідроакumuлюючих електростанцій (ГАЕС).

В 2003 році в електроенергетичну систему України було введено в експлуатацію систему автоматичного регулювання частоти та активної потужності (САРЧП) [1], основним призначенням якої є регулювання перетоків активної потужності між Україною та сусідніми державами з корекцією за частотою. Ключову роль в САРЧП України відіграють ГЕС. Алгоритм роботи САРЧП реалізовано таким чином, щоб мати оптимальну кількість генераторів, що працюють в генераторному режимі. В логіку роботи закладена пріоритетність включення та зупинення гідроагрегату. Зупинений гідроагрегат з найвищим пріоритетом буде запущено першим, а працюючий з найнижчим пріоритетом буде зупинений першим. Пріоритетність пуску/зупинення кожного агрегату встановлює оперативний персонал ГЕС [1].

Десятирічний досвід експлуатації САРЧП показав, що використання гідрогенераторів в системі групового регулювання активної потужності (ГРАП) призводить до погіршення їхнього технічного стану, швидкого зношення ресурсу вузлів гідроагрегата та зростання кількості несправностей внаслідок збільшення кількості перевідних режимів та роботи гідравлічних турбін в неоптимальних режимах [2]. Наслідками роботи гідроагрегатів в режимі ГРАП є:

- погіршення температурних та вібраційних показників генераторів;
- зростання кількості відмов допоміжного обладнання (насоси МНУ, компресори режиму синхронного компенсатора);
- почастішання випадків електричного пробую обмотки статора;
- більш швидке кавітаційне зношення робочого колеса турбіни;
- посилення протікань води при закритому положенні направляючого апарату.

Таким чином, задача удосконалення режиму ГРАП на ГЕС шляхом зниження кількості перевідних режимів гідроагрегатів та оптимізації їхніх енергетичних режимів є актуальною.

Аналіз сучасного стану проблеми. В САРЧП алгоритм роботи закладено таким чином, щоб мати оптимальну кількість генераторів, що працюють в генераторному режимі. В логіку роботи закладена пріоритетність включення та зупинення гідроагрега-

ту. Зупинений гідроагрегат з найвищим пріоритетом буде запущено першим, а працюючий з найнижчим пріоритетом буде зупинений першим. Пріоритетність пуску/зупинення кожного агрегату встановлює оперативний персонал ГЕС [1]. При цьому на оперативний персонал (осіб, що приймають рішення) покладається додаткова відповідальність за правильний вибір агрегатів для встановлення в систему ГРАП та їхньої пріоритетності з урахуванням фактичного технічного стану.

Класичний підхід до оптимального розподілення активної потужності між гідроагрегатами ГЕС полягає в рівномірному розподілі завдання за активною потужністю між всіма гідроагрегатами ГЕС за умови що характеристики всіх турбін на ГЕС однакові [2,3]. В цьому випадку відносні прирости розходу води за однакового напору ($H=\text{const}$) будуть рівними між собою:

$$q_1 = q_2 = \dots = q_n. \quad (1)$$

Виходячи з цього, при наявності завдання активної потужності для ГЕС $P_{зад}$, оптимальний розподіл потужності між гідроагрегатами виглядає наступним чином:

$$P_{z/a} = \frac{P_{зад}}{n}, \quad (2)$$

де n - кількість гідроагрегатів на ГЕС, що знаходяться в роботі.

Цей спрощений метод розподілу потужностей між гідроагрегатами ГЕС не враховує наступні особливості:

1) можливу неоднаковість характеристик турбін ГЕС (наприклад, якщо на ГЕС відбувається реконструкція енергетичного обладнання і частина турбін вже замінена або модернізована, а частина – ні);

2) наявність у гідравлічних турбін зони нерекондованої експлуатації, яка в залежності від типу турбіни складає $[(0,1\dots0,3)P_{ном}; (0,6\dots0,9)P_{ном}]$.

Для врахування цих факторів в роботі [4] запропоновано оптимізаційні алгоритми управління складом гідроагрегатів на основі методів «гілок і границь» і «динамічного програмування». Методи, засновані на принципі пошуку оптимального рішення по одному домінуючому критерію – критерію економічності режиму роботи гідроагрегатів. Такий підхід є досить простим і зручним, а також не вимагає великих обчислювальних потужностей, однак він не завжди дозволяє отримати ефективне рішення в такій багатокритеріальній та слабкоструктурованій системі як ГЕС [5].

Для врахування особливостей і цілей управління, індивідуальних для кожної ГЕС, в роботі [5] була розроблена процедура ідентифікації цілей управління. Проведення процедури ідентифікації для кожної конкретної станції дозволять формалізувати стратегію двохкритеріального управління агрегатами ГЕС у вигляді логіко-множинної операції, вид якої визначається на основі ступеня пріоритетності параметрів експлуатаційної надійності і економічності режиму роботи агрегатів.

Також проблема оптимального розподілу навантаження між агрегатами ГЕС розглядається у статті [2]. Автором запропоновано розподілення навантаження між агрегатами ГЕС за якого усереднений ККД гідроагрегатів буде максимальним. Залежності ККД турбін від потужності $\eta_i(P_i)|_{H=H_{роб}}$, за якими формується цільова функція усередненого ККД:

$$F = \left(\sum_{i=1}^n \eta_i(P_i)|_{H=H_{роб}} \right) / n, \quad (3)$$

визначаються шляхом апроксимації перетинів експлуатаційних характеристик турбін при фіксованому значенні напору $H=const$. Для вирішення сформульованої в [2] оптимізаційної задачі через значну нелінійність цільової функції та велику кількість обмежень у формі нерівностей, застосовано генетичний алгоритм [6, 7].

Розроблений у [2] метод є достатньо ефективним при неідентичних характеристиках турбін. В той же час, усереднений ККД, який є середнім арифметичним ККД усіх агрегатів не досить наглядно відображає ефективність даного методу через те, що в рівній мірі враховує ККД гідроагрегатів, завантажених на повну потужність та частково завантажених. Тому цей метод потребує удосконалення шляхом визначення та обґрунтування більш інформативної цільової функції, яка буде позбавлена вказаного вище недоліку.

Мета і задачі дослідження. Метою даного дослідження є удосконалення процесу групового регулювання активної потужності на ГЕС шляхом визначення оптимального розподілу навантаження між гідроагрегатами з урахуванням індивідуальних експлуатаційних характеристик турбін. У відповідності до визначеної мети, в роботі поставлено наступні завдання:

- удосконалення методу розподілу активного навантаження між гідроагрегатами, що працюють у ГРАП, на станціях, які мають неідентичні характеристики турбін за критеріями максимізації загальностанційного ККД та мінімізації кількості перевідних режимів;
- вирішення сформованої оптимізаційної задачі групового регулювання гідроагрегатів ГЕС з використанням генетичного алгоритму та обґрунтування його оптимальної структури.

Метод розподілу активного навантаження між агрегатами ГЕС. Одним з основних показників, який характеризує ефективність роботи ГЕС в цілому є загальностанційний ККД, який представляє собою відношення сумарної потужності генераторів, що працюють в генераторному режимі, до сумарної потужності первинного енергоносія, підведеного до гідротурбін. Враховуючи те, що ККД гідроагрегату визначається як відношення вихідної потужності на валу i -го генератора $P_{вих}$ до вхідної потужності, підведеної до i -ї гідротурбіни $P_{вх}$:

$$\eta_i = \frac{P_{вих-i}}{P_{вх-i}}, \quad (4)$$

загальностанційний ККД визначається відношенням сумарної потужності агрегатів, що працюють, до сумарної підведеної потужності гідротурбіни:

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n P_{вих-i}}{\sum_{i=1}^n P_{вх-i}}, \quad (5)$$

де n – кількість гідроагрегатів між якими розподіляється навантаження.

Якщо підставити (4) в (5):

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n P_{вих-i}}{\sum_{i=1}^n P_{вих-i} / \eta_i}. \quad (6)$$

Вираз (6) представляє собою цільову функцію, яку необхідно максимізувати за умови, що напір дорівнює робочому значенню на момент розподілу навантаження між агрегатами $H=H_{роб}$:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n P_{вих-i}}{\sum_{i=1}^n P_{вих-i} / \eta_i (P_{вих-i})} \Big|_{H=H_{роб}} \rightarrow \max. \quad (7)$$

Із завдання активної потужності для ГЕС $P_{зад}$ формується обмеження у формі рівності:

$$P_{зад} = \sum_{i=1}^n P_{вих-i}. \quad (8)$$

З урахуванням діапазонів рекомендованої роботи гідроагрегатів формуються обмеження у вигляді нерівностей загальною кількістю n :

$$P_{ном-i} \geq P_i \geq P_{рек-i}^{MIN}, \quad i = 1, \dots, n. \quad (9)$$

Для вирішення сформованої оптимізаційної задачі через нелінійність цільової функції та велику кількість обмежень у формі нерівностей, застосовано генетичний алгоритм [7, 8]. Схема роботи генетичного алгоритму наступна. Оптимізаційна задача (цільова функція) формалізується таким чином, щоб її рішення можна було представити у вигляді вектору генів $\bar{P}_i = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, кожен з яких є певним числом. За допомогою генератора випадкових чисел формується множина генотипів початкової популяції. Кожен елемент в популяції має певний рівень якості, який характеризується значенням цільової функції. Ці значення оцінюються з використанням «функції пристосованості» [9, 10].

З отриманої множини рішень з урахуванням значення «пристосованості» обираються рішення до яких застосовуються генетичні оператори «схрещування» та «мутація», в результаті чого отримуються нові рішення. Для них також визначається пристосованість та проводиться відбір кращих рішень у наступне покоління, і т. д. Якщо виконуються умови закінчення циклу – останнє покоління приймається в якості рішення, якщо ні – цикл виконується знову.

Рішенням є вектор значень режимних потужностей гідроагрегатів:

$$\bar{P} = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}, \quad (10)$$

де n - кількість агрегатів, що знаходяться в роботі.

В загальному випадку, кількість агрегатів на ГЕС m може бути більшою, ніж задіяна у системі ГРАП n . При цьому загальний вектор завантаження агрегатів ГЕС прийме вигляд:

$$\bar{P}_{ГЕС} = \{P_1, P_2, \dots, P_n, 0_{n+1}, \dots, 0_m\}. \quad (11)$$

У випадку коли завдання потужності для ГЕС $P_{зад}$ мале, то можливим є виникнення нульових елементів серед n перших елементів множини вектора $\bar{P}_{ГЕС}$:

$$\bar{P}_{ГЕС} = \{P_1, P_2, \dots, 0_i, \dots, P_n, 0_{n+1}, \dots, 0_m\}. \quad (12)$$

Нульові значення елементів свідчать, що для виконання завдання $P_{зад}$ певна кількість агрегатів має або знаходитись в режимі синхронного компенсатора, або бути відключена від мережі.

Для отримання математичного виразу цільової функції оптимізаційної задачі необхідно визначити з експлуатаційних характеристик гідроагрегатів аналітичні залежності ККД від потужності турбіни за робочого значення напору $\eta_i(P_{вих-1})_{|H=H_{роб}}$. За експлуатаційними характеристиками для перетину $H = H_{роб}$ визначається множина точок $\eta_{ij}(P_{ij})$, $i=1, \dots, m$. Отримані пари значень $\eta_{ij}(P_{ij})$ апроксимуються аналітичною залежністю – поліномом k -го порядку, де ступінь поліному визначається наступними умовами:

- коефіцієнт кореляції апроксимованої функції та множини пар значень $\eta_{ij}(P_{ij})$ має бути $R^2 > 0,99$;
- графік апроксимуючої функції має бути максимально наближений до графіку, побудованого по

дискретним значенням $\eta_{ij}(P_{ij})$ не тільки в області наявних дискретних точок, але й в інтервалах між ними.

Приклад розподілу навантаження між агрегатами ГЕС. В якості прикладу розглянемо оптимізацію режиму групового регулювання активної потужності на Дніпровській ГЕС-1.

На Дніпровській ГЕС-1 встановлено три турбіни F-193 (США, потужність за розрахункового напору $P_{ном} = 65$ МВт) та шість турбін РО45-В-545 (Україна, потужність за розрахункового напору $P_{ном} = 72$ МВт). Їхні експлуатаційні характеристики приведені на рис.1 та 2.

З рис. 1 та 2 видно, що експлуатаційні характеристики турбін Дніпровської ГЕС-1 значно відрізняються одна від одної. Зони рекомендованої роботи для них складають:

- 1) для турбіни F-193 [42...65] МВт;
- 2) для турбіни РО45-В-545 [43...72] МВт.

Необхідно виконати оптимальне розподілення навантаження $P_{зад} = 100$ МВт між гідроагрегатами Дніпровської ГЕС, що працюють у режимі ГРАП. Згідно до алгоритму ГРАП [1], таке завдання по навантаженню розподіляється між $n=2$ гідроагрегатами. Відповідно до заданого оперативним персоналом Дніпровської ГЕС пріоритету гідроагрегатів у системі ГРАП, найвищий пріоритет мають гідроагрегати №2 (турбіна типу F-193) та №7 (турбіна типу РО45-В-545).

Для формування цільової функції, за експлуатаційними характеристиками турбін F-193 та РО45-В-545 визначаються множини значень $\eta_{ij}(P_{ij})$, $j=1, \dots, 12$, для робочого значення напору $H=36$ м. Визначені множини зведені в табл. 1.

