

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

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси»

№ 7(1179)2016

Збірник наукових праць

Видання засноване в 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2016

Вісник Національного технічного університету «ХПІ».Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х.: НТУ „ХПІ” – 2016р. – No7(1179) – 140 с.

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 2015р. Наказ № 1328 (додаток 8) від 21.12.2015р.

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. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.; Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.; В. І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; В. А. 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. Тимофієв, 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, Дудніков А. А., канд. техн. наук, ПДАА, Полтава, Заблоцький В. К., д-р техн. наук, ДДМА, Краматорськ, Заміховський Л. М., д-р техн. наук, ІФТУНГ, Івано-Франківськ, Євстратов В. О., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, Погрібний М. А., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Пономаренко О. І., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, 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, проф., Старооскольський технологічний інститут – філія Національного дослідницького технологічного інституту «Московський інститут сталі і сплавів», Росія

*У квітні 2015 р. Вісник Національного технічного університету «ХПІ», Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси», включений у довідник періодичних видань бази даних **Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA)***

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ „ХПІ”

Протокол № 2 від «11» березня 2016 р.

УДК 621.763:667.637.22

В. П. КАШИЦЬКИЙ, О. Л. САДОВА, О. М. ЛЮШУК

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СЕРВОВИТНОЇ ПЛІВКИ У ВИСОКОНАПОВНЕНИХ ПРЕС-КОМПОЗИТАХ

Перспективним напрямком в сучасному трибоматеріалознавстві є розробка полімеркомпозитів, здатних до ініціювання процесів самоорганізації під час експлуатації, що призводить до формування в поверхневих шарах трибоконтакту нових стійких структур. Тому основну увагу акцентовано на особливостях виникнення ефекту вибіркового перенесення в епоксикомпозитах, наповнених порошками на основі міді та базальтовим волокном. Проаналізовано результати експериментальних досліджень та вибрано оптимальний склад епоксикомпозиту, за якого формується мідна плівка і стабілізується процес фрикційної взаємодії. Проведено хімічний аналіз трибоповерхні епоксикомпозитного матеріалу оптимального складу.

Ключові слова: самоорганізація, сервовитна плівка, епоксикомпозитний матеріал, структура, поверхня трибоконтакту, фрикційна взаємодія, зносостійкість.

Перспективным направлением в современном трибоматериаловедении является разработка полимеркомпозитов, способных инициировать процессы самоорганизации во время эксплуатации, что приводит к формированию в поверхностных слоях трибоконтакта новых устойчивых структур. Поэтому основное внимание акцентировано на особенностях возникновения эффекта выборочного переноса в эпоксикомпозитах, наполненных порошками на основе меди и базальтовым волокном. Проанализированы результаты экспериментальных исследований и выбран оптимальный состав эпоксикомпозитов при котором формируется медная пленка и стабилизируется процесс фрикционного взаимодействия. Проведен химический анализ трибоповерхности эпоксикомпозитного материала оптимального состава.

Ключевые слова: самоорганизация, сервовитная пленка, эпоксикомпозитный материал, структура, поверхность трибоконтакта, фрикционное взаимодействие, износостойкость.

The topical direction is the development of tribotechnical composite materials based on polymer binders, in particular based on epoxy resin, which is characterized by high technology in the forming and adhesion capacity to many materials, that allows to refuse use of liquid lubricants. In this case initiation processes of self-organization, leading to the formation of new stable structures during the operation sliding bearing and contributes to stabilize the frictional parameters is perspective.

The article presented the features of appearance of effect of selective transfer in epoxy composites filled by powders based on copper and basalt fibers. The results of research was analyzed and selected the optimal composition of epoxy composite, at which is formed copper film and stabilized friction process. Conducted the chemical analysis of the friction surface of epoxy composite material optimal composition and determined distribution of chemical elements in the section of epoxy composite material.

Keywords: self-organization, serfing-film, epoxy composite material, structure, surface of trybocontact, frictional interaction, wear resistance.

Вступ. Сучасний розвиток машинобудівної галузі неможливий без покращення триботехнічних властивостей матеріалів вузлів тертя, що досягається шляхом модифікації структури або за рахунок розробки нових композитних матеріалів триботехнічного призначення. При цьому важливу роль відіграє вибір матриці, структура і властивості якої визначають допустимі режими експлуатації матеріалу вцілому. Застосування полімерів дозволяє значно скоротити витрати дорогих матеріалів та знизити енерговитрати, а композити на основі полімерної матриці мають високі антифрикційні властивості і придатні для експлуатації за середніх навантажень та швидкостей ковзання [1–3].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Перспективними матеріалами для виготовлення триботехнічних матеріалів є полімеркомпозити, зокрема на основі епоксидних смол, які широко застосовують для виготовлення деталей вузлів тертя, оскільки мають високу адгезію до металів та інших матеріалів, високу механічну міцність, малу усадку і водопоглинання, вібро- і корозійну стійкість, високі електроізоляційні властивості.

Актуальним стає використання самозмашувальних полімер-композитних матеріалів у трибовузлах, де небажане або неможливе зовнішнє підведення мастил. Одним із способів реалізації процесу самозмашування є забезпечення фрикційного вибіркового перенесення, тобто генерація в зоні тертя суцільного або

фрагментарного прошарку, який відділяє поверхні контакту і активно впливає на характер тертя та зношування. Тому дослідження процесів фрикційного переносу та самоорганізації структури поверхневого шару трибоконтакту у вузлах тертя відкриває новий етап у розвитку триботехніки [3, 4].

Мета та задачі дослідження. Метою дослідження є розробка оптимального складу епоксикомпозитного матеріалу триботехнічного призначення та визначення умов стабілізації фрикційної взаємодії за рахунок протікання процесів самоорганізації.

Для досягнення даної мети необхідно було вирішити наступні завдання:

1. Розробити склад епоксикомпозитного матеріалу триботехнічного призначення, за якого реалізується ефект вибіркового перенесення.

2. Встановити умови стабілізації триботехнічних характеристик та утворення самоорганізуючих стійких плівок переносу під час фрикційної взаємодії та провести хімічний аналіз трибоповерхні епоксикомпозитів.

Матеріали та методи дослідження епоксикомпозитних матеріалів триботехнічного призначення. Як вихідний матеріал використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), тверднення якої проведено з використанням поліетиленполіаміну – ПЕПА (ТУ 6-02-594-70), призначеного для структурування епоксидних смол за кімнатної температури [5, 6].

Дослідження зносостійкості проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою “вал–сегмент втулки” в умовах тертя без мастильного середовища. Контртіло виготовлено у формі диска із сталі 45 (ГОСТ 1050-74) діаметром 50 мм з шорсткістю поверхні $Ra=3,2$. Масу зразків визначено на аналітичних лабораторних вагах типу ВЛА – 200 з точністю 0,0001 г.

Дослідження макро- та мікроструктури матеріалу проведено на металографічному мікроскопі МИМ-10 ($\times 100\dots 600$). Детальне вивчення ділянок поверхні проведено на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106 И ($\times 100\dots 1000$).

Результати дослідження епоксикомпозитних матеріалів триботехнічного призначення. Для забезпечення реалізації ефекту вибіркового перенесення та покращення теплофізичних характеристик матеріалу триботехнічного призначення застосовано порошок оксиду міді, який виконує також армувальну функцію, підвищує твердість та міцність полімерної системи. Експериментально встановлено, що оптимальний вміст порошку оксиду міді знаходиться в межах 50...150 мас. ч., оскільки відбувається підвищення механічних характеристик. За вищого вмісту наповнювача полімерна система є не технологічною.

Використання базальтового волокна дозволяє підвищити температуру експлуатації та хімічну стійкість

композитних матеріалів. Вміст базальтового волокна (2...150 мас. ч.) обґрунтовано показниками адгезійної міцності та межі міцності при стисненні [7, 8].

Негативний вплив механічного та теплового вплив під час фрикційної взаємодії планується компенсувати структурним пристосуванням матеріалу за рахунок введення в систему добавок (табл. 1), які виконують мастильну функцію або ініціюють утворення плівок переносу з низьким опором зсуву [9].

Експериментально встановлено, що найменшу інтенсивність зношування мають епоксикомпозити, наповнені 100 мас. ч. базальтовим волокном та 150 мас. ч. порошком оксиду міді (склад № 5). Це досягається в результаті стабілізації трибовзаємодії за рахунок формування фрагментів мідної плівки на поверхні епоксикомпозиту та перенесенням її на поверхню контртіла. В результаті даного ефекту на поверхнях епоксикомпозитних зразків (рис. 1, а, в, д) та контртіла починають утворюватись фрагменти сервовитної (мідної) плівки, яка характеризується низьким опором зсуву та легко відновлюється в процесі трибовзаємодії [3, 10]. На мікроструктурах трибоповерхонь епоксикомпозитів зафіксовано пористу мідну плівку, після формування якої на трибоповерхні пара тертя композитний матеріал-сталь стає локально парою мідь-мідь.

Таблиця 1 – Склад та зносостійкість прескомпозитів

№ зразка	Матриця	Вміст базальтового волокна, мас. ч.	Вміст CuO, мас. ч.	I _g , г/м ³	
				V=2,3 м/с	V=3,6 м/с
1	100 мас. ч. ЕД-20 + 12 мас. ч. ПЕПА	2	50	2,32	6,13
2		2	100	1,87	6,46
3		2	150	1,33	3,82
4		50	150	6,09	10,52
5		100	150	3,02	5,98
6		150	150	6,83	11,65

Обчислено, що найбільша площа фрагментів утворення мідної плівки 32,54 % відповідає епоксикомпозиту складу № 5, а найменша 18,97 % – епоксикомпозиту складу № 4, який містить вдвічі менше базальтового волокна. Для епоксикомпозитного матеріалу складу № 6, площа утворених фрагментів плівки становить 26,57 %.

Аналіз мікроструктур епоксикомпозитів вказує на рівномірний розподіл частинок оксиду міді (24...85 мкм) в епоксикомпозиті (рис. 1, б, г, е). Базальтові волокна в процесі вимішування та формування епоксикомпозитних матеріалів зазнають руйнування, тому мають різну довжину в діапазоні 6...19 мкм.

Наступні дослідження за режиму тертя $V=2,3$ м/с, $P=1,5$ МПа проведено для епоксикомпозитів складів № 4, № 5 та № 6, які мають найбільшу площу фрагментів сервовитної плівки. Дослідження епоксикомпозитів даних складів показали підвищену інтенсивність зношування ($I_g = 7,91$ г/м³, $I_g = 6,34$ г/м³, $I_g = 6,98$ г/м³) на початковому проміжку дослідження $L = 3000$ м (рис. 2). Однак на наступному етапі проведення експерименту ($L = 6000$ м) зафіксовано різке зниження даної характеристики в 1,3...2 рази. Це можна пояснити протіканням процесів вибіркового перенесення міді з поверхневого шару епокси-

композитного матеріалу на контртіло на початковому етапі досліджень та формуванням сервовитної плівки на останньому.

Для епоксикомпозитів, наповнених базальтовим волокном в кількості 50 мас. ч. (№ 4) та 150 мас. ч. (№ 6), спостерігається незначне підвищення інтенсивності зношування на шостому та дев'ятому кілометрі відповідно, що можна пояснити інтенсифікацією протікання фізико-хімічних процесів пов'язаних із вибіркоким перенесенням та припрацюванням трибовузла. Встановлено, що із збільшенням тривалості досліджень (9000 м, 12000 м, 15000 м) інтенсивність зношування поступово знижується ($I_g = 2,51$ г/м³, $I_g = 2,43$ г/м³, $I_g = 2,31$ г/м³ для епоксикомпозитів складів № 4, 5, 6 відповідно), оскільки відбувається формування сервовитної плівки.

Проведено хімічний аналіз трибоповерхні епоксикомпозиту складу № 5 (рис. 3), який має найнижчу інтенсивність зношування та найбільшу площу фрагментів мідної плівки. На трибоповерхні епоксикомпозитного матеріалу вибрано п'ять структурно різних точок. Точки 1 і 3 відповідають включенням оксиду міді, що підтверджується отриманими результатами (табл. 2). В даних точках зафіксовано високий вміст міді, що становить 52,79 % та 50,66 % відповідно. По-

казники значень вмісту кисню є найнижчими серед вибраних точок. Присутність інших елементів можна пояснити частковим перенесенням останніх з іншої структурної одиниці композитного матеріалу під час виготовлення мікрошліфа та взаємодією компонентів із матрицею.

Точка 2 відповідає включенню базальтового волокна, де встановлено присутність таких хімічних елементів, як Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe. Отримані значення концентрацій останніх в даній точці та висо-

кий вміст кисню 37,54 % обумовлено хімічним складом базальтових волокон.

Хімічний аналіз точок 4 і 5 найбільше відповідають комплексній взаємодії структурних складових полінаповненої епоксисистеми (епоксидна смола, твердник, оксид міді, базальтове волокно), оскільки містить високу концентрацію вуглецю (34,69 % та 20,07 % відповідно) та кисню (29,11 % та 26,60 відповідно), що характерне для складу даної полімерної матриці. Концентрації решти елементів знаходяться в межах 0,25...14,64 %.

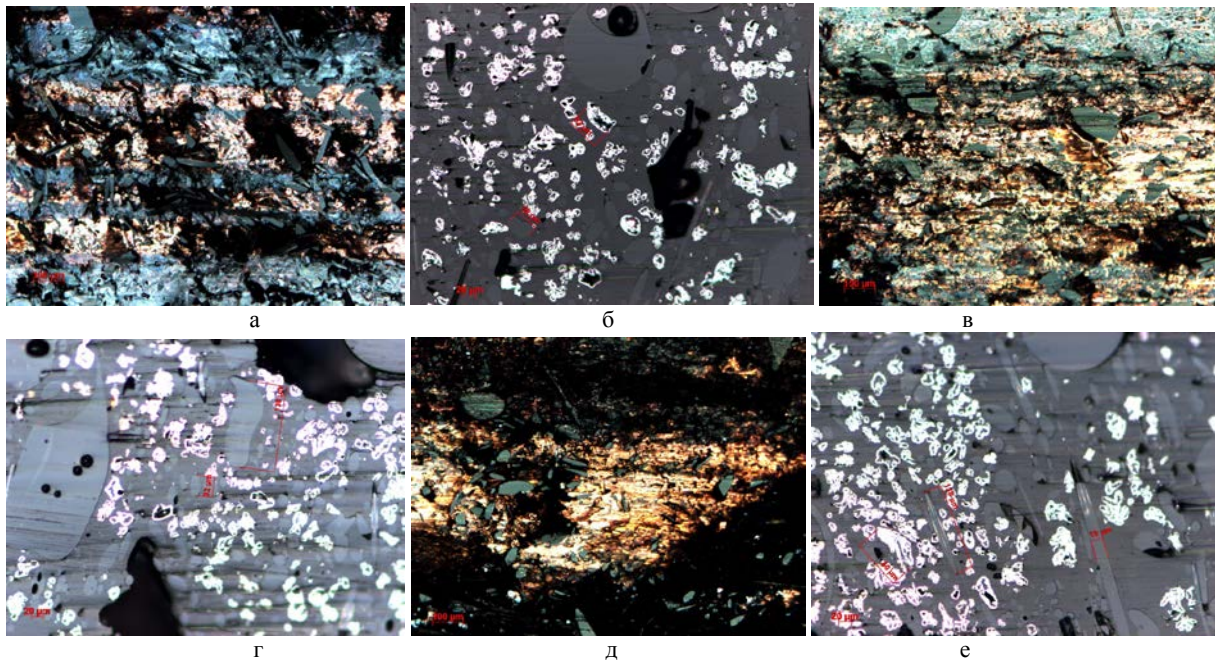


Рис. 1 – Мікроструктури епоксикомпозитних матеріалів: а, б – трибоповерхня та мікроструктура зразка № 4; в, г – трибоповерхня та мікроструктура зразка № 5; д, е – трибоповерхня та мікроструктура зразка № 6

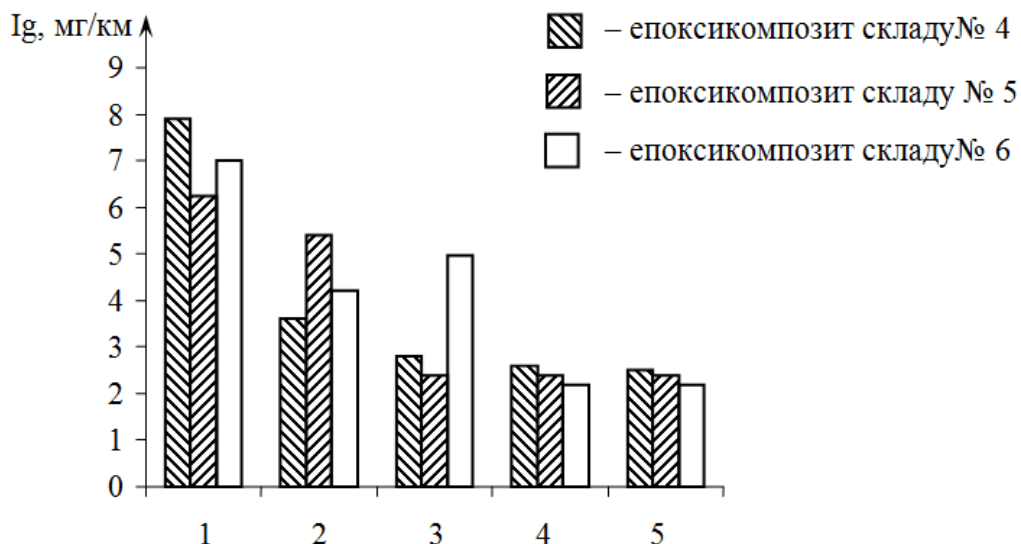
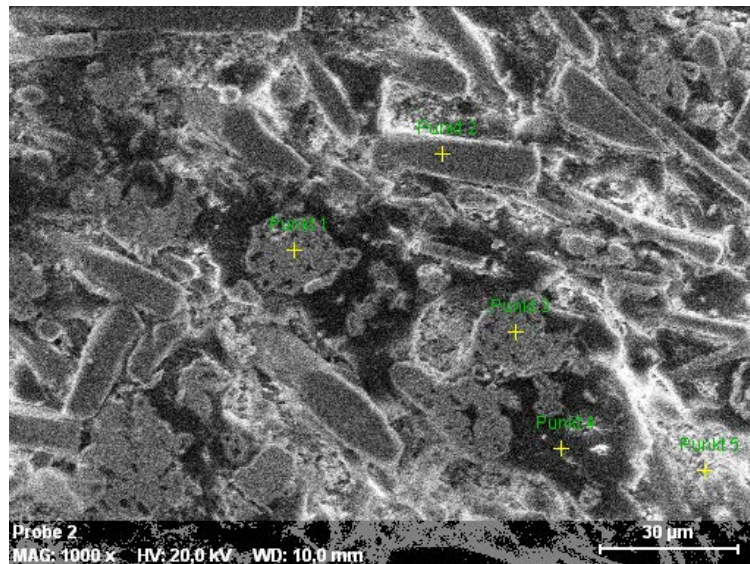
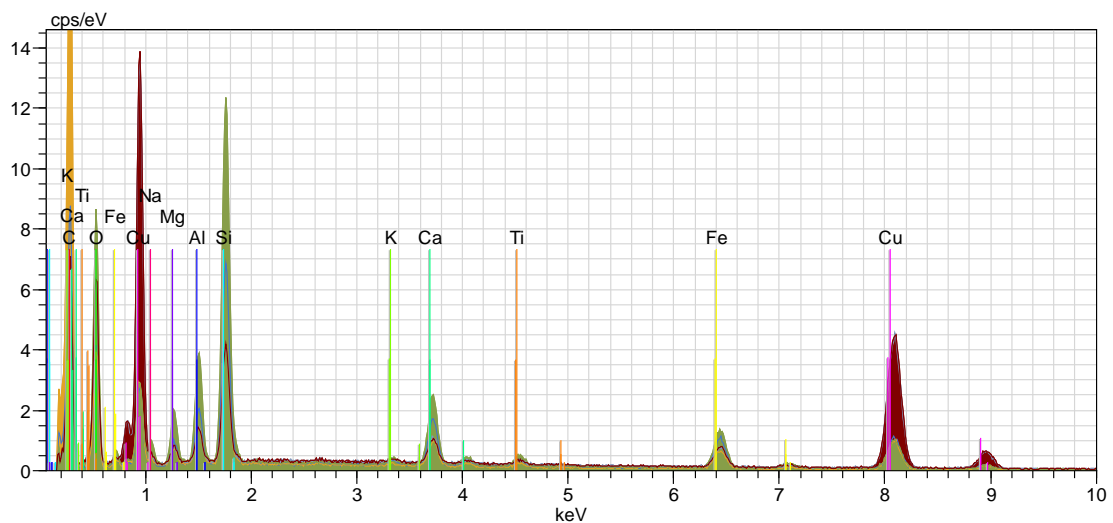


Рис. 2 – Залежність інтенсивності зношування епоксикомпозитів від тривалості фрикційної взаємодії: 1 – 3000 м, 2 – 6000 м, 3 – 9000 м, 4 – 12000 м, 5 – 15000 м



а



б

Рис. 3. Хімічний аналіз трибоповерхні епоксикомпозиту складу № 5: а – мікроструктура; б – хімічний спектр в точці 1

Таблиця 2 – Хімічний склад трибоповерхні епоксикомпозиту складу № 5

Спектр, %	C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Ti	Fe	Cu
Точка 1	11,38	19,86	0,72	1,13	1,89	6,04	0,30	1,76	0,75	3,37	52,79
Точка 2	13,78	37,54	1,58	2,54	4,56	14,64	0,59	5,07	1,40	7,00	11,32
Точка 3	11,13	18,91	1,40	2,12	2,81	6,87	0,26	1,77	0,65	3,41	50,66
Точка 4	34,69	29,11	1,18	1,61	2,64	6,97	0,25	2,32	0,82	4,49	15,91
Точка 5	20,07	26,60	1,65	1,67	3,71	12,60	0,54	4,56	1,16	9,46	17,98

Висновки. В результаті проведених досліджень:

1. Доведено позитивний вплив порошку оксиду міді (CuO) за вмісту (100...150 мас. ч.) на триботехнічні характеристики епоксикомпозитних матеріалів, оскільки відбувається підвищення зносостійкості ($I = 2,31 \text{ г/м}^3$) за рахунок встановлення ефекту вибіркового перенесення. Даний порошок (CuO) забезпечує високу конструкційну міцність матеріалу через достатню твердість частинку та сприяє формуванню на поверхні контакту сервовітної плівки в процесі трибозаємодії.

2. Встановлено, що реалізація режиму вибіркового перенесення знижує інтенсивність зношування епоксикомпозитного матеріалу майже втричі при збільшенні тривалості фрикційної взаємодії ($L = 3000...15000 \text{ м}$),

що дозволяє підвищити надійність і довговічність трибовузлів, які використовують в умовах з обмеженим мащенням або за відсутності мастильного середовища.

Список літератури:

1. Костронов, А. Г. Триботехническое материаловедение [Текст] / А. Г. Костронов. – Луганск: Ноулідж, 2012. – 700 с.
2. Корбут, С. В. Трибология [Текст] / С. В. Корбут, М. В. Кіндрачук, В. Ф. Лабунець, М. І Пашечко. – Київ: НАУ-друк, 2009. – 391 с.
3. Гаркунов, Д. Н. Триботехника (износ и безызносность) [Текст]: учеб. / Д. Н. Гаркунов. – Москва: МСХА, 2001. – 616 с.
4. Поляков, А. А. Трение на основе самоорганизации [Текст] / А. А. Поляков, Ф. И. Рузанов, А. А. Чичинадзе. – Москва: Наука, 1992. – 133 с.
5. Крыжановский, В. К. Износостойкие реактопласты [Текст] / В. К. Крыжановский. – Ленинград: Химия, 1984. – 120 с.

6. Князев, В. К. Эпоксидные конструкционные материалы в машиностроении [Текст] / В. К. Князев. – Москва: Машиностроение, 1977. – 184 с.
7. Кашицкий, В. П. Розробка захисних покриттів з підвищеною зносостійкістю на основі епоксидних композитів, модифікованих кремнійорганічним лаком КО-921 [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / В. П. Кашицкий. – Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2006. – 151 с.
8. Савчук, П. П. Властивості епоксикремнійорганічних композитів армованих базальтовими волокнами [Текст] / П. П. Савчук, О. А. Отченашенко // Наукові нотатки. – 2006. – № 18. – С. 340–348.
9. Кашицкий, В. П. Дослідження інтенсивності зношування мультнаповнених епоксикомпозитів триботехнічного призначення [Текст]: мат. 4-ої міжн. наук.-практ. конф. / В. П. Кашицкий, П. П. Савчук, О. Л. Садова, О. І. Давидюк // Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування. – Херсон, 2013. – С. 108–110.
10. Денисов, Л. М. Подшипники скольжения с безыносным режимом трения [Текст]: учеб. пос. / Денисов Л. М. – Иркутск: ИПИ, 1982. – 88 с.
2. Korbut, Ye. V., Kindrachuk, M. V., Labunets, V. F., Pashechko, M. I., (2009). Trybolohiia. Kiev: NAU-druk, 391.
3. Garkunov, D. N. (2001). Tribotekhnika (iznos i bezyznosnost'). Moscow: MSHA, 616.
4. Poljakov, A. A., Ruzanov, F. Y. (1992). Trenye na osnove samoorhanyzatsyy. Moscow: Nauka. 133.
5. Kryzhanovskij, V. K. (1984). Iznosostojkie reaktoplasty. Leningrad: Himija, 120.
6. Knjazev, V. K. (1977). Jepoksidnye konstrukcionnye materialy v mashinostroenii. Moscow: Mashinostroenie, 184.
7. Kashytskyi, V. P. (2006). Rozrobka zakhysnykh pokryttiv z pidvyshchenoiu znosostiikistiu na osnovi epoksydnykh kompozytiv, modyfikovanykh kremniiorhanichnym lakom КО-921. Lutsk national technical university, Lutsk, 151.
8. Savchuk, P. P., Otchenashenko, O. A. (2006). Vlastyivosti epoksykremniiorhanichnykh kompozytiv armovanykh bazaltovymy voloknamy. Naukovi notatky, 18, 340–348.
9. Kashytskyi, V. P., Savchuk, P. P., Sadova, O. L., Davydiuk, O. I. (2013). Doslidzhennia intensyvnosti znoshuvannia multynapovnenykh epoksykompozytiv trybotekhnichnoho pryznachennia. Suchasni energetichni ustanovki na transporti, tehnologii ta obladnannja dlja ih obslugovuvannja, 108–110.
10. Denysov, L. M. (1982). Podshipniki skol'zhenija s bezyznosnym rezhimom trenija. Irkutsk: IPI, 88.

Bibliography (transliterated):

1. Kostornov, A. G. (2012). Tribotekhnicheskoe materialovedenie. Lugansk: Noulidzh, 700.

Надійшла (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Особливості формування сервовитної плівки у високонаповнених прескомполитах/ В. П. Кашицкий, О. Л. Садова, О. М. Люшук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.3–7. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Особенности формирования сервовитной пленки в высоконаполненных прескомполитах/ В. П. Кашицкий, О. Л. Садовая, А. М. Люшук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.3–7 – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

The features of formation of serfing-film in the highly filled press composites/ V. Kashytskyi, O. Sadova, O. Lyushuk // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179). – P. 3–7. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кашицкий Віталій Павлович – кандидат технічних наук, Луцький національний технічний університет, доцент кафедри "Матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування"; вул. Львівська, 75, e-mail: kashickij@ya.ru.

Садова Оксана Леонідівна – кандидат технічних наук, Луцький національний технічний університет, асистент кафедри "Матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування"; вул. Львівська, 75, e-mail: sadova11oksana@gmail.com.

Люшук Олександр Миколайович – аспірант, Луцький національний технічний університет, аспірант кафедри "Матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування"; вул. Львівська, 75, e-mail: oleksandrlyushuk30@gmail.com.

Кашицкий Виталий Павлович – кандидат технических наук, Луцкий национальный технический университет, доцент кафедры "Материаловедения и пластического формирования конструкций машиностроения"; ул. Львовская, 75, e-mail: kashickij@ya.ru.

Садовая Оксана Леонидовна – кандидат технических наук, Луцкий национальный технический университет, ассистент кафедры "Материаловедения и пластического формирования конструкций машиностроения"; ул. Львовская, 75, e-mail: sadova11oksana@gmail.com.

Люшук Александр Николаевич – аспирант, Луцкий национальный технический университет, аспирант кафедры "Материаловедения и пластического формирования конструкций машиностроения"; ул. Львовская, 75.

Kashytskyi Vitalii – candidate of technical sciences, associate professor, Lutsk National Technical University; Lvivska st., 75, e-mail: kashickij@ya.ru

Sadova Oksana – candidate of technical sciences, assistant, Lutsk National Technical University; Lvivska st., 75, e-mail: sadova11oksana@gmail.com.

Lyushuk Olexander – postgraduate student, Lutsk National Technical University; Lvivska st., 75, e-mail: oleksandrlyushuk30@gmail.com

УДК 539.3

Н. К. АХМЕДОВ, Г. Н. ШАХВЕРДИЕВА

АНАЛИЗ ТРЕХМЕРНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ ДЛЯ НЕОДНОРОДНОЙ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

Методом асимптотического интегрирования уравнений теории упругости изучается осесимметричная задача теории упругости для неоднородной трансверсально-изотропной плиты переменной толщины. Построены неоднородные и однородные решения. На основании асимптотического анализа разъяснен характер напряженно-деформированного состояния.

Ключевые слова: неоднородные решения, однородные решения, пограничный слой, вариационный принцип.

Методом асимптотичного інтегрування рівнянь теорії пружності вивчається осесиметричне завдання теорії пружності для неоднорідної трансверсально-ізотропної плити змінної товщини. Побудовано неоднорідні і однорідні рішення. На підставі асимптотичного аналізу роз'яснено характер напружено-деформованого стану.

Ключові слова: неоднорідні рішення, однорідні рішення, прикордонний шар, варіаційний принцип.

The method of asymptotic integration of the equations of elasticity theory is studied axisymmetric problem of elasticity theory for an inhomogeneous transversely isotropic plate of variable thickness. Behavior of the solution of boundary value problems is studied both in the interior part of a plate, and near its borders. Systems of inhomogeneous and homogeneous solutions are constructed. It is shown that stress-strain state in inhomogeneous plate of variable thickness is composed of penetrating stress-strain state and solution of character of boundary layer similar to Saint-Venant edge effect in the theory of inhomogeneous plates. The simple asymptotic formulas, which allow to calculate the stress-strain state of the plates have been obtained. Based on the asymptotic analysis clarifies the nature of the stress-strain state.

Keywords: heterogeneous solutions, homogeneous solutions, boundary layer, the variational principle.

Введение. В [1–3] построена общая теория изотропной и трансверсально-изотропной конической оболочки переменной толщины. В [4–6] методом асимптотического интегрирования уравнений теории упругости изучена осесимметричная задача теории упругости для неоднородной конической оболочки и для неоднородной плиты переменной толщины. В [7] методом асимптотического интегрирования исследована осесимметричная задача теории упругости для неоднородной трансверсально-изотропной конической оболочки, и был отмечен особый случай, когда угол раствора срединной поверхности $\theta_0 = \frac{\pi}{2}$, что соответствует трансверсально-изотропной неоднородной плите переменной толщины. Отметим, что здесь речь идет не о любой плите, а о том частном виде конической оболочки, рассмотренной в [7], который она принимает при

вырождении ее срединной поверхности в плоскость. Этот случай вырождения особый и требует отдельного исследования.

Постановка задачи. Рассмотрим осесимметричную задачу теории упругости для неоднородной трансверсально-изотропной плиты с линейно изменяющейся толщиной, которая представляет собой тело с двумя коническими и двумя сферическими границами. В сферической системе координат r, θ, ϕ область, занятую плитой, обозначим через $\Gamma = \{r_1 \leq r \leq r_2, \theta_1 \leq \theta \leq \theta_2, 0 \leq \phi \leq 2\pi\}$.

Уравнения равновесия в перемещениях имеют вид [8]:

$$(L_0 + \varepsilon \partial_1 L_1 + \varepsilon^2 \partial_1^2 L_2) \bar{u} = \bar{0} \tag{1}$$

где L_k -матричные дифференциальные операторы вида

$$L_0 = \begin{pmatrix} \partial(b_{44}\partial) + 2\varepsilon^2(b_{12} - b_{22} - b_{23}) & \varepsilon(b_{12} - b_{22} - b_{23})\partial + \varepsilon^2(b_{22} + b_{44} + b_{23} - b_{12})tg\varepsilon\eta - \varepsilon\partial(b_{44}) \\ -\varepsilon b_{44}tg\varepsilon\eta \partial & \\ \varepsilon\partial((b_{22} + b_{23})) + 2\varepsilon b_{44}\partial & \partial(b_{22}\partial) - \varepsilon\partial(b_{23}tg\varepsilon\eta) - 2\varepsilon^2 b_{44} + \varepsilon(b_{23} - b_{22})tg\varepsilon\eta \partial - \\ & -(b_{22} - b_{23})\varepsilon^2 tg^2\varepsilon\eta \end{pmatrix},$$

$$L_1 = \begin{pmatrix} 2\varepsilon b_{11} & \partial(b_{44}) + b_{12}\partial - \varepsilon(b_{44} + b_{12})tg\varepsilon\eta \\ \partial(b_{12}) + b_{44}\partial & 2\varepsilon b_{44} \end{pmatrix},$$

$$L_2 = \begin{pmatrix} b_{11} & 0 \\ 0 & b_{44} \end{pmatrix}, \partial = \frac{\partial}{\partial \eta}, \partial_1^k = \rho^k \frac{\partial^k}{\partial \rho^k}, \bar{u} = \bar{u}(u_\rho, u_\theta)^T.$$

Здесь $u_\rho(\rho; \theta), u_\theta(\rho; \theta)$ – компоненты вектора перемещений; $\eta = \frac{\theta - \theta_0}{\varepsilon}, \rho = \frac{r}{r_2}$ -новые безразмерные переменные; $\varepsilon = \frac{\theta_2 - \theta_1}{2}$ – малый параметр, характеризующий толщину плиты;

$$\theta_0 = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} = \frac{\pi}{2},$$

угол раствора срединной поверхности; $\eta \in [-1; 1]; \rho \in [\rho_1; 1]$.

Предполагаем, что модули упругости $b_{ij} = b_{ij}(\eta)$ являются произвольными кусочно-непрерывными функциями переменной η , значения которых могут меняться в пределах одного порядка.

Пусть на конических границах (торцах) плиты заданы граничные условия

$$\bar{\sigma} = M \bar{u} \Big|_{\eta=\pm 1} = \bar{g}^{\pm}(\rho). \quad (2)$$

$$\text{Здесь } \bar{\sigma} = (\sigma_{\rho\rho}, \sigma_{\theta\theta})^T, M = \frac{1}{\varepsilon\rho} (M_0 + \varepsilon\partial_1 M_1),$$

$$M_0 = \begin{vmatrix} b_{44}\partial & -\varepsilon b_{44} \\ (b_{22} + b_{23})\varepsilon & b_{22}\partial - \varepsilon b_{23} t g \varepsilon \eta \end{vmatrix},$$

$$M_1 = \begin{vmatrix} 0 & b_{44} \\ b_{12} & 0 \end{vmatrix}, \quad \bar{g}^{\pm}(\rho) = (h^{\pm}(\rho), f^{\pm}(\rho))^T.$$

Будем считать, что нагрузки $h^{\pm}(\rho)$, $f^{\pm}(\rho)$, заданные на конических границах плиты, достаточно гладкие функции и относительно ε имеют порядок $O(1)$.

Построение неоднородных решений. Рассмотрим построение частных решений уравнений (1), удовлетворяющих граничным условиям (2), т. е. неоднородных решений. Для построения неоднородных решений используем первый итерационный процесс асимптотического метода [9, 10]. Решение (1), (2) отыскиваем в виде

$$\begin{aligned} u_{\rho} &= \varepsilon^{-2} (u_{\rho 0} + \varepsilon u_{\rho 1} + \dots), \\ u_{\theta} &= \varepsilon^{-3} (u_{\theta 0} + \varepsilon u_{\theta 1} + \dots) \end{aligned} \quad (3)$$

Подстановка (3) в (1), (2) приводит к системе, последовательное интегрирование которой дает соотношения для коэффициентов разложения (3):

$$\begin{aligned} u_{\theta 0} &= c_1(\rho), u_{\theta 1} = c_3(\rho), \\ u_{\rho 0} &= (c_1(\rho) - \rho c_1'(\rho)) \cdot (\eta + 1) + c_2(\rho), \\ u_{\rho 1} &= (c_3(\rho) - \rho c_3'(\rho)) \cdot (\eta + 1) + c_4(\rho), \end{aligned} \quad (4)$$

где $\bar{y}_1 = (c_1, c_2)^T$, $\bar{y}_2 = (c_3, c_4)^T$ решения соответственно уравнений

$$B \bar{y}_1 = \bar{d}_1, B \bar{y}_2 = \bar{d}_2. \quad (5)$$

Здесь

$$B = \partial_1^4 B_4 + \partial_1^3 B_3 + \partial_1^2 B_2 + \partial_1 B_1 + B_0,$$

$$B_0 = \begin{vmatrix} -(m_0 + t_0) & -(m_0 + t_0) \\ 2t_1 - 2t_0 - 2m_0 + m_1 & t_1 - t_0 - m_0 \end{vmatrix},$$

$$B_1 = \begin{vmatrix} 2t_1 + m_1 + t_0 + m_0 & 2(b_{11}^{(0)} - p_0) \\ 4t_1 - 6t_2 + 2t_0 + 2m_1 - 2m_2 + 2m_0 & 2t_1 + m_1 - t_0 - m_0 + 6(b_{11}^{(0)} - p_0 - b_{11}^{(1)} + p_1) \end{vmatrix},$$

$$B_2 = \begin{vmatrix} 3(p_1 + p_0 - b_{11}^{(1)} - b_{11}^{(0)}) & b_{11}^{(0)} - p_0 \\ m_0 + t_0 - 3t_2 - m_2 + & \\ +12(p_0 - p_2 - b_{11}^{(0)} + b_{11}^{(2)}) & 6(b_{11}^{(0)} - b_{11}^{(1)} - p_0 + p_1) \end{vmatrix},$$

$$B_3 = \begin{vmatrix} p_0 + p_2 - b_{11}^{(1)} + b_{11}^{(0)} & 0 \\ 8(p_0 - p_2 - b_{11}^{(0)} + b_{11}^{(2)}) & b_{11}^{(0)} - b_{11}^{(1)} - p_0 + p_1 \end{vmatrix},$$

$$B_4 = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ p_0 - p_2 - b_{11}^{(0)} + b_{11}^{(2)} & 0 \end{vmatrix},$$

$$\bar{d}_1 = (0; \rho f(\rho))^T, \quad \bar{d}_2 = (\rho h(\rho);$$

$$4\rho h^-(\rho) + 2\rho(\rho h^-(\rho))'^T,$$

$$b_{ij}^{(k)} = \int_{-1}^1 b_{ij}(\eta) \cdot \eta^k d\eta, \quad p_k = \int_{-1}^1 \frac{b_{12}^2(\eta)}{b_{22}(\eta)} \cdot \eta^k d\eta,$$

$$m_k = \int_{-1}^1 \frac{(b_{22}^2(\eta) - b_{23}^2(\eta))}{b_{22}(\eta)} \cdot \eta^k d\eta.$$

$$t_k = \int_{-1}^1 \frac{b_{12}(\eta)(b_{23}(\eta) - b_{22}(\eta))}{b_{22}(\eta)} \cdot \eta^k d\eta;$$

Построение и анализ однородных решений.

Однородным решением назовем всякое решение уравнений (1), удовлетворяющее условию отсутствия напряжений на конических границах плиты.

Построим однородные решения. Положим в (2) $\bar{g}^{\pm}(\rho) = \bar{0}$:

$$M \bar{u} \Big|_{\eta=\pm 1} = \bar{0}. \quad (6)$$

Отыскивая решения задачи (1), (6) в виде

$$\bar{u}(\rho; \eta) = \rho^{z-\frac{1}{2}} \bar{w}(\eta), \quad \bar{w}(\eta) = (a(\eta), c(\eta))^T,$$

получаем несамосопряженную спектральную задачу со спектральным параметром z :

$$\begin{cases} \left(L_0 + \varepsilon \left(z - \frac{1}{2} \right) (L_1 - \varepsilon L_2) + \varepsilon^2 \left(z - \frac{1}{2} \right)^2 L_2 \right) \bar{w} = \bar{0}, \\ \left(M_0 + \varepsilon \eta \mu \left(z - \frac{1}{2} \right) M_1 \right) \bar{w} = \bar{0} \quad \eta \pm 1. \end{cases} \quad (7)$$

При $\varepsilon \rightarrow 0$ для решения (7) воспользуемся асимптотическим методом [9]. Однородные решения, соответствующие первому итерационному процессу, можно получить из (4), (5), если в них положить $\bar{g}^{\pm}(\rho) = \bar{0}$. В результате получаем три группы решений:

$$\begin{cases} u_{\rho}^{(0)}(\rho, \eta) = \varepsilon \rho^{-1} D(-2(m_0 + t_0)\eta + 2t_1 + m_1 + O(\varepsilon)), \\ u_{\theta}^{(0)}(\rho, \eta) = D\rho^{-1}(- (m_0 + t_0) + O(\varepsilon)). \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} u_{\rho}^{(1)}(\rho, \eta) = \varepsilon B \cdot (\eta + O(\varepsilon)), \\ u_{\theta}^{(1)}(\rho, \eta) = B(1 + O(\varepsilon)). \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} u_{\rho}^{(2)}(\rho, \eta) = \rho^{-\frac{1}{2}} \sum_{k=1}^4 A_k u_{\rho k}^{(2)}(\rho, \eta), \\ u_{\theta}^{(2)}(\rho, \eta) = \rho^{-\frac{1}{2}} \varepsilon^{-1} \sum_{k=1}^4 A_k u_{\theta k}^{(2)}(\rho, \eta), \end{cases} \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} u_{\rho k}^{(2)}(\rho, \eta) = & \left\{ \left(\frac{3}{2} - z_{0k} \right) \left[\left(z_{0k}^2 - \frac{1}{4} \right) (p_0 - b_{11}^{(0)}) + t_0 + m_0 \right] (\eta + 1) + \right. \\ & + \left(z_{0k} - \frac{3}{2} \right) (m_0 + m_1 + t_1 + t_0) - \\ & - \left(z_{0k} - \frac{3}{2} \right) \left(z_{0k}^2 - \frac{1}{4} \right) (b_{11}^{(1)} - p_1 + b_{11}^{(0)} - p_0) + \left(z_{0k} + \frac{1}{2} \right) t_1 + m_1 + O(\varepsilon) \Big\} \times \\ & \times \exp(z_{0k} \ln \rho) u_{\theta k}^{(2)}(\rho, \eta) = \\ & = \left[\left(z_{0k}^2 - \frac{1}{4} \right) (p_0 - b_{11}^{(0)}) + t_0 + m_0 + O(\varepsilon) \right] \exp(z_{0k} \ln \rho) \end{aligned}$$

z_{0k} удовлетворяет биквадратному уравнению

$$l_0 z_{0k}^4 + l_1 z_{0k}^2 + l_2 = 0 \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} l_0 = & (b_{11}^{(1)} - p_1 + b_{11}^{(0)} - p_0)(p_0 - p_1 - b_{11}^{(0)} + b_{11}^{(1)}) + \\ & + (b_{11}^{(0)} - p_0)(p_2 - p_0 - b_{11}^{(2)} + b_{11}^{(0)}), \\ l_1 = & (b_{11}^{(0)} - p_0)(3t_2 + m_2 - m_0 - t_0) + \\ & + (b_{11}^{(1)} + b_{11}^{(0)} - p_0 - p_1)(t_0 + m_0 - m_1 - 2t_1) - \\ & - (b_{11}^{(1)} - b_{11}^{(0)} - p_1 + p_0)(2t_1 + m_0 + t_0 + m_1) - \\ & - (t_0 + m_0)(p_2 - b_{11}^{(2)} + b_{11}^{(0)} - p_0) - \\ & - \frac{5}{2}(b_{11}^{(0)} - p_0)(p_2 - b_{11}^{(2)} + b_{11}^{(0)} - p_0) - \\ & - \frac{5}{2}(p_0 - p_1 - b_{11}^{(0)} + b_{11}^{(1)})(b_{11}^{(1)} + b_{11}^{(0)} - p_0 - p_1); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} l_2 = & (p_0 - p_1 - b_{11}^{(0)} + b_{11}^{(1)}) \left(\frac{3}{2} t_1 + \frac{9}{4} m_0 + \frac{9}{4} t_0 + \frac{3}{4} m_1 \right) + \\ & + (b_{11}^{(0)} + b_{11}^{(1)} - p_0 - p_1) \left(\frac{3}{4} m_1 + \frac{3}{2} t_1 - \frac{9}{4} t_0 - \frac{9}{4} m_0 \right) + \\ & + (p_2 - p_0 - b_{11}^{(2)} + b_{11}^{(0)}) \left(\frac{9}{16} b_{11}^{(0)} - \frac{9}{16} p_0 + \frac{9}{4} m_0 + \frac{9}{4} t_0 \right) + \\ & + (b_{11}^{(0)} - p_0) \left(\frac{9}{4} m_0 + \frac{9}{4} t_0 - \frac{1}{4} m_2 - \frac{15}{4} t_1 - \frac{3}{4} t_2 \right) + \\ & + \frac{9}{16} (b_{11}^{(1)} + b_{11}^{(0)} - p_0 - p_1) (p_0 - p_1 - b_{11}^{(0)} + b_{11}^{(1)}) + \\ & + 4t_1^2 + 4m_1 t_1 + m_1^2 - m_0 m_2 - 3m_0 t_2 - t_0 m_2 - 3t_0 t_2; \end{aligned}$$

D, B, A_k – неизвестные постоянные.

Решения (8), (9) соответствуют собственным значениям $z_0^{(0)} = -\frac{1}{2}$ и $z_0^{(1)} = \frac{1}{2}$.

Решение (10) соответствует собственным значениям $z_k^{(2)} = z_{0k} + \varepsilon^2 z_{2k} + \dots$

Второй итерационной процесс здесь отсутствует, т.е. отсутствует решение, имеющее характер краевого эффекта.

Решения (7), соответствующие третьему итерационному процессу, отыскиваем в виде

$$a = \varepsilon (a_0 + \varepsilon a_1 + \dots), \quad c = \varepsilon (c_0 + \varepsilon c_1 + \dots), \quad (12)$$

$$z = \varepsilon^{-1} (\alpha_0 + \varepsilon \alpha_1 + \dots).$$

После подстановки (12) в (7) для первых членов разложения получаем спектральную задачу, описывающую потенциальное решение трансверсально-изотропной плиты, неоднородной по толщине [7]:

$$L(\alpha_0) \bar{w}_{\eta \pm 1} \{ l_0(\alpha_0) \bar{w}_0; l_1(\alpha_0) \bar{w}_0 = \bar{0} \quad \eta = \pm 1 \} = \bar{0}, \quad (13)$$

$$l_0(\alpha_0) = L_{00} + \alpha_0 L_{10} + \alpha_0^2 L_2, \quad l_1(\alpha_0) = M_{00} + \alpha_0 M_1,$$

$$L_{00} = \begin{vmatrix} \partial(b_{44}\partial) & 0 \\ 0 & \partial(b_{22}\partial) \end{vmatrix},$$

$$L_{10} = \begin{vmatrix} 0 & \partial(b_{44}) + b_{12}\partial \\ \partial(b_{12}) + b_{44}\partial & 0 \end{vmatrix},$$

$$M_{00} = \begin{vmatrix} b_{44}\partial & 0 \\ 0 & b_{22}\partial \end{vmatrix}, \quad \bar{w}_0 = (a_0, c_0)^T.$$

При помощи замены

$$a_0 = \alpha_0^{-2} q_0 f'' - q_1 f,$$

$$c_0 = -\alpha_0^{-3} (q_0 f'')' + \alpha_0^{-1} q_2 f' + \alpha_0^{-1} (q_1 f)'$$

спектральная задача (13) сводится к следующей

$$\begin{cases} (q_0 f'')'' - \alpha_0^2 [(q_1 f)'' + q_1 f'' + (q_2 f)'] + \alpha_0^4 q_3 f = 0, \\ f'|_{\eta=\pm 1} = 0, \quad \alpha_0 f|_{\eta=\pm 1} = 0, \end{cases} \quad (14)$$

где

$$q_0 = b_{22}\chi, \quad q_1 = b_{12}\chi, \quad q_3 = b_{11}\chi, \\ q_2 = b_{44}^{-1}, \quad \chi = (b_{12}^2 - b_{11}b_{22})^{-1}.$$

$$u_\rho^{(3)}(\rho, \eta) = \varepsilon \rho^{\frac{1}{2}} \sum_{k=1}^{\infty} F_k (\alpha_{0k}^{-2} q_0 f_k''(\eta) - q_1 f_k'(\eta) + O(\varepsilon)) \exp\left(\frac{\alpha_{0k}}{\varepsilon} \ln \rho\right), \quad (15) \\ u_\theta^{(3)}(\rho, \eta) = \varepsilon \rho^{\frac{1}{2}} \sum_{k=1}^{\infty} F_k \left(-\alpha_{0k}^{-3} (q_0 f_k''(\eta))' + \alpha_{0k}^{-1} q_2 f_k'(\eta) + \alpha_{0k}^{-1} (q_1 f_k'(\eta))' + O(\varepsilon) \right) \exp\left(\frac{\alpha_{0k}}{\varepsilon} \ln \rho\right).$$

Общим решением (1), (6) будет сумма решений (8)–(10), (15), соответствующих вышеприведенным итерационным процессам, т.е.

$$u_\rho(\rho, \eta) = u_\rho^{(0)} + u_\rho^{(1)} + u_\rho^{(2)} + u_\rho^{(3)}, \\ u_\theta(\rho, \eta) = u_\theta^{(0)} + u_\theta^{(1)} + u_\theta^{(2)} + u_\theta^{(3)}.$$

Определим характер построенных однородных решений. Напряженное состояние, определяемое решением (8), эквивалентно главному вектору усилий P , направленному вдоль оси симметрии. Постоянная D связана с P соотношением:

$$P = -2\pi\varepsilon^3 \beta_0 D,$$

где

$$\beta_0 = (2m_0 + 2t_0 + 2t_1 + m_1) (p_1 - 2t_1 + t_0 + m_0 - m_1 - b_{11}^{(1)}) - (m_0 + t_0) \times \\ \times (2p_1 - 2t_1 + 2p_2 - 3t_2 + 2m_0 + 2t_0 - m_1 - m_2 - 2b_{11}^{(1)} - 2b_{11}^{(2)}) + O(\varepsilon).$$

Главный вектор напряжений в сечении $\rho = const$ для остальных однородных решений равен нулю. Решение (8) определяет внутреннее напряженно-деформированное состояние плиты.

Напряженное состояние, определяемое решением (9), соответствует перемещению плиты как твердого тела. Поэтому можно принять $B = 0$,

Напряженное состояние, определяемое решением (10), эквивалентно перерезывающим усилиям и изгибающим моментам, отнесенным к срединной плоскости плиты.

Решения (15) имеют характер пограничного слоя. Первые члены (15) совпадают с решениями типа пограничного слоя для неоднородной трансверсально-изотропной плиты постоянной толщины [7]. Для мнимых α_{0k} погранслоиные решения затухают весьма слабо. В этом случае напряженно-деформированное состояние трансверсально-изотропной и изотропной неоднородной плиты качественно отличаются.

Допустим на сферической части границы (на боковых поверхностях) плиты заданы напряжения:

$$\sigma_{\rho\rho} = \gamma_{1s}(\eta), \quad \sigma_{\rho\theta} = \gamma_{2s}(\eta) \quad \text{при } \rho = \rho_s. \quad (16)$$

(14) является обобщением спектральной задачи П. Ф. Панковича на неоднородный трансверсально-изотропный случай [7].

Решения, соответствующие третьему итерационному процессу, имеют вид:

Здесь $\gamma_{1s}(\eta)$, $\gamma_{2s}(\eta)$ - достаточно гладкие функции, удовлетворяющие условиям равновесия.

Как было показано, не самоуравновешенную часть напряжений можно снять при помощи проникающего решения (8). Для определения неизвестных постоянных A_k, F_k , входящих в (10), (15), используя вариационный принцип Лагранжа, получаем соответственно конечную и бесконечную систему линейных алгебраических уравнений [4–7]. При $\varepsilon \rightarrow 0$ можно построить асимптотические решения этих систем. Если неизвестные постоянные A_k, F_k отыскиваем в виде

$$F_k = F_{k0} + \varepsilon F_{k1} + \dots, \quad A_k = A_{k0} + \varepsilon A_{k1} + \dots$$

для определения A_{k0}, F_{k0} имеем [7]:

$$\sum_{k=1}^4 m_{jk} A_{k0} = h'_j; \quad (j = \overline{1,4}) \quad (17)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} g_{nk} F_{k0} = h''_n; \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (18)$$

Определение F_{kn}, A_{kn} ($n = 1, 2, \dots$) неизменно сводится к обращению одних и тех же матриц, которые совпадают с матрицами системы (17), (18).

Выводы. Рассмотрена осесимметричная задача теории упругости для неоднородной трансверсально-изотропной плиты с линейно изменяющейся толщиной, которая представляет собой тело с двумя коническими и двумя сферическими границами. Показано, что методом асимптотического интегрирования уравнений теории упругости может быть исследована осесимметричная задача теории упругости для неоднородной трансверсально-изотропной плиты переменной толщины. На основе построения неоднородного и однородного решений и использования асимптотического анализа разъяснен характер напряженно-деформированного состояния.