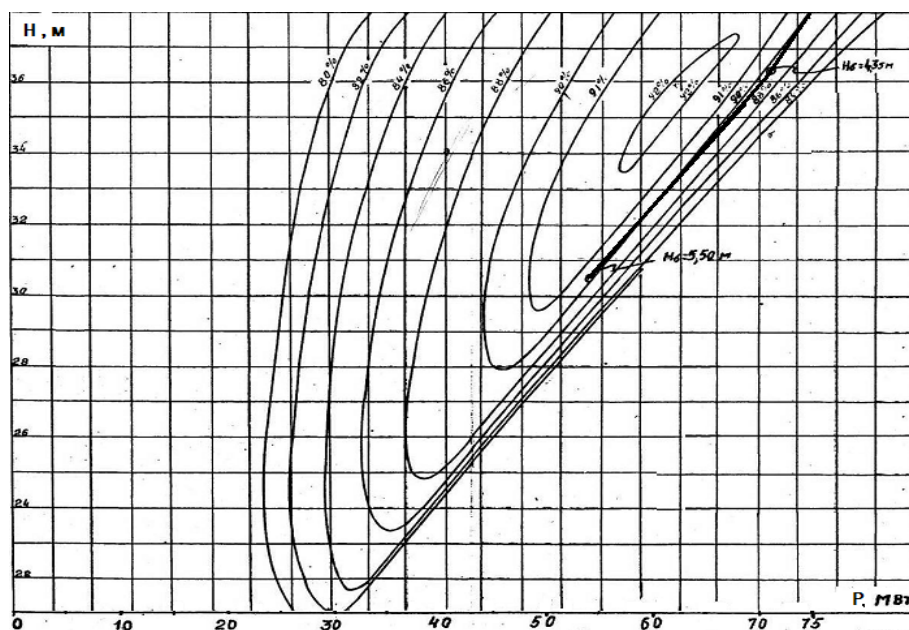


Рис. 1 – Експлуатаційна характеристика радіально-осьової турбіни F-193

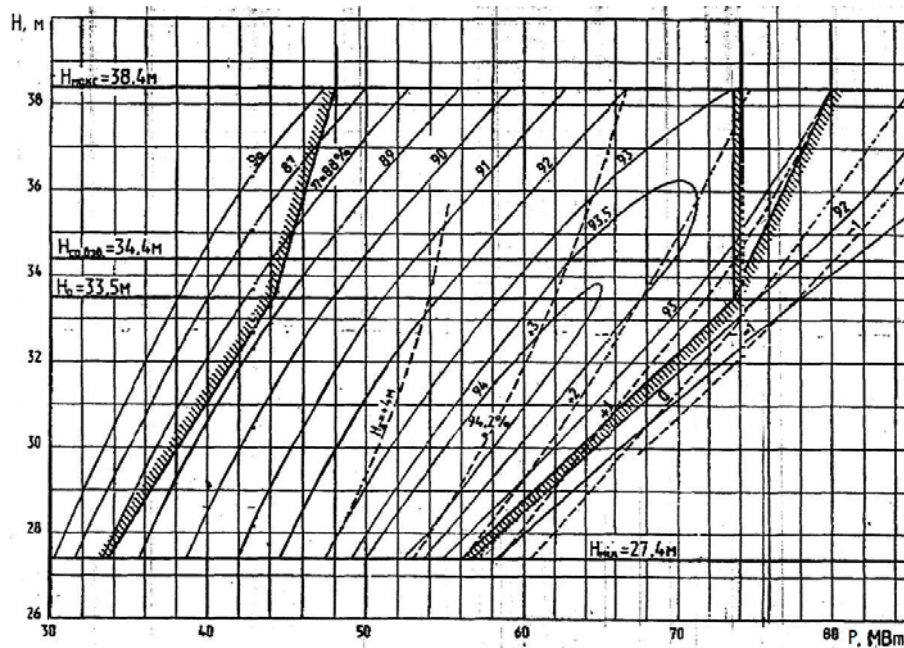


Рис. 2 – Експлуатаційна характеристика радіально-осьової турбіни PO45-B-545

Таблиця 1 – Множини $\eta_{ij}(P_{ij})$ для робочого значення напору 36 м

| j | F-193 | | PO45-B-545 | |
|----|----------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | P_{1j} , МВт | η_{1j} , % | P_{2j} , МВт | η_{2j} , % |
| 1 | 31 | 80 | 44,5 | 87 |
| 2 | 32 | 82 | 47 | 88 |
| 3 | 36,5 | 84 | 50 | 89 |
| 4 | 41 | 86 | 53,5 | 90 |
| 5 | 45,5 | 88 | 57 | 91 |
| 6 | 51 | 90 | 60,5 | 92 |
| 7 | 53,5 | 91 | 65 | 93 |
| 8 | 61 | 92 | 69 | 93,5 |
| 9 | 63,5 | 92 | 71 | 93,5 |
| 10 | 67 | 91 | 76 | 93 |
| 11 | 70 | 88 | 44,5 | 87 |
| 12 | 71,5 | 86 | 47 | 88 |

Отримана множина значень $\eta_{1j}(P_{1j})$ для турбіни F-193 з достатньою точністю апроксимується поліномом 5-го порядку ($R^2 > 0,994$):

$$\eta_1(P_1) = -9,03 \cdot 10^{-8} \cdot P_1^5 - 59,43 \cdot 10^{-7} \cdot P_1^4 + 3106,6651 \cdot 10^{-6} \cdot P_1^3 - 26695,82841 \cdot 10^{-5} \cdot P_1^2 + 95494,021519 \cdot 10^{-4} \cdot P_1 - 43,4438966122. \quad (13)$$

Множина значень $\eta_{2j}(P_{2j})$ для турбіни PO-45-B-545 – апроксимується поліномом 3-го порядку з коефіцієнтом кореляції $R^2 > 0,9989$:

$$\eta_2(P_2) = -252 \cdot 10^{-4} \cdot P_2^3 - 37,776 \cdot 10^{-3} \cdot P_2^2 + 1,559088 \cdot P_1 - 103,871904. \quad (14)$$

Якщо необхідно розподілити завдання $P_{зад} = 100 \text{ МВт}$ між $n=2$ гідроагрегатами Дніпровської ГЕС, що підключені до системи ГРАП, за робочого напору 36 м.

Цільова функція, приймає вигляд:

$$F = \frac{P_1 + P_2}{\frac{P_1}{\eta_1} + \frac{P_2}{\eta_2}} \Big|_{H=36} \rightarrow \max. \quad (15)$$

Обмеження у вигляді рівності:

$$100 = P_1 + P_2. \quad (16)$$

Обмеження у вигляді нерівностей:

$$65 \geq P_1 \geq 42, \quad (17)$$

$$72 \geq P_2 \geq 43. \quad (18)$$

Для розв'язання отриманої оптимізаційної задачі в MATLAB використано стандартний «солвер» Genetic Algorithm. За допомогою генератора випадкових чисел сформовано початкову популяцію можливих рішень з урахуванням обмежень (17) і (18). Початкова популяція приведена у табл. 2.

У результаті проведеного дослідження були отримані значення оптимального розподілу навантаження, які приведені у табл. 3.

Таблиця 2 – Початкова популяція рішень

| № | P ₁ , МВт | P ₂ , МВт | P ₃ , МВт | P ₄ , МВт | P ₅ , МВт | P ₆ , МВт |
|----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 51,9 | 48,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 56,7 | 43,3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 48,7 | 51,3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 52,7 | 47,3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 49,7 | 50,3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 45,8 | 54,2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | 43,3 | 56,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 55 | 45 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 45,9 | 54,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 54,5 | 45,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 47,1 | 52,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | 46,3 | 53,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 47,1 | 52,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 45,7 | 54,3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 43,6 | 56,4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 53,9 | 46,1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 47,3 | 52,7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 43 | 57 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 19 | 52,8 | 47,2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 48,1 | 51,9 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Таблиця 3 – Результати проведеного дослідження щодо оптимального розподілу навантаження між агрегатами

| Пріоритетність у ГРАП | | | | | |
|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| №2 | №7 | №8 | №1 | №4 | №5 |
| P ₁ , МВт | P ₂ , МВт | P ₃ , МВт | P ₄ , МВт | P ₅ , МВт | P ₆ , МВт |
| 56,95 | 43,05 | 0 | 0 | 0 | 0 |

За такого розподілу навантаження цільова функція (загальностанційний ККД) досягає свого максимуму та дорівнює **92,36%**.

Для порівняння визначено загальностанційний ККД при рівномірному розподіленні навантаження $P_{\text{зад}}=100$ МВт між гідроагрегатами №2 та №7. ($P_1=P_2=50$ МВт). Такий розподіл навантаження дає загальностанційний ККД **88,98 %**.

Таким чином, підвищення загальностанційного ККД при розподілі навантаження між агрегатами за запропонованим методом складає **3,38%**.

Нижче приведено порівняльний аналіз результатів рівномірного та оптимізованого розподілу навантаження між гідроагрегатами Дніпровської ГЕС-1 у системі ГРАП (табл. 4). Дослідження проводились: а) за різних значень навантаження що розподіляється; б) за різних робочих напорів, в) за різного складу агрегатів (за характеристиками турбін) у системі ГРАП.

Таблиця 4 – Результати проведених досліджень

| Напір | Склад агрегатів | Завдання за потужністю | | N* | Завдання за потужністю | | N | Завдання за потужністю | | N | Завдання за потужністю | | N |
|-------|-----------------|------------------------|-------|------|------------------------|-------|------|------------------------|-------|------|------------------------|-------|------|
| | | 100 | | 2 | 200 | | 4 | 300 | | 5 | 400 | | 6 |
| | | P* | O* | Δ* | P | O | Δ | P | O | Δ | P | O | Δ |
| 34 | 1/5 | 90,44 | 92,72 | 2,28 | 90,44 | 91,69 | 1,25 | 92,74 | 92,8 | 0,06 | 92,83 | 93,27 | 0,44 |
| | 2/4 | 90,49 | 92,44 | 1,95 | 90,49 | 91,35 | 0,86 | 92,52 | 92,75 | 0,23 | 92,12 | 92,89 | 0,77 |
| | 3/3 | 90,55 | 92,14 | 1,59 | 90,55 | 91,79 | 1,24 | 92,29 | 92,78 | 0,49 | 91,42 | 92,24 | 0,82 |
| 35 | 1/5 | 89,6 | 91,91 | 2,31 | 89,6 | 90,6 | 1 | 92,25 | 92,26 | 0,01 | 92,84 | 92,98 | 0,14 |
| | 2/4 | 89,67 | 92,02 | 2,35 | 89,67 | 91,38 | 1,71 | 91,94 | 92,47 | 0,53 | 92,31 | 92,47 | 0,34 |
| | 3/3 | 89,74 | 91,99 | 2,25 | 89,74 | 90,87 | 1,13 | 91,64 | 92,02 | 0,38 | 91,77 | 91,89 | 0,12 |
| 36 | 1/5 | 88,98 | 92,36 | 3,38 | 88,98 | 90,97 | 1,99 | 91,95 | 92,29 | 0,34 | 92,95 | 93,14 | 0,19 |
| | 2/4 | 89,11 | 92,16 | 3,05 | 89,11 | 91,08 | 1,97 | 92,02 | 92,07 | 0,05 | 92,73 | 93,06 | 0,33 |
| | 3/3 | 89,23 | 92,2 | 2,97 | 89,29 | 91,08 | 1,79 | 92,08 | 92,47 | 0,39 | 92,51 | 92,89 | 0,38 |

У табл. 4: P* - рівномірний розподіл навантаження, %; O* - оптимальний розподіл навантаження, %; N* - кількість задіяних у ГРАП агрегатів, шт.; Δ* - різниця ККД між рівномірним розподілом навантаження та оптимальним, %.

Висновки. Розроблений метод розподілу заданої потужності між гідроагрегатами ГЕС дає можливість отримати оптимальне навантаження гідроагрегатів у випадку, якщо характеристики їхніх турбін відрізняються, що дає техніко-економічний результат –

підвищення загальностанційного ККД ГЕС, що працює у системі ГРАП.

За даними результатами також можна побачити, що при максимально можливих значеннях навантаження підвищення загальностанційного ККД складає 0,1...0,5 %. Це пов'язано з тим, що при максимально навантаженні всі агрегати, які працюють в системі ГРАП, досягають свого номінального значення, що дозволяє машина працювати з найвищим ККД. Разом з цим, зі зменшенням заданого навантаження оптимальний розподіл дає результати від 1% до 2,5%, а в деяких випадках сягає більше 3%, що підтверджує ефективність застосування генетичного алгоритму для оптимізації групового регулювання активної потужності на ГЕС. При цьому забезпечується найвигідніший для заданої потужності та складу агрегатів загальностанційний ККД, що дозволяє зменшити витрати води на вироблення електроенергії.

Також цей метод дає можливість знизити кількість перевідних режимів гідроагрегатів через те, що у кожного гідроагрегату використовується весь рекомендований діапазон потужностей. Це дозволить полегшити роботу допоміжного обладнання ГЕС (регулятори швидкості, масло-напірні установки, компресорів відтискання води з камер робочих коліс гідроагрегатів, тощо).

Для покращення режимів експлуатації гідроагрегатів ГЕС у ГРАП важливим питанням є визначення пріоритетності включення/зупинки гідроагрегатів, причому пріоритет повинен базуватися на реальному технічному стані гідроагрегатів. Тому подальший розвиток досліджень у цьому напрямку передбачає розроблення моделей визначення пріоритету гідроагрегатів у ГРАП шляхом врахування стану основного та допоміжного обладнання ГЕС.

Список літератури: 1. *Редин, В. И.* Принципы построения и организация взаимодействия системы SCADA/AGC – Centralog ГЭС [Текст] / *В. И. Редин, А. Г. Баталов, Ю. Н. Бондаренко, Д. А. Олефир, А. Г. Денисенко* // Электрические сети и системы. – 2004. – № 3. – С. 3–8. 2. *Литвінов, В. В.* Оптимізація групового регулювання активної потужності на гідроелектростанціях за допомогою гене-

тичного алгоритму / *В. В. Литвінов* [Текст] // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць. Технічні науки. – 2015. – Вип. 3(71), Ч. 1. – С. 190–195. 3. *Арзамасцев, Д. А.* АСУ и оптимизация режимов энергосистем [Текст] / *Д. А. Арзамасцев, П. И. Бартоломей, А. М. Холян.* – М.: Высшая школа, 1983. – 208 с. 4. *Филлипова, Т. А.* Алгоритмическая структура подсистемы рационального управления составом агрегатов в АСУ ГЭС [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / *Т. А. Филиппова* // АСУ энергосистем и электростанций. – 1975. – С. 4–16. 5. *Митрофанов, С. В.* Разработка системы поддержки принятия решений на основе многокритериальной оптимизации состава агрегатов ГЭС: дис. ... канд. тех. наук [Текст] / *С. В. Митрофанов.* – Красноярск, 2013. – 213 с. 6. *Гладков, Л. А.* Биоинспирированные методы в оптимизации [Текст] / *Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик.* – М.: Физматлит, 2009. – 384 с. 7. *Тэрано, Т.* Прикладные нечеткие системы [Текст] / *Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено.* – М.: Мир, 1993. – 368 с. 8. *Balas, E.* Finding large cliques in arbitrary graphs by bipartite matching. Cliques, coloring, and satisfiability [Text] / *E. Balash, W. Niehaus* // DIMACS Discrete Mathematical Theoretical Computer Science. – 1996. – Vol. 26. – P. 29–49. 9. *Potumeyn, A. П.* Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / *А. П. Потумейн.* – Винница: ВНТУ, 1999. – 320 с. 10. *Рутковская, Д.* Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / *Д. Рутковская, Л. Рутковский.* – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.

Bibliography (translated): 1. *Redin, V., Batalov, A., Bondarenko, Yu., Olefir, D., Denisenko, A.* (2004). Printsipy postroeniya i organizatsii vzaimodejstviya sistemy SCADA/AGC – Centralog GES. Elektricheskie seti i sistemy, 3, 3–8. 2. *Litvinov, V.* (2015). Optimizatsia grupovogo reguliuvannya aktivnoi potuzhnosti na gidroelektrostantsiah za dopomogoyu genetichnogo algoritmu. Visnyk Natsionalnogo universytetu vodnogo gospodarstva ta pryrodokorystuvannya, 3(71), 190–195. 3. *Arzamastsev, D., Bartolomej, P., Holian, A.* (1983). ASU i optimizatsia rezhimov energosistem. Moscow: Vysshiaia shkola, 208. 4. *Filippova, T.* (1975). Algoritmicheskaya struktura podsystemy ratsionalnogo upravleniya sostavom agregatov v ASU GES. ASU system i elektrostantsiy, 4–16. 5. *Mitrofanov, S.* (2013). Razrabotka sistemy priniatia resheniy na osnove mnogokriterialnoy optimizatsii sostava agregatov GES. Krasnoyarsk, 213. 6. *Gladkov, L., Kureichik, V., Kureichik, V.* (2009). Bioinspirirovannye metody v optimizatsii. Moscow: Fizmatlit, 384. 7. *Terano, T.* (1993). Prikladnye nechetkie sistemy. Moscow: Mir, 368. 8. *Balas, E., Niehaus, W.* (1996). Finding large cliques in arbitrary graphs by bipartite matching. Cliques, coloring, and satisfiability. DIMACS Discrete Mathematical Theoretical Computer Science, 26, 29–49. 9. *Rotshtein, A.* (1999). Intelktualnye tehnologii identifikatsii: nechetkaya logika, geneticheskie algoritmy, nejronnye seti. Vinnytsia: VNTU, 320. 10. *Rutkovskaya, D., Rutkovskiy, L.* (2004). Nejrionnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy. Moscow: Goriachaya linia – Telekom, 452.

Надійшла (received) 20.12.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Літвінов Володимир Валерійович – кандидат технічних наук, Запорізька державна інженерна академія, доцент кафедри гідроенергетики, просп. Соборний, 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006, e-mail: v.v.litvinov1985@mail.ru.