Список литературы:

1. Мехтиев, М. Ф. Асимптотический анализ некоторых пространственных задач теории упругости для полых тел [Текст] / М. Ф. Мехтиев. – Баку: НАН Азербайджана, 2008. – 320 с.
2. Мехтиев, М. Ф. Метод однородных решений в анизотропной теории оболочек [Текст] / М. Ф. Мехтиев. – Баку: Чашыюглу, 2009. – 334 с.
3. Мехтиев, М. Ф. Асимптотическое исследование решения задачи теории упругости для полого конуса [Текст] / М. Ф. Мехтиев,

- Ю. А. Устинов // Прикладная математика и механика. – 1971. – Т. 35, № 6. – С. 1108–1115.
4. Ахмедов, Н. К. Анализ трехмерной задачи теории упругости для неоднородного усеченного полого конуса [Текст] / Н. К. Ахмедов, М. Ф. Мехтиева // Прикладная математика и механика. – 1993. – Т. 57, № 5. – С. 113–119.
 5. Ахмедов, Н. К. Осесимметричная задача теории упругости для неоднородной плиты переменной [Текст] / Н. К. Ахмедов, М. Ф. Мехтиева // Прикладная математика и механика. – 1995. – Т. 59, № 3. – С. 518–523.
 6. Ахмедов, Н. К. Анализ некоторых задач теории упругости для неоднородных оболочек [Текст] / Н. К. Ахмедов. – Saarbrücken: LAP, 2012. – 345 с.
 7. Ахмедов, Н. К. Анализ осесимметричной задачи теории упругости для неоднородной трансверсально-изотропной конической оболочки [Текст] / Н. К. Ахмедов, М. Ф. Мехтиева, Г. Н. Шахвердиева // Известия высших учебных заведений. Северо-кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2015. – № 2 (186). – С. 5–11.
 8. Лурье, А. И. Теория упругости [Текст] / А. И. Лурье. – Москва: Наука, 1970. – 939 с.
 9. Гольденвейзер, А. Л. Построение приближенной теории оболочек при помощи асимптотического интегрирования уравнений теории упругости [Текст] / А. Л. Гольденвейзер // Прикладная математика и механика. – 1963. – Т. 27, № 4. – С. 593–608.
 10. Плевако, В. П. Аналитическое исследование изгиба неоднородных по толщине изотропных плит [Текст] / В. П. Плевако, В. О. Потапов, В. А. Куценко, И. В. Лебединец, И. П. Педорич // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 4/7 (82). – С. 10–16.

Bibliography (transliterated):

1. Mehdiyev, M. F. (2008). The asymptotic analysis of some three-dimensional problems of elasticity theory for hollow bodies. Baku: Azerbaijan National Academy of Sciences, 320.
2. Mehdiyev, M. F. (2009). Method odnorodnh solutions anisotropic theory of shells. Baku: Chashyoglu, 334.
3. Mehdiyev, M. F., Ustinov Y. A. (1971). The asymptotic study of solutions of elasticity theory for a hollow cone. Applied Mathematics and Mechanics, 35 (6), 1108–1115.
4. Akhmedov, N. K., Mehdiyev, M. F. (1993). An analysis of three-dimensional elasticity problems for inhomogeneous truncated hollow cone. Applied Mathematics and Mechanics, 57 (5), 113–119.
5. Akhmedov, N. K., Mehdiyev, M. F. (1995). Axisymmetric task of elasticity theory for an inhomogeneous plate of variable thickness. Applied Mathematics and Mechanics, 59 (3), 518–523.
6. Akhmedov, N. K. (2012). Analysis of some problems of elasticity theory for inhomogeneous shells. Saarbrücken: LAP, 345.
7. Akhmedov, N. K., Mehdiyev, M. F., Shahverdiyev, G. N. (2015). Analysis of Axisymmetric Problem of Elasticity Theory for Inhomogeneous Transversally-Isotropic Conic Shell. Proceedings of the higher educational institutions. North-Caucasian region. Series: Natural Sciences, 2 (186), 5–11.
8. Lurie, A. I. (1970). The theory of elasticity. Moscow: Nauka, 939.
9. Goldenveizer, A. L. (1963). An approximate theory of shells with the help of asymptotic integration of the equations of the theory of elasticity. Applied Mathematics and Mechanics, 27 (4), 593–608.
10. Plevako, V. P., Potapov, V. O., Kycenko, V. A., Lebedynets, I. V., Pedorych, I. P. (2016). Analytical study of the bending of isotropic plates, inhomogeneous in thickness. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(7(82)), 10–16. doi:[10.15587/1729-4061.2016.75052](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.75052)

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Аналіз тривимірної задачі теорії пружності для неоднорідної трансверсально-ізотропної плити змінної товщини/ Н. К. Ахмедов, Г. Н. Шахвердієва// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 8–12.– Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Анализ трехмерной задачи теории упругости для неоднородной трансверсально-изотропной плиты переменной толщины/ Н. К. Ахмедов, Г. Н. Шахвердиева// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.8–12. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Analysis of three-dimensional problem of elasticity theory for a variable thickness inhomogeneous transversally-isotropic plate/ N. K. Akhmedov, G. N. Shahverdiyeva//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P.8–12. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ахмедов Натік Каракіші огли – доктор математичних наук, Азербайджанський Державний Економічний Університет, професор, завідувач кафедри «Математики»; вул. Істіглалят, 6, м. Баку, Азербайджан, AZ1001; e-mail: anatiq@gmail.com.

Шахвердієва Гюльназ Наріман кизи – Бакинський Слов'янський Університет, викладач кафедри «Математики та інформатики»; вул. С. Рагімова, 145, м. Баку, Азербайджан, AZ-1141; e-mail: bnq@mail.ru.

Ахмедов Натік Каракіші оглы – доктор математических наук, Азербайджанский Государственный Экономический Университет, профессор, заведующий кафедрой «Математики»; ул. Истиглалят, 6, г. Баку, Азербайджан, AZ1001; тел.: 050-333-61-14; e-mail: anatiq@gmail.com.

Шахвердиева Гюльназ Нариман кызы – Бакинский Славянский Университет, преподаватель кафедры «Математики и информатики»; ул. С. Рагімова, 145, г. Баку, Азербайджан, AZ-1141; тел.: e-mail: bnq@mail.ru.

Natig Ahmadov Karakishi oglu – Doctor of Mathematical Sciences, Azerbaijan State Economic University, Professor, Head of the Department "Mathematics"; Istiglaliyyat str., 6, Baku, Azerbaijan, AZ1001; e-mail: anatiq@gmail.com.

Shahverdiyev Gulnaz Nariman gizi – Baku Slavic University, teacher of "Mathematics and Informatics"; S. Rahimov str., 145, Baku, Azerbaijan, AZ-1141; tel.: e-mail: bnq@mail.ru.

УДК 621.7.047.7

С. Л. НЕГРУБ, Е. Г. ВОЛОДЬКО

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ПОСРЕДСТВОМ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В работе описывается комбинированный метод подготовки и нанесения покрытия посредством применения комбинированной электролитно-плазменной технологии (ЭПТ). Разработан продуктивный, экологически безопасный и экономически выгодный технологический процесс подготовки и нанесения покрытий с использованием современных технологий, который позволяет практически полностью заменить стандартные методы подготовки поверхности и нанесения покрытий. Исследованы характеристики покрытий полученных с применением разработанного технологического процесса. Показано, что в процессе обработки используются экологически безопасные электролиты на основе солей, полученное покрытие удовлетворяет требованиям.

Ключевые слова: электролит, плазма, разряд, очистка, полировка технологический процесс, покрытие, коррозионная стойкость, защита поверхности.

У роботі описується комбінований метод підготовки і нанесення покриття за допомогою застосування комбінованої електролітно-плазмової технології (ЕПТ). Розроблено продуктивний, екологічно безпечний і економічно вигідний технологічний процес підготовки і нанесення покриттів з використанням сучасних технологій, який дозволяє практично повністю замінити стандартні методи підготовки поверхні і нанесення покриттів. Досліджено характеристики покриттів отриманих із застосуванням розробленого технологічного процесу. Показано, що в процесі обробки використовуються екологічно безпечні електроліти на основі солей, отримане покриття задовольняє вимогам.

Ключові слова: електроліт, плазма, розряд, очищення, полірування, технологічний процес, покриття, корозійна стійкість, захист поверхні.

The paper describes a combined method of preparation and coating by applying a combination of electrolytic-plasma technology (EPT). A productive, environmentally safe and cost-effective process of preparation and coating with the use of modern technology, which allows almost completely replace standard methods of surface preparation and coating. Have been investigated the characteristics of coatings obtained using the developed process. It is shown that during the treatment ecologically safe use electrolytes based salt obtained meets the requirements of the coating.

Keywords: electrolyte, plasma, discharge, cleaning, polishing, technological process, coating, corrosion resistance, surface protection.

Введение. На сегодняшний день наиболее распространенными методами нанесения покрытий являются гальванический и химический (восстановление из растворов солей).

Однако при данных методах, перед нанесением защитного покрытия обязательна подготовка поверхности. Даже самое хорошее и качественное покрытие не будет обладать высокими защитными свойствами, если неправильно произведена предварительная подготовка поверхности. Подготовка поверхности металла очень сильно влияет на коррозионную стойкость изделия.

Подготовка поверхности металла включает в себя предварительную механическую обработку (шлифовка, полировка), очистку от жировых загрязнений, оксидных пленок, грязи и т.д. Осуществляется подготовка поверхности следующими способами: механической очисткой, обезжириванием и травлением. Иногда достаточно лишь одного метода удаления загрязнений, в других случаях – применяются все. Каждый этап очистки, в зависимости от тяжести загрязнения, может повторяться несколько раз, например, стальные болты, которые хранились в смазочных материалах, могут подвергаться процессу обезжиривания два-три раза [1–3].

Неполноценная подготовка поверхности приводит к браку, который, как правило, приходится перепокрывать или изготавливать заново (при многослойном покрытии), что требует значительных материальных затрат.

Каждый из этапов подготовки поверхности к нанесению покрытия связан с рядом вредностей и опасностей:

– при предварительной механической обработке в воздухе образуется большое количество абразивной пыли;

– обезжиривание растворителем проводится путем использования ацетон-трихлорэтилена часто в ультразвуке;

– щелочная очистка в сильном основании, чтобы удалить исходный оксидный слой. Этот раствор состоит из карбоната натрия и триортофосфата натрия;

– кислотная очистка производится в растворе серной, фтористоводородной, азотной или раствором ортофосфорной и азотной кислот.

Учитывая вышеизложенное возникает необходимость в разработке современного экологически безопасного, экономически целесообразного и продуктивного метода комбинированной электролитно-плазменной обработки.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Последние 15 лет интенсивно внедряется в производство экологически чистый метод электролитно-плазменной обработки металлических изделий. Новый метод позволяет обрабатывать в водных растворах солей металлические и полупроводниковые изделия из нержавеющей и углеродистых сталей, медных и алюминиевых сплавов, латуни, цинка, титана, кремния. Наряду с высокой производительностью электролитно-плазменная технология имеет более высокие технические характеристики: скорость обработки изделия, шероховатость его поверхности, отсутствие внедрения частичек абразива, обезжиривание поверхности.

Данный метод во многом лишен недостатков, присущих традиционным механическим и электрохимическим способам обработки, и дополнительно позволяет экономить материальные ресурсы. Его преимуществами являются высокая производительность и эффективность, соблюдение экологической чистоты окружающей среды, высокое качество и скорость выполняемых операций, невысокая стоимость. Электро-

литно-плазменная обработка во многих случаях может заменить трудоемкую механическую и токсичную химическую обработки в кислотных растворах. Производительность и экономическая эффективность технологических операций в 3–4 раза выше аналогичных, осуществляемых механическим способом, и в 5–6 раз выше электрохимического способа обработки. Процесс соответствует требованиям санитарных норм. Электролитно-плазменная полировка выполняется на компактных установках, которые просты в управлении и надежны в эксплуатации.

Процессы, происходящие при плазменно-электролитической обработке

На рис. 1 демонстрируется вольтамперная характеристика процесса.

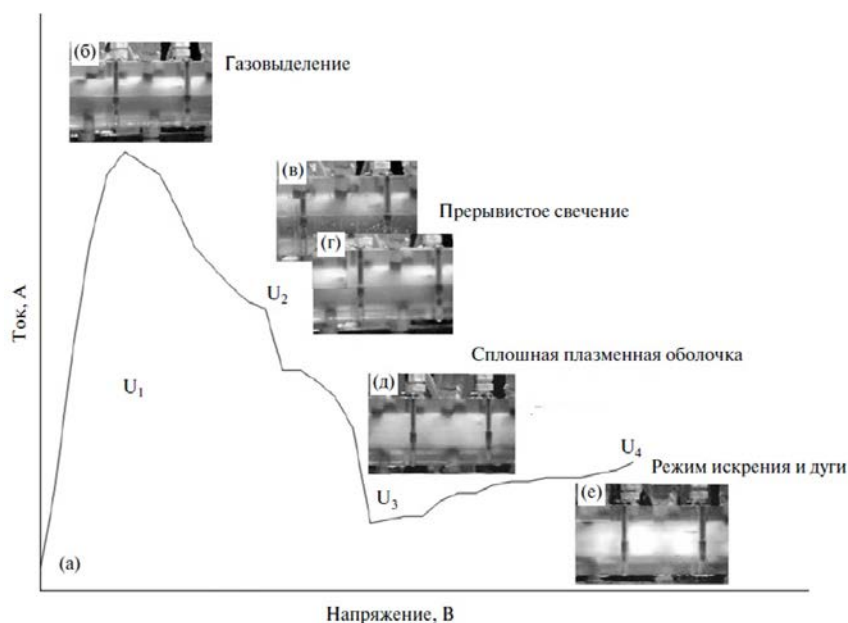


Рис. 1 – Вольтамперная характеристика для (ЭПТ) – обработки в катодном режиме: а – Начало обработки; б – Газовыделение; в, г – Прерывистое свечение; д – Сплошная плазменная оболочка; е – Режим искрения дуги [8]

При низких напряжениях, U_1 , ток линейно возрастает с увеличением напряжения, согласно закону Фарадея. Этот режим сопровождается наличием газа, обычно, H_2 , как и в данном случае, что показано на рис. 1(б). При дальнейшем увеличении напряжения, достигается точка U_2 (>90 В), наличие которой является интересным явлением для изучения электролитических плазменных процессов. Эта область характеризуется появлением светящегося газа, он нестабилен, о чем свидетельствуют значительные колебания тока. Ток, обозначенный в этом режиме – это средний ток колебаний (макс, мин тока). Рис. 1, в, г показывают нестабильность, которая сопровождается прерывистым свечением газа. Появление светящегося газа было обусловлено испарением электролита вблизи электрода (в данном случае, катода) благодаря Джоулеву теплу. Экспериментальные исследования, проведенные без учета Джоулева тепла, показывают, что нормальный электролиз невозможен без формирования светящегося газа, поскольку не происходит электролитического газовыделения, возрастающего с ростом напряжения [4–8].

При увеличении напряжения до U_3 , катод окружается сплошной газообразной плазмой, которая характеризуется значительным уменьшением тока. Это режим работы, когда плазма стабильна, и когда можно осуществлять контролируруемую обработку поверхности, рис. 1.

Известно, что критическая плотность тока для условий появления стабильной плазмы зависит от многих факторов, включая форму (плоские или круглые), размер и ориентацию электрода. В экспериментальных исследованиях было показано, что для формирования устойчивой плазмы при увеличении диаметра электрода необходимы более высокие напряжения и плотность тока. Это согласуется с результатами других авторов, исследовавших катодный режим.

Двигаясь к напряжению U_4 , интенсивное искрение наблюдается вместе с плазменной оболочкой, рис. 1, е. Это агрессивный режим и он может иметь пагубное воздействие на поверхность изделия.

На рис. 2 представлена схема механизма ЭПТ обработки. Из рис. 2 видно, что во время режима стабильной плазмы, заготовка окружена непрерывной газовой оболочкой. Высокий потенциал между электродами приводит к концентрации положительных ионов, присутствующие в электролите, в непосредственной близости от катода, в основном на поверхности пузырьков газа. Таким образом, очень высокий положительный заряд находится в непосредственной близости к катоду.

Это приводит к высоко локализованной напряженности электрического поля между катодом и положительным зарядом. Во время электролитно-плазменного окисления напряженность электрического поля плазменного слоя может достигать 105 В/м и выше. Когда достигается такая напряженность электрического поля, газовое пространство внутри пузырьков ионизируется и является плазменным разрядом. На рис. 2а показано увеличенное изображение такой рабочей поверхности. Один пузырек плазмы показан для наглядности. В реальности количество пузырьков значительно больше. Температура плазмы в некоторых точках может достигать 2000°C. Эти горячие пузырьки окружены относительно прохладным электролитом (примерно 100°C), что ведет к остыванию плазмы. В результате, пузырек лопается на поверхности металла, рис. 2, б, в, г. Длительность разряда плазмы предположительно около 10^{-6} с. Вся поверхность катода не покрывается сплошным слоем плазмы, а покрывается определенным количеством дискретных плазменных разрядов в каждый отдельный момент времени.

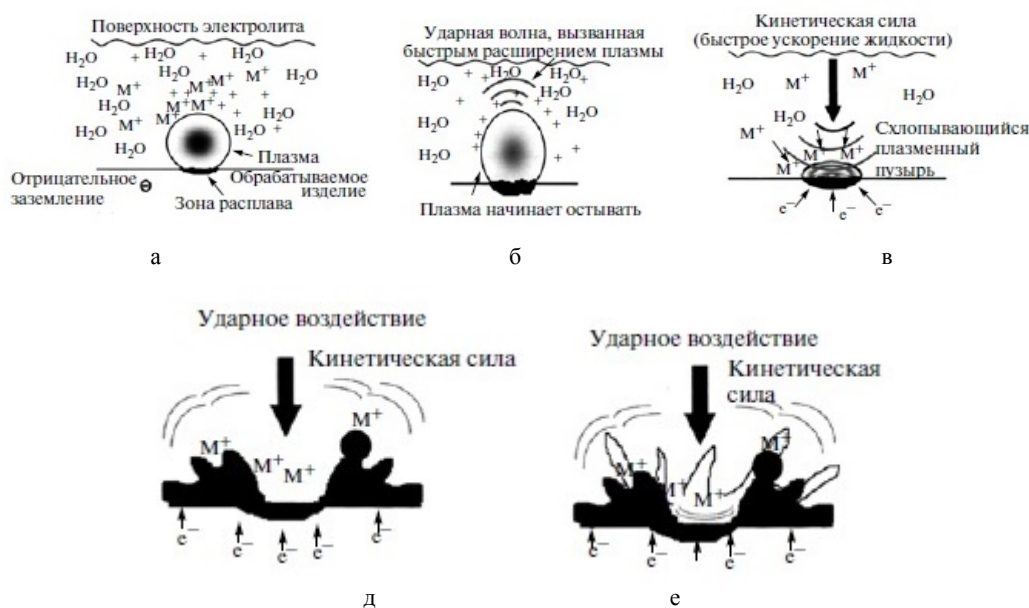


Рис. 2 – Электролитно-плазменная технология нанесения покрытий: а – горячий пузырек плазмы на поверхности детали; б – остывание плазмы на поверхности детали; в – схлопывающийся плазменный пузырь; г – нанесение ионов металла на поверхность; д – расплав нанесенного металла; е – нанесенное покрытие на поверхности детали [8]

Когда пузырек лопается, могут произойти два явления:

1. Положительные ионы, сконцентрированные вокруг пузырька, скапливаются непосредственно на поверхности катода.

2. Когда лопается пузырек, накопленная энергия высвобождается в газовый слой и кинетическая энергия передается к жидкому слою, а от него – к поверхности рабочей детали. Эта энергия может быть очень высокой, и ионы, изначально ускоренные взрывом от лопающегося пузырька, в дальнейшем движутся к поверхности катода благодаря этой кинетической энергии. Это приводит к осаждению ионов металла, присутствующих в электролите, на поверхность рабочей детали (рис. 2, д, е).

Движение ионов при электролитно-плазменной обработке происходит в основном благодаря их ускорению через плазму и благодаря их поглощению, когда лопается пузырек. ЭПТ – это динамическая система, где движение электролита через реактор с высокой скоростью приводит к быстрому переносу ионов к слою плазмы. Комбинация гидродинамического потока с эффективными механизмами ионного транспорта во время процесса осаждения ЭПТ приводит к высокой скорости осаждения.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является разработка и исследование альтернативного, более экономически выгодного, экологически безопасного и производственного технологического процесса нанесения покрытий на металлические изделия комбинированным методом нанесения покрытий с использованием электролитно-плазменной технологии.

Для достижения намеченной цели были поставлены следующие задачи:

1. Заменить традиционные подготовительные операции перед нанесением покрытия на технологию электролитно-плазменной очистки и полировки.

2. Заменить методы гальванического и химического нанесения покрытий на электролитно-плазменное нанесение покрытия.

3. Разработать производственный технологический процесс подготовки и нанесения покрытия на металлические изделия.

4. Исследовать характеристики покрытий, полученные с применением разработанного технологического процесса.

Материалы и методы исследования. Лабораторные эксперименты проводились в лаборатории кафедры технологии машиностроения НМетАУ на разработанной установке ЭПОс управлением процессом (рис. 3, 4).

В качестве блока питания применялся источник вторичного электропитания ИВЕ – 245 – 09 с бестрансформаторным сетевым входом, работающем на частоте преобразования 45–55 кГц.

Основные технические данные блока питания: мощность 600 ÷ 6000 Вт; напряжение - 100 ÷ 1350 В; ток - 0,5 ÷ 7,0 А.

Для процесса электролитно-плазменной очистки электролит на основе $NaHCO_3$ при концентрации 12 %. Рабочее напряжение очистки 150–200 В. При изменении концентрации электролита в пределах от 8 % до 12 %, с тем, чтобы определить, влияние этого изменения на процесс очистки было отмечено, что качество очистки ухудшалось, когда концентрация составляла менее 12 %.

Для процесса электролитно-плазменной полировки применялся электролит на основе сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$ с концентрацией по воде 3 % [9].

Для электролитно-плазменного осаждения никеля (Ni), применялся 20 % водный раствор сульфата никеля $(NiSO_4)$ с результирующей pH ~3,8 и проводимостью ~44 мОм/см при температуре 75°C. Аналогично, как и с электролитом для очистки, концентрация сульфата никеля изменялась в пределах от 15 % до 20 %, при этом

20 % NiSO₄ оказался оптимальным. В качестве образцов для испытаний использовались стальные диски с отвер-

стием под крепление из стали 12X18H9, размеры и форма которых показаны на рис. 5.

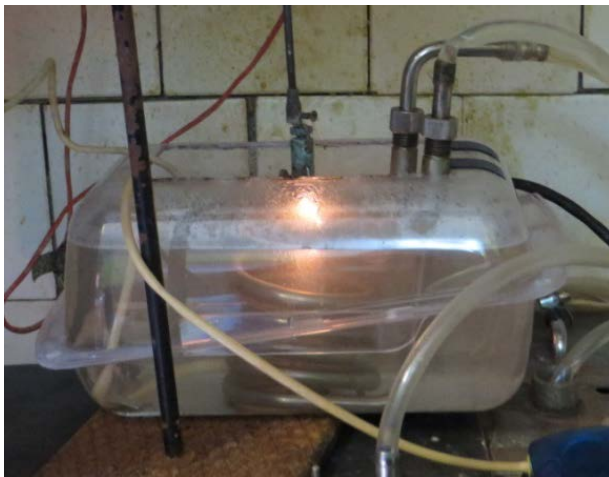


Рис. 3 – Экспериментальная электролитно-плазменная установка

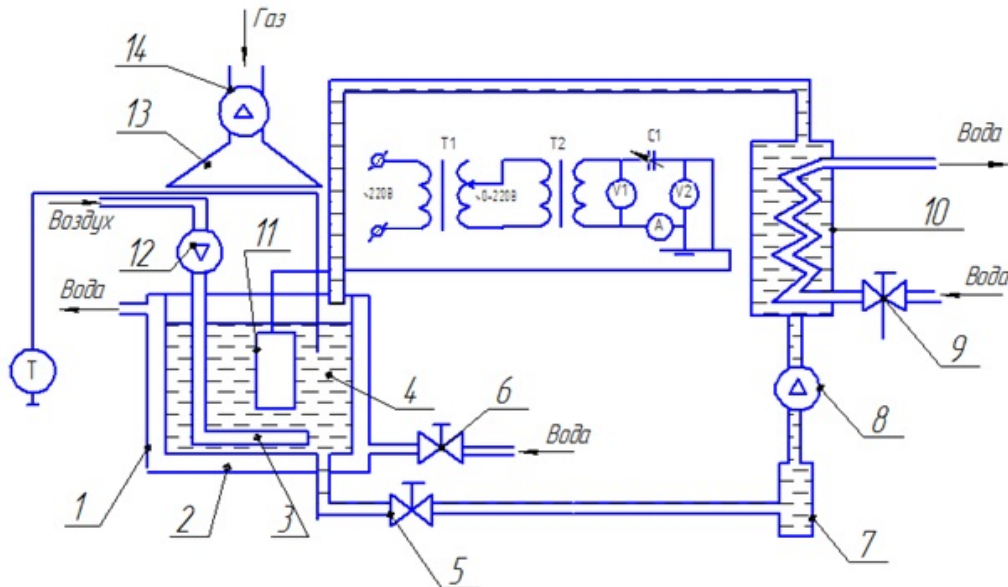


Рис. 4 – Функциональная схема установки ЭПО: 1 – гальваническая ванна; 2 – рубашка водяного охлаждения; 3 – барботер; 4 – электролит; 5, 6, 9 – запорная арматура; 7 – фильтр; 8 – водяной насос; 10 – бак с теплообменником; 11 – деталь; 12 – воздушный компрессор; 13 – вытяжной зонтик; 14 – вытяжной вентилятор

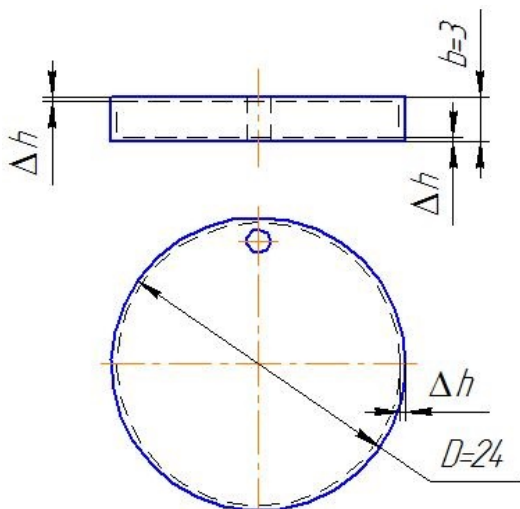


Рис. 5 – Размеры и форма экспериментальных образцов для исследований

Перед проведением исследований все образцы проходили предварительную механическую обработку в производственных условиях.

Значение шероховатости определялось с помощью бесконтактного интерференционного 3-D профилографа «Micron-alpha» производства ООО "Микрон-система" Украина, Киев, который позволяет регистрировать топографию поверхности путем обработки последовательности интерференционных данных (картин), регистрируемых цифровой камерой при смещении опорного (эталонного) зеркала.

Испытания на износ проводились на машине трения «Micron-tribo», предназначенной для проведения испытаний на трение и износ по схеме «шар-диск», «палец-диск».

Для анализа состава материала и определения марки сплава - использовался портативный рентгенофлуоресцентный анализатор с технологией SDD детектора. Новый анализатор металлов S1 TITAN LE

является удобным и простым в эксплуатации инструментом для неразрушающего химического анализа металлов и сплавов. Самая высокая чувствительность кремниевого дрейфового детектора XFlash позволяет определять концентрации элементов в составе образца, в том числе, и легкие элементы, как Mg, Al, Si, P, S и т. д.

Для проведения экспериментов использовали три различных электролита в зависимости от конкретного эксперимента.

Результаты и их обсуждение. Результаты электролитно-плазменной очистки показали удовлетворительные достижения. В этот процесс электролит на основе NaHCO_3 (хотя возможны и другие электролиты) для формирования плазмы H^+ . Из-за природы проводящих электронов осаждение не происходит. Ион водорода H^+ в плазме позволяет быстро очистить поверхность заготовки от грязи, окислов и органических соединений, которые могут присутствовать на ней. Скорость, с которой выполняется очистка по данному методу, а так же экологическая чистота делает электролитно-плазменную очистку весьма желательным процессом, который позволит практически полностью заменить стандартные методы очистки поверхности перед нанесением покрытия.

Применение метода электролитно-плазменной полировки позволило улучшить исходную шероховатость (при исходной шероховатости $\text{Ra}0.8-1.0$ была получена шероховатость $\text{Ra}0.1-0.2$), при этом возможна обработка деталей сложной формы. Это так же является отличным показателем и позволит заменить предварительную механическую обработку поверхности методом электролитно-плазменной полировки.

Сравнение взятого за основу технологического процесса подготовки поверхности и гальванического нанесения покрытия и процесса электролитно-плазменной технологии показаны на рис. 6.

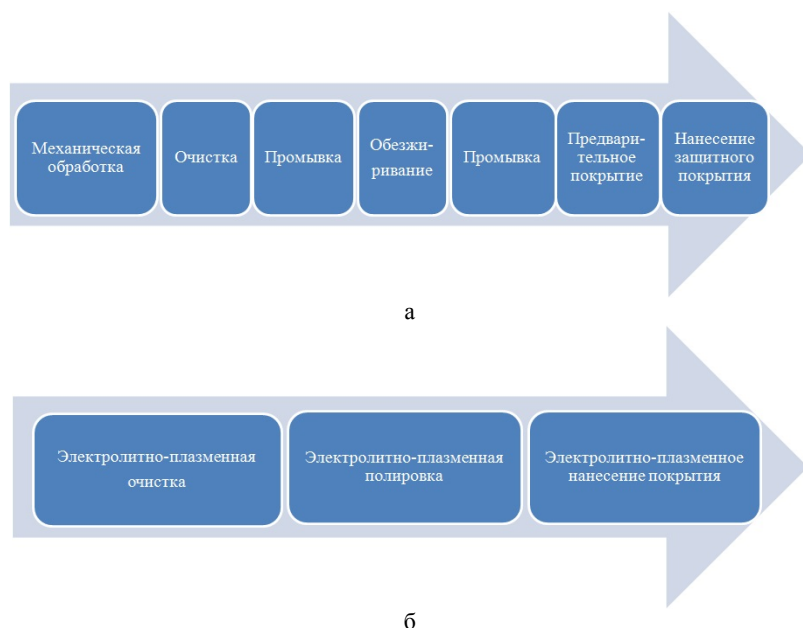


Рис. 6 – Сравнение технологических процессов подготовки поверхности и нанесения покрытия: а – при гальваническом методе; б – при электролитно-плазменной методе

Осаждение Ni на подложке Fe проводилось в 20 % растворе NiSO_4 , который нагревали до темпера-

туры 75°C в интервале напряжений 40-250 В. Реальная вольт-амперная характеристика показана на рис. 7. Исходя из данного графика (рис. 7) наиболее оптимальным и стабильным процесс электролитно-плазменного нанесения покрытия из никеля будет в интервале напряжений 180–200 В.

Средняя толщина покрытия, которое удалось получить в интервалах времени 10, 20 и 30 с показана на рис. 8. Скорость роста покрытия характеризуется высокой линейностью, средняя скорость нанесения покрытия составляет ~ 165 нм/с. Темп роста электролитно-плазменного покрытия развивается линейно и показывает, что скорость роста покрытия не замедлилась по сравнению со стандартными методами из-за переноса ионов через водородный пузырь.

Поперечное сечение и поверхность покрытия, полученного методом нанесения электролитно-плазменного нанесения показаны на рис. 9 и рис. 10 соответственно. Как можем видеть, покрытие непрерывно по всей поверхности, и содержит высокую степень изменения толщины покрытия.

Результаты спектрального анализа элементного состава покрытия применены на рис. 11. Анализ показывает присутствие никеля (83.4 %) и железа (11.0 %), с небольшим присутствием кислорода (5.6 %)

Исследование коррозионной стойкости проводилось в 3,5 % растворе NaCl на протяжении 10000 с. Покрытие полученное в течении 10 с по коррозионной стойкости соизмеримо с материалом подложки. Далее с увеличением времени обработки до 20 и 30 с и соответственно толщины покрытия коррозионная стойкость значительно увеличивается, и становится более стабильным. Тем не менее эти показатели ниже, чем у деталей, полностью состоящих из химически чистого никеля. Часть снижения данного параметра, вероятно связано с нанокристаллическим размером зерен покрытий. Широко известно, что нано-кристаллы приводят к гораздо большему числу границ зерен и тройных стыков, которые могут значительно ниже опускать потенциал коррозии материала. Дополнительное снижение потенциала коррозии может быть связано с наличием небольшого количества железа, присутствующего в слое никеля.

В итоге можно сказать, что осаждение Ni на Fe подложку посредством применения электролитно-плазменной технологии приводит к плотному и непрерывному покрытию при длительности обработки 20 с и более. Применение данного метода характеризуется чрезвычайно высокой скоростью осаждения ~ 165 нм/с. Этот результат указывает на исключительно ионный обмен и отсутствия диффузионного.

Показано, что улучшение коррозионной стойкости не достигает уровня химически чистого никеля. Покрытие становится наиболее устойчивым к коррозии при длительности обработки более 30 с и имеет

становится наиболее устойчивым к коррозии при длительности обработки более 30 с и имеет

положительный сдвиг потенциала коррозии ~200 мВ и уменьшение на ~ 37 % скорости коррозии по сравнению с подложки материала из Fe.

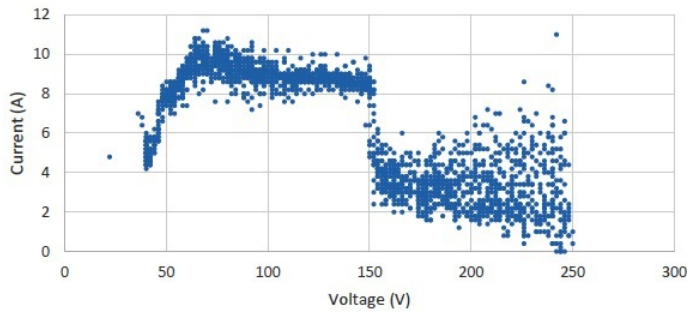


Рис. 7 – Реальная вольтамперная характеристика нанесения никеля электролитно-плазменным методом

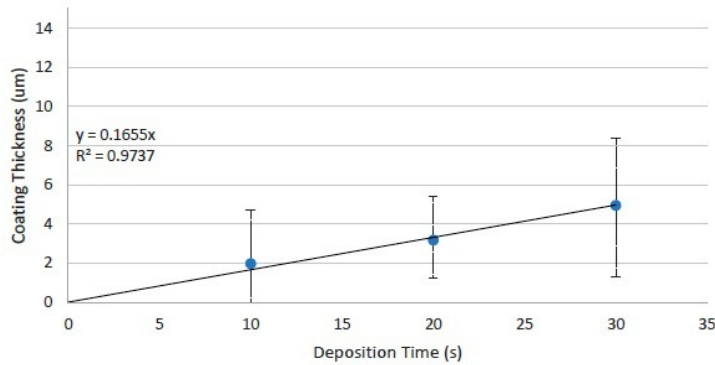


Рис. 8 – Скорость осаждения Ni на Fe [10]

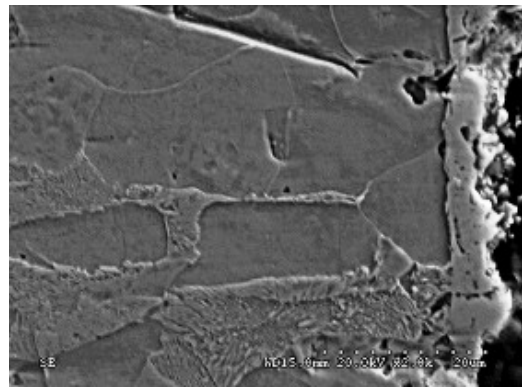


Рис. 9 – Поперечное сечение образца с Ni покрытием [10]

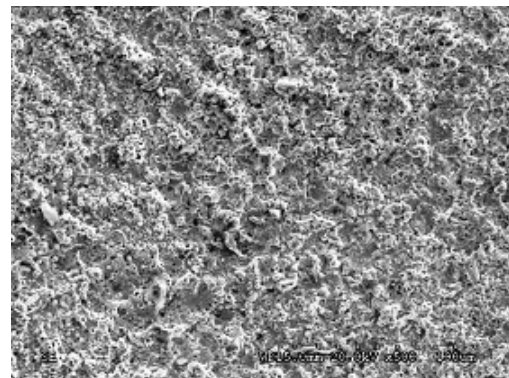


Рис. 10 – Поверхность Ni покрытия [10]

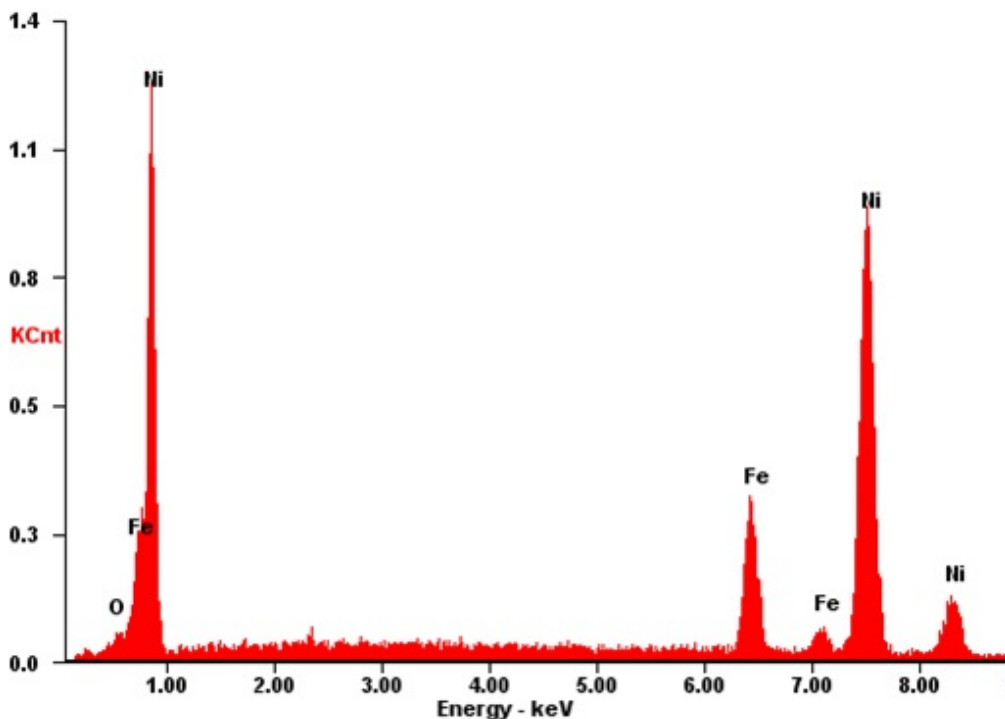


Рис. 11 – Спектральный анализ плазменно-электролитного покрытия Ni на Fe в течение 30 с при 200 В

Выводы. В результате выполненной работы был разработан и исследован альтернативный экономически выгодный, экологически безопасный и производительный технологического процесса нанесения покрытий на металлические изделия комбинированным методом нанесения покрытий с использованием электролитно-плазменной технологии.

Разработан технологический процесс, который исключает стандартные методы подготовки и нанесения покрытия на металлическую поверхность и заменяет их современными методами электролитно-плазменной очистки, полировки и нанесения покрытий. Исследованы характеристики полученного покрытия, которые

показали удовлетворительные характеристики по всем исследуемым параметрам.

Так же показано, что электролитно-плазменный метод нанесения покрытий является значительно более продуктивным и показывает, что скорость роста покрытия не замедляется с увеличением времени обработки.

Список литературы:

1. *Лахтин, Ю. М.* Материаловедение [Текст]: учеб. / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – Москва: Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. *Degarmo, E. P.* Materials and Processes in Manufacturing [Text] / E. P. Degarmo, J. T. Black, R. A. Kohser. – Wiley, 2003. – 357 с.
3. *Mazza, V.* Hydrodynamic instabilities in electrolytic gas evolution [Text] / V. Mazza, P. Pedferri, G. Re // *Electrochimica Acta*. – 1978. – № 23 (2). – P. 87–93. doi:[10.1016/0013-4686\(78\)80102-9](https://doi.org/10.1016/0013-4686(78)80102-9)
4. *Лазаренко, Б. Р.* О структуре и сопротивлении при электродной зоны при нагреве металлов в электролитной плазме [Текст] / Б. Р. Лазаренко, В. Н. Дураджи, И. В. Брянецев // *Электронная обработка материалов*. – 1980. – № 2. – С. 50–55.
5. *Дураджи, В. Н.* Нагрев в электролите [Текст] / В. Н. Дураджи, А. С. Парсаданян. – Кишинев: Штинца, 1988. – 213 с.
6. *Куликов, И. С.* Особенности электроимпульсного полирования металлов в электролитной плазме [Текст] / И. С. Куликов, С. В. Ващенко, В. И. Василевский // *Вести АНБ*. – 1995. – № 4. – С. 93–98.
7. *Суминов, И. В.* Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов [Текст] / И. В. Суминов, П. Н. Белкин, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людн, Б. Л. Крит, А. М. Борисов. – Москва: Техносфера, 2011. – 512 с.
8. *Погребняк, А. Д.* Электролитно плазменная технология для нанесения покрытий и обработки металлов и сплавов [Текст] / А. Д. Погребняк, А. Ш. Каверина, М. К. Кыльыканов // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. – 2014. – Т. 50, № 1. – С. 72–88.
9. *Smith, A. J.* Surface modification of iron and aluminum by electrolytic plasma processing [Text] / A. J. Smith. – The University of Texas at Arlington, 2014. – 144 p.
10. *Володько, Е. Г.* Планирование активного эксперимента для прогнозирования шероховатости при электролитно-

плазменной полировке [Текст] / Е. Г. Володько, В. А. Тутьк // *Системные технологии*. – 2014. – № 5. – С. 163–169.

11. *Акимов, О. В.* Влияние термической обработки на свойства нового сплава на основе железа [Текст] / О. В. Акимов, С. М. Нури // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – № 6/11 (78). – С. 35–40. doi:[10.15587/1729-4061.2015.56370](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.56370)

Bibliography (transliterated):

1. *Lahtin, Ju. M., Leont'eva, V. P.* (1990). *Materialovedenie*. Moscow: Mashinostroenie, 528.
2. *Degarmo, E. P., Black, J. T., Kohser, R. A.* (2003). *Materials and Processes in Manufacturing*. Wiley, 357.
3. *Mazza, V., Pedferri, P., Re, G.* (1978). Hydrodynamic instabilities in electrolytic gas evolution. *Electrochimica Acta*, 23 (2), 87–93. doi:[10.1016/0013-4686\(78\)80102-9](https://doi.org/10.1016/0013-4686(78)80102-9)
4. *Lazarenko, B. R., Duradzi, V. N., Brjancev, I. V.* (1980). O strukture i soprotivlenii pri jelektrodnoj zony pri nagreve metallov v jelektrolitnoj plazme. *Jelektrohnajja obrabotka materialov*, 2, 50–55.
5. *Duradzi, V. N., Parsadanjan, A. S.* (1988). *Nagrev v jelektrolite* Kishinev: Shtinca, 213.
6. *Kulikov, I. S., Vashhenko, S. V., Vasilevskij, V. I.* (1995). Osobennosti jelektroimpul'snogo polirovaniya metallov v jelektrolitnoj plazme. *Vesti ANB*, 4, 93–98.
7. *Suminov, I. V., Belkin, P. N., Jepelfeld, A. V., Ljudin, V. B., Krit, B. L., Borisov, A. M.* (2011). *Plazmenno-jelektroliticheskoe modifitsirovanie poverhnosti metallov i splavov*. Moscow: Tehnosfera, 512.
8. *Pogrebnyak, A. D., Kaverina, A. Sh., Kylyshkanov, M. K.* (2014). *Jelektrolitno plazmennaja tehnologija dlja naneseniya pokrytij i obrabotki metallov i splavov*. *Fizikohimija poverhnosti i zashhita materialov*, 50 (1), 72–88.
9. *Smith, A. J.* (2014). *Surface modification of iron and aluminum by electrolytic plasma processing*. The University of Texas at Arlington, 144.
10. *Volod'ko, E. G., Tutyk, V. A.* (2014). *Planirovanie aktivnogo jeksperimenta dlja prognozirovaniya sherohovatosti pri jelektrolitno-plazmennoj polirovke*. *Sistemni tehnologii*, 5, 163–169.
11. *Akymov, O. V., Nury, S. M.* (2015). The effect of heat treatment on the properties of the new iron-base alloy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11(78)), 35–40. doi:[10.15587/1729-4061.2015.56370](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.56370)

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Комбинированный метод нанесения покрытий посредством электролитно-плазменной технологии/ С. Л. Негруб, Е. Г. Володько// *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.13–19. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Комбінований метод нанесення покриттів за допомогою електролітно-плазмової технології/ С. Л. Негруб, Е. Г. Володько// *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.13–19. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Combined method of coating by electrolytic-plasma technology/ S. Nehrub, E. Volodko //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179). – P.13–19. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Негруб Светлана Леонидовна – кандидат технических наук, Национальная металлургическая академия Украины, доцент кафедры технологии машиностроения; пр. Гагарина, 4, г. Днепр, Украина, 49600;

Володько Евгений Григорьевич – магистр, Национальная металлургическая академия Украины, аспирант кафедры технологии машиностроения; пр. Гагарина, 4, г. Днепр, Украина, 49600;

Негруб Світлана Леонідівна – кандидат технічних наук, Національна металургійна академія України, доцент кафедри технології машинобудування; пр. Гагарина, 4, м. Дніпро, Україна, 49600;

Володько Євгеній Григорович – магістр, Національна металургійна академія України, аспірант кафедри технології машинобудування; пр. Гагарина, 4, м. Дніпро, Україна, 49600; e-mail: yevhenii.volodko@gmail.com.

Nehrub Svitlana – Candidate of Technical Sciences, National Metallurgical Academy of Ukraine, associate professor Department of Technology of Machine Building; Gagarin ave., 4, Dnipro, Ukraine, 49600;

Volodko Yevhenii – Master, National Metallurgical Academy of Ukraine, graduate student Department of Technology of Machine Building; Gagarin ave., 4, Dnipro, Ukraine, 49600; e-mail: yevhenii.volodko@gmail.com.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ТА КОМПЛЕКСАМИ

УДК 65.011.56

*К. А. КУЗНЕЦОВ, С. В. АНТОНЕНКО, Т. І. ДАНИЛОВ, А. О. СКАЧКОВ***РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ З ПОВЕРНЕННЯМ ТОВАРУ**

Розглядаються існуючі точні та евристичні алгоритми розв'язку задачі маршрутизації з поверненням товару. Більш докладно розкривається задумка евристичного алгоритму табу пошуку. На його основі з певними евристичними знаходження початкового рішення, побудови сусідніх розв'язків та покращення знайденого розв'язку пропонується новий алгоритм. Приводяться результати роботи алгоритму на тестових даних, що були запропоновані авторами, які розглядали цю проблему раніше, та їх порівняння. Запропонований алгоритм може бути використаний для розв'язання подібних задач у системах реального часу, оскільки евристичний алгоритм навіть на великих наборах даних надає результат за прийнятний час.

Ключові слова: задача маршрутизації, повернення товару, табу пошук, евристичні алгоритми, евристичні покращення розв'язку.

Рассматриваются существующие точные и эвристические алгоритмы решения задачи маршрутизации с возвратом товара. Подробнее раскрывается задумка эвристического алгоритма табу поиска. На его основе с определенными эвристическими находения начального решения, построения соседних решений и улучшения найденного решения предлагается новый алгоритм. Приводятся результаты работы алгоритма на тестовых данных, предложенные авторами, которые рассматривали эту проблему ранее, а также их сравнение. Предложенный алгоритм может быть использован для решения подобных задач в системах реального времени, поскольку эвристический алгоритм даже на больших наборах данных выдает результат за приемлемое время.

Ключевые слова: задача маршрутизации, возврат товара, табу поиск, эвристические алгоритмы, эвристичні покращення рішення.

The vehicle routing problem (VRP) is a combinatorial optimization and integer programming problem which asks «What is the optimal set of routes for a fleet of vehicles to traverse in order to deliver to a given set of customers?». It generalizes the well-known travelling salesman problem (TSP). Determining the optimal solution is an NP-hard problem in combinatorial optimization, so the size of problems that can be solved optimally is limited. The commercial solvers therefore tend to use heuristics due to the size & frequency of real world VRPs they need to solve. We consider the existing exact and heuristic algorithms for solving vehicle routing problem with backhauls. Reveal the idea of the tabu search heuristic algorithm. Based on certain heuristics find the initial solution, the construction of the neighboring solutions and improve the obtained solution, proposes a new algorithm. We present the results of the algorithm on the test data, proposed by the authors, who considered this issue before, and present the results of a comparison of these algorithms. The proposed algorithm can be used to solve such problems in real-time systems, as a heuristic algorithm, even on large data sets provides the result in an acceptable time.

Keywords: vehicle routing problem, backhauls, tabu search, heuristics.

Вступ. Системи транспортної логістики, як правило мають великомасштабний характер, а їх складність залежить від багатьох чинників, таких як кількість та різноманітність клієнтів, транспортних засобів, фізичної інфраструктури, та взаємозв'язки всередині системи. Крім того, за рахунок постійно зростаючого співробітництва між транспортними компаніями та іншими учасниками систем транспортної логістики, нові задачі стають більшими за розміром, більш складними з точки зору обмежень та цілей, яких потрібно досягнути [1].

В реальності програми, що розв'язують проблеми транспортної логістики (збір відходів, кур'єрські послуги, доставка вантажів), оброблюють дані з 10-100-тисячною базою клієнтів.

Задачі маршрутизації транспортних засобів VRP (Vehicle Routing Problem) являють собою одну з основних проблем оптимізації. Вони є об'єктом багатьох досліджень. Рішення VRP, точне або лише наближене, для великомасштабних випадків представляє великий інтерес. Якщо задача комівояжера (Traveling Salesman Problem) у випадку з тисячами вершин у графі може бути вирішена оптимально на регулярній основі, то для задачі VRP з кількістю клієнтів більше 100 оптимальний розв'язок знайти надзвичайно важко та довго [2]. Саме з цієї причини література рясніє евристичними алгоритмами, кооперативними методами

пошуку, та гібридними підходами, що дозволяють знайти неоптимальне, але прийнятне для практичного застосування рішення VPR, що не займе значну частину обчислювального часу. Однак, незважаючи на нові роботи вчених, та прогрес, що помітний в останні часи, багато проблем залишаються, та з'являються нові.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. VRPB – це NP-важка задача оптимізації. Вона може бути вирішена точно на малих наборах даних, а на великих – лише наближено. Останнім часом ця задача привертає увагу багатьох дослідників, які розробляють точні та наближені процедури для її рішення.

Точні методи запропоновані Toth та Vigo [3], які розробили алгоритм гілок і меж. Нижня межа оптимального рішення отримана з релаксації Лагранжа деяких обмежень задачі лінійного програмування. Ця межа уточнюється ітеративно шляхом додавання нерівностей для скорочення гілок. Mingozzi та ін. [4] представили інше формулювання задачі лінійного програмування для VRPB. Вони генерують межу поєднуючи різні евристички. Верхня межа отримана з їх релаксації лінійного програмування та з точного алгоритму гілок і меж, розробленого на основі запропонованих процедур нижньої та верхньої меж. Yano та ін. [5] розробили алгоритм точного рішення VRPB для роздрібної торгівлі. У запропонованому додатку транспортний засіб може доставити (або

© К. А. Кузнецов, С. В. Антоненко, Т. І. Данилов, А. О. Скачков. 2016

забрати) товари тільки від обмеженої кількості клієнтів. Не зважаючи на ці успішні спроби, задачі з великими наборами даних не можуть бути ефективно розв'язані цими точними алгоритмами. Отже, наближені методи (евристики) – єдиний спосіб ефективно розв'язати VRPB на практиці.

Класичні конструктивні евристики для VRPB почалися з роботи Deif та Bodin [6], які запропонували два підходи, базуючись на методі збереження для VRP, розробленого Clarke та Wright [7]. В першому підході, коли були побудовані маршрути, враховувалось обмеження, що всі доставки повинні бути зроблені до повернень [8]. У другому підході, клієнти з поверненнями були утримані від додавання у маршрути шляхом додавання штрафу в основну функцію збереження. Golden та ін. [9] представили процедуру вставки, де маршрути спочатку розроблені для клієнтів доставки за допомогою деяких підходів VRP, а потім клієнти з поверненнями вставляються в маршрути відповідно до критерію вставки. Для забезпечення єдиного зв'язку між клієнтами доставки та повернення, вони ввели штраф, який служить для затримки вставки повернень, поки не закінчиться маршрут. Взагалі, недоліком підходу є можливість дострокового припинення окремих маршрутів. Отже, може бути отримана велика кількість коротких маршрутів. Крім того, деякі з наближених методів є примітивними у тому сенсі, що вони не контролюють кількість маршрутів в кінцевому розв'язку. Таким чином, для рішення, яке знайдене для даного екземпляра, може знадобитися більше транспортних засобів, ніж доступний максимум для обслуговування всіх клієнтів. Мета-евристики – новий клас наближених методів, які показали чудовий результат у застосуванні до різних практичних задач комбінаторної оптимізації. Тим не менше, практично немає розробок мета-евристик до VRPB, крім реалізації варіанту реактивного табу пошуку від Osman.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення актуальності застосування деяких евристичних алгоритмів до розв'язання задачі маршрутизації з поверненням товару.