Галько Євгенія Валеріївна – магістрант, Запорізька державна інженерна академія, доцент кафедри гідроенергетики, просп. Соборний, 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006, e-mail: galkozhenya@yandex.ru.

РЕФЕРАТИ

УДК 621.382.323

Конструкторсько-технологічний аналіз польових гетеротранзисторів високої швидкодії для субмікронних структур ВІС/НВІС/ Новосядлий С. П., Бойко С. І. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.3–8. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459.

Проведено аналіз швидкодії гетероструктурних польових транзисторів із селективним легуванням (ПТГСЛ), багатоканальних ПТГСЛ та ПТГСЛ з оберненою структурою, а також польових транзисторів з гетерозатвором високої щільності. На практиці отримані ПТГСЛ із значенням часу затримки в кільцевому генераторі $\tau_D = 12,5\text{--}25$ пс при $T = 300$ К потужністю $P_D = 0,9\text{--}4,0$ мВт. Використання таких транзисторів в комплементарних вентилях, дозволяє збільшити їх швидкодію в 2,5-3 раз, в порівнянні з кремнієвими.

Ключові слова: польовий транзистор, гетероперехід, арсенід галію, двомірний електронний газ.

УДК 669.295

Альтернативні технології виробництва титану та його сплавів/ Листопад Д. О., Карпенко Г. В., Джуган О. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.8–12. – Бібліогр.: 19 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглядається існуючі та нові технології виробництва титану, їхні переваги й недоліки. Розглянуто три підходи розвитку технологій отримання титану та його сплавів. Надано короткі описи більшості альтернативних електрохімічних, плазмохімічних та металотермічних процесів, а також наведено механохімічні способи отримання титану. Окреслені перспективи розвитку подібних технологій. Визначені питання, що обмежують промислове впровадження альтернативних технологій отримання титану та його сплавів. Зазначено, що актуальними є задачі значного зниження витрат та підвищення продуктивності обладнання стосовно магністермічного способу отримання титану.

Ключові слова: титан губчастий, метод, відновлення, технологія, вихідна сировина, розчин, порошок, сплав, реактор, тетрахлорид титану

УДК 544

Формування структури металів легованих оксидом ітрію/ Чередник М. І. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.12–15. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

В рамках даної статті проведено вивчення впливу наночастинок оксиду ітрію на формування структури металу за допомогою рентгенівської спектроскопії поглинання.

Виявлено локальне оточення трасування елементів металу після механічного легування і після консолідації. Такий аналіз допомагає визначити як і наскільки впливає Y_2O_3 на склад металу під час механічного легування і показує кількість нанорозмірних Y-збагачених оксидів під час консолідації. Спільне застосування рентгенівської спектроскопії поглинання і електронної мікроскопії спрямоване не тільки на поліпшення процесу кореляції, але і на оптимізацію хімічних і фізичних процесів, що беруть участь у формуванні.

Ключові слова: оксид ітрію, структура металу, консолідація, рентгенографія, електронна мікроскопія, кореляція, трасування, локальне оточення.

УДК 519.65:004.94

Модель акустичної томографії з врахуванням відбиття та викривлення траскторій звукових хвиль/ Головкин В. О., Медведєв Д. Г. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.16–19. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Особливість запропонованого підходу полягає в апроксимації області зондування в томографії білінійним сплайном, який регулює розв'язок. Мета полягає у відновленні внутрішньої структури досліджуваного об'єкту. При зондуванні суттєво неоднорідного середовища відбувається відбиття й викривлення шляху зондування. Викривлення променя апроксимуємо ламаною, враховуючи зміни швидкості на границях сітки сплайна. Вирішено пряму і обернену томографічну задачу для даної моделі. Проведено ряд експериментів з різним значенням шуму.

Ключові слова: акустична томографія, рефракція, заломлення, білінійний сплайн, неруйнівний контроль, пряма томографічна задача, обернена томографічна задача.

УДК 53.082.539

Оценка основных погрешностей измерения показателя преломления аналита прибором на основе явления поверхностного плазмонного резонанса/ Дорожинский Г. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.20–22. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Установлено, що основними источниками погрешностей измерения показателя преломления прибором на основе поверхностного плазмонного резонанса является температурный режим его работы, длина волны лазера и топология поверхности чувствительного элемента. Основными направлениями уменьшения величин погрешностей измерения является увеличение длины волны лазера, уменьшение шероховатости поверхности чувствительного элемента и стабилизация температурных режимов работы прибора. Результаты исследований могут быть использованы для совершенствования существующих и создания новых приборов на основе поверхностного плазмонного резонанса.

Ключевые слова: показатель преломления, поверхностный плазмонный резонанс, погрешность измерения, длина волны излучения, шероховатость поверхности, температура.

УДК 656.56/681.5:004.78

Розробка інформаційного забезпечення процесу моніторингу регіонального газопостачання/ Нефьодов Л. И., Шевченко М. В., Гавриш М. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.23–28. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглядається структура інформаційно-довідкового забезпечення синтезу системи моніторингу регіонального газопостачання та особливості її реалізації за допомогою сучасних технологій. Результати досліджень і розробки можуть бути використані при синтезі та експлуатації системи моніторингу регіонального газопостачання, оскільки дозволяють відслідковувати і отримувати інформацію не тільки про стан продукту, що транспортується, а й отримувати інформацію про сам газопровід. Запропоновані моделі вибору програмного забезпечення дозволяють підвищити ефективність прийняття рішень в умовах, коли критерії вибору задані нечіткими лінгвістичними змінними.

Ключові слова: інформаційне забезпечення, система моніторингу, регіональне газопостачання, структура, база даних, моделі.

УДК 621.37/.38/.39; 621.372.2

Моделі між'єднань компонентів комп'ютерних систем/ Кудря В. Г. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.29–33. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Виконано дослідження способів інтерпретації мережі між'єднань високочастотної електроніки. Системний спосіб їх подання у вигляді синтезу польової та ланцюгової структури дозволив розробити теоретичне обґрунтування схемотехнічного зображення електромагнітних процесів провідників, що утворюють комунікативну мережу компонентів, що виконують локальні функціональні перетворення.

Отримані макромоделі міжз'єднань, що дозволяють виконувати оцінки впливу, як внутрішніх, так і зовнішніх позасистемних електромагнітних перешкод. Результати дослідження спрямовані на підвищення ефективності проектування засобів інформаційно комунікаційних технологій.

Ключові слова: високочастотна електроніка, моделі електромагнітних перешкод, MEMC, NEMC, CAD.

УДК 615.47

Метод побудови внутрішньо мозкової системи стереотаксичних координат на основі лофтігової моделі третього шлуночка/ Аврун О. Г., Тимкович М. Ю. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 36(1145). – С.33–38. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Робота присвячена можливостям автоматизованої реконструкції моделі третього шлуночка з наступним її використанням при нейронавігації, що дозволяє виконувати побудову внутрішньо мозкової системи стереотаксичних координат по томографічним даним з урахуванням індивідуальної варіабельності пацієнта. У роботі розглядаються основні етапи з реконструкції лофтігової моделі за набором томографічних горизонтальних зрізів. Наочно показана можливість автоматизованої побудови лофтігової моделі третього шлуночка, з урахуванням певних обмежень до вхідних даних.

Ключові слова: нейронавігація, стереотаксис, лофтігова модель, третій шлуночок, комп'ютерна томографія, реконструкція, сегментація.

УДК 004.519.7 (045)

Моделі логічної конверсії як основа пошуку синонімічних конструкцій в електронних документах/ Вавіленкова А. І. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 36(1145). – С.38–42. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Проаналізовано основні способи появи дублікатів серед електронних документів. Запропоновано формальний апарат, що базується на лексичних засобах перефразування як основного джерела виникнення дублікатів. Формалізовано опис тотожних синтаксичних конструкцій залежно від їх лексичних функцій. Проаналізовано зв'язки між компонентами логіко-лінгвістичних моделей двох речень природної мови за наявності у їх складі тотожних синтаксичних конструкцій. Розроблено базові моделі логічної конверсії та описано правила утворення інваріантних форм логіко-лінгвістичних моделей.

Ключові слова: синоніми, логіко-лінгвістична модель, інваріантна форма, синтаксичні конструкції, дублікат, природна мова.

УДК 004.94+001:372.82

Налаштування моделі навчання з параметричною адаптацією/ Дубовик Т. М., Кодола Г. М., Волинєць Н. С. / Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 36(1145). – С.42–46. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розроблена модель навчання з параметричною адаптацією. Дана модель представлена у формі регресійного рівняння, яке пов'язує між собою показники засвоєння досліджуваного матеріалу з характеристиками особистості. Для визначення параметрів моделі учня підібрані тести, які покладені за основу спеціалізованої комп'ютерної системи як елемента підтримки навчання. Адаптація моделі здійснюється стосовно до процесу вивчення навчальних дисциплін, визначених навчальною програмою спеціальностей "спеціалізовані комп'ютерні системи" та "інформаційні системи". В основу адаптації системи завдань покладено такі відомі принципи: дидактичної доцільності; постійної орієнтації на кінцевий результат; системного підходу, обліку дидактичної складності системи завдань, обліку параметрів моделі учня. Вихідні дані для розрахунків сформовані у вигляді двох реляційних баз даних:

1) база даних всіх студентів, що містить рейтинги кожного студента з усіх вивчених дисциплін;

2) база даних всіх студентів, що містить дані тестів, що визначають інтелектуальні та психофізіологічні параметри кожного студента. У даній статті представлений метод підвищення якості освіти шляхом створення моделі навчання з параметричною адаптацією.

Ключові слова: спеціалізована комп'ютерна система, база даних, когорта, параметрична адаптація, математична модель, кореляція, рейтинг, ситуаційна задача.

УДК 658.5:004.94

Технологія налаштування прогнозних моделей на основі ретроспективного аналізу власних фазових траєкторій/ Романенков Ю. О. // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145). – P.47–52. – Bibliogr.: 16. – ISSN 2079-5459.

Запропоновано метод параметричного синтезу прогнозної моделі на основі ретроспективного аналізу власних фазових траєкторій внутрішнього параметра моделі, який дозволяє здійснювати обґрунтований вибір значень настроювального параметра відповідно до внутрішньої динаміки, що виражено у вигляді фазових портретів, тим самим підвищуючи точність прогнозування в порівнянні з традиційними пошуковими підходами до вибору параметра прогнозної моделі. Пропонований підхід до параметричного синтезу прогнозної моделі дозволяє аналітично оцінити якість моделі в ході її використання, тим самим формалізуючи процес параметричної настройки прогнозної моделі.

Ключові слова: параметричний синтез прогнозної моделі, фазовий аналіз, ретроспективний фазовий портрет.

УДК 621.396.931

Дослідження методу автоматизованого контролю геометричних параметрів з'єднань оптичних волокон/ Малік Б. О., Селенкова Н. П. / Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 36(1145). – С.52–57. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглянута задача контролю геометричних параметрів місця зварювання різнотипних оптичних волокон при побудові систем автоматизації та управління механіко-технологічними системами та комплексами. На основі інтерференційних методів контролю розроблені методи дискретизації інтерференційних картин та їх подальший аналіз. Запропоновано метод визначення меж з'єднань різнотипних оптичних волокон, створено програмне забезпечення для його реалізації. Проведено експериментальне дослідження методу з використанням установки для отримання інтерференційних картин ОВ та розробленого програмного забезпечення, що автоматизує роботу інтерференційного методу.

Ключові слова: оптичне волокно, площина з'єднання, ПЗЗ – фотоприймач, інтерференційні методи, програмне забезпечення.

УДК 65.014; 658.012.32

Формування команд виконавців високотехнологічних проектів на інноваційних підприємствах з використанням експертного оцінювання сценаріїв/ Шостак О. І. / Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 36(1145). – С.57–63. – Бібліогр.: 29 назв. – ISSN 2079-5459.

Описано підхід до формування команд виконавців високотехнологічних проектів, спрямований на зниження в процесі реалізації майбутнього проекту невизначеності, пов'язаної з встановленням відповідності між завданнями проекту, що мають інноваційний характер, і рівнем компетентності потенційних виконавців. Ключовими етапами підходу є: формування бази претендентів на участь у проекті; оцінювання компетентності претендентів; формування альтернативних варіантів складу команди проекту; аналіз альтернатив за допомогою сценарних методів колективного експертного оцінювання; вибір оптимального варіанта команди виконавців проекту. Наведено методику розрахунку ефективності застосування підходу в процесі розробки високотехнологічних проектів.

Ключові слова: високотехнологічний проект, інноваційне підприємство, команда виконавців проекту, експертне оцінювання сценаріїв.

УДК 621.3: 622: 519.24

Оцінки деяких особливостей гірничого виробництва/ Кобыляцький Б. Б. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 36(1145). – С.64–67. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

На сучасному етапі технічного розвитку всі комплексні системи промислового виробництва і зокрема вугільної промисловості, вимагають автоматизації всього процесу включає роботу видобувного та транспортного устаткування, що не можна виконати без детального тематичного опису всіх специфічних явищ характеризують конкретне виробництво. Тому, для рішення задачі управління складними технологічними, багатофакторними системами, пропонується використання непараметричної статистики, які у вітчизняній спеціальній літературі не знайшли належного відображення.

Ключові слова: вугільна промисловість, оцінка, непараметрична статистика.

УДК 662.741.3.022

Вивчення можливості енерготехнологічної переробки слабоспівного вугілля / Шакир Ш. М. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 36(1145). – С.68–70. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Дана робота присвячена дослідженню можливості використання слабо співного малометаморфізованого вугілля у шихтах для коксування, що у свою чергу дозволить знизити собівартість вугільних шихт без погіршення якості доменного коксу.

Проведений аналіз технологічної переробки слабоспівного малометаморфізованого вугілля дозволив визначити перспективне направлення енерготехнологічної переробки твердих горючих копалин.

У роботі проведено дослідження глибокого збагачення на властивість слабо співного вугілля декількох шахт. Проведений аналіз глибокого збагачення малометаморфізованого вугілля у важкому середовищі. Вивчена природа вугільних зразків до та після збагачення.

Ключові слова: Малометаморфізоване вугілля, слабоспівне вугілля, глибоке збагачення, петрографічний склад, вміст вітриніту.

УДК 621.74

Шляхи поліпшення вибивання рідкоскляних сумішей/ Довгаль А. М., Костіков А. А., Кузнецов, А. А., Загребельний С. Л. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 36(1145). – С.70–75. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

У даній роботі описані результати досліджень з впливу природи шаруватих з'єднань графіту на вибиваемість жідкостекольних формувальних і стрижневих сумішей. Для досліджень були використані шаруваті з'єднання графіту двох типів: перший вміщувала інтеркалантов галогеніди перехідних металів, а другий - з'єднання донорно-акцепторного типу. Отримані результати показали, що шаруваті з'єднання графіту першого типу внаслідок низького значення коефіцієнта термічного розширення малоефективні для використання в якості модифікаторів, що підвищують вибиваемість жідкостекольних сумішей.

Ключові слова: шаруваті з'єднання графіту, вибиваемість, інтеркаланти, жидкостекольной суміші.

УДК 66.091.3

Малеїнізації олеїнової кислоти в м'яких умовах/ Ал-Хаддад Дж. А., Кисельова-Логінова К. В., Попов Є. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 36(1145). – С.75–80. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглянуто малеїнізацію ненасичених жирних кислот на прикладі олеїнової кислоти в умовах відмінних від промислових з метою зниження енерговитрат і отримання більш чистого продукту. Припущений механізм взаємодії олеїнової кислоти з малеїновим ангідридом в середовищі неполярних апротонних розчинників через утворення ізополярного шестіцентрового проміжного стану. Показані всі можливі продукти малеїнізації і їх практичне застосування. Визначено оптимальні параметри технології малеїнізації олеїнової кислоти. Рекомендована сфера застосування продуктів взаємодії малеїнового ангідриду з олеїновою кислотою в промисловості.