Задачею дослідження є обґрунтувати та розробити алгоритм для розв'язання задачі маршрутизації з поверненням товару і порівняти отримані результати з роботою інших запропонованих алгоритмів.

Метод табу пошуку. Це мета-евристичний алгоритм, який веде локальний пошук, щоб за-побігти його від попадання у пастку в передчасних локальних оптимумах, забороняючи ті переміщення, які змушують повертатися до попередніх рішень і циклічної роботи. Табу пошук (ТП) починається з вихідного рішення. На кожній ітерації генерується околиця рішень, і найкраще з цієї околиці вибирається як нове рішення. Певні атрибути попередніх рішень зберігаються в табу-списку, який оновлюється в кінці кожної ітерації. Вибір кращого рішення в околиці відбувається таким чином, що він не приймає жодного з заборонених атрибутів. Краще допустиме рішення в даний час, оновлюється, якщо нове поточне рішення краще і допустимо. Процедура триває, поки не виконається будь-який з двох критеріїв зупину, якими є максимальне число виконуваних ітерацій і максимальне число ітерацій, під час яких чинне рішення не поліпшується [10].

Зв'язок з традиційним терміном табу, насамперед, випливає з того факту, що табу, як правило, передаються за допомогою соціальної пам'яті, яка змінюється з плином часу. Це головний зв'язок значення «табу» у загальному понятті та у термінах табу пошуку. Заборонені елементи табу пошуку отримали свій статус, покладаючись на розвиток пам'яті, що дозволяє змінювати його в залежності від часу та обставин.

Більш точно, алгоритм пошуку із заборонами, щоб кваліфікувати його як евристичний, повинен включати адаптивну пам'ять та гнучке дослідження. Адаптивна функція пам'яті ТП дозволяє реалізувати процедури, які здатні шукати розв'язки в просторі рішень економічно і ефективно. Оскільки локальний вибір робиться на основі інформації, зібраної під час пошуку, ТП відрізняється від методів без пам'яті, які значною мірою покладаються на піввипадкові процеси. Наприклад, півжадібні евристики та відомі «генетичні» алгоритми і алгоритми «імітації відпалу», розроблені на основі процесів фізики та біології. Адаптивна пам'ять також контрастує з жорсткими конструкціями пам'яті типових стратегій гілок та меж. Можна стверджувати, що деякі види еволюційних процедур, які працюють шляхом об'єднання рішень, такі як генетичні алгоритми, втілили форму неявної пам'яті [3]. Акцент на гнучкому дослідженні в табу пошуку, в детермінованій або ймовірнісній реалізації, відбувається з припущення, що поганий стратегічний вибір може дати більше інформації, ніж гарний випадковий. У системі, що використовує пам'ять, поганий вибір стратегії може забезпечити корисні підказки про те, як стратегія може бути вигідно змінена на наступному кроці. Гнучке дослідження об'єднує основні принципи інтелектуального пошуку, тобто, використовуючи можливість хорошого рішення, досліджуючи нові перспективні регіони. Табу пошук концентрується на пошуку нових, більш ефективних способах, користуючись механізмами адаптивної пам'яті та гнучкого дослідження. Розробка нових алгоритмів і гібридних стратегій робить ТП великою областю для вивчення та досліджень [2].

Опис алгоритму. Табу пошук належить до класу наближених мета-евристик. Основна мета-евристика ТП використовує агресивну стратегію направлення будь-якої локальної процедури пошуку, щоб проводити розвідку в просторі рішень для того, щоб уникнути пастки локального оптимуму. Коли зустрічається локальний оптимум, ТП переміщується на краще рішення в цій околиці, навіть якщо це може погіршити значення цільової функції. Для запобігання повернення до раніше відвіданих рішень, ТП використовує структури пам'яті для зберігання в табу списку атрибутів нещодавно прийнятих рішень [8]. Обрані атрибути, які зберігаються у списку, позначені табу-активними, а рішення, які містять табу-активні елементи, позначені табу. Атрибут залишається у табу списку протягом певної кількості ітерацій, званих табу-періодом, перш ніж він буде вилучений з нього. Алгоритм ТП продовжує пошук, поки не досягне заданої кількості ітерацій [1].

Запропонована реалізація табу пошуку полягає у визначенні початкового розв'язку S , механізму для генерації набору сусідніх рішень $N(S)$ та набору компонентів для алгоритму ТП.

Початковий розв'язок

Для знаходження початкового розв'язку була використана евристика бережливої вставки. Спочатку знаходиться набір маршрутів для набору клієнтів доставки, використовуючи функцію S_{ij} яка обчислює, наскільки краще обслужити клієнтів i та j в одному маршруті, ніж у двох різних.

$$S_{ij} = C_{0i} + C_{0j} - \gamma \times C_{ij},$$

де γ – множник маршруту, який набуває значень від 0 до 2 з шагом 0,1. Для кожного значення множника будуються маршрути доставки: послідовно додаються клієнти, відсортовані за зменшенням функції S_{ij} , поки всі вони не будуть належати якомусь маршруту. Потім додаються клієнти повернення відповідно до критерію найкращої ціни вставки. Побудований розв'язок покращується процедурою 2-орт обміну. Вибирається найкраще рішення з 20 побудованих та надалі покращуються метаевристикою табу пошуку.

Механізм генерації сусідніх рішень

Нехай $S = \{R_1, \dots, R_p, \dots, R_v\}$ – рішення VRPB, що представляє маршрути для кожного з v транспортних засобів. Механізм генерації сусідніх рішень визначає набір операторів, які застосовуються до S для того, щоб згенерувати інше, сусіднє рішення S' в околі S , що позначається $N(S)$.

Було взято деякі оператори механізму λ -обміну. Є пара маршрутів (R_p, R_q) з S , λ -обмін міняє місцями підмножину S_p розміром $|S_p \leq \lambda|$ з R_p та підмножину S_q розміром $|S_q \leq \lambda|$ з R_q . Таким чином, побудовані 2 нових маршрути R'_p та R'_q . Нові маршрути приймають вигляд $R'_p = \{R_p - S_p\} \cup S_q$ та $R'_q = \{R_q - S_q\} \cup S_p$. У нашій реалізації застосовується механізм 1-обміну: з кожної пари маршрутів береться по одному клієнту та вставляється у найкраще місце другого маршруту; та механізм обміну 2-х сусідніх вузлів: з кожної пари маршрутів вилучається по 2 сусідніх вузла та вставляються у найкраще місце іншого.

Компоненти табу пошуку

Успіх алгоритму табу пошуку залежить від того, як визначені його складові частини.

Табу-список. У нього запам'ятовуються клієнти, які брали участь у останніх ітераціях. Якщо клієнт був перенесений з одного маршруту до іншого за останні декілька ітерацій, то алгоритм його не буде використовувати для знаходження нового околу.

Табу-обмеження. Це критерій для визначення статусу табу-шагу. При обміні двох сусідніх клієнтів між маршрутами не можна їх вертати назад.

Критерій прямування (aspiration criterion) та правило зупинки

Якщо рух, який заборонено, приводить до нового, найкращого, розв'язку, то цей рух вважається допустимим. Правило зупинки обрано таким чином, щоб загальна кількість ітерацій табу пошуку не перевищувала $T_{iter} = 200 \times n$, де n – загальна кількість клієнтів доставки та повернення.

2-орт обмін

Класичні методи локального пошуку основані на ітеративному вдосконаленні розв'язку шляхом перебору сусідніх розв'язків. Вони створюють ці сусідні розв'язки шляхом зміни одних або кількох атрибутів базового розв'язку. В нашому випадку атрибути – це дуги та вузли маршрутів. Після того, як новий розв'язок визначений, він порівнюється з поточним рішенням. Дві стратегії прийняття є звичними для проблеми VRPB:

- 1) First-accepted (перший кращий)
- 2) Best-accepted (найкращий)

При роботі за першою стратегією алгоритм зупиняється при знаходженні першого сусіднього розв'язку, що задовольняє умовам задачі, та покращує його.

Друга стратегія бере до уваги всі сусідні розв'язки, та вибирає найкращий серед всіх них.

Локальний оптимум, отриманий за допомогою алгоритмів локального пошуку, може бути далеким від оптимального розв'язку. Результат значно залежить від початкового рішення та алгоритму знаходження сусідів.

Більшість ітеративних методів покращення рішення, що використовуються в транспортній логістиці, пов'язані з заміною ребер.

Сусідні розв'язки отримуються шляхом заміни k ребер в маршруті на інші k ребер. Складність таких замін – $O(n^k)$. При $k=2$ отримаємо наступну картину:

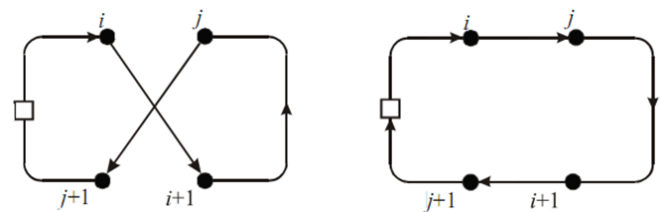


Рис. 1 – 2-орт обмін

Ребра $(i, i+1)$ та $(j, j+1)$ ми замінюємо на ребра (i, j) та $(i+1, j+1)$.

2-орт обмін застосовується на кожному маршруті окремо для набору клієнтів доставки та клієнтів повернення, поки алгоритм не буде давати зменшення ціни маршруту.

Результати розробки програми наведеного алгоритму

Розроблена програма виводить маршрут для кожного транспортного засобу, сумарну ціну цих маршрутів та зображає їх графічно.

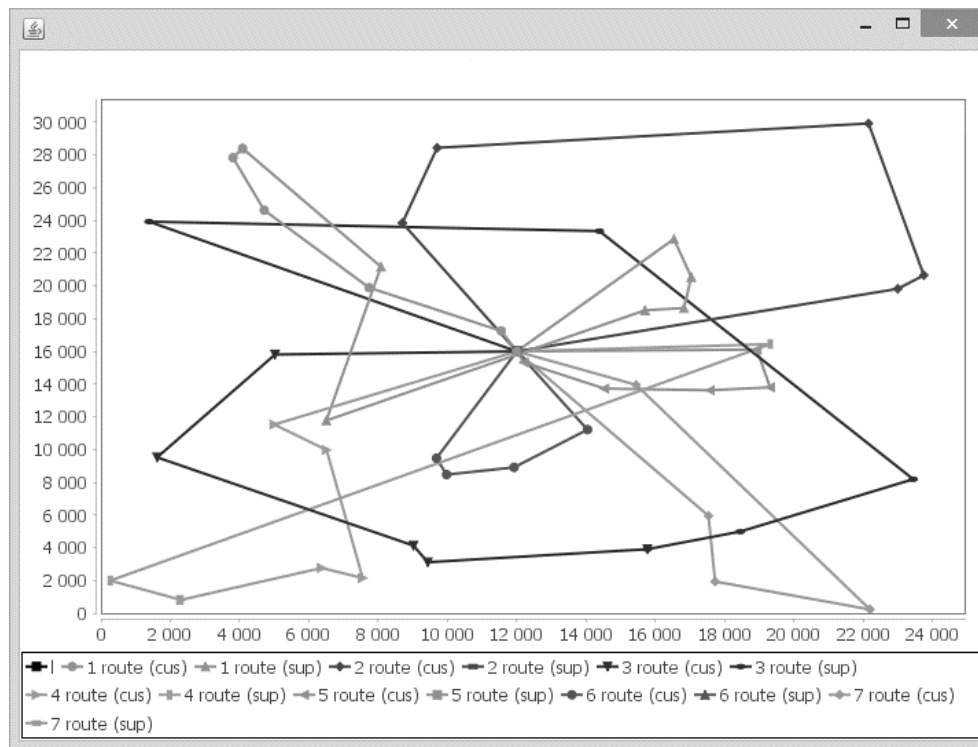


Рис. 2 – Робота на тестових даних E1

Порівняння з іншими алгоритмами

В табл. 1 наведено рішення, отримані за точними алгоритмами Mingozzi (MBG) та Toth і Vigo (TV), за допомогою евристичного алгоритму Toth і Vigo (HTV96) та власного алгоритму на основі табу пошу-

ку (X1), на тестових даних для VRPB. Стівпчики у таблиці позначені літерами: З – назва тестового прикладу; К – загальна кількість клієнтів; Т – кількість транспортних засобів у депо; М – місткість транспортного засобу.

Таблиця 1 – Результати, що отримано різними методами

З	К	Т	М	MBG	TV	HTV96	X1
A1	25	8	1550	229886	229886	229886	229886
A2	25	5	2550	180119	180119	180119	180119
A3	25	4	4050	163405	163405	163405	163405
A4	25	3	4050	155796	155796	155796	155796
B1	30	7	1600	239080	239080	239080	239165
B2	30	5	2600	198048	198048	198048	198048
B3	30	3	4000	169372	169372	169372	169671
C1	40	7	1800	249448	249448	253318	251081
C2	40	5	2600	215020	215020	215020	215612
C3	40	5	4150	199346	199346	199346	200116
C4	40	4	4150	195366	195366	195367	195366
D1	38	12	1700	322530	322530	322705	326170
D2	38	11	1700	316709	316709	318476	317075
E1	45	7	2650	238880	238880	238880	238880
E2	45	4	4300	212263	212263	212263	213258
E3	45	4	5225	206659	206659	206659	206839

Висновки. Задача маршрутизації з поверненням товару – цікава варіація добре відомої VRP з різноманітними практичними застосуваннями. Вона грає провідну роль в інформаційних системах, які використовують логістичні компанії. У роботі розглянуто алгоритми для рішення цієї задачі. Також на основі попереднього сформувано декілька варіантів алгоритму для розв'язку задачі та варіант мета-евристики табу пошуку, який дозволяє отримати адекватний результат за прийнятний час, тому алгоритм можна використовувати у системах, що працюють у реальному часі.

Список літератури:

1. Osman, I. H. A reactive tabu search meta-heuristic for the vehicle routing problem with back-hauls [Text] / I. H. Osman, N. A. Wasan // Journal of Scheduling. – 2002. – Vol. 5, № 4. – P. 263–285. doi:10.1002/jos.122
2. Glover, F. Tabu Search hauls [Text] / F. Glover, M. Laguna. – Boulder: Springer US, 1997. – 383 p. doi:10.1007/978-1-4615-6089-0
3. Toth, P. An Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls [Text] / P. Toth, D. Vigo // Transportation Science. – 1997. – Vol. 31, № 4. – P. 372–385. doi:10.1287/trsc.31.4.372
4. Mingozzi, A. An Exact Method for the Vehicle Routing Problem with Backhauls [Text] / A. Mingozzi, S. Giorgi, R. Baldacci //

- Transportation Science. – 1999. – Vol. 33, № 3. – P. 315–329. doi:[10.1287/trsc.33.3.315](https://doi.org/10.1287/trsc.33.3.315)
5. Yano, C. A. Vehicle Routing at Quality Stores [Text] / C. A. Yano, T. J. Chan, L. K. Richter, T. Cutler, K. G. Murty, D. McGettigan // Interfaces. – 1987. – Vol. 17, № 2. – P. 52–63. doi:[10.1287/inte.17.2.52](https://doi.org/10.1287/inte.17.2.52)
 6. Deif, I. Extension of the Clarke and Wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling [Text]: proc. Babson conf. / I. Deif, L. D. Bodin // Proceedings of the Babson Conference on Software Uses in Transportation and Logistic Management. – Babson Park, 1984. – P. 75–96.
 7. Casco, D. Vehicle routing with backhauls: models algorithms and case studies [Text] / D. Casco, B. L. Golden, E. Wasil // Vehicle Routing: Methods and Studies. – 1988. – № 16. – P. 127–147.
 8. Clarke, G. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points [Text] / G. Clarke, J. W. Wright // Operations Research. – 1964. – Vol. 12, № 4. – P. 568–581. doi:[10.1287/opre.12.4.568](https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568)
 9. Golden, B. The vehicle routing problem with backhauling: two approaches. [Text]: Proc. 21st An. Meeting / B. Golden, E. Baker, J. Alfaro, J. Schaefer // Proceedings of the 21st Annual Meeting of SE TMS. – South Carolina, 1985. – P. 90–92
 10. Toth, P. A Heuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls [Text] / P. Toth, D. Vigo // Transportation Analysis. – 1996. – P. 585–608. doi:[10.1007/978-3-642-85256-5_26](https://doi.org/10.1007/978-3-642-85256-5_26)
 2. Glover, F., Laguna, M. (1997). Tabu Search. Boulder: Springer US, 383. doi:[10.1007/978-1-4615-6089-0](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6089-0)
 3. Toth, P., Vigo, D. (1997). An Exact Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls. Transportation Science, 31 (4), 372–385. doi:[10.1287/trsc.31.4.372](https://doi.org/10.1287/trsc.31.4.372)
 4. Mingozzi, A., Giorgi, S., Baldacci, R. (1999). An Exact Method for the Vehicle Routing Problem with Backhauls. Transportation Science, 33 (3), 315–329. doi:[10.1287/trsc.33.3.315](https://doi.org/10.1287/trsc.33.3.315)
 5. Yano, C. A., Chan, T. J., Richter, L. K., Cutler, T., Murty, K. G., McGettigan, D. (1987). Vehicle Routing at Quality Stores. Interfaces, 17 (2), 52–63. doi:[10.1287/inte.17.2.52](https://doi.org/10.1287/inte.17.2.52)
 6. Deif, I., Bodin, L. (1984). Extension of the Clarke and Wright algorithm for solving the vehicle routing problem with backhauling. Proceedings of the Babson Conference on Software Uses in Transportation and Logistic Management. Babson Park, 75–96.
 7. Casco, D., Golden, B. L., Wasil, E. (1988). Vehicle routing with backhauls: models algorithms and case studies. Vehicle Routing: Methods and Studies, 127–147.
 8. Clarke, G., Wright, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. Operations Research, 12 (4), 568–581. doi:[10.1287/opre.12.4.568](https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568)
 9. Golden, B., Baker, E., Alfaro, J., Schaefer, J. (1985). The vehicle routing problem with backhauling: two approaches. Proceedings of the 21st Annual Meeting of SE TMS, South Carolina, 90–92.
 10. Toth, P., Vigo, D. (1996). A Heuristic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Backhauls. Transportation Analysis, 585–608. doi:[10.1007/978-3-642-85256-5_26](https://doi.org/10.1007/978-3-642-85256-5_26)
- Bibliography (transliterated):**
1. Osman, I. H., Wassan, N. A. (2002). A reactive tabu search meta-heuristic for the vehicle routing problem with back-hauls. Journal of Scheduling, 5 (4), 263–285. doi: [10.1002/jos.122](https://doi.org/10.1002/jos.122)

Надійшла (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Розробка та дослідження алгоритмів розв’язання задачі маршрутизації з поверненням товару/ К. А. Кузнецов, С. В. Антоненко, Т. І. Данилов, А. О. Скачков// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.20–25. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Разработка и исследование алгоритмов решения задачи маршрутизации с возвратом товара/ К. А. Кузнецов, С. В. Антоненко, Т. И. Данилов, А. А. Скачков// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.20–25. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Design and research algorithms for vehicle routing problem with backhauls/ К. Kuznetsov, S. Antonenko, T. Danylov, A. Skachkov//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).–P.20 –25. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кузнецов Костянтин Анатолійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, кафедра математичного забезпечення ЕОМ, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010

Кузнецов Константин Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра математического обеспечения ЭВМ, Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара; пр. Гагарина 72, г. Днепр, Украина, 49010

Kuznetsov Kostiantyn – candidate of physics and mathematics, associate professor, Dnipropetrovsk National University named by Oles Honchar, Applied Mathematics Department, a Mathematical support of PC; Naharina ave., 72, Dnipro, Ukraine, 49010

Антоненко Світлана Валентинівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра математичного забезпечення ЕОМ, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010; e-mail: szemlyanaya@gmail.com

Антоненко Светлана Валентиновна, кандидат технических наук, доцент, кафедра математического обеспечения ЭВМ, Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара; пр. Гагарина 72, г. Днепр, Украина, 49010; e-mail: szemlyanaya@gmail.com

Antonenko Svitlana – candidate of technical sciences, associate professor, Dnipropetrovsk National University named by Oles Honchar, Applied Mathematics Department, a Mathematical support of PC; Naharina ave., 72, Dnipro, Ukraine, 49010; e-mail: szemlyanaya@gmail.com

Данилов Тарас Ігорович – магістрант, Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара; кафедра математичного забезпечення ЕОМ, пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010; e-mail: tdanilov0@gmail.com

Данилов Тарас Ігорович – магістрант, Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара; кафедра математического обеспечения ЭВМ, пр. Гагарина 72, г. Днепр, Украина, 49010; e-mail: tdanilov0@gmail.com

Danylov Taras – master student, Dnipropetrovsk National University named by Oles Honchar, Applied Mathematics Department, a Mathematical support of PC; Naharina ave., 72, Dnipro, Ukraine, 49010; e-mail: tdanilov0@gmail.com

Скачков Андрій Олександрович – магістрант, Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара; кафедра математичного забезпечення ЕОМ, пр. Гагаріна, 72, м. Дніпро, Україна, 49010; e-mail: lskachkovl@gmail.com

Скачков Андрей Александрович – магістрант, Днепропетровский национальный университет имени О. Гончара; кафедра математического обеспечения ЭВМ, пр. Гагарина 72, г. Днепр, Украина, 49010; e-mail: lskachkovl@gmail.com

Skachkov Andrii – master student, Dnipropetrovsk National University named by Oles Honchar, Applied Mathematics Department, a Mathematical support of PC; Naharina ave., 72, Dnipro, Ukraine, 49010; te-mail: lskachkovl@gmail.com

УДК 656.6

С. П. ОНИЩЕНКО, О. Д. ВИШНЕВСКАЯ

МЕТОД ОЦЕНКИ ОТКЛОНЕНИЙ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕНИЯ СУДНОМ РЕЙСА ПОД ВЛИЯНИЕМ ФАКТОРОВ РИСКА

В данной статье идентифицирована система факторов риска, обуславливающих изменения результатов выполнения судном рейса. Установлено влияние указанных факторов на временные и стоимостные параметры, характеризующие работу судна в рейсе. Получено выражение суточной прибыли судна с учетом возможных отклонений временных и стоимостных параметров. Для оценки величины возможных отклонений рассматриваемых параметров предлагается подход, основанный на идее VAR-метода, представлены результаты соответствующих статистических исследований.

Ключевые слова: судно, риск, рейс, отклонения, вероятность, параметры, время, стоимость, суточная прибыль.

У даній статті ідентифікована система факторів ризику, що обумовлюють зміни результатів виконання судном рейсу. Встановлено вплив зазначених чинників на часові і вартісні параметри, що характеризують роботу судна в рейсі. Отримано вираз добової прибутку судна з урахуванням можливих відхилень тимчасових і вартісних параметрів. Для оцінки величини можливих відхилень розглянутих параметрів пропонується підхід, заснований на ідеї VAR-методу, представлені результати відповідних статистичних досліджень.

Ключові слова: судно, ризик, рейс, відхилення, ймовірність, параметри, час, вартість, добовий прибуток.

The system of risk factors is identified in the article. These factors lead to changes in the vessel's voyage results: weather and climatic conditions; crew errors; management problems; problems in the organization of the vessel service; inconsistencies in the delivery process; technical problems with the vessel; changes in tariffs of port services; changes in bunker costs. The influence of these factors is determined on the time and cost (bunker costs, port charges and fees) parameters characterizing vessel operation during voyage. The influences of the time and cost parameters, as well as their deviations in the cost elements of the vessel are determined. The expression of the daily profit according to the vessel's voyage results is obtained taking into account possible deviations of time and cost parameters. To estimate the possible deviations of considered parameters an approach based on the idea of VAR-method is proposed. This approach estimates the amount of potential deviations with a given probability on the basis of normal distribution parameters. The results of relevant statistical research are presented on the example of the travel time and laytime of the vessel, justifying the legitimacy of this method, as well as demonstrating the technique of using it.

Keywords: vessel, risk, voyage, deviation, probability, parameters, time, cost, daily profit.

Введение. Общеизвестным является тот факт, что судоходство – отрасль, сопряженная с большим количеством рисков, которые обуславливаются, прежде всего, наличием «агрессивного» компонента природно-климатических условий в процессе эксплуатации судов и опасностей мореплавания как такового.

Также судоходному бизнесу присущи высокого уровня рыночные риски, которые определяются значительной изменчивостью фрахтового рынка и сложностью прогнозирования динамики его конъюнктуры.

Таким образом, и производственные процессы в судоходстве, и сам судоходный бизнес являются высокорискованными. Из этого следует, что практически любые запланированные результаты работы судов

фактически достигаются с отклонениями. Причем эти отклонения могут в каких-то случаях не представлять особой угрозы результатам работы судоходной компании, а в каких-то случаях могут иметь значительные последствия в виде вывода судна из эксплуатации на время, необходимости проведения ремонтных работ, срыва выполнения обязательств по договорам с фрахтователями.

Анализ источников и выделение нерешенной части проблемы. Многоаспектность рисков, связанных с судоходством, обуславливает их изучение на различных объектно-предметных уровнях.

Так, минимизация рисков с точки зрения безопасности мореплавания обусловило отдельное

направление в научных исследованиях [1, 2], основными задачами которых является совершенствование конструктивных решений по судам с целью обеспечения безопасности мореплавания с учетом возможностей современных технологических решений.

Оценка рисков рыночного характера, с целью ее учета в процессе принятия решений по коммерческой эксплуатации судов и инвестиционной деятельности судоходных компаний, сформировало отдельный блок задач экономического характера, которые рассмотрены в трудах [3–9].

Тем не менее, сама производственная (эксплуатационная) деятельность в судоходстве, которая также связана со специфической категорией рисков, практически не рассматривается в данном аспекте. Лишь фрагментарное обращение к неопределенности и рискам, связанным с производственной деятельностью (эксплуатацией) судов, присутствует в трудах [10–12]. Для принятия решений по выбору варианта работы судна в условиях неопределенности в [12] предлагается подход, основанный на теории игр. Но данный инструментарий позволяет выбирать вариант в рамках стратегического отрезка времени в условиях полного отсутствия информации, что не свойственно задачам оперативного уровня, к каковым относится выполнение конкретного рейса.

В [10] проанализировано время прибытия судна в порт в сравнении с запланированным для судов, работающих на международных линиях, установлено, что отклонения времени подчиняется нормальному закону распределения. Данные результаты могут быть использованы для оценки риска отклонения результатов выполнения судном рейса от запланированных.

Цель и задачи исследования. Основной целью данного исследования является разработка метода оценки результатов работы судов с учетом влияния факторов риска в процессе эксплуатации.

Достижение данной цели обусловило постановку следующих задач:

1. Разработка структурно-логической модели формирования отклонений результатов работы судов под влиянием факторов риска в процессе эксплуатации и формализация формирования отклонения показателя эффективности выполнения рейса влиянием факторов риска;

2. Оценка возможных отклонений результатов работы судов за рейс и за эксплуатационный период на базе VAR- метода.