Ключові слова: малеїнізація, олеїнова кислота, малеїновий ангідрид, аддукт, апротонний органічний розчинник, каталізатор.

УДК 656.073.7: 631.372-631.374

Критерій формування збирально-транспортного комплексу з урахуванням сучасних економічних умов агропромислової галузі України/ Музильов Д. О., Бережна Н. Г., Кутя О. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 36(1145). – С.080–83. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Зазначено відсутність в роботі аграрного комплексу універсальної методики визначення раціонального варіанту технології доставки сільськогосподарських вантажів з урахуванням можливої продуктивності підприємства. На підставі проведеного аналізу існуючих транспортно-технологічних схем збирання й доставки сільськогосподарських вантажів запропоновано п'ять базових. Обгрунтовано вибір продуктивності комбайну, як першоутворюючого елементу у визначенні складу збирально-транспортного комплексу. Запроваджено новий інтегративний критерій визначення раціональної структури парку і наведена методика його економічного обгрунтування.

Ключові слова: транспортно-технологічна схема доставки, збирально-транспортний комплекс, критерій, економічна ефективність.

УДК 677.011: 677.02

Оцінка значущості технологічних процесів на текстильних підприємствах/ Мусасва Т. Т., Нурієв М. Н. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 36(1145). – С.84–87. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Викладено завдання оцінки значущості технологічних процесів на текстильних підприємствах. Запропонована методика, яка дозволяє визначити їх впливу на результативність структурних підрозділів. Значимість процесів розрахована із застосуванням методології функціонально-вартісного аналізу. Як приклад вибраний оптимальний варіант вдосконалення процесів матеріально-технічного постачання і підтверджена його ефективність.

Ключові слова: текстильні підприємства, значимість, функціонально-вартісний аналіз, ієрархічні рівні, процеси матеріально - технічного постачання, оптимальний варіант.

УДК 621.822

Опис експериментальної установки для дослідження гідростатодинамічного під'ятника з карманами Релея/ Сорокіна Т. М. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 36(1145). – С.88–91. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглянуто опис експериментальної установки для дослідження гідростатодинамічного під'ятника с карманами Релея на різних режимах експлуатації. В роботі приведені основні компоненти і системи цієї установки, конструкція та пристрій модернізованої експериментальної головки, розміщення та особливості навантажуючого пристрою, склад та конструкція досвідченого зразка гідростатодинамічного під'ятника з вирівнюючим пристроєм, типи та призначення встановлених датчиків та приладів реєстрування, склад та опис автоматизованого комплексу реєстрації параметрів та пристроїв контролю.

Ключові слова: експериментальна установка, гідростатодинамічний під'ятник, експериментальна головка, автоматизований комплекс реєстрації параметрів.

УДК 629.7.036.001

Єдина теорія рухів на неперервних потоках. Вивід формули тяги та польотного (тягового) ККД трубки току, наприклад, польового шлангу, як рушія/ Мамедов Б. Ш., Штанько П. К. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.92–96. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В даній статті розглядаються недоліки сучасної теорії повітря-реактивних двигунів, у котрій всі її фундаментальні основи, до яких відносяться термодинамічний цикл турбореактивних двигунів у координатах P-V, T-S, формули тяги та польотного (тягового) ККД повітря-реактивних двигунів, теорема о підйомній силі продувального профілю, являються помилковими, що призводить до неточного опису принципу роботи турбореактивних двигунів, фізичних процесів, маючих місце при роботі останніх, неточному проектуванню, пов'язаному з наявністю у турбореактивних двигунах близько семи конструктивних помилок, що призводить до затримки технічного прогресу у галузі авіа-двигунобудування, оскільки існуюча формула тяги, $R = G_c C_c$, не працює, тому що завищує тягу більш ніж на 300 % у порівнянні з реальною тягою.

Ключові слова: формула тяги, польотного (тягового) ККД трубки току.

УДК 536.423+532.528

Дослідження параметрів водно-спиртових сумішей отриманих в умовах знакозмінних імпульсів тиску/ Шурчкова Ю. О. Дубовкіна І. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.97–100. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Проведено дослідження фізико-хімічних параметрів, а саме кількості шкідливих домішок: 1-пропанолу, 2-пропанолу, ацетальдегіду, метанолу, у водно-спиртових сумішах, які були одержані в умовах знакозмінних імпульсів тиску із застосуванням роторно-пульсаційного апарату, в якому реалізована основна концепція дискретно-імпульсного введення енергії. Визначені основні фактори, а саме: час оброблення, температура вихідних компонентів, напруження зсуву потоку, швидкості зсуву потоку, високочастотні осциляції та коливання, які впливають на кількість шкідливих домішок.

Ключові слова: водно-спиртові суміші, процес гідратації, роторно-пульсаційний апарат, дискретно-імпульсне введення енергії, знакозмінні імпульси тиску

УДК 613.5(045)

Оцінка фізичних факторів середовища в салонах краси/ Сидоров О. В., Богомазюк Я. Ю., Майданець А. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.101–104. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Робота присвячена дослідженню фізичних факторів середовища (температура та вологість повітря, швидкість переміщення повітря, шум, освітленість приміщень, електростатичне поле, електромагнітне випромінювання, іонізуюче випромінювання, легкі аероіони) у салоні краси «НІККО» (м. Буча). Метою роботи було оцінити відповідність рівнів фізичних факторів середовища у салоні краси встановленим нормативним вимогам та розробити заходи з нормалізації цих факторів у разі їх невідповідності. Новизна отриманих результатів полягає в тому, що вперше були досліджені фізичні фактори приміщень салону краси та оцінені рівні їх безпечності.

Ключові слова: фізичні фактори середовища, салон краси, санітарні норми, нормалізація фізичних факторів.

УДК 658.562:628

Планування контролю багатокомпонентних димових газів із вибором нижньої межі забруднювачів, що ранжировані/ Любимова Н. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.104–107. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглядається можливість використання методів локалізованого спектрального аналізу для оцінки невизначеності випадкових амплітудних змін в гармонійних невідповідних складових багатокомпонентного процесу забруднення атмосфери енергетичним підприємством. Проведено порівняльне оцінювання вірогідності викидів (роздільно по компонентах забруднення) на підґрунті аналізу дисперсій вейвлет-коефіцієнтів гармонійних складових контрольованих у часі компонент. Застосування даного методу адаптує план контролю до реальних умов перебігу технологічних процесів та підвищує його вірогідність.

Ключові слова: контроль, план, забруднення, багатокомпонентне, вірогіднісна модель, вейвлет-аналіз, ранжування, адаптація.

УДК 537.6+57.04+616-006

Рух і накопичення магнітних наночастинок в зоні пухлини організму експериментальних тварин під впливом постійного магнітного поля/ Ніколасенко Т. Ю., Шелест Д. В., Білюк А. А., Руденко В.М., Ступак Ю. А., Пилипчик С. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.107–111. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Запропоновано методику дослідження транспортування препарату на основі наночастинок магнетиту, кровотоком тварини та наведено перші результати її використання для вивчення характеру руху і процесів накопичення магнітних наночастинок в зоні пухлини у тварин з перещепленою карциномою легень Льюїса під впливом постійного магнітного поля з урахуванням параметрів кровообігу. Показано, що питома масова магнітна проникність органів може слугувати мірою накопичення наночастинок магнетиту у них. Зафіксовано більш виражене накопичення препарату в зоні пухлини при внутрішньочеревному способі введення.

Ключові слова: спрямований транспорт ліків, нанорідини, магнітна сприйнятливність.

УДК 004.942+574.51

Алгоритм розробки інформаційної моделі екологічного стану штучних водойм/ Дубовик Д. Д. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.111–115. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглядається моделювання стану штучних водосховищ. Розроблено алгоритм побудови інформаційної моделі для оцінки екологічного стану штучних водойм. Для порівняння рівнів концентрацій речовин у воді по зонах водосховища в інформаційній моделі використовується ранговий аналіз. Кожна речовина характеризується динамікою зміни його концентрації, яка описується відповідною графічною характеристикою. Подібні графіки дозволяють визначити рівень забруднення в потрібний момент часу, допускають можливість вивчення динаміки забруднення в певному інтервалі часу спостереження, що дає можливість отримати статистичні оцінки для вирішення завдання спостереження, наприклад, по сезонах.

Ключові слова: інформаційна модель, штучне водосховище, математична модель, база даних, елемент, система, моніторинг, поліном, оптимізація.

УДК 621.319.7.001

Підвищення ефективності очищення повітряного потоку від високо-дисперсного пилу/ Голінько В. І., Пустовий Д. С. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.116–121. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Показана можливість застосування імпульсного коронного розряду для цілей коагуляції дрібнодисперсної фази аерозолі при використанні зарядного пристрою з системою коронуючих електродів типу «вістря» і заземленого електроду, виконаного у вигляді розташова-

ної поперек потоку запиленого повітря великочарункової сітки. Встановлено, що при значній шпаруватості імпульсної напруги, величина заряду великих частинок пилу і час дії зовнішнього електричного поля під впливом якого здійснюється спрямований рух частинок пилу до заземленого електроду і стінок зарядної камери значно менше ніж в полі уніполярного постійного коронного розряду.

Ключові слова: аерозоль, коагуляція, електроіонізація, пил, електричне поле, зарядна камера, коронний розряд.

УДК 614.89

Теоретичні дослідження опору дихання фільтрувального респіратора на циклічному потоці повітря/ Чеберячко С. І., Радчук Д. І., Чеберячко Ю. І. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 36(1145). – С.121–127. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Визначення теоретичної залежності для розрахунку перепаду тиску фільтрувальних респіраторів на пульсуючому потоці повітря. До процесу дослідження ламінарного руху газу у пористому середовищі використовували спрощені рівняння Нав'є-Стокса у формі Ейлера з урахуванням фіктивних масових сил опору Жуковського. Встановлено, що розподіл тиску на фільтрувальному елементі респіратора, зі збільшенням фази вдиху, стає більш нерівномірний за рахунок виключення частини площі півмаски й нерівномірності щільності упакування волокон. Визначені фактори, які впливають на рівномірність розподілу повітряного навантаження за висотою респіратора. Визначено рівняння руху повітря через фільтрувальний елемент респіратора під час дихання з урахуванням об'ємів дихання. Встановлена залежність між коефіцієнтом проникності та пористістю фільтрувального шару, що дозволяє забезпечити максимальну захисну ефективність фільтрувального респіратора, за рахунок рівномірного розподілу повітряного навантаження за висотою фільтрувальної півмаски при різній частоті дихання. Рациональні показники пористості фільтрувального шару, для забезпечення мінімального перепаду тиску для протипилового респіратора знаходяться у діапазоні 0,4 – 0,5.

Ключові слова: протипиловий респіратор, перепад тиску, опір диханню, частота дихання, глибина дихання, навантаження.

УДК 621: 658.562 (043.5)

Система управління якістю в автомобілебудівній компанії Iran Khodro / Хаді Аміне/ Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 36(1145). – С.128–131. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті проведено аналіз системи управління якістю в компанії Iran Khodro, яка є найбільшим автомобілебудівним підприємством в Ірані і виробляє автобуси, мікроавтобуси, легкові автомобілі, вантажівки, а також запчастини до них. Продукція компанії Iran Khodro відповідає найсучаснішим стандартам якості, що підтверджується Сертифікатом відповідності ISO 9001, яка видана Комунальним Міжнародною організацією зі стандартизації RW-TUV. Компанія Iran Khodro реалізує принцип «Орієнтація на споживача», що дозволяє їй враховувати переваги в якості продукції, що випускається в умовах сучасної економіки.

Ключові слова: якість, управління якістю, промислове підприємство, конкурентоспроможність, стандарт.

УДК 621.224

Удосконалення методу розподілу навантаження між гідроагрегатами з неідентичними характеристиками турбін/ Літвінов В. В., Галько Є. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – No 36(1145). – С.131–137. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В статті досліджено проблему роботи гідроагрегатів у системі САРЧП та запропоновано її вирішення шляхом удосконалення методу розподілу навантаження між гідроагрегатами при роботі в САРЧП. Удосконалення методу полягає в тому, що на гідроелектростанціях, які мають неідентичні характеристики турбін навантаження між агрегатами розподіляється виходячи з умови максимізації загальностанційного ККД та мінімізації кількості перевідних режимів. Для розв'язання сформованої оптимізаційної задачі використано генетичний алгоритм.

Ключові слова: гідроагрегат, турбіна, оптимізація, завдання потужності, генетичний алгоритм, ГРАП, загальностанційний ККД.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.382.323

Конструктивно-технологический анализ полевых гетеротранзисторов высокого быстродействия для субмикронных структур БИС/СБИС/Новосядлый С. П., Бойко С. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 36(1145). – С.3–8. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459.

Проведен анализ быстродействия гетероструктурных полевых транзисторов с селективным легированием (ПТГСЛ), многоканальных ПТГСЛ и ПТГСЛ с обратной структурой, а также полевых транзисторов с гетерозатвором высокой плотности. На практике полученные ПТГСЛ со значением времени задержки в кольцевом генераторе $\tau_D = 12,5\text{--}25$ пс при $T = 300$ К мощностью $P_D = 0,9\text{--}4,0$ мВт. Использование таких транзисторов в комплементарных вентилях позволяет увеличить их быстродействие в 2,5–3 раз, по сравнению с кремниевыми.

Ключевые слова: полевой транзистор, гетеропереход, арсенид галлия, двумерный электронный газ.

УДК 669.295

Альтернативные технологии производства титана и его сплавов/ Листопад Д. А., Карпенко А. В., Джуган А. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 36(1145). – С.8–12. – Бібліогр.: 19 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассматриваются существующие и новые технологии производства титана, их преимущества и недостатки. Рассмотрены три подхода развития технологий получения титана и его сплавов. Предоставлены краткие описания большинства альтернативных электрохимических, плазмохимических и металлургических процессов, а также приведены механохимические способы получения титана. Определены перспективы развития подобных технологий получения титана и его сплавов. Обозначено, что актуальными являются задачи значительного снижения затрат и повышения производительности оборудования, касательно магнийтермического способа получения титана.

Ключевые слова: титан губчатый, метод, восстановление, технология, сырье, раствор, порошок, сплав, реактор, тетрахлорид титана

УДК 544

Формирование структуры металлов легированных оксидом иттрия/ Чередник М. И. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 36(1145). – С.12–15. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

В рамках данной статьи проведено изучение влияния наночастиц оксида иттрия на формирование структуры металла при помощи рентгеновской спектроскопии поглощения.

Выявлено локальное окружение трассировки элементов металла после механического легирования и после консолидации. Такой анализ помогает определить, как и насколько влияет Y_2O_3 на состав металла во время механического легирования и показывает количество наноразмерных Y-обогащенных оксидов во время консолидации. Совместное применение рентгеновской спектроскопии поглощения и просвечивающей электронной микроскопии направлено не только на улучшение процесса корреляции, но и на оптимизацию химических процессов, участвующих в формировании.

Ключевые слова: оксид иттрия, структура металла, консолидация, рентгенография, электронная микроскопия, корреляция, трассировка, локальное окружение.

УДК 519.65:004.94

Модель акустической томографии с учетом отражения и преломления траекторий звуковых волн/ Головки В. А., Медведев Д. Г. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 36(1145). – С.16–19. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Особенность предложенного подхода заключается в аппроксимации области зондирования в томографии билинейным сплайном, который регуляризирует решение. Цель состоит в реконструкции внутренней структуры исследуемого объекта. При зондировании существенно неоднородной среды происходит отражение и преломление акустической волны. Искривление луча аппроксимируем ломаной, учитывая изменения скорости на границах сетки сплайна. Решено прямую и обратную задачу для данной модели. Проведено ряд экспериментов с различными значениями шума.