Оценка отклонений результатов работы судов под влиянием факторов риска в процессе выполнения рейса. Базой для оценки возможных отклонений результатов работы судов является установление системы факторов риска, а также влияния данных факторов и проявления их воздействия на результатах работы судов.

Поэтому в соответствии с логикой системного подхода построим структурно-логическую схему, увязывающую факторы риска с результатами эксплуатации судна (рис. 1).

Следует отметить, что в данном исследовании речь идет об отклонениях результатов работы судов после заключения договора на перевозку – то есть ве-

личина фрахта, которая определяется фрахтовой ставкой и количеством груза, является заданной и не подлежит изменениям.

Согласно договору на перевозку в большинстве случаев временные и стоимостные параметры, характеризующие процесс выполнения рейса при заданных условиях, могут быть установлены с достаточной степенью определенности.

Можно выделить две основные категории таких параметров – временные и стоимостные. К временным параметрам относятся элементы времени рейса (переход между портами, прохождение каналов, грузовые операции, бункеровка и т.п.), в результате агрегирования которых формируется время ходовое t_x и время стояночное t_{cm} .

К основным стоимостным параметрам, описывающих выполнение судном рейса, относятся цены на бункер $c_{бунк}$, $c_{норм}$ – тарифы портовых сборов и плат, а также стоимости прохождения каналов.

Для простоты изложения на данном этапе исследования мы не рассматриваем более детально $c_{бунк}$ и $c_{норм}$ по категориям судового топлива, а также по номенклатуре сборов и плат. Тем не менее, с практической точки зрения указанные параметры являются векторными величинами, размерность которых определяется видами бункера, видами сборов и плат, связанных с заходом в порты и прохождением узкостей.

Временные и стоимостные параметры определяют величины постоянных $R_{норм}(t_x, t_{cm})$ и переменных затрат $R_{неф}(t_x, t_{cm}, норм, бунк)$. Отметим, что постоянные затраты определяются временем рейса и нормативом постоянных затрат $r_{норм}$, который в рамках рассматриваемой задачи является экзогенным параметром.

Переменные затраты определяются основными стоимостными и временными параметрами и, как известно, переменные затраты формируются из затрат на бункер $R_{бунк}(t_x, t_{cm}, бунк)$ и затрат на портовые сборы, платы, прохождение каналов $R_{норм}(t_{cm}, норм)$.

Таким образом, временные и стоимостные параметры определяют эффективность рейса в целом, с учетом заданных ставки фрахта и количества груза.

В качестве показателя эффективности рейса можно использовать суточную прибыль, выражение которой в заданных обозначениях будет иметь следующий вид:

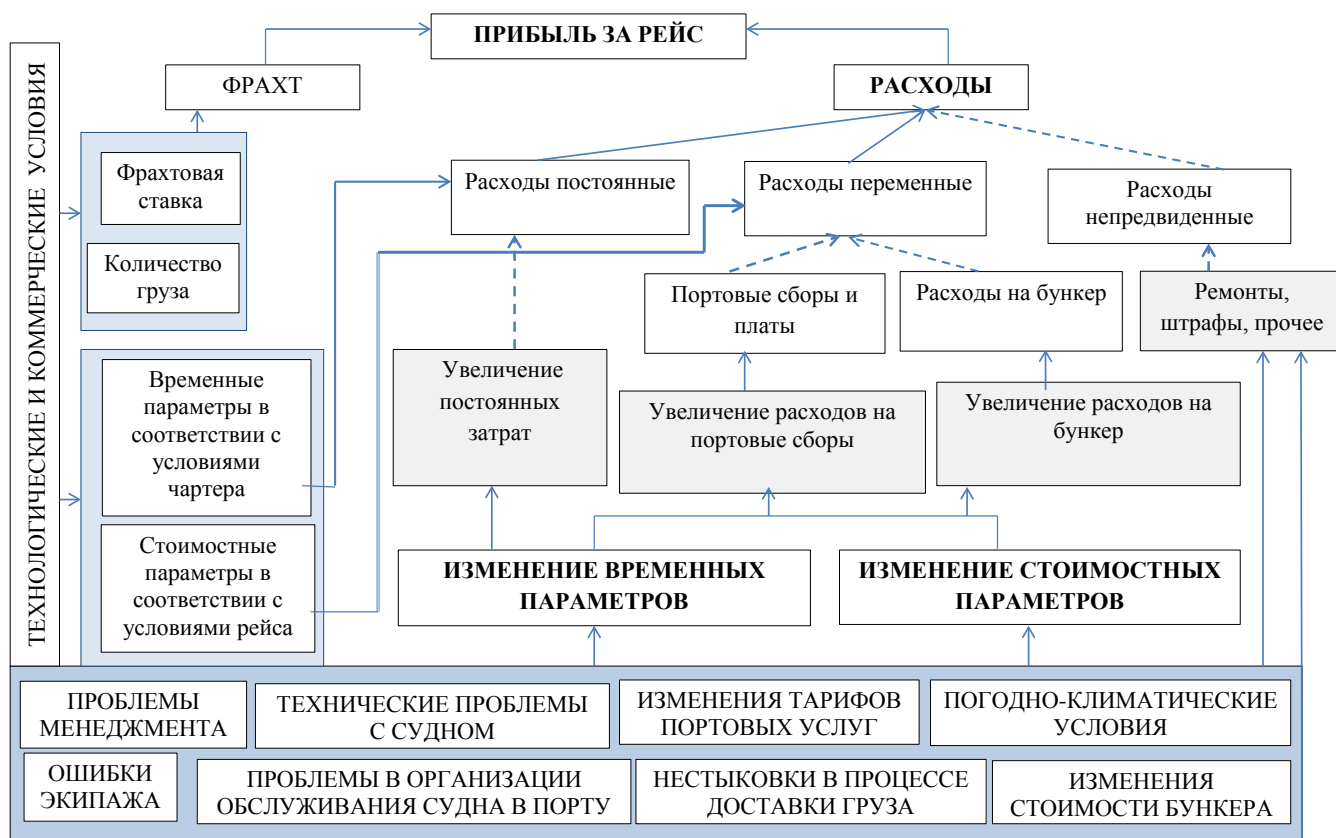
$$\Pi_{сут} = \frac{f \cdot Q - R_{норм}(t_x, t_{cm}) - R_{неф}(t_x, t_{cm}, норм, бунк)}{t_x + t_{cm}}. \quad (1)$$

С учетом декомпозиции переменных затрат, а также с учетом того, что

$$R_{норм}(t_x, t_{cm}) = r_{норм} \cdot (t_x + t_{cm}), \quad (2)$$

(1) может быть преобразовано следующим образом:

$$\Pi_{сут} = \frac{f \cdot Q - r_{норм} \cdot (t_x + t_{cm}) - R_{бунк}(t_x, t_{cm}, бунк) - норм(суд, норм)}{t_x + t_{cm}}. \quad (3)$$



ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ВЫПОЛНЕНИЕ РЕЙСА

Рис. 1 – Влияние факторов риска на результаты работы судна

Тем не менее, фактические условия выполнения рейса, а также воздействие факторов риска может привести к изменению временных и стоимостных параметров, и, как следствие, к изменению прибыли. В большинстве случаев, это изменение носит негативный характер.

Как выше было отмечено, спецификой судоходства является влияние значительного количества факторов на производственный процесс (эксплуатацию судна) и на результаты работы судна.

В качестве таких основных факторов могут быть выделены следующие:

1. *Погодно-климатические условия.* Погодные условия в пути следования судна или в период стоянки в порту могут привести к значительным потерям времени. Кроме того, агрессивное влияние погодно-климатических условий может влиять на техническое состояние судна и обуславливать необходимость проведения незапланированных ремонтных работ.

2. *Ошибки экипажа.* Человеческий фактор, особенно, когда речь идет о принятии решений в сложных ситуациях (например, связанных с погодными условиями), может оказать негативное влияние на эксплуатацию судна и привести к потерям времени, авариям, техническим неисправностям.

3. *Проблемы менеджмента.* Также человеческий фактор, только проявляющийся не в управлении судном в качестве технического объекта, а в организационно-коммерческом аспекте управления. Несвоевременное или некачественное решение организацион-

ных вопросов, связанных с выполнением рейса, может приводить, прежде всего, к потерям времени (например, ожидание груза, отсутствие условий для бункеровки, снабжения продовольствием).

4. *Проблемы в организации обслуживания судна.* Аналогично предыдущему, только в качестве субъектов, которые оказывают негативное влияние, выступают сами участники обслуживания судна в порту, например, судовые агенты.

5. *Нестыковки в процессе доставки.* Время пребывания судна в порту определяется не только грузовыми операциями и операциями, связанными с обслуживанием судна, а и взаимодействием морской составляющей со смежными этапами доставки груза. Например, задержки в подаче груза под погрузку из-за несвоевременной его доставки в порт по железной дороге приводят к потерям времени. Но, следует отметить, что данные ситуации предусмотрены условиями рейсового чартера, где четко регламентировано возмещение убытков (демередж), связанных с простоем судна.

6. *Технические проблемы с судном.* Причинами технических проблем могут быть ошибки экипажа, погодные условия, некачественно выполненные ремонтные работы и т.д. В некоторых ситуациях технические проблемы приводят к задержкам судна в рейсе, в отдельных случаях – судно выводится из эксплуатации на значительный период времени.

7. *Изменение тарифов портовых услуг.* Как правило, администрация портов заранее информирует

судовладельцев об изменениях тарифов на портовые сборы. Тем не менее, полагая, что продолжительность перехода между портами может быть достаточно значительной (например, для судов панамакс, кейпсайз), то данный фактор может оказаться актуальным как фактор риска увеличения расходов на портовую составляющую рейса.

8. *Изменения стоимости бункера.* Рынок бункера, как и фрахтовый рынок, является достаточно динамичным. Поэтому фактическая стоимость бункера может значительно превышать планируемую. Рис. 2 демонстрирует динамику усредненной стоимости бункерного топлива марки BW380. Как можно видеть, даже в течение месяца изменения могут составить более, чем 25 долл/т.

Отметим, что большая часть установленных факторов (рис. 1) оказывают влияние на временные параметры рейса, обуславливая увеличение ходового и стояночного времени на величины $\Delta t_x, \Delta t_{cm}$ соответственно.

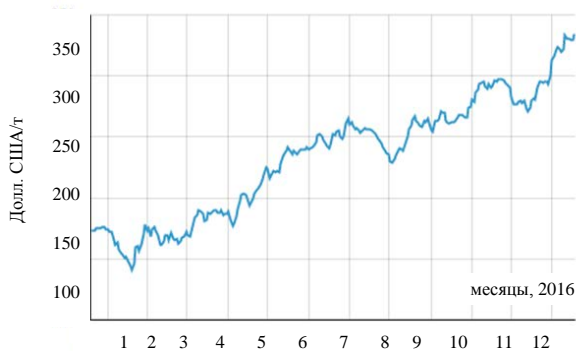


Рис. 2 – Динамика усредненной стоимости бункерного топлива марки BW380 [13]

Изменения стоимостных параметров увеличивает стоимость бункера и расходов на портовые сборы на величины $\Delta c_{бунк}, \Delta_{порт}$ соответственно.

Итогом изменения указанных временных и стоимостных параметров процесса выполнения рейса судном является увеличение расходов на бункер на величину $\Delta R_{бунк}(t_x, \Delta t_x, \Delta t_{cm}, \Delta_{бунк}, \Delta_{бунк})$, и расходов на портовые сборы, платы на величину $\Delta R_{порт}(t_{cm}, \Delta t_{cm}, \Delta_{порт}, \Delta_{порт})$.

Погодно-климатические условия выделены отдельно, как форс-мажорные обстоятельства, которые приводят к расходам $R_{непр}$, связанным, например, с проведением незапланированных ремонтных работ. В некоторых случаях задержание судна порт-контролем за несоответствия судна определенным требованиям и необходимость устранения данных несоответствий также влечет непредвиденные затраты.

Увеличение времени рейса приводит и к увеличению постоянных затрат на величину $\Delta R_{носм}(\Delta t_x, \Delta t_{cm})$, которая с учетом (2) может быть представлена как:

$$\Delta R_{носм}(t_x, t_{cm}) = r_{носм} \cdot (\Delta t_x + \Delta t_{cm}). \quad (4)$$

Следует отметить, что на практике достаточно часто имеют место сочетания различных факторов. Например, ошибки экипажа при неблагоприятных погодных условиях; или проблемы менеджмента в совокупности с проблемами организации обслуживания судна в порту и т.д.

Таким образом, следует говорить о системном воздействии указанных факторов, итогом которого является увеличение суммарных затрат и уменьшение суточной прибыли до уровня $\Pi'_{сут}$:

$$\Pi'_{сут} = \frac{f \cdot Q - r_{носм} \cdot (t_x + \Delta t_x + t_{cm} + \Delta t_{cm}) - R_{бунк}(t_x, t_{cm}, \Delta_{бунк})}{t_x + \Delta t_x + t_{cm} + \Delta t_{cm}} - \frac{R_{порт}(t_{cm}, \Delta_{порт}) - \Delta t_{бунк} \cdot (\Delta_{бунк} \cdot \Delta_{бунк})}{t_x + \Delta t_x + t_{cm} + \Delta t_{cm}} - \frac{\Delta R_{порт}(t_{cm}, \Delta_{порт}) - R_{непр}}{t_x + \Delta t_x + t_{cm} + \Delta t_{cm}} \quad (5)$$

Отметим, что уменьшение суточной прибыли происходит не только из-за увеличения расходов, а из-за уменьшения суточной доходной части на величину:

$$\frac{f \cdot Q}{t_x + t_{cm}} - \frac{f \cdot Q}{t_x + \Delta t_x + t_{cm} + \Delta t_{cm}} \quad (6)$$

Таким образом, разница в суточной прибыли составляет:

$$\Delta \Pi_{сут} = \Pi_{сут} - \Pi'_{сут} = \frac{f \cdot Q}{t_x + t_{cm}} - \frac{f \cdot Q}{t_x + \Delta t_x + t_{cm} + \Delta t_{cm}} - \frac{R_{бунк}(t_x, t_{cm}, \Delta_{бунк}) + c_{порт}(t_{cm}, \Delta_{порт}) \cdot t_{cm} + c_{бунк}(t_x, t_{cm}, \Delta_{бунк})}{t_x + t_{cm}} + \frac{R_{порт}(t_{cm}, \Delta_{порт}) + \Delta t_{бунк} \cdot (\Delta_{бунк} \cdot \Delta_{бунк})}{t_x + \Delta t_x + t_{cm} + \Delta t_{cm}} + \frac{\Delta R_{порт}(t_{cm}, \Delta_{порт})}{t_x + \Delta t_x + t_{cm} + \Delta t_{cm}} + R_{непр} \quad (7)$$

$$+ \frac{\Delta R_{порт}(t_{cm}, \Delta_{порт})}{t_x + \Delta t_x + t_{cm} + \Delta t_{cm}} + R_{непр}$$

Проанализируем более детально элементы (7). Расходы на бункер определяются нормативами расхода топлива на ходу q_x и на стоянке q_{cm} (принимая, что расход топлива на ходу соответствует экономической скорости судна). С учетом линейной зависимости расхода топлива от времени и принятого ранее единой стоимости бункера $c_{бунк}$, используемого и на стоянке, и в процессе перехода:

$$R_{бунк}(t_x, t_{cm}, c_{бунк}) = c_{бунк} \cdot (q_x \cdot t_x + q_{cm} \cdot t_{cm}), \quad (8)$$

$$\Delta R_{бунк}(\Delta t_x, \Delta t_{cm}, \Delta_{бунк}) = \Delta c_{бунк} \cdot (q_x \cdot t_x + q_{cm} \cdot t_{cm}) + (c_{бунк} + \Delta c_{бунк}) \cdot (q_x \cdot \Delta t_x + q_{cm} \cdot \Delta t_{cm}) = c_{бунк} \cdot (q_x \cdot \Delta t_x + q_{cm} \cdot \Delta t_{cm}) + \Delta c_{бунк} \cdot (q_x \cdot (t_x + \Delta t_x) + q_{cm} \cdot (t_{cm} + \Delta t_{cm})) \quad (9)$$

Отметим, что в (9) $c_{бунк}(q_x \cdot \Delta t_x + q_{cm} \cdot \Delta t_{cm})$ отра-

жает изменение расходов на бункер за счет увеличения временных параметров при запланированной стоимости бункера, а $\Delta c_{\text{бунк}}(q_x \cdot (t_x + \Delta t_x) + q_{cm} \cdot (t_{cm} + \Delta t_{cm}))$ за счет изменения стоимости бункера с учетом изменения времени рейса.

В структуре расходов на портовые сборы, платы, прохождение каналов только отдельные виды расходов зависят от времени стоянки, при этом данная зависимость принципиально может носить как линейный, так и нелинейный характер, что обуславливается разнообразием принципов взимания портовых сборов в различных портах. Так, в украинских портах санитарный сбор установлен для двух промежутков времени стоянки судна. Во многих зарубежных портах существует аналогичная практика.

Ранее мы приняли, что $c_{\text{порт}}$ является векторной величиной, на данном этапе исследования мы рассматриваем ее более детально с учетом зависимости отдельных видов портовых затрат от времени:

$$R_{\text{порт}} = {}^1c_{\text{порт}} + t_{\text{порт}}^2 \cdot c_{\text{м}}. \quad (10)$$

В (10) учтены две составляющие $c_{\text{порт}} - c_{\text{порт}}^1$, которая не зависит от времени стоянки судна в порту (например, корабельный, маячный и т.п.), и $c_{\text{порт}}^2$ - сборы, которые зависят от времени стоянки судна в порту (например, санитарный в украинских портах).

С учетом (10), изменение расходов на портовые сборы, прохождение каналов может быть представлено следующими образом:

$$\Delta R_{\text{порт}} = \Delta {}^1c_{\text{порт}} + \Delta t_{\text{порт}}^2 \cdot (c_{\text{м}} + \Delta c_{\text{м}}), \quad (11)$$

где $\Delta c_{\text{порт}}^1$ – увеличение сборов и плат, не зависящих от времени пребывания судна в порту, $\Delta c_{\text{порт}}^2$ - увеличение сборов и плат, зависящих от времени стоянки судна.

В (11) учтены оба вида возможных изменений – времени стоянки и величины отдельных сборов и плат.

С учетом (8)–(11), (7) может быть преобразовано следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta \Pi_{\text{сум}} = \Pi_{\text{сум}} - \Pi'_{\text{сум}} &= \frac{f \cdot Q}{t_x + t_{cm}} - \frac{f \cdot Q}{t_x + \Delta t_x + t_{cm} + \Delta t_{cm}} - \\ &- \frac{c_{\text{бунк}}(q_x \cdot t_x + q_{cm} \cdot t_{cm}) + c_{\text{порт}}^1 + c_{\text{порт}}^2 \cdot t_{cm}}{t_x + t_{cm}} + \\ &+ \frac{(c_{\text{бунк}} + \Delta c_{\text{бунк}})(q_x \cdot (t_x + \Delta t_x) + q_{cm} \cdot (t_{cm} + \Delta t_{cm}))}{t_x + \Delta t_x + t_{cm} + \Delta t_{cm}} + \\ &+ \frac{c_{\text{порт}}^1 + \Delta c_{\text{порт}}^1 + \Delta c_{\text{порт}}^2 \cdot (t_{cm} + \Delta t_{cm})}{t_x + \Delta t_x + t_{cm} + \Delta t_{cm}} + R_{\text{непр}} \end{aligned} \quad (12)$$

Для принятых в качестве неизменных величин в процессе выполнения рейса фрахтовой ставки и количества груза, возможные значения $\Delta \Pi_{\text{сум}}$ обуславливаются диапазонами возможных значений отклонений временных и стоимостных параметров $\Delta t_x, \Delta t_{cm}, \Delta c_{\text{бунк}}, \Delta {}^1c_{\text{порт}}, \Delta {}^2c_{\text{порт}}$, а также величины $R_{\text{непр}}$.

Установление диапазона возможных значений $\Delta t_x, \Delta t_{cm}, \Delta c_{\text{бунк}}, \Delta {}^1c_{\text{порт}}, \Delta {}^2c_{\text{порт}}$ и $R_{\text{непр}}$ может осуществляться двумя способами: экспертным путем или на базе методов математической статистики. Отметим, что выражение (12) относится к определенному судну (то есть судну определенной специализации и с заданными технико-эксплуатационными характеристиками). Из указанных выше величин на $\Delta t_x, \Delta t_{cm}, \Delta {}^1c_{\text{порт}}, \Delta {}^2c_{\text{порт}}$ и $R_{\text{непр}}$ влияют характеристики судна, $\Delta c_{\text{бунк}}$ обуславливается исключительно рыночными тенденциями.

Так как собрать однородные статистические данные для определения $\Delta {}^1c_{\text{порт}}, \Delta {}^2c_{\text{порт}}$ практически невозможно в виду достаточно редкого изменения сборов и плат, поэтому их следует оценивать экспертным путем с учетом наметившихся тенденций в портах захода судна и каналов, через которые следует судно.

$\Delta c_{\text{бунк}}$ и $\Delta t_x, \Delta t_{cm}, R_{\text{непр}}$ могут быть определены методами математической статистики на базе информации о динамике стоимости бункера и информации о выполнении рейсов данным (или близким по своим характеристикам) судном в рассматриваемом регионе работы.

Оценка возможных отклонений параметров, описывающих процесс выполнения рейса, на базе VAR-метода. Для оценки $\Delta c_{\text{бунк}}$ и $\Delta t_x, \Delta t_{cm}, R_{\text{непр}}$ предлагается использовать метод, который идейно близок к VAR методу и для оценки различных параметров в судоходстве предлагался в [6,7,9]. В основе метода – определение тех или иных отклонений (потерь) с заданной вероятностью [9]. Для правомерности использования данного метода необходимо, чтобы $\Delta c_{\text{бунк}}$ и $\Delta t_x, \Delta t_{cm}, R_{\text{непр}}$ представляли собой случайные величины, поведение которых описывается нормальным законом распределения.

Для этого проведем необходимые статистические исследования на примере $\Delta t_x, \Delta t_{cm}$.

На базе информации по работе судов дедвейтом 5000 т в регионе Черного моря была сформирована статистическая база, в качестве корреспондирующих портов были приняты Херсон – Констанца.

На рис. 3 представлен фрагмент проверки гипотезы о подчинении случайной величины, описывающей время ходовое, нормальному закону. Как видно, критерий Хи-квадрат подтвердил непротиворечивость исходных данных гипотезе о нормальном законе распределения с достоверностью $p=0,079$, что является приемлемым для исследований подобного рода.

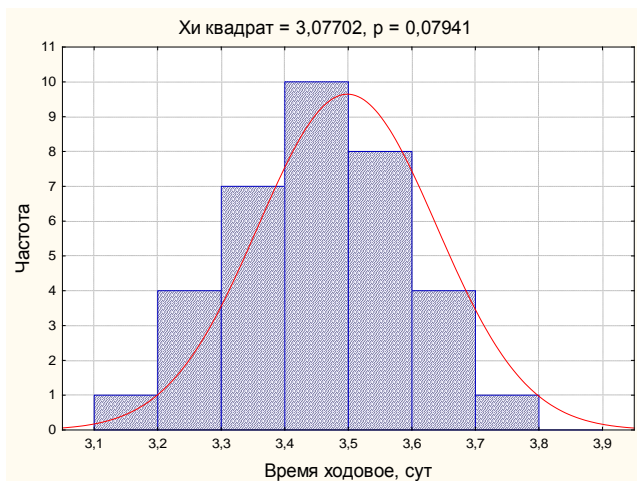


Рис. 3 – Фрагмент статистического исследования данных о ходовом времени рейсов в направлении Херсон-Констанца для судов дедвейтом 5000 т

На рис. 4 представлена аналогичная информация по результатам исследований стояночного времени. Критерий Хи-квадрат подтвердил непротиворечивость данных гипотезе о нормальном законе распределения с достоверностью $p=0,14$, что также может считаться приемлемым.

В результате установлено: среднее значение ходового времени (которое может быть принято в качестве планируемого) $\bar{t}_x = 3,5$ суток, стояночное – $\bar{t}_{cm} = 3,6$ сут.

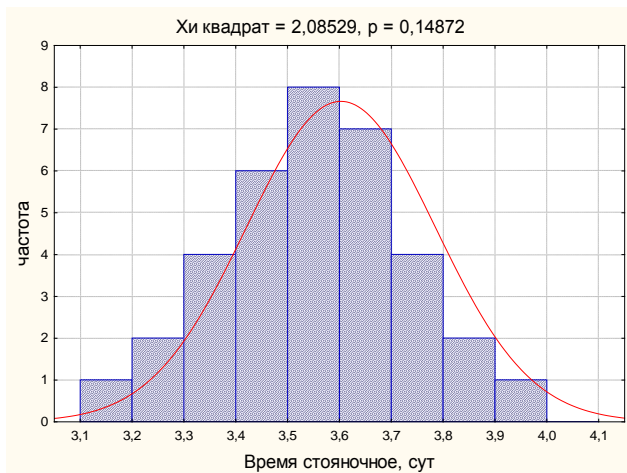


Рис. 4 – Фрагмент статистического исследования данных о стояночном времени рейсов в направлении Херсон-Констанца для судов дедвейтом 5000 т.

Согласно предлагаемого подходу [9], в соответствии с положениями теории вероятностей и математической статистики:

$$P(t_x < t_{порог}) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{\bar{t}_{xпорд} - t_x}{\sigma_{t_x}}\right) = \alpha, \quad (13)$$

где Φ – функция Лапласа; $t_{порог}$ – пороговое значение ходового времени; α – вероятность отклонения критерия эффективности меньше порогового значения; t_x –

математическое ожидание ходового времени; σ_{t_x} – среднеквадратическое отклонение ходового времени.

Так, для $\alpha = 0,05$ по таблице значений функции Лапласа определяем

$$\frac{\bar{t}_{xпорд} - t_x}{\sigma_{t_x}} = 1,65,$$

следовательно

$$t_{порог} = \bar{t}_x - 1,65 * \sigma_{t_x}. \quad (14)$$

$t_{порог}$ – это величина, ниже которой значения ходового времени возможны с незначительной вероятностью, поэтому данными значениями можно пренебречь.

Таким образом, в качестве Δt_x может быть принято:

$$\Delta t_x = 1,65 * \sigma_{t_x}. \quad (15)$$

Аналогично для стояночного времени:

$$\Delta t_{cm} = 1,65 * \sigma_{t_{cm}} \quad (16)$$

Для рассматриваемого примера $\sigma_{t_x} = 0,14$ сут, поэтому $\Delta t_x = 1,65 * 0,14 = 0,231$ сут; $\sigma_{t_{cm}} = 0,18$ сут, поэтому $\Delta t_{cm} = 1,65 * 0,18 = 0,297$ сут.

Таким образом, на базе среднеквадратического отклонения могут быть установлены возможные отклонения временных параметров, характеризующих выполнение судном рейса.

Оценка изменений стоимости бункера $\Delta C_{бунк}$ и непредвиденных затрат $R_{непр}$ может быть проведена аналогичным образом.