Ключевые слова: акустическая томография, отражение, преломление, билинейный сплайн, неразрушающий контроль, прямая томографическая задача, обратная томографическая задача.

УДК 53.082.539

Оценка основных погрешностей измерения показателя преломления ананта прибором на основе явления поверхностного плазмонного резонанса/ Дорожинский Г. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 36(1145). – С.20–22. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Установлено, что основными источниками погрешностей измерения показателя преломления прибором на основе поверхностного плазмонного резонанса является температурный режим его работы, длина волны лазера и топология поверхности чувствительного элемента. Основными направлениями уменьшения величин погрешностей измерения является увеличение длины волны лазера, уменьшение шероховатости поверхности чувствительного элемента и стабилизация температурных режимов работы прибора. Результаты исследований могут быть использованы для совершенствования существующих и создания новых приборов на основе поверхностного плазмонного резонанса.

Ключевые слова: показатель преломления, поверхностный плазмонный резонанс, погрешность измерения, длина волны излучения, шероховатость поверхности, температура.

УДК 656.56/681.5:004.78

Разработка информационного обеспечения процесса мониторинга регионального газоснабжения/ Нефедов Л. И., Шевченко М. В., Гавриш М. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 36(1145). – С.23–28. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассматривается структура информационно-справочного обеспечения синтеза системы мониторинга регионального газоснабжения и особенности ее реализации с помощью современных технологий. Результаты исследований и разработки могут быть использованы при синтезе и эксплуатации системы мониторинга регионального газоснабжения, поскольку позволяют отслеживать и получать информацию не только о состоянии транспортируемого продукта, но и получать информацию о самом газопроводе. Предложенные модели выбора программного обеспечения позволяют повысить эффективность принятия решений в условиях, когда критерии выбора заданы нечеткими лингвистическими переменными.

Ключевые слова: информационное обеспечение, система мониторинга, региональное газоснабжение, структура, база данных, модели.

УДК 621.37/.38/.39/: 621.372.2

Модели межсоединений компонентов компьютерных систем/ Кудря В. Г. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 36(1145). – С.29–33. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Выполнены исследования способов интерпретации сети межсоединений высокочастотной, в том числе и нанотехнологической электронной. Системный способ их представления в виде синтеза полевой и цепной структуры позволил разработать теоретическое обоснование схематического изображения электромагнитных процессов проводников, образующих коммуникативную сеть компонентов, выполняющих локальные функциональные преобразования. Полученные макромоделли межсоединений, позволяющие выполнять оценки влияния, как внутренних, так и внешних внесистемных электромагнитных помех. Результаты исследования направлены на повышение эффективности проектирования средств информационно-коммуникационных технологий.

Ключевые слова: высокочастотная электроника, модели электромагнитных помех, МЭМС, НЭМС, САД.

УДК 615.47

Метод построения внутримозговой системы стереотаксических координат на основе лотфинговой модели третьего желудочка/ Аврунин О. Г., Тымкович М. Ю. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.33–38. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Работа посвящена возможностям автоматизированной реконструкции модели третьего желудочка с последующим её использованием при нейронавигации, что позволяет выполнять построение внутримозговой системы стереотаксических координат по томографическим данным с учетом индивидуальной вариабельности пациента. В работе рассматриваются основные этапы по реконструкции лотфинговой модели по набору томографических горизонтальных срезов. Наглядно показана возможность автоматизированного построения лотфинговой модели третьего желудочка, с учетом определенных ограничений к исходным данным.

Ключевые слова: нейронавигация, стереотаксис, лотфинговая модель, третий желудочек, компьютерная томография, реконструкция, сегментация.

УДК 004.519.7 (045)

Модели логической конверсии как основа поиска синонимических конструкций в электронных документах / Вавиленкова А. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.38–42. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Проанализированы основные способы появления дубликатов среди электронных документов. Предложен формальный аппарат, который базируется на лексических возможностях перефразирования как основного источника появления дубликатов. Формализовано описание тождественных синтаксических конструкций в зависимости от их лексических функций. Проанализированы связи между компонентами логико-лингвистических моделей двух предложенных естественного языка при наличии в их составе тождественных синтаксических конструкций. Разработаны базовые модели логической конверсии, а также описаны правила создания инвариантных форм логико-лингвистических моделей.

Ключевые слова: синонимы, логико-лингвистическая модель, инвариантная форма, синтаксические конструкции, дубликат, естественный язык.

УДК 004.94+001:372.82

Настройка модели обучения с параметрической адаптацией/ Дубовик Т. Н., Кодола Г. Н., Вольнец Н. С. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.42–46. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Разработана модель обучения с параметрической адаптацией. Данная модель представлена в форме регрессионного уравнения, которое связывает между собой показатели усвоения изучаемого материала с характеристиками личности. Для определения параметров модели обучаемого подобраны тесты, которые положены за основу специализированной компьютерной системы как элемента поддержки обучения. Адаптация модели осуществляется применительно к процессу изучения учебных дисциплин, определенных учебной программой специальности "специализированные компьютерные системы" и "информационные системы". В основу адаптации системы задач положены следующие известные принципы: дидактической целесообразности; постоянной ориентации на конечный результат; системного подхода, учета дидактической сложности системы задач, учета параметров модели обучаемого. Исходные данные для расчетов сформированы в виде двух реляционных баз данных:

1) база данных всех студентов, содержащая рейтинги каждого студента по всем изученным дисциплинам;

2) база данных всех студентов, содержащая данные тестов, определяющих интеллектуальные и психофизиологические параметры каждого студента. В данной статье представлен метод повышения качества образования путем создания модели обучения с параметрической адаптацией.

Ключевые слова: специализированная компьютерная система, база данных, когорта, параметрическая адаптация, математическая модель, корреляция, рейтинг, ситуационная задача.

УДК 658.5:004.94

Технология настройки прогнозной модели на основе ретроспективного анализа собственных фазовых траекторий/ Романенков Ю. А. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.47–52. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-5459.

Предложен метод настройки однопараметрической прогнозной модели, основанный на анализе ретроспективных фазовых портретов внутреннего параметра модели, который позволяет учитывать и визуализировать динамику ретроспективных оптимальных значений внутреннего параметра, тем самым повысить точность прогнозирования по сравнению с традиционными подходами к выбору параметра прогнозной модели. Преимуществом предлагаемого метода, помимо наглядности, является принципиальная возможность аналитической оценки качества модели в ходе ее использования, что облегчает процесс параметрической настройки прогнозной модели.

Ключевые слова: параметрический синтез прогнозной модели, фазовый анализ, ретроспективный фазовый портрет.

УДК 621.396.931

Исследование метода автоматизированного контроля геометрических параметров соединений оптических волокон/ Малик Б. А., Селенкова Н. П. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.52–57. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассмотрена задача контроля геометрических параметров места сварки разнотипных оптических волокон при построении систем автоматизации и управления механико-технологическими системами и комплексами. На основе интерференционных методов контроля разработаны методы дискретизации интерференционных картин и их последующий анализ. Предложен метод определения границ соединений разнотипных оптических волокон, создано программное обеспечение для его реализации. Проведено экспериментальное исследование метода с использованием установки для получения интерференционных картин ОВ и разработанного программного обеспечения, автоматизирующего работу интерференционного метода.

Ключевые слова: оптическое волокно, плоскость соединения, ПЗС – фотоприемник, интерференционные методы, программное обеспечение.

УДК 65.014; 658.012.32

Формирование команд исполнителей высокотехнологичных проектов на инновационных предприятиях с использованием экспертного оценивания сценариев/ Шостак Е. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.57–63. – Бібліогр.: 29 назв. – ISSN 2079-5459.

Описан подход к формированию команд исполнителей высокотехнологичных проектов, направленный на снижение в процессе реализации будущего проекта неопределенности, связанной с установлением соответствия между задачами проекта, имеющими инновационный характер, и уровнем компетентности потенциальных исполнителей. Ключевыми этапами подхода являются: формирование базы претендентов на участие в проекте; оценивание компетентности претендентов; формирование альтернативных вариантов состава команды проекта; анализ альтернатив с помощью сценарных методов коллективного экспертного оценивания; выбор рационального варианта команды исполнителей проекта. Приведена методика расчета эффективности применения подхода в процессе разработки высокотехнологичных проектов.

Ключевые слова: высокотехнологичный проект, инновационное предприятие, команда исполнителей проекта, экспертное оценивание сценариев.

УДК 621.3:622:519.24

Применение методов непараметрической статистики для оценки некоторых особенностей горного производства/ Кобылянский Б. Б. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.64–67. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

На современном этапе технического развития все комплексные системы промышленного производства и в частности угольной промышленности, требуют автоматизации всего процесса включающего работу добычного и транспортного оборудования, что нельзя выполнить без детального математического описания всех специфических явлений характеризующих конкретное производство. Поэтому, для решения задачи управления сложными технологическими, многофакторными системами, предлагается использование непараметрической статистики, которые в отечественной специальной литературе не нашли должного отражения.

Ключевые слова: угольная промышленность, оценка, непараметрическая статистика.

УДК 662.741.3.022

Изучение возможности энерготехнологической переработки слабоспекающихся углей/ Шакир Ш. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.68–70. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Данная работа посвящена исследованию возможности применения слабоспекающихся малометаморфизованных углей в шихте для коксования, что в свою очередь позволит снизить себестоимость угольных шихт без ухудшения качества доменного кокса.

Проведенный анализ технологической переработки слабоспекающихся малометаморфизованных углей позволил определить перспективные направления энерготехнологической переработки твердых горючих ископаемых.

В работе исследовано влияние глубокого обогащения на свойства слабоспекающихся углей различных шахт. Проведен анализ глубокого обогащения малометаморфизованных углей в тяжелых средах. Изучена природа угольных образцов до и после обогащения.

Ключевые слова: малометаморфизованные угли, слабоспекающийся уголь, глубокое обогащение, петрографический состав, содержание витринита.

УДК 621.74

Пути улучшения выбиваемости жидкостекольных смесей/ Довгаль А. Н., Костиков А. А., Кузнецов А. А., Загребельный С. Л. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.70–75. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В данной работе описаны результаты исследований по влиянию природы слоистых соединений графита на выбиваемость жидкостекольных формовочных и стержневых смесей. Для исследований были использованы слоистые соединения графита двух типов: первый содержал в качестве интеркалантов галогениды переходных металлов, а второй - соединения донорно-акцепторного типа. Полученные результаты показали, что слоистые соединения графита первого типа вследствие низкого значения коэффициента термического расширения малоэффективны для использования в качестве модификаторов, повышающих выбиваемость жидкостекольных смесей.

Ключевые слова: слоистые соединения графита, выбиваемость, интеркаланты, жидкостекольные смеси.

УДК 66.091.3

Маллеинизация олеиновой кислоты в мягких условиях/ Ал-Хаддад Дж. А., Киселёва-Логина Е. В., Попов Е. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.75–80. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассмотрена маллеинизация непредельных жирных кислот на примере олеиновой кислоты в условиях отличных от промышленных с целью снижения энергозатрат и получения более чистого продукта. Предположен механизм взаимодействия олеиновой кислоты с малеиновым ангидридом в среде неполярных апротонных растворителей через образование изополярного шестичленного промежуточного состояния. Показаны все возможные продукты маллеинизации и их практическое применение. Определены оптимальные параметры технологии маллеинизации олеиновой кислоты. Рекомендована сфера применения продуктов взаимодействия малеинового ангидрида с олеиновой кислотой в промышленности.

Ключевые слова: маллеинизация, олеиновая кислота, малеиновый ангидрид, аддукт, апротонный органический растворитель, катализатор.

УДК 656.073.7: 631.372-631.374

Критерий формирования уборочно-транспортного комплекса с учетом современных экономических условий агропромышленной сферы Украины/ Музыль Д. А., Бережная Н. Г., Кутья О. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.80–83. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Отмечено отсутствие в работе аграрного комплекса универсальной методики определения рационального варианта технологии доставки сельскохозяйственных грузов с учетом возможной продуктивности предприятия. На основании проведенного анализа существующих транспортно-технологических схем уборки и доставки сельскохозяйственных грузов предложено пять базовых. Обосновано выбор производительности комбайна, как первообразующего элемента при определении состава уборочно-транспортного комплекса. Введен новый интегральный критерий определения рациональной структуры парка и приведена методика его экономического обоснования.

Ключевые слова: транспортно-технологическая схема доставки, уборочно-транспортный комплекс, критерий, экономическая эффективность.

УДК 677.011:677.02

Оценка значимости технологических процессов на текстильных предприятиях/ Мусаева Т. Т., Нуриев М. Н. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.84–87. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Изложена задача оценки значимости технологических процессов на текстильных предприятиях. Предложенная методика, которая позволяет определить их влияния на результативность структурных подразделений. Значимость процессов рассчитана с применением методологии функционально–стоимостного анализа. В качестве примера выбран оптимальный вариант совершенствования процессов материально–технического снабжения и подтверждена его эффективность.

Ключевые слова: текстильные предприятия, значимость, функционально–стоимостной анализ, иерархические уровни, процессы материально – технического снабжения, оптимальный вариант.

УДК 621.822

Описание экспериментальной установки для исследования гидростатодинамического подпятника с карманами рэля/ Сорокина Т. Н. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.88–91. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассмотрено описание экспериментальной установки для исследования гидростатодинамического подпятника с карманами Рэля на различных режимах эксплуатации. В работе приведены основные компоненты и системы этой установки, конструкция и устройство модернизированной экспериментальной головки, расположение и особенности нагрузочного устройства, состав и конструкция опытного образца гидростатодинамического подпятника с выравнивающим устройством, типы и назначение установленных датчиков и приборов регистрации, состав и описание автоматизированного комплекса регистрации параметров и приборов контроля.

Ключевые слова: экспериментальная установка, гидростатодинамический подпятник, экспериментальная головка, автоматизированный комплекс регистрации параметров.

УДК 629.7.036.001

Основы единой теории движителей на непрерывных потоках. Вывод формулы тяги и полетного (тягового) КПД трубки тока, например, поливального шланга, как движителя/ Мамедов Б. Ш., Штанько П. К. / Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.92–96. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В данной статье рассматриваются недостатки современной теории воздушно-реактивных двигателей, у которой все ее фундаментальные основы, к которым относятся термодинамический цикл турбореактивных двигателей в координатах P-V, T-S, формулы тяги и полетного (тягового) КПД, теорема о подъемной силе продуваемого профиля, являются ошибочными, что приводит к неточному описанию принципа работы турбореактивных двигателей, физических процессов, имеющих место при работе последних, неточному проектированию, связанному с наличием в турбореактивных двигателях порядка семи конструктивных ошибок, что приводит к задержке технического прогресса в области авиационного строительства, так как существующая формула тяги, $R = G_2 C_c$, не работает, поскольку завышает тягу более чем на 300 % по сравнению с реальной тягой.

Ключевые слова: формула тяги, полетного (тягового)КПД трубки тока.

УДК 536.423+532.528

Исследование параметров водно-спиртовых смесей полученных в условиях знакопеременных импульсов давления/ Шурцкова Ю. А. Дубовкина И. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.97–100. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Проведены исследования физико-химических параметров, а именно, количества вредных примесей: 1-пропанола, 2-пропанола, ацетальдегида, метанола, в водно-спиртовых смесях, которые были получены в условиях знакопеременных импульсов давления с применением роторно-пульсационного аппарата, в котором реализована основная концепция дискретно-импульсного ввода энергии. Определены основные факторы, а именно: время обработки, температура исходных компонентов, напряжения сдвига потока, скорости сдвига потока, высокочастотные осцилляции и колебания, оказывающие влияние на количество вредных примесей.

Ключевые слова: водно-спиртовые смеси, процесс гидратации, роторно-пульсационный аппарат, дискретно-импульсный ввод энергии, знакопеременные импульсы давления

УДК 613.5(045)

Оценка физических факторов среды в салонах красоты/ Сидоров А. В., Богомазюк Я. Ю., Майдаец А. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.101–104. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Работа посвящена исследованию физических факторов среды (температура и влажность воздуха, скорость перемещения воздуха, шум, освещенность помещений, электростатическое поле, электромагнитное излучение, ионизирующее излучение, легкие аэроионы) в салоне красоты «НИККО» (м. Буча). Целью работы было оценить соответствие уровней физических факторов среды в салонах красоты установленным нормативным требованиям и разработать меры по нормализации этих факторов в случае их несоответствия. Новизна полученных результатов состоит в том, что впервые были исследованы физические факторы помещений салона красоты и оценены уровни их безопасности.

Ключевые слова: физические факторы среды, салон красоты, санитарные нормы, нормализация физических факторов.

УДК 658.562:628

Планирование контроля многокомпонентных дымовых газов с выбором нижней границы ранжированных загрязнителей/ Любимова Н. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.104–107. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассмотрена возможность применения методов локализованного спектрального анализа для оценки неопределенности случайных амплитудных изменений в гармонических неслучайных составляющих многокомпонентного процесса загрязнения атмосферы энергетическим предприятием. Произведено сравнительное оценивание вероятностей выбросов (раздельно по компонентам загрязнения) на основе анализа дисперсий вейвлет-коэффициентов гармонических составляющих контролируемых во времени компонент. Применение данного метода адаптирует план контроля к реальным условиям протекания технологических процессов и повысит его достоверность.

Ключевые слова: контроль, план, загрязнение, многокомпонентное, вероятностная модель, вейвлет-анализ, ранжирование, адаптация.

УДК 537.6+57.04+616-006

Движение и накопление магнитных наночастиц в зоне опухоли организма экспериментальных животных под влиянием постоянного магнитного поля/ Николаенко Т. Ю., Шелест Д. В., Билюк А. А., Руденко В.М., Ступак Ю. А., Пилипчик С. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – No 36(1145). – С.107–111. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Предложена методика исследования транспортировки препарата на основе наночастиц магнетита, кровотоком животных и приведены первые результаты ее использования для изучения характера движения и процессов накопления магнитных наночастиц в зоне опухоли у животных с перевиваемой карциномой легких Льюис под воздействием постоянного магнитного поля с учетом параметров кровообращения. Показано, что удельная массовая магнитная проницаемость органов может служить мерой накопления наночастиц магнетита в них. Зафиксировано более выраженное накопление препарата в зоне опухоли при внутрибрюшинном способе введения.

Ключевые слова: направленный транспорт лекарств, наножидкостей, магнитная восприимчивость.

УДК 004.942+574.51

Алгоритм разработки информационной модели экологического состояния искусственных водоемов/ Дубовик Д. Д. / Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 36(1145). – С.111–115. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассматривается моделирование состояния искусственных водохранилищ. Разработан алгоритм построения информационной модели для оценки экологического состояния искусственных водоемов. Для сравнения уровней концентраций веществ в воде по зонам водохранилища в информационной модели используется ранговый анализ. Каждое вещество характеризуется динамикой изменения его концентрации, которая описывается соответствующей графической характеристикой. Подобные графики позволяют определить уровень загрязнения в нужный момент времени, допускают возможность изучения динамики загрязнения в определенном интервале времени наблюдения, что дает возможность получить статистические оценки для решения задачи наблюдения, например, по сезонам.

Ключевые слова: информационная модель, искусственное водохранилище, математическая модель, база данных, элемент, система, мониторинг, полином, оптимизация.

УДК 621.319.7.001

Повышение эффективности очистки воздушного потока от высокодисперсной пыли/ Голюнко В. И., Пустовой Д. С. / Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 36(1145). – С.116–121. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Показана возможность применения импульсного коронного разряда для целей коагуляции мелкодисперсной фазы аэрозоля при использовании зарядного устройства с системой коронирующих электродов типа «острие» и заземленного электрода, выполненного в виде расположенной поперек потока запыленного воздуха крупноячеистой сетки. Установлено, что при значительной скважности импульсного напряжения, величина заряда крупных частиц пыли и время действия внешнего электрического поля под воздействием которого осуществляется направленное движение частиц пыли к заземленному электроду и стенкам зарядной камеры значительно меньше чем в поле униполярного постоянного коронного разряда.

Ключевые слова: аэрозоль, коагуляция, электроионизация, пыль, электрическое поле, зарядная камера, коронный разряд.

УДК 614.89

Теоретические исследования сопротивления дыхания фильтрующего респиратора на циклическом потоке воздуха/ Чеберячко С. И., Радчук Д. И., Чеберячко Ю. И. / Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 36(1145). – С.121. —127 Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Определение теоретической зависимости для расчета перепада давления фильтровальных респираторов на пульсирующем потоке воздуха. К процессу исследования ламинарного движения газа в пористой среде использовали упрощенные уравнения Навье-Стокса в форме Эйлера с учетом фиктивных массовых сил сопротивления Жуковского. Установлено, что распределение давления на фильтровальной элементе респиратора, с увеличением фазы вдоха, становится более неравномерное за счет исключения части площади полумаски и неравномерности плотности упаковки волокон. Определены факторы, влияющие на равномерность распределения воздушного нагрузки по высоте респиратора. Определены уравнения движения воздуха через фильтрующий элемент респиратора при дыхании с учетом объемов дыхания. Установлена зависимость между коэффициентом проницаемости и пористостью фильтровальной слоя позволяет обеспечить максимальную защитную эффективность фильтровальной респиратора, за счет равномерного распределения воздушного нагрузки по высоте фильтровальной полумаски при различной частоте дыхания. Рациональные показатели пористости фильтрующего слоя, для обеспечения минимального перепада давления для противопылевого респиратора находятся в диапазоне 0,4 - 0,5.

Ключевые слова: противопылевой респиратор, перепад давления, сопротивление дыханию, частота дыхания, глубина дыхания, нагрузки.

УДК 621:658.562 (043.5)

Система управления качеством в автомобилестроительной компании Iran Khodro/ Хади Амине/ Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 36(1145). – С.128–131. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье проведен анализ системы управления качеством в компании Iran Khodro, которая является крупнейшим автомобилестроительным предприятием в Иране и производит автобусы, микроавтобусы, легковые автомобили, грузовики, а также запчасти к ним. Продукция компании Iran Khodro соответствует самым современным стандартам качества, что подтверждается Сертификатом соответствия ISO 9001, выданом Международной организации по стандартизации RW-TUV. Компания Iran Khodro реализует принцип «Ориентация на потребителя», что позволяет ей учитывать превосходства в качестве выпускаемой продукции в условиях современной экономики.

Ключевые слова: качество, управление качеством, промышленное предприятие, конкурентоспособность, стандарт.

УДК 621.224

Усовершенствование метода распределения нагрузки между гидроагрегатами с неидентичными характеристиками турбин/ Литвинов В. В., Галько Е. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 36(1145). – С.131–137. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье исследована проблема работы гидроагрегатов в системе САРЧМ и предложено ее решение путем усовершенствования метода распределения нагрузки между гидроагрегатами при работе в САРЧМ. Усовершенствование метода состоит в том, что на гидроэлектростанциях, которые имеют неидентичные характеристики турбин, нагрузки между гидроагрегатами распределяются исходя из условия максимизации общестанционного КПД и минимизации количества переводных режимов. Для решения сформированной оптимизационной задачи использован генетический алгоритм.

Ключевые слова: гидроагрегат, турбина, оптимизация, задание мощности, генетический алгоритм, ГРАМ, общестанционный КПД.

ABSTRACTS

UDC 621.382.323

Design and technology analysis of high performance heterojunction field effect transistors for submicron LSI/VLSI structures/ Novosyadlyy S., Bojko S. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.3–8. – Bibliogr.: 15 – ISSN 2079-5459.

This paper analyzes performance of heterojunction FETs for LSI/VLSI structures, namely heterojunction field-effect transistors with selective doping (MODFET), multichannel MODFET and MODFET with reverse structure, as well as field-effect transistors with high density heterogate.

Main feature of MODFET is a very high conductivity and quantum states in a fairly narrow channel, and also close proximity of metal gate to the channel with a large dielectric constant of GaAs layer compared to SiO₂. Thanks to these excellent features of MODFET slope in current saturation exceeds the slope MOSFET, which ensures its high performance. Use of MODFET can increase the speed of the VLSI structures in 2,5-3 times.

Another class of FETs that were considered is FET with planar doped heterogate (PDHGFET). In PDHGFET unlike MODFET layer of AlGaAs is heavily doped and has p-type conductivity. All doping that delivers donor electrons to the channel is concentrated in a thin layer adjacent to the heterojunction. Action of PDHGFET the same as in MOSFET but absence of heavily doped n⁺-AlGaAs eliminates problems associated with DX-centers generation and formation of high Schottky barrier in planar doping region leads to improvement of threshold gate voltage, which means higher stability of transistors on VLSI.

Keywords: field effect transistor, heterojunction, gallium arsenide, two-dimensional electron gas.

UDC 669.295

Alternative production techniques of titanium and its alloys/ Listopad D., Karpenko G., Dzhugan O. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.8–12. – Bibliogr.: 19. – ISSN 2079-5459.

Are considered existing and new technologies of titanium production, their advantages and disadvantages. Consider three sets of technologies for titanium and its alloys. A brief description of the most alternative electrochemical, plasma chemical processes and metallothermic are presented and given mechanochemical methods for producing titanium. The perspectives of the development of these technologies for the production of titanium and its alloys are defined.

From the analysis of the following technologies: electrochemical technologies have a development, but not yet meet the requirements of both quality and efficiency. Plasma-chemical processes have no future because of low productivity and high power consumption. A mechanochemical process are attractive by the simplicity of the technology and equipment, but does not provide the necessary level of impurities. The most promising are alternative methods of metallothermic production of titanium and its alloys.

There are conditions for the emergence of competition between alternative ways of development and improvement of existing traditional technologies for titanium. In this regard, the urgent task is to reduce costs and improve productivity of equipment in relation to technology for producing titanium by Kroll-method.

Keywords: titanium sponge, technology, method, restoration, raw material, solution, powder, alloy, reactor, titanium tetrachloride.

UDC 544

Formation of metal structures doped yttrium oxide/ Cherednyk M. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.12–15. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-5459.

In this article we studied the influence of yttrium oxide nanoparticles on the formation of the metal structure by means of X-ray absorption spectroscopy.

It revealed a local metal trace elements environment after mechanical alloying and after consolidation and a significant increase in wear resistance of the metal by reducing the dislocation density at the interface of the matrix switch and a distribution of excess impurities in the matrix phase. This analysis helps determine how and to what extent affects Y₂O₃ on the composition of the metal during mechanical alloying and shows the number of nano-sized Y-enriched oxides during consolidation. The combined use of X-ray absorption spectroscopy and transmission electron microscopy aimed not only at improving the correlation process, but also to optimize the chemical and physical processes involved in the formation.

Keywords: yttrium oxide, metal structure, consolidation, X-ray, electron microscopy, correlation, tracing, local environment.

UDC 519.65:004.94

Acoustic tomography model which takes into account reflection and refraction of sound wave paths/ Holovko V., Medvedyev D. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.16–19. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The object of study is the forward and inverse tomography problems. The peculiarity of the proposed approach consists in approximating of the sensing field of tomography by bilinear spline, which regularized solution. The aim is to restore the internal structure of an object, including irregularities it contains. In case of probing of substantially non-homogeneous media, the reflection and refraction of the probe path will occur in the medium. This paper proposes the model which takes into account reflection and refraction of sound wave. The beam refraction is approximated with the polyline taking into consideration the velocity variation at the boundaries of the spline grid. The direct and inverse tomography problems were solved for this model. A number of experiments with different noise values have been carried out. The impact of noise on error of values recovery in the nodal points has been analyzed.

Keywords: acoustic tomography, refraction, reflection, bilinear spline, non-destructive testing, forward tomography problem, inverse tomography problem.

UDC 53.082.539

Evaluation of basic errors of measurement of the refractive index of the analyte device based on the phenomenon of surface plasmon resonance/ Dorozynsky G. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.20–22. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-5459.

The main sources of measurement errors of the refractive index of the analyte for the device based on the phenomenon of surface plasmon resonance "Plasmon-6" were identified: laser diode wavelength, temperature control operation, surface topology of sensing element metal film. Based on numerical analysis, it was determined that the largest contribution to the measurement error of the refractive index of the analyte component makes temperature error $\delta N_T = 54,24 \cdot 10^{-5}$, and the least - the surface roughness of the metal layer sensitive element $\delta N_S = 8 \cdot 10^{-5}$. The error of approximation for the laser wavelength of 650 nm is $\delta N_A = 21 \cdot 10^{-5}$. It defines the main directions of the major decrease measurement errors are: increasing wavelength excitation of surface plasmon resonance, reducing the surface roughness of the metal layer of the sensing element and stabilization of temperature modes of the device. The practical significance is that the results of numerical analysis can be used to improve existing and create new devices based on surface plasmon resonance.

Keywords: refractive index, surface plasmon resonance, measurement errors, the wavelength of the radiation, the surface roughness, temperature.

UDC 656.56/681.5:004.78

Development of information support of the process of regional gas supply monitoring/ Nefedov L., Shevchenko M., Havry23–2800–00. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – No 36(1145).– P.00–00. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-5459.

Abstract issues related to the maintenance and operation of the synthesis of the monitoring system of regional gas supply that can operate in conditions of uncertainty of the initial information have been discussed.

The result of this study is to develop a framework of information and reference software, which is implemented in the form of an automated database includes database of different directions, and database management system.

For the implementation of the proposed information support for the first time developed model selection software for the implementation of information system, which is in contrast to the existing takes into account the vagueness of the information.

Practical implementation of information support provided in the form of ER-model, which reflects the content of the database and provides timely information on the results of monitoring, generate relevant reports and visualize the individual elements of the monitoring system of regional gas supply.

Developed a framework of information support and model can improve the efficiency of the monitoring system of regional gas supply because it allows you to evaluate and make decisions as a state of the gas transportation system, and the product being transported and provides paperless technology

Keywords: information support, monitoring system, regional gas suppliers, structure, data base, models.

UDC 621.37/38/39/; 621.372.2

Model interconnect components computer system/ Kudrya V. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – No 36(1145).– P.29–33. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

A sudden jump in production technology of computer systems and their components, in the opinion of the author, found a world civilization unprepared for its effective use and scientific-theoretical substantiation of a number of technological problems. One of these problems is the actual physical construction of mathematical models that reflect the synergistic nature of the process, the operation of modern monolithic integrated circuits. In particular, the problem of adequate reflection of the network connections between the component becomes an obstacle to increasing the speed of data processing and further sealing valve and transistor elements per unit volume. This paper has explored ways of interpreting high-frequency interconnect network, including nanotechnology and electronics. Systematic way of presenting the device in a field and a chain structure allowed to develop theoretical grounding circuit processes image electromagnetic conductors that form a communicative network components. The methods of constructing models of interconnects allow assessment of the impact, both internal and external exogenous electromagnetic interference. The results of research aimed at improving design of information and communication technologies.

Keywords: high-frequency electronics; electromagnetic interference models; MEMS; NEMS; CAD.

UDC 615.47

The method of construction intracranial stereotactic coordinate system based on lofting model of third ventricle/ Avrunin O., Tymkovych M. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – No 36(1145).– P.33–38. – Bibliogr.: 18. – ISSN 2079-5459.