Предлагаемый подход позволяет получить объективную оценку возможных отклонений рассматриваемых параметров на базе исследования статистической информации.

Выводы. В данной статье установлена система факторов риска, обуславливающих изменения результатов выполнения судном рейса: погодноклиматические условия; ошибки экипажа; проблемы менеджмента; проблемы в организации обслуживания судна; нестыковки в процессе доставки груза; технические проблемы с судном; изменение тарифов портовых услуг; изменения стоимости бункера.

Установлено влияние указанных факторов на временные и стоимостные параметры, характеризующие работу судна в рейсе, и как следствие, их влияние на отдельные статьи расходов по судну. Получено выражение суточной прибыли судна с учетом возможных отклонений временных и стоимостных параметров.

Для оценки величины возможных отклонений рассматриваемых параметров предлагается подход, основанный на идее VAR-метода, то есть оценки максимально возможного отклонения с принятой вероятностью. Так как необходимым условием корректного использования данного метода является подчинение случайных величин, описывающих временные и стоимостные параметры, нормальному закону, то были

выполнены соответствующие статистические исследования (на примере конкретного судна и направления перевозок). Результаты данных исследований подтвердили возможность использования предлагаемого метода.

Полученные результаты расширяют теоретическую базу управления работой судов путем учета вероятностной природы параметров, описывающих работу судна, а также предлагаемого метода оценки возможного отклонения данных параметров.

Практическая значимость результатов заключается в более адекватном, по сравнению с существующими подходами, описании реальных процессов работы морских судов на содержательном и математическом уровнях

Список литературы:

1. Егоров, Г. В. Исследование надежности и риска эксплуатации отечественных речных круизных пассажирских судов [Текст] / Г. В. Егоров, А. Г. Егоров // Вестник Одесского национального морского университета. – 2015. – № 1. – С. 5–32.
2. Егоров, Г. В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска судов [Текст] / Г. В. Егоров. – Санкт Петербург: Судостроение, 2008. – 415 с.
3. Collins, N. The Essential Guide to Chartering and Dry Freight Market [Text] / N. Collins. – London : Clarkson Research Studies, 2009. – 365 p.
4. Adland, R. The stochastic behavior of spot freight rates and the risk premium in bulk shipping [Text] / R. Adland. – Massachusetts Institute of Technology, 2003. – 146 p.
5. Adland, R. The non-linear dynamics of spot freight rates in tanker markets [Text] / R. Adland, K. Cullinane // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2006. – Vol. 42, № 3. – P. 211–224. doi:10.1016/j.tre.2004.12.001
6. Онищенко, С. П. Моделирование процессов организации и функционирования системы маркетинга морских транспортных предприятий [Текст] / С. П. Онищенко. – Одесса: Феникс, 2009. – 328 с.
7. Онищенко, С. П. Специфика рыночных рисков и мероприятий по их снижению в современном судоходном бизнесе [Текст] / С. П. Онищенко, Т. Н. Шутенко // Актуальные проблемы экономики. – 2012. – № 2 (128). – С. 85–98.
8. Koekebakker, S. Are spot freight rates stationary? [Text] / S. Koekebakker, R. O. Adland, S. Sodal // Journal of Transport Economics and Policy. – 2006. – Vol. 40, № 3. – P. 449–472.
9. Онищенко, С. П. Оценка рыночного риска проектов приобретения судна [Текст] / С. П. Онищенко, Т. Е. Корниец // Инновационная экономика. Маркетинг и рыночные отношения. – 2015. – № 4. – С. 198–205.
10. Панарин, П. Я. Организация работы линейного флота [Текст]: уч. пос. / П. Я. Панарин. – Москва: Транспорт, 1980. – 192 с.
11. Раховецкий, А. Н. Эффективность рейса морского судна [Текст] / А. Н. Раховецкий. – Москва: Транспорт, 1989. – 141 с.
12. Шibaев, А. Г. Распределение степени влияния коммерческих рисков при тайм – чартерной аренде судов [Текст]: сб. науч. пр. / А. Г. Шibaев, С. И. Рылов, Ю. А. Коскина, Н. В. Судник // Методы и средства управления развитием транспортных систем. – 2011. – № 17. – С. 197–212.
13. Bunkerworld [Electronic resource] / S&P Global Platts. – Available at: <http://www.bunkerworld.com/prices/index/bwi>

Bibliography (transliterated):

1. Egorov, G. V., Egorov, A. G. (2015). Issledovanie nadezhnosti i riska ekspluatatsii otechestvennykh rechnykh kruiznykh passazhirskikh sudov. Vestnik Odesskogo natsional'nogo morskogo universiteta, 1, 5–32.
2. Egorov, G. V. Proektirovanie sudov ogranichennykh raionov plavaniia na osnovanii teorii riska sudov. Sait Peterburg: Sudostroenie, 384.
3. Collins, N. (2009). The Essential Guide to Chartering and Dry Freight Market. London: Clarkson Research Studies, 365.
4. Adland, R. (2003). The stochastic behavior of spot freight rates and the risk premium in bulk shipping. Massachusetts Institute of Technology, 146.
5. Adland, R., Cullinane, K. (2006). The non-linear dynamics of spot freight rates in tanker markets. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 42 (3), 211–224. doi:10.1016/j.tre.2004.12.001
6. Onishchenko, S. P. (2009). Modelirovanie protsessov organizatsii i funktsionirovaniia sistemy marketinga morskikh transportnykh predpriatii. Odessa: Feniks, 328.
7. Onishchenko, S. P., Shutenko, T. N. (2012). Spetsifika rynochnykh riskov i meropriiati po ih snizheniiu v sovremennom sudohodnom biznese. Aktual'nye problemy ekonomiki, 2 (128), 85–98.
8. Koekebakker, S., Adland, R. O., Sodal, S. (2006). Are spot freight rates stationary? Journal of Transport Economics and Policy, 40 (3), 449–472.
9. Onishchenko, S. P., Korniets, T. E. (2015). Otsenka rynochnogo riska proektov priobreteniia sudna Innovatsionnaia ekonomika. Marketing i rynochnye otnosheniia, 4, 198–205.
10. Panarin, P. Ia. (1980). Organizatsiia raboty lineinogo flota. Moscow: Transport, 192
11. Rahovetskii, A. N. (1989). Effektivnost' reisa morskogo sudna. Moscow: Transport, 141.
12. Shibaev, A. G., Rylov, S. I., Koskina, Ju. A., Sudnik, N. V. (2011). Raspreделение stepeni vliianiia kommercheskikh riskov pri taim-charternoi arende sudov. Metody i sredstva upravleniia razvitiem transportnykh sistem, 17, 197–212.
13. Bunkerworld. (2016). S&P Global Platts. Available at: <http://www.bunkerworld.com/prices/index/bwi>

Поступила (received) 15.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Метод оценки отклонений результатов выполнения судном рейса под влиянием факторов риска/ С. П. Онищенко, О. Д. Вишневская // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.25–32. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Метод оцінки відхилень результатів виконання судном рейсу під впливом факторів ризику/ С. П. Онищенко, О. Д. Вишневська // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.25–32. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Assessment method for deviation of the work's results for vessel under the influence of risk factors/ S. Onyshchenko, O. Vyshnevskia // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179). – P.25–32. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Онищенко Светлана Петровна – доктор економічних наук, професор, Одеський національний морської університет, завідувача кафедрою «Коммерческое обеспечение транспортных процессов»; ул. Мечнико-

ва, 34, г. Одеса, Україна, 65029; тел.: 067-557-76-46; e-mail: onyshenko@gmail.com

Онищенко Світлана Петрівна – доктор економічних наук, професор, Одеський національний морський університет, завідувач кафедри «Комерційне забезпечення транспортних процесів»; вул. Мечникова, 34, м. Одеса, Україна, 65029; e-mail: onyshenko@gmail.com

Onyshchenko Svitlana – doctor of economics, professor, head of department "Commerce in transport processes" Odessa National Maritime University; Mechnikov str., 34, Odessa, Ukraine, 65029; e-mail: onyshenko@gmail.com

Вишневецкая Ольга Дмитриевна – Одесский национальный морской университет, старший преподаватель кафедры «Морские перевозки»; ул. Мечникова, 34, г. Одесса, Украина, 65029; e-mail: vishn.ol.24@mail.ru

Вишневська Ольга Дмитрівна – Одеський національний морський університет, старший викладач кафедри «Морські перевезення»; вул. Мечникова, 34, м. Одеса, Україна, 65029; e-mail: vishn.ol.24@mail.ru

Vyshnenska Olga – Odessa National Maritime University, Senior Lecturer of the Department "Marine transport"; Mechnikov str., 34, Odessa, Ukraine, 65029; e-mail: vishn.ol.24@mail.ru

УДК 004.031.42

Л. О. САВ'ЮК, Р. Б. ІВАНІВ

РОЗРОБКА БАГАТОПОТОКОВИХ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ІНФОРМАЦІЙНО-НАВЧАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Розглянуті підходи до застосування мобільного навчання в системі освіти, визначена сутність мобільного навчання, його співвідношення з дистанційним й електронним навчанням, а також окреслені його переваги і недоліки. Запропоновано моделі впровадження мобільного навчання в навчальний процес вищих навчальних закладів. Наведений опис розробленого мобільного додатку інформаційно-навчального призначення, який націлений на інтеграцію мобільних технологій в організацію навчального процесу кафедри Інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем інституту інформаційних технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні технології, освіта, вищий навчальний заклад, дистанційне електронне та мобільне навчання, мобільний додаток, багатопоточність

Рассмотрены подходы к применению мобильного обучения в системе образования, определена сущность мобильного обучения, его соотношение с дистанционным и электронным обучением, а также очерчены его преимущества и недостатки. Предложены модели внедрения мобильного обучения в образовательный процесс высших учебных заведений. Приведено описание разработанного мобильного приложения информационно-обучающего назначения, которое нацелено на интеграцию мобильных технологий в организацию учебного процесса кафедры Информационно-телекоммуникационных технологий и систем института информационных технологий Ивано-Франковского национального технического университета нефти и газа.

Ключевые слова: информационно-коммуникационные технологии, образование, высшее учебное заведение, дистанционное электронное и мобильное обучение, мобильное приложение, многопоточность.

The approaches to the use of mobile learning in the education system, defines the essence of mobile learning and its relationship to the distance and E-learning, as well as outlines its advantages and disadvantages. The article proposes a model of mobile learning implementation in the educational process of higher educational institutions. The description of the developed mobile application of information and educational purposes that is aimed at the integration of mobile technologies in the educational process of the department of information and telecommunication technologies and systems Institute of Information Technologies of Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas.

Scientific innovation is the development of mobile learning application that implements the principles of openness higher education - flexibility, modularity, independent of time and place, the use of modern information and communication technologies. In developing the application included didactic principles - multimedia, interactivity, accessibility.

The practical significance of the development is to use a lot of threading tasks in the operation of a mobile application. This separation leads to more efficient use of resources and mobile networks of educational institutions. The main advantage of this mobile application is the ability to download educational content using cloud directly to your mobile device using multithreading technology, namely NSOperationQueue and CoreData framework for storage.

Keywords: ICT, education, higher education institution, distance learning, E-learning and mobile learning, mobile application, multithreading.

Вступ. За роки незалежності України система освіти зазнала істотних змін. Постійно зростаючий обсяг нових знань, поява новітніх інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) та засобів комунікації потребують нововведень в систему традиційної освіти. Однією з важливих тенденцій розвитку сучасної освіти стало широке впровадження дистанційних та мобільних технологій навчання.

Сучасне суспільство висуває вимоги безперервності, неформальності, відкритості та інноваційності навчального процесу. Отже, освіта сьогодення повинна носити характер гнучкості та високої технологічності. Всі ці риси притаманні дистанційному освітньому процесу, реалізованому з використанням мобільних технологій навчання.

Як зазначено в [1] під інформатизацією вищої школи слід розуміти перехід до масштабного, комплексного застосування ІКТ в різних сферах університетської діяльності. В процесі інформатизації сфери вищої освіти ключове значення набувають проблеми, пов'язані з організацією і вдосконаленням навчального процесу.

Мобільне навчання (МН) тісно пов'язане з електронним та дистанційним навчанням, навчання на платформі мобільних пристроїв проходить незалежно від місця знаходження користувача і відбувається при використанні портативних технологій. Іншими словами, МН зменшує обмеження із здобуття освіти по місцезнаходженню споживачів даної послуги за допомогою портативних пристроїв.

© Л. О. Сав'юк, Р. Б. Іванів. 2016

В рамках кредитно-модульної технології половина навчального часу, який виділяється на вивчення навчальних дисциплін, відводиться на самостійну роботу студентів. При цьому у викладачів відсутні інструменти, що дозволяють організувати і спрямовувати роботу студентів поза аудиторними заняттями [2].

В той же час, використання мобільних додатків інформаційно-навчального призначення, сприяє вирішенню завдань підвищення ефективності навчальної діяльності студентів, оптимальної організації навчально-виховного процесу з максимальним використанням можливостей ІКТ.

Мобільний телефон - це комунікаційний та інтерактивний засіб зв'язку, який в наш час є практично у всіх: дітей, підлітків, дорослих, літніх людей. Компанії, що створюють мобільні телефони, освоюють нові функції, нові можливості стільникового апарата, представляючи прогресивні моделі телефонів з унікальними можливостями. Тому, особливої актуальності набуває пошук нових підходів до організації навчального процесу, створення навчальних матеріалів і технологій, які б враховували можливості мобільних пристроїв та потреби споживачів мобільного зв'язку.

Україна робить впевнені кроки на шляху забезпечення належного її місця у світовій освітній спільноті на основі електронного, дистанційного та мобільного навчання, проте ще залишаються не повністю дослідженими перспективи розвитку та впровадження нових педагогічних технологій, що ґрунтуються на використанні інноваційних ІКТ, таких як розробка інтерактивних багато потокових мобільних додатків навчального призначення.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень та публікацій свідчить про те, що на сьогодні питання впровадження сучасних ІКТ, зокрема технологій і засобів МН, які забезпечують удосконалення навчально-виховного процесу, доступність та ефективність освіти, підготовку молодого покоління до життєдіяльності в інформаційному суспільстві залишається актуальним.

Особливо, увага до МН зростає у вищих навчальних закладах (ВНЗ), про що свідчить зростання наукових публікацій і зарубіжних наукових конференцій із даної тематики, таких як Міжнародні конференції "Мобільне навчання" (International Conference Mobile Learning), "The Mobile Learning Network Project" (MoLeNET), мета яких полягає в поширенні технологій МН через популяризацію і доведення необхідності інтегрування мобільних технологій у світову освітню практику.

Практичними результатами проведення останньої з цих конференцій стала реалізація проектів по створенню єдиної віртуальної системи МН, що об'єднала близько ста коледжів і шкіл Англії. Учасники даного проекту проводять дослідження дидактичних можливостей різних мобільних засобів зв'язку, таких як смартфони, Мр3 плеєри, планшети, голосові пристрої.

Другим великим закордонним проектом по експериментальному впровадженню технологій МН є американський проект "Mobile Learning Environment Project" (The MoLE). Проект об'єднує учасників з 22 країн світу, які впроваджують технології МН в процес

викладання різних дисциплін через використання єдиної платформи, що об'єднує мобільні освітні ресурси і методики їх освоєння. Значний інтерес представляють також результати проекту «Mobile Technologies in Lifelong Learning: best practices» (MOTILL), який реалізується на європейському просторі і досліджує дидактичні можливості мобільних засобів зв'язку та їх вплив на учасників освітнього процесу.

Під час обговорення проблем впровадження мобільних технологій на українському освітньому просторі слід враховувати специфіку пострадянських країн. До яких відноситься Україна. Зокрема, необхідно прийняти до уваги три наступних фактори [3]:

1. Перший фактор пов'язаний з характеристиками мобільного доступу до мережі Інтернет. В Україні не має масового доступу до широкодоступних, у просторовому і ціновому відношенні, швидкісних мереж стандарту Wi-Fi, таких як в більшості високо розвинутих країнах світу.

2. В Україні спостерігається велика різноманітність мобільних пристроїв, що використовуються студентами ВНЗ. Останні моделі мобільних пристроїв бренду Apple, не набули широкого поширення через економічні міркування. Користувачі мобільних послуг використовують мобільні пристрої з операційними системами (ОС), починаючи від Symbian до IOS, ОС Windows Mobile для Windows Phone, а також майже всі версії ОС Google.

3. Третій фактор тісно пов'язаний з особливостями, функціональними можливостями та змістом МН, що вимагає особливого підходу до його розвитку. У розвинених країнах світу традиційний підхід полягає в створенні власних програм для мобільного навчання. Реалізація такого підходу в Україні стикається зі значними труднощами, в тому числі у зв'язку із нестачею на ринку праці пострадянських країн фахівців, здатних ефективно розвивати мобільні додатки для різних мобільних платформ.

Не дивлячись на специфіку та особливості впровадження мобільних технологій на теренах нашої держави, в Україні, за результатами нового дослідження, проведеного компанією TNS Infratest на замовлення Google присвяченого особливостям поведінки Інтернет-користувачів [4], продовжує зростати використання смартфонів. За даними, які представлені у вигляді аналітичного онлайн-інструменту Consumer Barometer, 35% українців є користувачами смартфонів (в 2015 році ця цифра становила 28 %). В категорії молодих людей у віці до 35 років ця цифра ще вище - 72%. А в цілому з 2013 року кількість користувачів смартфонів в Україні зросла на 150 %.

Українці використовують свої смартфони для різних видів активності, найпопулярнішими з яких є пошук інформації - 45%, соціальні мережі - 42% і перегляд онлайн-відео - 37%. Українці все більше часу проводять онлайн. Дослідження показало, що 85% українських Інтернет-користувачів щодня перебуває в режимі онлайн. При цьому серед молодих людей цей відсоток ще вищий. Так, серед опитаних Онлайн-користувачів у віці до 25 років щодня користується Інтернетом 98%, у віці 25-34 років - 93%. Цікаво, що серед Інтернет-користувачів старше 55 років щодня заходять в мережу Інтернет 72%.

Українці використовують свої смартфони для входу до мережі Інтернет найчастіше для особистих цілей - 61% опитаних. При цьому тільки для особистих цілей смартфонами користується 58% українців, а для особистих і бізнес цілей - 30%.

Вирішальну роль у способі отримання інформації відіграє швидкість та якість мобільного зв'язку. Мобільні пристрої досягли такого розвитку, що можуть набагато швидше надати можливість пошуку інформації користувачу, ніж персональний комп'ютер, якого може не бути поряд, а також подати потрібну інформацію у більш зручному вигляді.

Попри досить високий рівень розвитку мобільних технологій в Україні, на сьогодні немає випадків повного використання їх потенціалу саме для організації навчального процесу. До цього моменту процес навчання намагались організувати за допомогою WEB 2.0 сервісів: соціальних мереж, мікроблогів, Он-лайн календарів та інших інструментів. Серед усіх цих сервісів не можна виділити стандартний набір для організації навчального процесу. Додатково ще треба мати декілька облікових записів, щоб мати змогу користуватись ними.

Єдиним перевіреним способом інформування студентів університету про хід і організацію навчального процесу до сих пір є розміщення оголошень, розкладу занять та іншої інформації на інформаційних дошках у коридорах ВНЗ, що є малоефективним. Спілкування з викладачами та деканатом вимагає у більшості випадків особистої присутності студентів.

Деякі організації та університети намагаються впровадити мобільні технології в організацію навчального процесу. Розглянемо декілька вдалих прикладів мобільних додатків інформаційно-навчального призначення.

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут імені І. Сікорського” впровадив у навчальний процес мобільний додаток для смартфонів на базі ОС IOS “KPI Today”, який слугує інтерактивним інформатором для абітурієнтів та студентів (рис. 1, а). Містить у собі розділ новин, де можна завжди дізнатись про останні новини університету, гранти, конкурси, семінари та інші події університету. Додаток також містить інформацію про сам університет, факультети, студентські клуби, контакти.

Позитивними особливостями даного мобільного додатку навчального призначення є наявність автоматичного оновлення розкладу занять; можливості додавання у категорію “Обране” розкладу занять викладачів та друзів, планувальник завдань з можливістю прикріплення фотографій конспектів, нагадування про початок занять; можливості відправки повідомлень студентам від старости групи та викладачів; мобільної бібліотеки, яка дозволяє завантажити на смартфон видання, авторами яких є викладачі університету; карти навчальних корпусів університету.

Значним недоліком даного додатку є відсутність Off-лайн режиму, а отже для роботи додатку необхідне стабільне Інтернет-з'єднання.

В якості наступного прикладу розглянемо мобільний додаток від Стенфордського університету США. Стенфордський університет є одним з найбільш престижних в світі інститутів. Це приватний дослідницький університет, який займає верхні позиції у багатьох академічних рейтингах світових вузів. “Stanford Mobile” це офіційний додаток Стенфордського університету (рис. 1, б), який забезпечує доступ до основних інформаційних ресурсів та сервісів університету у будь-який час і в будь-якому місці на мобільному пристрої.

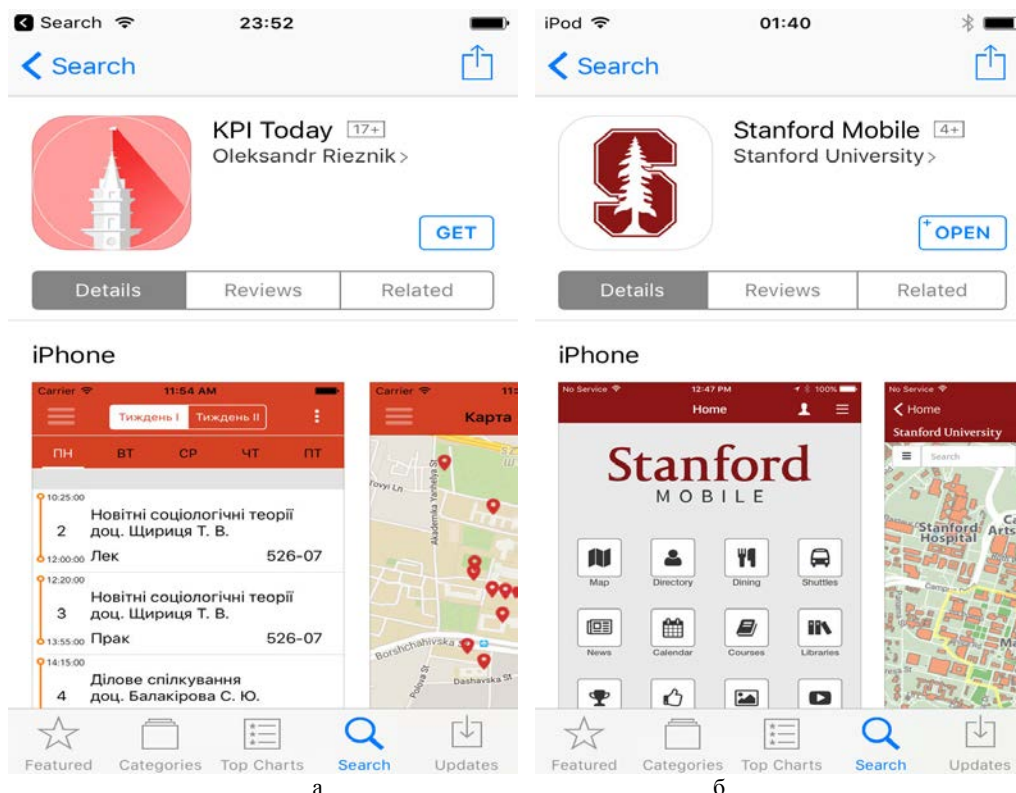


Рис. 1 – Мобільні додатки в магазині App Store: а – “KPI Today”, б – “Stanford Mobile”

Основними перевагами даного мобільного додатку слід рахувати включення таких інформаційно-функціональних модулів як карта розміщення основних структурних елементів університету (навчальні корпуси, бібліотеки, тощо); пошук по каталогу студентського городка; пошук найближчих закладів харчування; розклад автобусних маршрутів між корпусами університету; перегляд стрічки новин університету; перегляд календарних подій; перелік навчальних курсів та дисциплін; перегляд/скачування навчальних матеріалів(лекції, презентації); календар спортивних заходів та їх результати; посилання на соціальні мережі університету (Facebook, Instagram).

Як можна побачити з огляду існуючих мобільних додатків університетів, більшість з них не тільки дублює інформацію з офіційного сайту університету та його підрозділів, але і слугує інноваційним інформатором для абітурієнтів та студентів у будь-якому місці, і у будь-який час за допомогою мобільних пристроїв.

Українським ВНЗ слід приділяти більше уваги розвитку власних мобільних додатків інформаційно-навчального призначення, так як це значно підвищує престиж закладу в очах молодого покоління та збільшує концентрацію уваги на ньому з боку потенційних абітурієнтів та їх батьків. Якщо такі додатки вже включені у інфраструктуру ВНЗ, то необхідно їх розвивати в сторону більшої інтерактивності та персоналізації для кожного студента.

Ціль та задачі дослідження. Мета дослідження полягає у вивченні перспектив проектування, практичної апробації та інтегрування у навчальний процес ВНЗ мобільних додатків інформаційно-навчального призначення.

Задачею дослідження є створення інтерактивного багатопоточного мобільного додатку інформаційно-навчального призначення, який повинен поєднати у собі інформативні складові пітримки навчального процесу, комунікативні засоби підтримки мотивації та активності студентів, а також інноваційні засоби доставки навчального контенту користувачам освітніх послуг.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

1. Проаналізовані тенденції розвитку мобільних технологій.
2. Досліджені способи інтеграції мобільних технологій в систему освіти.
3. Проаналізовані переваги і недоліки використання мобільних технологій в галузі освіти.
4. Розроблений мобільний додаток націлений на інтеграцію мобільних технологій в організацію навчального процесу ВНЗ.

Об'єктом досліджень є інтеграція мобільних технологій в навчальний процес кафедри інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем інституту інформаційних технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Для вирішення поставлених завдань використовуються методи експерименту та спостереження для визначення ефективності та доцільності використання мобільних технологій в навчанні студентів українських ВНЗ.

Способи застосування та інтеграції мобільних технологій в освітню систему. Можливості технологій МН, безумовно, потрібно використовувати в навчальному процесі всіх категорій осіб, адже вони органічно поєднуються з традиційними формами навчання, розширюють можливості доступу до навчальної інформації та такі принципи відкритої освіти, як гнучкість, модульність, незалежність від місця і часу надання освітніх послуг, використання сучасних ІКТ.

МН це нова технологія навчання, що базується на інтенсивному застосуванні сучасних мобільних засобів та технологій. Використання мобільних технологій відкриває нові можливості для навчання, особливо для тих, хто живе ізольовано або у віддалених місцях чи стикається з труднощами в навчанні. Можливість навчання на платформі мобільних технологій на сьогодні є загальною тенденцією інтенсифікації життя в інформаційному суспільстві.

При цьому, при впровадженні технологій МН на перше місце виходять такі дидактичні принципи як мультимедійність, інтерактивність та доступність. У порівнянні з електронним та дистанційним навчанням МН надає суб'єкту навчання вищу інтерактивність, більшу свободу руху, більшу кількість технічних засобів.