The work is devoted to the ability to automate the reconstruction of the model of the third ventricle and then using it with neuronavigation, which enables make construction of intracranial stereotactic coordinate system of tomography data, taking into account individual patient variability. The paper examines the main stages of reconstruction of lofting model on a set of tomographic horizontal slices. Each stage reduces the amount of data being processed. Selection of the skull area allows reducing the analyzed area of tomographic image by 2 times. It demonstrates the ability to automatized reconstruction of the third ventricle lofting model, taking into account some limitations to the input data.

The method was tested on 8 datasets and the results indicate the potential of this approach for the construction intracerebral coordinates system to perform functional interventions diencephalon and midbrain.

Keywords: neuronavigation, stereotaxy, lofting model, third ventricle, computed tomography, reconstruction, segmentation.

UDC 004.519.7 (045)

Logical conversion model as the basis for searching synonymous constructions in electronic documents/ Vavilenkova A. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – No 36(1145).– P.38–42. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

The article analyzes the main ways of appearance of duplications in electronic documents. A formal apparatus based on lexical paraphrase is considered to be the main source of duplicates. The study formalizes description of identical syntax compositions based on its lexical functions and reveals the relationships between the components of logic and linguistic models of pair of natural language sentences in case they have identical syntax compositions.

Synonyms is one of examples of system relationships between groups of words with similar meaning, and based on this fact core models of logic conversion were developed. The first type of core semantic model is based on the conversional derivation that defines the semantics of the predicate. The second model is based on the principle of hierarchical formation of abstractions so that one, more specific concepts interrelation is included in other, wider one. The third model is similar to the derivation one, it assumes the appearance of new feature, transformation. The article describes the rules for the formation of invariant forms of logic and linguistic models. Types of above models depend on the functions and features of lexical words in natural language sentences that has been demonstrated by examples.

Thus, semantic search for synonymous text structures can be carried out using models that represent different variants of situation description and which are built on one and the same pattern.

Keywords: synonyms, logic and linguistic model, invariant form, syntactic constructions, duplicate, natural language.

UDK 004.94+001:372.82

Setting learning model c parametric adaptation/ Dubovik T. N., Kodola G. N., Volinets N. S. //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2015. – No 36(1145).– P.42–46. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Developed training model with parametric adaptation. This model is presented in the form of the regression equation that connects the indicators of the assimilation of the studied material with the characteristics of the individual. To determine the model parameters of the student selected tests that form the basis of a specialized computer system as an element of learning support. Model adaptation is carried out in relation to the process of studying of educational disciplines, defined the curriculum of the specialty "specialized computer systems" and "information systems". The basis for system adaptation tasks based on the following known principles: didactic feasibility; the constant focus on the end result; system approach and accounting of didactic complexity of objectives, taking into account the parameters of the model of the learner. Input data for the calculations is formed in two relational databases:

1) database of all students containing the ratings of each student on all studied disciplines;

2) a database of all students that contains data of tests which measure intellectual and psycho-physiological parameters of each student. This article presents a method of improving the quality of education by creating a learning model with parametric adaptation.

Keywords: specialized computer system, data base, cohort, parametric adaptation, mathematical model, correlation, ranking, situational task.

UDC 658.5:004.94

Technology of predictive model setting based on a retrospective analysis of their own phase trajectories/ Romanenko Yu. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.47–52 – Bibliogr.: 16. – ISSN 2079-5459.

It is considered the problem of the development of methods for parametric synthesis of predictive models, taking into account the peculiarities of the real state of the statistical information stored in the form of time series. The subject of research is the methods of parametric synthesis of one-parameter predictive models. The purpose is the expansion of methodological tools for parametric synthesis of the above models.

It is proposed the method of parametric synthesis of predictive model based on a retrospective analysis of their own phase trajectories of internal model parameter, which allows for an informed choice of values of tuning parameters in accordance with the internal dynamics expressed in the form of phase portraits, thereby increasing prediction accuracy compared to traditional search approach to the selection of predictive model parameter. The proposed approach to the parametric synthesis of predictive model allows analytically assess the quality of the model in the course of its use, thereby formalizing the process of parametric configuration of predictive model. It is constructed a diagram of decomposition process for parametric synthesis of predictive model.

The proposed method can be used as a prediction value in the time series, and in the process of selecting appropriate predictive model to predict the specific time series.

Keywords: parametric synthesis of predictive model, phase analysis, retrospective phase portrait.

UDC 621.396.931

The automatic testing method of optical fiber junction geometrics research/ Malyk B., Selenkova N. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.52–57 – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The application of diverse optical fibers welding point geometrics testing in the mechanical and technological systems and complexes automation and control systems building. Based on the interference testing methods the fringe patterns sampling techniques are developed and further analysis is conducted. The diverse optical fibers (OF) joint margins measuring method is proposed and software for its implementation is created. The given technique experimental research with optical fibers fringe patterns determination unit and created interference method automation software application is held. The software execution is to analyze all the OF images, to find the fiber location coordinates in reference to the entire interference pattern, to save the achieved data and to build on its basis the boundary OF intensity discontinuity changes to fibers length graph.

The developed OF testing method mathematical simulation is held, the method enhancement on the basis of achieved results is done by the means of additional function application to increase the achieved data certainty and to decrease the error probability. The observation results are processed with the PC-based device by the means of MATLAB package.

Keywords: optical fiber, junction plane, CCD – optoelectronic sensor interference methods, software.

UDC 65.014; 658.012.32

Forming teams of performers on innovative high-tech projects enterprises using expert assessment scenarios/ Shostak O. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.57–63. – Bibliogr.: 29. – ISSN 2079-5459.

Specificity of high-tech projects makes it necessary to use in the selection of candidates for inclusion in the project team a number of special methods based on the principles of competence-based approach (competence-based approach). In recent publications are considered to be mainly the issues of formation of key competencies of employees, as well as the possibility of providing personnel reserve for high-tech enterprises. However, the authors of these publications do not consider issues relating to the formation of teams of high-tech projects for innovative enterprises.

The approach to the formation of high-tech projects implementing teams, aimed at reducing in the process of implementation of the future project of uncertainty associated with the establishment of the correspondence between the objectives of the project, have an innovative character and the level of competence of potential performers. The key stages of the approach are: the formation of the base of applicants for participation in the project; assessment of competence of applicants; the formation of alternative project team composition; analysis of alternatives by a scenario of collective expert evaluation methods; choice of a rational variant of the project implementing team. The methodology of calculation of the effectiveness of the approach in the development of high-tech projects.

Further research planning and realization of high-tech projects in innovative enterprises is supposed to be carried out in the direction of the development of analytical models support high-tech projects of the life cycle, as well as the application of artificial intelligence to create an information environment of high-tech projects on innovative enterprises.

Keywords: high-tech project, innovative enterprise, the project team of performers, expert evaluation of scenarios.

UDC 621.3: 622: 519.24

Assessment some particularly mining production/ Kobilyansky B. B. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.64–67. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

At the present stage of technical development all the complex system of industrial production and particularly the coal industry, requires automating the entire process including the work of mining and transport equipment, which can not be done without a detailed mathematical description of specific phenomena characterizing the specific production.

Therefore, to solve the problem of managing complex technology, multifactorial systems, provided the use of non-parametric statistics, which are in the national literature is not adequately reflected. Nevertheless, it is such mathematical approaches allow to perform a correct forecast of the phenomena in question beyond the available experimental data sufficient to solve the most practical problems with accuracy, especially in those cases where the number of the data is relatively small.

Keywords: coal industry, assessment, a nonparametric statistics.

UDC 662.741.3.022

Study of the possibility of low-caking coal energotechnological processing/ Shakir Sh. M. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.68–70. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-5459.

This paper investigates the possibility of low-metamorphosed caking coal use in the charge for coking, which in its turn will reduce the prime cost of coal charge without quality loss of metallurgical coke.

Conducted analysis of technological processing of low-caking low-metamorphosed coal allowed to determine perspective directions of energotechnological processing of solid fossil fuels.

The influence of deep beneficiation on the properties of low-caking coal of different mines has been examined. Deep beneficiation of low-metamorphosed coal in dense environment was analyzed. The nature of the coal samples before and after beneficiation was studied in the paper.

The change of technical analysis indicators was marked, namely, the content of ash and total sulfur in coal, their significant reduction after processing, which is a positive factor. The positive influence on the petrographic composition and a sum indicator of components of the different coal samples was revealed.

The possibility of low-caking coal use in the energy sector, as well as in coke industry has been determined. Conclusions regarding the reduction of the prime cost of coal charge during coking are drawn.

Keywords: low-metamorphosed coal, low-caking coal, deep beneficiation, petrographic composition, vitrinite content.

UDC 621.74

Knockout improvement methods of liquid glass mixture/ Dovgal A., Kostikov A., Kuznetsov A., Zagrebelniy S. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.70–75. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

This paper describes the results of studies on the influence of the nature of layered compounds of graphite on vybivaemost zhdkostekolnyh molding and core mixtures. For studies were layered graphite compound used two types: the first contained the intercalant as transition metal halides, and the second - a compound of the donor-acceptor type. The results showed that the layered compounds of the first type of graphite due to the low value of the coefficient of thermal expansion are ineffective for use as modifiers to increase vybivaemost zhdkostekolnyh mixtures. It has been experimentally confirmed that for this purpose you should use layered compounds donor-acceptor. For layered graphite compounds of this type have been carried out studies on the effect of the concentration of these layered compounds of graphite on the technological properties of the modified zhdkostekolnyh mixtures (ospaemost, humidity, etc.). The research allowed to find the optimal content of modifying layered graphite compounds for legkovybvayemyh molding and core mixtures.

Keywords: layered compounds of graphite vybivaemost, intercalant, zhdkostekolnyh mixture.

УДК 66.091.3

Malleinization of oleic acid under mild conditions/ Al-Haddad J. A., Kiseliova-Loginova Ye., Popov Ye. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.75–80. – Bibliogr.: 18. – ISSN 2079-5459.

The possibility of malleinization of oleic acid under mild conditions is considered. These conditions are all different from the melt with the temperature lower than 150-300° C. By these conditions are correspond to - the use of a catalyst and the use of aprotic organic solvents.

On the example of titanium (IV) chloride in the melt and in organic solvents it is shown that the use of catalysts such as Lewis acid leads to the formation of copolymers of reagents. This can be used for production of the drying oils. Temperature condition in this case was reduced to 50° C.

Isomeric adducts of maleic anhydride and oleic acid were obtained based on the assumption that organic aprotic solvents increase the rate of the ene interactions. All of these products have a practical value, as surface-active substances. They are encouraged to use as dispersants.

Mechanism of interaction of maleic anhydride and oleic acid in organic solvents is proposed.

The optimum parameters of malleinization of oleic acid in the technic perchloroethylene are defined and technology is developed.

Scope of malleinization products of oleic acid is recommended for preparation of IIME-T dispersant, used to stabilize the alcohol-fuel emulsions.

Keywords: malleinization, oleic acid, maleic anhydride, adduct, aprotic organic solvent, catalyst.

UDC 656.073.7: 631.372-631.374

The Criterion for forming the harvest-transport complex taking into account the modern economic terms the agriculture branch of Ukraine/ Muzylyov D., Berezchnaja N., Kutiya O. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.80–83. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

It has been defined that as of today the agrarians don't have any universal method to allow choosing a rational variant for the technology of agriculture cargoes delivery with taking into account the producing capacities of enterprises. On the basis of the presented analysis of the existing transport and technology schemes for harvesting and delivering agriculture goods five main schemes have been compiled. The given variants of the technologies take into account all the main technological indicators of the functioning of the offered elements for the harvest-and-transport complex. While forming the schemes the main criteria was hourly capacity of a harvester combine. It has been defined that the work coordination of the whole harvest-and-transport complex, when harvesting, depends on the received range of the change in numerical values for the harvester combine capacity. Relying upon the formed variants of the technological schemes and taking into account the capacity of all the types of the mechanized equipment used while harvesting and transporting agriculture goods we have offered a method for defining the rational structure of the fleet which is necessary for harvesting and delivering agriculture goods according to each of the offered schemes. The final choice of the rational scheme has been performed according to the minimal expenses in natural values.

Keywords: a transport-technological chart of delivery, a harvest-transport complex, the criterion, the economic efficiency.

UDC 677.011: 677.02

Assess the significance of technological processes of textile enterprises/ Musayeva T. T., Nuriyev M. N. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.84–87. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The problem of estimation of the importance of processes of textile enterprises. This assessment allows the impact of the structural divisions of the enterprise processes on the effectiveness of management. The calculation of the importance of processes using the methodology of value analysis. On the example of the logistics process, the best option is selected and confirmed its effectiveness.

Assess the relevance of technological processes of structural subdivisions, while ensuring the effectiveness of the quality management system. This assessment allows you to determine the degree of influence of processes of structural subdivisions of enterprises on the effectiveness of the QMS. In accordance with the methodology of functional-cost analysis of the significance of the processes of structural subdivisions based on the cost of quality.

On the maximum value of relative costs is selected the process, most in need of improvement. It has been established that the supply logistics processes in an enterprise in need of improvement. Developed alternative activities for their improvement and confirmed their effectiveness. Identified alternatives to improve the logistics supply, built morphological tables and found solutions to optimization problems. To improve the logistics supply selected best option from combinations of alternative measures.

Keywords: textile companies, processes, significance, value analysis, hierarchical levels, logistics, the best option

UDC 621.822

Experimental facility description for hybrid Reyleigh step bearing/ Sorokina T. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.88–91. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

This article is devoted to the experimental facility description for hybrid Reyleigh step bearing. There is considered the experimental facility description for hybrid Reyleigh step bearing at the different regimes of exploitation. There is determined the necessity of bearing efficiency checking and gives the opportunity to analyze the adequate theoretical calculation researches on the basis of chosen improved method of the hybrid Reyleigh step bearing static characteristics calculation in the turbulent regime. The experimental facility for hybrid Reyleigh step bearing was modernize with a purpose of to check the static characteristics at the different range of load, of rotor speed rotations and oil supply pressure to the oil system. Its systems and components appointment was studied in the paper. The modernized experimental facility allows testing the hybrid bearing in start and stopping regimes. Sensors and parameters registration automated complex were permitted to continuously fix the oil temperature parameters at the area of oil supply, in the pocket and in the bearing working surface and to control the oil stratum size depending on enclosed load at the different regimes. Bearing experimental sample was installed to the cardan type compensating device and allows compensating natural side shaft whipping.

As a result of researches were determined the following evidences- the modernized experimental facility provided smoothly addition load to the bearing, to carried out the complex tests for this type of bearing at the different regimes and gives a possibility to studied the hydrostatic and hydrodynamic influences to the hybrid Reyleigh step bearing design.

Keywords: experimental facility, hybrid Reyleigh step bearing, experimental head, automated complex registration parameters.

UDC 629.7.036.001

The single theory of continuous flow propulsion. Formulas of thrust and flying (thrust) efficiency of flow tube, for example, the water nose, as propulsion, calculation/ Mamedov B. Sh., Shtanyko P. K. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.92–96. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Highlights the shortcomings of modern theory of air-jet engines, in which all her fundamental foundations: thermodynamic cycle of turbo-jet engines in co-ordinate P-V, T-S, formulas of thrust, flying (thrust) efficiency, theorem of rising force of blowing profile, are mistake, that leads to inaccurate or mistaken description and misunderstanding of different physical processes, which take place while turbo-jet engines working, leads to inaccurate engine design, connected with the presence of about seven design mistakes in any turbo-jet engine, that leads to delay the technical progress in the branch of aenginebuilding, because the existing formula of thrust, $R = G_c C_c$, do not work so far as extend the thrust more than 300 % in comparison with a real one.

Keywords: formulas of thrust, flying (thrust) efficiency of flow tube.

УДК 536.423+532.528

The investigating of parameters water-ethanol mixtures obtained under alternating impulses of pressure / Shurchkova J. Dubovkina I. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.97–100. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-5459.

Researches parameters, namely, the amount of harmful impurities: 1-propanol, 2-propanol, acetaldehyde, methanol, water-ethanol mixtures obtained under alternating pressure pulses using hardware which implements the basic concept of the discrete-pulsed energy input.

As a result of chromatographic researches of water-ethanol mixtures in wide concentration range was set reduction of harmful impurities without the introduction of additional chemicals impurities. Obtained the water-ethanol mixture with improved physic-chemical parameters. When using the technology of production for water-ethanol mixtures in conditions of alternating pressure pulse is intense impact stress sheal, shear flow, high-frequency oscillations, which leads to reduction of quantity of harmful impurities. It shows the dependence of harmful impurities on the temperature and the method of treatment of water-ethanol mixtures. It has been established the optimum temperature of the mixing process of water and ethanol in conditions of alternating pressure pulse. The main factors affecting the amount of harmful impurities.

Keywords: water-ethanol mixture, the process of hydration, rotary-pulsation apparatus, discrete-pulsed input of energy, alternating pressure impulses.

UDC 613.5(045)

Assessment of environmental physical factors of beauty salons/ Sydorov O., Bogomaziuk Ya., Maidanets A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.101–104. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Paper has been devoted to environmental physical factors study (air temperature and humidity, air movement velocity, noise, room lightening, electrostatic field, electromagnetic radiation, ionizing radiation, light air ions) in beauty salon "NIKKO" (Bucha town). The aim of work has been to assess the compliance of environmental physical factors levels in beauty salons with established normative requirements and to develop measures on this factors normalization in the case of its incompliance. The novelty of received results includes research of beauty salon premises physical factors and their safety levels assessment conducted for the first time. The measurements have shown compliance of levels of electrostatic fields, electromagnetic radiation, ionizing radiation and average daily noise in the premises of the beauty salon with sanitary norms. The conducted assessment of measures efficiency on microclimate parameters normalization has revealed that the most effective is combination of hourly aeration of premises with air humidifier application. The increase of light air ions concentration to its minimal required level has been achieved due to this combination.

Key words: environmental physical factors, beauty salon, sanitary norms, physical factors normalization.

UDC 658.562:628

Planning control of multicomponent flue gas with the choice of the lower boundary of ranked pollutants/ Lyubymova N. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.104–107. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Possibility of application of methods of the localized spectrology is considered for the estimation of vagueness of casual peak changes in the harmonic non-random constituents of multicomponent process of contamination of atmosphere power enterprises. Possibility of comparative evaluation of probabilities of single extrass (separately on the components of contamination) is well-proven on the basis of analysis of dispersions of вейвлет-коэффициентов of harmonic constituents of the components controlled in time.

The application of methods of localized spectral analysis gave the possibility to assess the uncertainty of a random amplitude changes in the harmonic components of multicomponent non-random process of the atmospheric pollution by the enterprise by building a structural model of locally controlled non-stationary processes. The proposed use of the comparative evaluation of single emission probability (distinguishing between pollution components) based on the analysis of the variances of the wavelet coefficients of the harmonic components are controlled in time component of pollution. The normalization of these probabilities and the estimation of lower bounds for their values can be realized in the long-term experiment (TH $\rightarrow \infty$).

The use of such kind of analysis, first, allows to identify the regular frequency and phase features a finite (daily, weekly, etc.) series of observations, and secondly, gives the possibility of estimating the variance of the wavelet coefficients amplitude abrupt changes regular local trends in different frequencies. This method adapts the control to the real conditions of technological processes and increase its reliability.

Keywords: control, plan, pollution, multicomponent, probabilistic model, wavelet analysis, ranking, and adaptation.

UDC 537.6+57.04+616-006

The movement and accumulation of the magnetic nanoparticles in the tumor zone organism of experimental animals under the influence of the permanent magnetic field/ Nikolaenko T. Yu., Shelest D. V., Bilyuk A. A., Rudenko V. M., Stupak Yu. A., Pylypchyk E. V. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.107–111. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The method of transporting drug research based on magnetite nanoparticles conjugated molecules medicines, blood flow and animals are the first results of its use to study the nature of the movement and accumulation processes of magnetic nanoparticles in the tumor area Lewis lung carcinoma body of laboratory mice influenced DC magnetic field within the parameters of circulation.

It is shown that the specific mass permeability may be the extent of accumulation of nanoparticles of magnetite in them.

Reported that the intravenous route of injection much of the injection of preparation (about half) accumulates in the liver, kidneys and spleen, while more pronounced in the area of drug accumulation observed in tumor intraperitoneally mode of injection.

Keywords: directional transport medicines, nanoliquid, magnetic susceptibility.

UDC 004.942+574.51

The algorithm for the development of the information model of the ecological status of artificial reservoirs/ Dubovyk D. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.111–115. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Discussed the modeling of artificial reservoirs. Developed an algorithm for constructing an information model for assessing the ecological condition of artificial reservoirs. For comparison of concentrations of substances in water in zones of the reservoir information in the model used rank analysis. Each substance is characterized by the dynamics of changes of its concentration, which describes the corresponding graphical characteristic. Such graphs allow to determine the level of contamination at the right moment, admit the possibility of studying the dynamics of pollution in a certain time interval of observation that allows to obtain statistical estimates for the solution of monitoring tasks, for example, with the seasons.

A mathematical model of the object of ecological monitoring and management of ecological status. Developed an information model that allows you to quickly obtain the necessary information from the database that contains the methodology for environmental analysis, techniques of formation of private and integrated indicators of pollution, methods of zonal analysis of the catchment classification, catchment areas according to pollution levels, the allocation of territories for surveillance and control, reference books, necessary for environmental analysis and charts of changes of the concentrations of chemical substances in water.

Keywords: information model, an artificial reservoir, mathematical model, database, element, system, monitoring, polynomial, optimization.

ДК 621.319.7.001

Improving the purification efficiency of the air flow from highly dispersed dust/Golinko V. I., Pustovoi D. S. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.116–121. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-5459.

Problems concerning intensification of fine dust elimination processes of aspiration flows have been considered in this paper.

It has been shown that improved efficiency of fine dust elimination processes may depend upon aerosol charge being performed with the help of a system of corona electrode of "point" type and net-located across dusted air flow where impact charge of coarse dust particles as well as their possible deposition within charge chamber can be available only within a discharge gap in the process of potential impulses effect. Installed that in terms of significant duty ratio of impulse high voltage, charge value of coarse dust particles as well as response time of external electric field effecting ordered dust particle motion to the earthed electrode and charging chamber walls is much less than within a field of unipolar constant corona discharge. Due to nonavailability of external electrostatic forces ordered motion of dust particles to the earthed electrode is neglectable during gap between voltage impulses. However, intensive loss of ions from discharge gap is observed. Further motion of ionized dust and gas flow beyond discharge gap within a charging chamber mostly results in intensive charge of fine particles of aerosol dust at the expense of diffusion of ions to their surface.

As external electrostatic forces are not available ordered motion of dust particles towards pipeline walls and their deposition are neglectable resulting in several-order decrease of the intensity of their deposition and accumulation.

UDC 614.89

Theoretical studies of breathing resistance filter respirator for cyclical air flow/ Cheberiyachko S. I., Radchuk D. I., Cheberiyachko Y. I. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.121–127. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-5459.

Determining the theoretical dependence for calculating the pressure drop filter respirator for pulsating air flow. The process of research laminar gas flow in porous media using simplified Navier-Stokes equations in the form of Euler given fictitious mass forces of resistance Zhukovsky. It was established that the distribution of pressure on the respirator filter element, with increasing inspiratory phase becomes more unequal due to the exclusion of the area half mask and uneven packing density the fibers. The factors affecting the even distribution of load height air respirator. Defined equations of motion air through the filter element during respiration respirator considering the volume a breathing. The dependence between the coefficient of permeability and porosity of the filter layer that allows for maximum efficiency protective filter respirator due to a uniform distribution of air filter loading height half mask at different frequency breathing. Rational indices porosity filter layer to ensure minimal pressure drop for the dust mask are in the range of 0.4 - 0.5.

Keywords: dust mask, differential pressure, resistance to breathing, respiratory rate, depth of breathing load.

UDC 621: 658.562 (043.5)

The quality management system in automotive company Iran Khodro / Hadi Amineh//Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.128–131. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The article analyzes the quality management system in the company Iran Khodro, which is the largest automotive company in Iran and manufactures buses, vans, cars, trucks and spare parts. Production Company Iran Khodro meets the latest standards of quality, which is confirmed by the Certificate of ISO 9001, marriageable International Organization for Standardization RW-TUV. Iran Khodro Company implements the principle of "Customer focus", allowing it to take into account the excellence in quality of products in today's economy. The company Iran Khodro carried out a full cycle of production of buses, minibuses, cars, trucks, special vehicles, which are in demand both in the Middle and Near East. In recent years, company Iran Khodro has made a rapid leap forward in its development, and modern technological base allows to make products that meet international standards.

The product quality of the company Iran Khodro is one of the most important indicators of its activity and characterizes its competitiveness.

Keywords: quality management, industrial enterprise, competitiveness, standards.

UDC 621.224

Improvement of Power Distribution Method between the Hydraulic Units with non-similar Turbine Characteristics / Litvinov V., Galko E. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – No 36(1145).– P.131–137. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

In article was investigated the problem of hydro units operation at the Active Power and Frequency Regulation System (APFRS) and proposed its solution by the improvement of power distribution method between the hydraulic units, which operates at the APFRS. Improvement of method lies in the distribution the active power between hydro units according to the conditions of maximization of total hydro power station efficiency and minimization of shifting regimes for hydro turbines. Area of hydro turbine non-recommended operation is taken into consideration too.

For the optimization problem of power distribution solution due to great non-linear character of optimized function and the great number of inequalities, genetic algorithm was used. For obtaining the mathematical expression of optimized function, turbine exploitation characteristic are used. These characteristics by the constant pressure are approximated by polynomial functions.

The results of simulation have shown that proposed power distribution method given the opportunity to increase the hydro power plant efficiency by 3 %, especially by the lower power assignment for hydro power plant, which operate at the APFRS.

Keywords: hydro unit, turbine, optimization, power assignment, genetic algorithm, APFRS, power station efficiency.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Новосядлий С. П., Бойко С. І. Конструкторсько-технологічний аналіз польових гетеротранзисторів високої швидкодії для субмікронних структур ВІС/НВІС..... | 3 |
| Листопад, Д. О. Карпенко Г. В., Джуган О. А. Альтернативні технології виробництва титану та його сплавів..... | 8 |
| Чередник М. И. Формирование структуры металлов легированных оксидом иттрия..... | 12 |
| Головко В. О., Медведєв Д. Г. Модель акустичної томографії з врахуванням відбиття та викривлення траєкторій звукових хвиль..... | 16 |
| Дорожинський Г. В. Оцінка основних похибок вимірювання показника заломлення аналіту приладом на основі явища поверхневого плазмонного резонансу..... | 20 |
| Нефедов Л. И., Шевченко М. В., Гавриш М. В. Разработка информационного обеспечения процесса мониторинга регионального газоснабжения..... | 23 |
| Кудря В. Г. Моделі між'єднань компонентів комп'ютерних систем..... | 29 |
| Аврунин О. Г., Тымкович М. Ю. Метод построения внутримозговой системы стереотаксических координат на основе лофтинговой модели третьего желудочка..... | 33 |
| Вавіленкова А. І. Моделі логічної конверсії як основа пошуку синонімічних конструкцій в електронних документах..... | 38 |
| Дубовик Т. Н., Кодола Г. Н., Вольнец Н. С. Настройка модели обучения с параметрической адаптацией..... | 42 |
| Романенков Ю. А. Технология настройки прогнозной модели на основе ретроспективного анализа собственных фазовых траекторий..... | 47 |
| Малик Б. О., Селенкова Н. П. Дослідження методу автоматизованого контролю геометричних параметрів з'єднань оптичних волокон..... | 52 |
| Шостак Е. И. Формирование команд исполнителей высокотехнологических проектов на инновационных предприятиях с использованием экспертного оценивания сценариев..... | 57 |
| Кобылянский Б. Б. Оценка некоторых особенностей горного производства..... | 64 |
| Шакир Ш. М. Изучение возможности энерготехнологической переработки слабоспекающихся углей..... | 68 |
| Костіков А. А., Довгаль А. М., Кузнєцов А. А., Загребельний С. Л. Пути улучшения выбиваемости жидкостекольных смесей..... | 70 |
| А. Дж. Т. АЛ-Хаддад, Киселёва-Логина Е. В., Попов Е. В. Маллеинизация олеиновой кислоты в мягких условиях..... | 75 |
| Музильов Д. О., Бережна Н. Г., Кутья О. В. Критерій формування збирально-транспортного комплексу з урахуванням сучасних економічних умов агропромислової галузі України..... | 80 |
| Нурiev М. Н., Мусаева Т. Т. Оценка значимости технологических процессов на текстильных предприятиях..... | 84 |
| Сорокина Т. Н. Описание экспериментальной установки для исследования гидростатодинамического подпятника с карманами Рэлея..... | 88 |
| Мамедов Б. Ш., Штанько П. К. Основы единой теории движителей на непрерывных потоках. вывод формулы тяги и полетного (тягового) КПД трубки тока, например, поливного шланга, как движителя..... | 92 |
| Шурчкова Ю. О., Дубовкіна І. О. Дослідження параметрів водно-спиртових сумішей отриманих в умовах знакозмінних імпульсів тиску..... | 97 |

| | |
|--|-----|
| Сидоров О. В., Богомазюк Я. Ю., Майданець А. В. Оцінка фізичних факторів середовища в салонах краси | 101 |
| Любимова Н. А. Планирование контроля многокомпонентных процессов загрязнения атмосферы с выбором нижней границы ранжированных загрязнителей..... | 104 |
| Ніколаєнко Т. Ю., Шелест Д. В., Білюк А. А., Руденко В. М., Ступак Ю. А., Пилипчук Є. В. Рух і накопичення магнітних наночасток в зоні пухлини організму експериментальних тварин під впливом постійного магнітного поля..... | 107 |
| Дубовик Д. Д. Алгоритм разработки информационной модели экологического состояния искусственных водоемов..... | 111 |
| Голинько В. И., Пустовой Д. С. Повышение эффективности очистки воздушного потока от высокодисперсной пыли..... | 116 |
| Чеберячко С. І., Радчук Д. І., Чеберячко Ю. І. Теоретичні дослідження опору дихання фільтрувального респіратору на циклічному потоці повітря..... | 121 |
| Хаді Аміне. Система управления качеством в автомобилестроительной компании IRAN KHODRO..... | 128 |
| Літвінов В. В., Галько Є. В. Удосконалення методу розподілу навантаження між гідроагрегатами з неідентичними характеристиками турбін..... | 131 |
| Реферати..... | 138 |
| Рефераты..... | 143 |
| Abstracts..... | 148 |

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"**

Збірник наукових праць

Серія:

Механіко-технологічні системи та комплекси

№ 36(1145)

Наукові редактори: д-р техн. наук, проф. Д. О. Дьомін
д-р техн. наук, проф. О. В. Акімов
Технічний редактор П. С. Пензєв

Відповідальний за випуск канд. техн. наук Г. Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».
Кафедра ливарного виробництва.
Тел. (057) 707-68-54; e-mail: c7508990@gmail.com

Обл.-вид. №59-15

Підп. до друку 28.12.2015р. Формат 60x84/16. Надруковано на різнографі
Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 8. Облік.вид.арк. 8,75.
Наклад 100 прим. Зам. № 82-15. 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, тел. (057)750-89-90