До особливостей МН М. Шарплес відносить: спільну Онлайн роботу над проектом, мобільний блогінг, персоналізоване навчання, роботу у групах, онлайнів дослідження, рівний доступ до навчання [5]. Унікальними властивостями МН є також придатність до одночасної взаємодії як з одним студентом, так і з групою студентів; можливість динамічного генерування навчального матеріалу в залежності від місця знаходження студентів, контексту навчання та способу використання мобільних пристроїв; можливість виконання окремих дискретних у часі навчальних дій студентів у будь-який час і в будь-якому місці; можливість реалізації змішаного навчання.

По степені заглибленості користувачів у мобільні технології виділяють наступні види МН [6]:

1. Навчання з використанням портативної техніки, коли МН фокусується на технології і може бути реалізоване також у стаціонарному варіанті, наприклад в аудиторії.

2. Контекстно-чутливе навчання, яке фокусується на студентах і може бути реалізоване за допомогою портативних або стаціонарних технологій.

3. Навчання в мобільному світі, яке фокусується на мобільному суспільстві.

Наведемо основні передумови впровадження та рамки використання технологій МН [7]:

1. Студенти готові та вимушені використовувати мобільні пристрої для навчання в тих випадках, коли вони не можуть безпосередньо скористатися книгою чи комп'ютером.

2. Використання технологій МН у вільні, від занять за офіційним розкладом, проміжки часу.

3. Організація спільної Онлай роботи над проектами, у структурі мобільного блогінгу, в рамках персоналізованого навчання, роботи у групах, Онлай досліджень.

4. Мобільні додатки навчального призначення повинні бути компактними й активізуватися з того місця, на якому була перервана робота над ними.

5. Мобільні додатки повинні бути доступними в мережі Internet, а також бути синхронізованими з технічними засобами мобільного навчання.

Технологія МН передбачає наявність системи ДН, яка включає в себе підсистему доступу до локального та віддаленого навчального контенту. Але, в порівнянні з традиційним ДН в МН з'являється можливість моніторингу навчання в реальному часі та забезпечується висока насиченість контенту, що дозволяє розглядати його не лише як засіб навчання, а й як інструмент спільної роботи, призначений для підвищення якості ДН.

Основними недоліками МН є: висока вартість мобільних пристроїв, незахищеність мобільного пристрою та інформації від несанкціонованого доступу, обмежений термін дії живлення мобільного пристрою.

Алгоритмічні та програмно – комунікаційні засоби розробки мобільного додатку інформаційно-навчального призначення. Сьогодні ще не існує єдиного стандарту розробки мобільних додатків інформаційно-навчального призначення. Однак, в роботі [8] зазначено, що побудова навчальних матеріалів на основі уніфікованих та чітко визначених структурних одиниць – навчальних об'єктів – полегшує їх проектування, оцінювання, модифікацію та адаптацію до умов використання. Модель навчального об'єкту передбачає зв'язки об'єкту з множиною інших навчальних об'єктів, які пов'язані з ним логічною послідовністю опрацювання інформаційних потоків та навчального матеріалу.

Якщо представити інформаційно-навчальний мобільний додаток у вигляді навчального об'єкту, то його модель формується на етапі аналізу та формування вимог щодо його функціональних можливостей з боку замовника – керівництва структурних підрозділів ВНЗ. Алгоритм роботи, розроблений на основі вимог до мобільного додатку, зображено на рис. 2. Він включає в себе наступні функціональні елементи:

1. Вікно авторизації. На цьому етапі користувач може авторизуватись в системі за допомогою таких соціальних мереж як Facebook, Google+ або продовжити роботу з мобільним додатком як "Гість".

2. Основне Меню додатку з переліком основних функцій.

3. Після переходу до вікна "Меню" користувач може скористатись наступними функціями додатку:

– перейти до вікна "Кафедра", де буде відображатись детальна інформація про кафедру інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем (ІТТС), також з цього вікна користувач отримує доступ до вікна "Карта", де зображено розміщення основних структурних елементів університету;

– перейти до інформаційного вікна "Викладачі". Також з цього вікна користувач зможе перейти до вікна детальної інформації про кожного викладача, де міститься біографія і резюме конкретного викладача та його контактні дані;

– перейти до вікна "Навчальна інформація", де користувач повинен обрати необхідну групу та курс, після цього він отримує доступ до навчальних матеріалів для обраної групи, серед них лекції, методичні матеріали до виконання лабораторних робіт та практичних занять, питання до іспитів і інший інформаційний контент;

– перейти до інформації про розклад занять на кафедрі ІТТС;

– перейти до вікна "Відгуки", де користувач може залишити відгук про університет, кафедру, викладача або мобільний додаток. Користувач з правами "гість" має можливість лише переглядати існуючі коментарі.

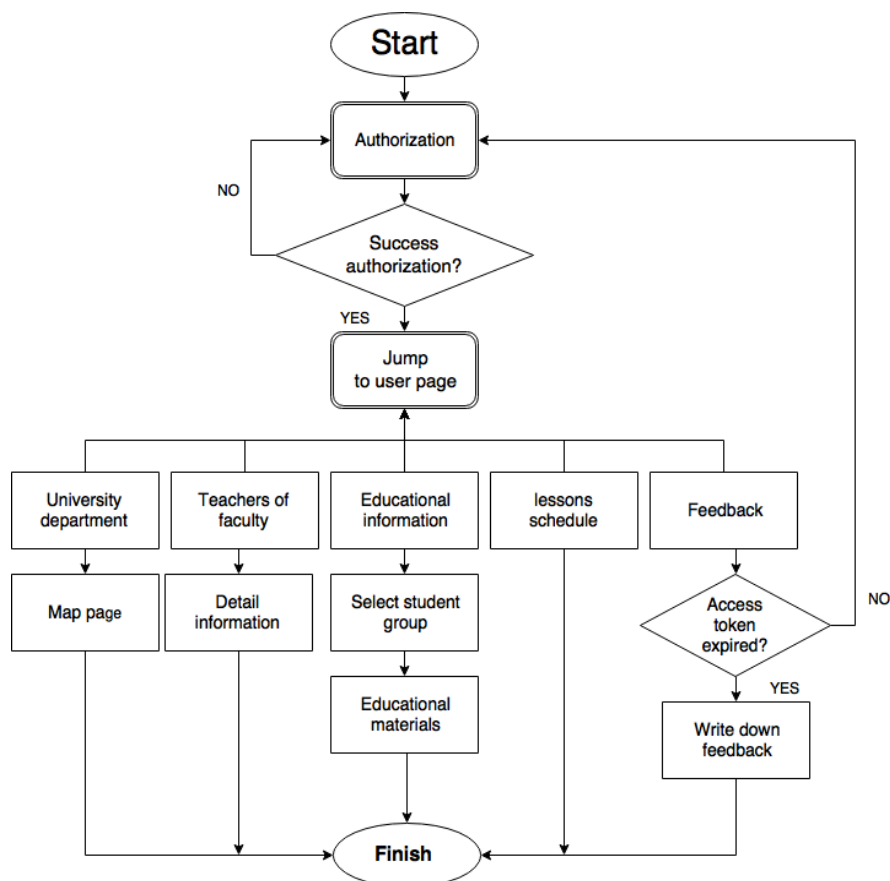


Рис. 2 – Блок-схема роботи мобільного додатку

Проектування архітектури програмного забезпечення (ПЗ) це процес розроблення, що виконується після етапу аналізу і формулювання вимог до мобільного додатку. Задача такого проектування полягає у перетворення вимог до інформаційно-навчальної системи у вимоги до ПЗ і побудові, на їхній основі, архі-

текстури системи. Побудова архітектури системи здійснюється шляхом визначення цілей системи, її вхідних і вихідних даних, декомпозиції системи на підсистеми, компоненти або модулі та розроблення її загальної структури. Проектування архітектури системи може проводитися різними методами (стандартизованим, об'єктно-орієнтованим, компонентним і ін.), кожний з яких пропонує свій шлях побудови архітектури, а саме, визначення концептуальної, об'єктної й інших моделей за допомогою відповідних конструктивних елементів (блок-схем, графів, структурних діаграм тощо).

Спільною характеристикою сучасних підходів до проектування інформаційних систем (ИС) є побудова візуальних моделей. Візуальне моделювання являє собою процес графічного подання моделі за допомогою стандартного набору графічних елементів. Модель як абстракція, що описує сутність проблеми або структури ІС без несуттєвих деталей, допомагає зрозуміти проблему всім учасникам проекту (замовнику, експерту, аналітику, проектувальнику, автору документації, програмісту, тестувальнику) та обговорити її. Спілкування можна забезпечити і за допомогою текстової інформації, але візуальне подання системи значно спрощує цей процес і надає всім зацікавленим потрібну інформацію, дозволяє оцінити потрібні ресурси, розробити плани й забезпечити ефективне функціонування створюваної системи.

Моделі майбутньої ІС складаються із використанням загальноприйнятої системи позначень, яку називають нотацією. Нині найповнішу нотацію, що розширяється при переході від аналізу до проектування, пропонує уніфікована мова моделювання UML (Unified Modeling Language) [9].

Для розробки мобільних додатків інформаційно-навчального призначення для певної мобільної платформи, потрібно використовувати конкретну мову програмування. Розробка додатків для мобільних платформ iOS і Android суттєво розрізняються між собою. Якщо в рамках платформи від Google доцільно користуватися для розробки додатків мовою Java, то для платформи iOS вибір концентрується мовами програмування Objective-C і Swift.

Для розробки мобільного додатку інформаційно-навчального призначення було вирішено обрати мову програмування Objective-C 2.0. Цей вибір зумовлений стабільністю та прогнозованістю даної мови програмування, яка існує більше 20 років. Об'єктно-орієнтована мова програмування Objective-C 2.0 розроблена у вигляді набору розширень стандартної мови програмування C.

Під час проектування та розробки мобільного додатку використовується архітектурний шаблон Model-view-controller (MVC), який повинен полегшувати подальші зміни чи розширення програм, а також надавати можливість повторного використання окремих компонентів програми. Крім того використання цього шаблону у великих системах призводить до певної впорядкованості їх структури і робить їх зрозумілішими завдяки зменшенню складності.

Цей шаблон поділяє систему на три частини: модель даних, вигляд даних та керування даними. Шаблон застосовується для відокремлення даних

від інтерфейсу користувача так, щоб зміни інтерфейсу користувача мінімально впливали на роботу з даними, а зміни в моделі даних могли здійснюватися без змін інтерфейсу користувача.

Під час розробки мобільного додатку, для забезпечення можливості збереження файлів з вікна "Навчальна інформація" використаний готовий до використання комплекс програмних рішень, що включає дизайн, логіку та базову функціональність системи або підсистеми – системний фреймворк Core Data.

Системний фреймворк Core Data не є реляційною базою даних або системою управління базами даних (СУБД). Натомість, Core Data забезпечує інфраструктуру для управління змінами та для збереження об'єктів і вилучення їх зі сховища [10]. Використання системного фреймворка Core Data для збереження даних надає ряд переваг: оптимізоване використання пам'яті; автоматичне керування зв'язками між об'єктами; швидкий пошук об'єктів; швидше сортування об'єктів одразу при запиті на зчитування; механізм автоматичної зупинки виконання операцій.

Core Data дозволило створити структуру інформаційно-навчального мобільного додатку як у вигляді табличного відображення об'єктів (рис. 3), так і у вигляді графа з відповідними зв'язками між вершинами (рис. 4).

Використання табличного представлення даних зручніше для роботи з властивостями об'єктів. Тут можна задавати параметри окремо для кожного з атрибутів та встановити значення за замовчуванням. Це дуже зручно при розробці мобільних додатків з великою кількістю даних, тоді можна зменшити кількість операцій над ними, саме за допомогою присвоєння значення за замовчуванням.

Представлення додатку вигляді графа зручно використовувати для налаштування зв'язків між об'єктами системи. Тут можна обрати тип зв'язків та поведінку об'єктів у випадку видалення чи зміни одного з них.

Отже, використання системного фреймворка Core Data дозволило реалізувати складну структуру бази даних мобільного додатку за короткий проміжок часу.

У структурі мобільних додатків інформаційно-навчального призначення, зазвичай, формується багато задач, на виконання яких потрібні досить значні процесорні ресурси, відповідно все це може зайняти певний час, заблокувавши тим самим роботу програми, що є неприпустимим при розробці мобільних додатків.

Для подолання таких випадків в програмуванні використовують поняття багатопоточності або багатонитевості (multi-threading) [11]. Багатонитевість це властивість операційної системи або додатку, яка полягає в тому, що процес, породжений в операційній системі, може складатися з кількох нитей, що виконуються паралельно, або навіть одночасно на багатопроцесорних системах. При виконанні деяких завдань таке розділення дозволяє досягти ефективнішого використання ресурсів комп'ютера. Такі нити виконання ще називають потокми, їх життєвий цикл зображено на рис. 5.

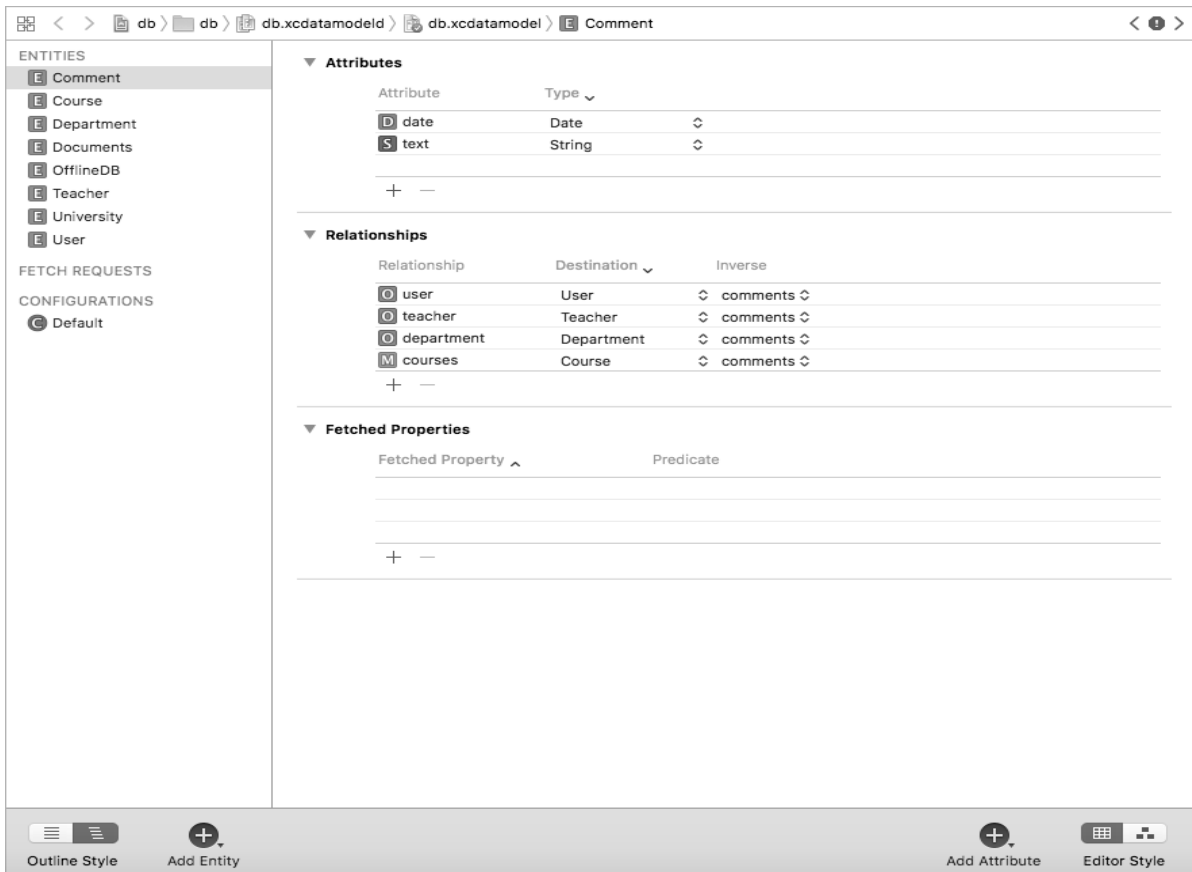


Рис. 3 – Таблицне представлення структури мобільного додатку

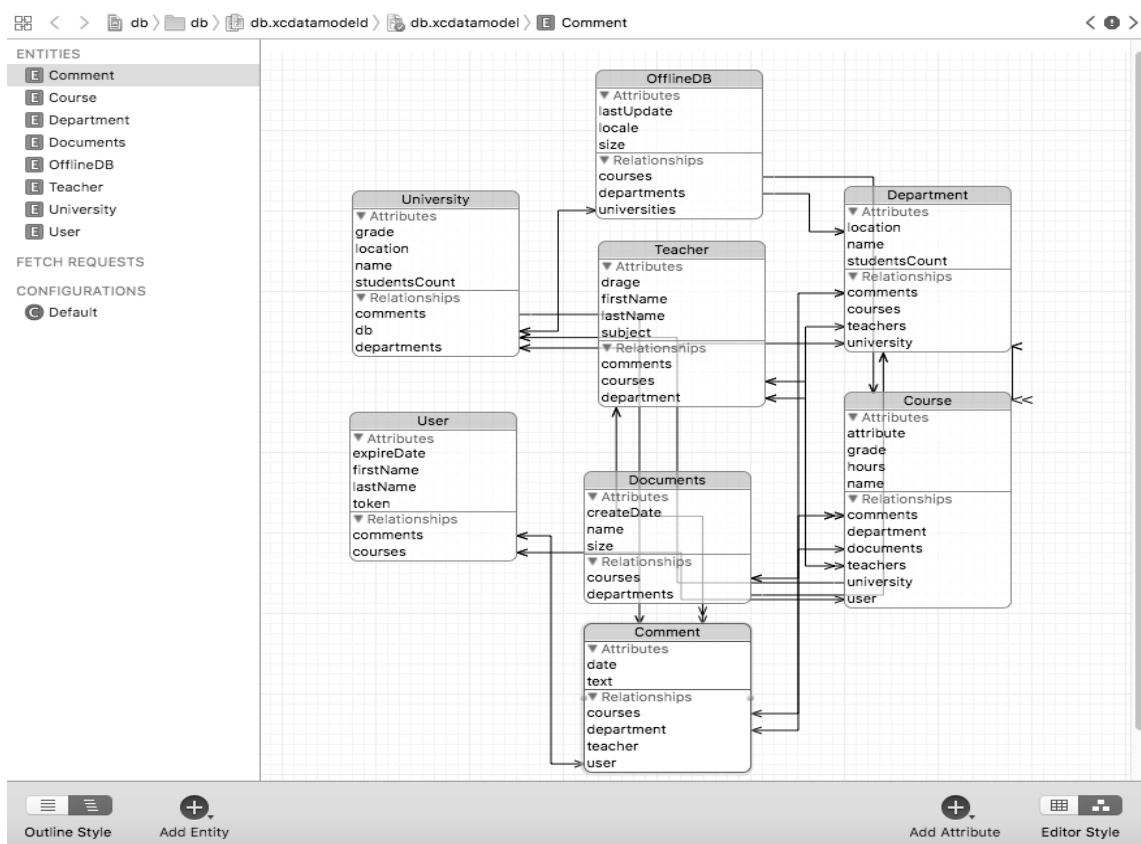


Рис. 4 – Представлення структури мобільного додатку у вигляді графа

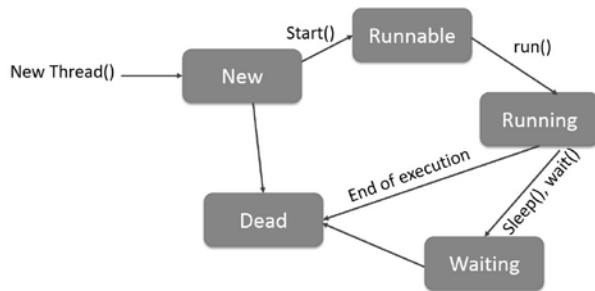


Рис. 5 – Життєвий цикл потоків

Суттю багатонитевості є квазі-багатозадачність на рівні одного виконуваного процесу, тобто всі нити виконуються в адресному просторі процесу. Окрім цього, всі нити процесу мають не тільки спільний адресний простір, але і спільні дескриптори файлів. Процес, що виконується, має як мінімум один (головний) потік. За замовчуванням, будь-який додаток в ОС iOS має один потік (основний/батьківський). За своєю суттю, батьківський потік відрізняється від створюваних, дочірніх потоків, він виконує функцію додатка Main, реагує на події з боку користувача і оновлення інтерфейсу. В якості типових прикладів багатопоточних додатків можна привести різні серверні додатки, обчислювальні програми та додатки, що виконуються на мультипроцесорних системах, задання для виконання в реальному часі.

Мова програмування Objective-C 2.0 забезпечує підтримку потоків на базі відносно нової технології NSOperationQueue, яка дозволяє формувати функції NSOperation для одночасного виконання операцій в ОС iOS з використанням класів та забезпечує максимальну чутливість мобільного інтерфейсу до потреб користувача.

Результати розробки мобільного додатку інформаційно-навчального призначення. Розроблений додаток проходить пілотне впровадження та повинен слугувати передовим інформатором для абітурієнтів та студентів кафедри ІТТС інституту інформаційних технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. За допомогою цього додатку студенти, викладачі та абітурієнти матимуть змогу отримати детальну інформацію про навчальний процес на кафедрі, оперативні новини, а також із впровадженням даної технології з'являються широкі можливості для комунікації між викладачами та студентами кафедри і отримання навчального контенту з дисциплін, які викладаються у відповідності із запропонованим розкладом занять.

В результаті пілотної апробації мобільного додатку його структура була підкоригована відповідно до архітектурного шаблону MVC (рис. 6) з чітким розмежуванням усіх елементів ІС, де кожен з елементів відповідає за чітко покладене на нього завдання.

На сьогодні, при запуску розробленого мобільного додатку інформаційно-навчального призначення з робочого стола IOS пристрою, першим що побачить користувач це вікно авторизації (рис. 7, а). Після цього користувач отримує доступ до головного вікна додатку, з переліком основних функцій (рис. 7, б).

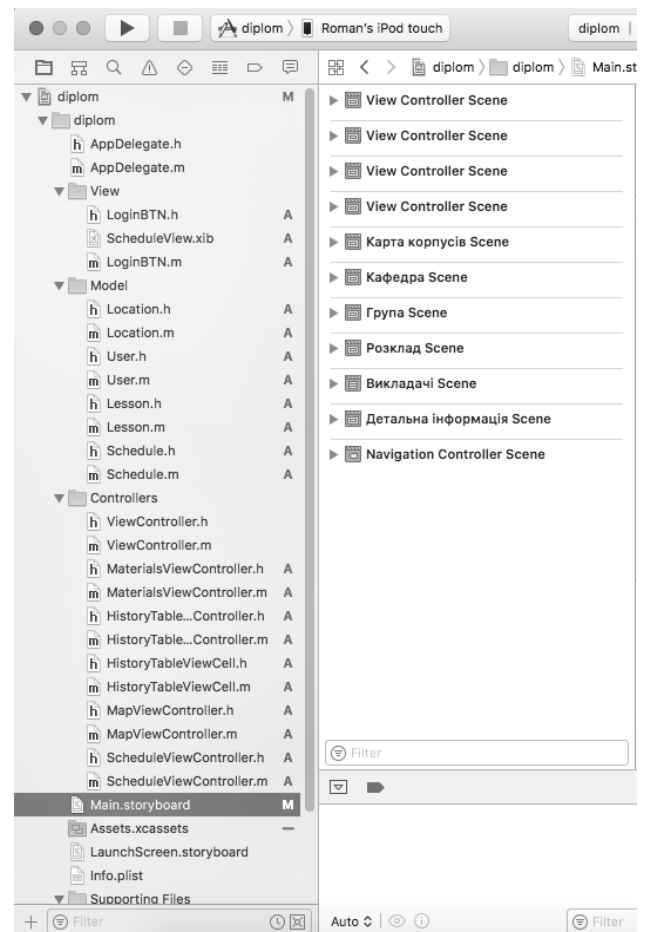


Рис. 6 – Коригування структури додатку відповідно до шаблону MVC

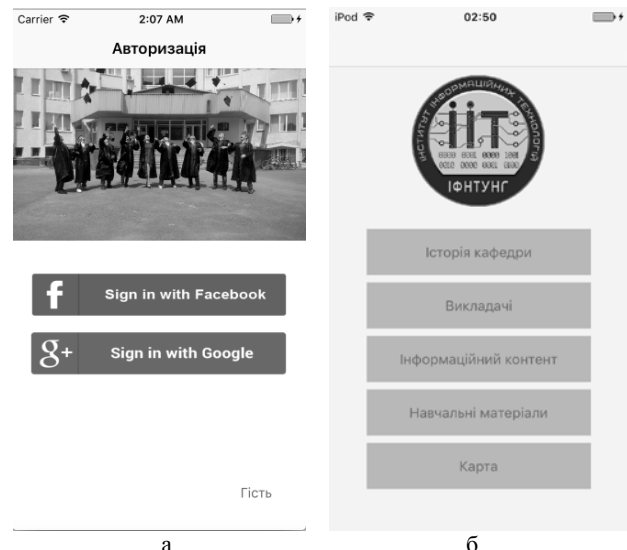


Рис. 7 – Запуск додатку: а – вікно авторизації; б – меню

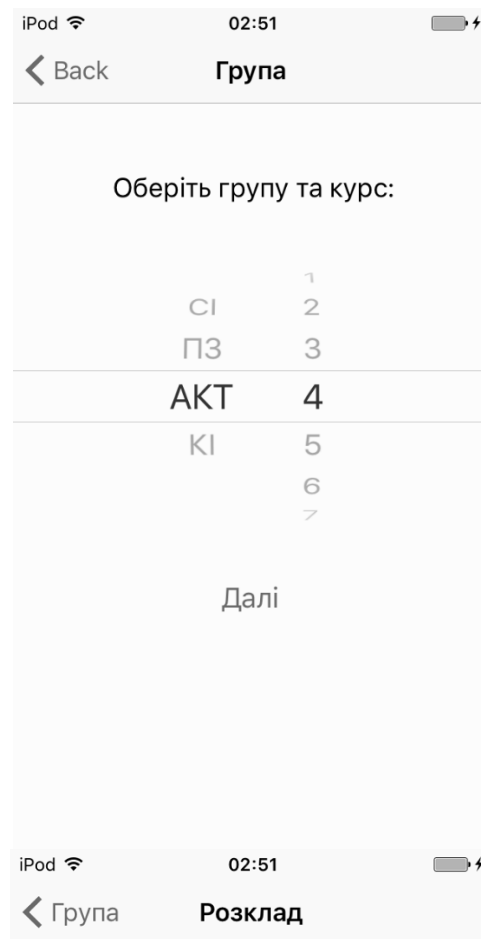
При переході до вікна “Викладачі” користувач отримує доступ до списку викладачів кафедри ІТТС. Детальна інформація про кожного викладача містить його біографію, резюме та контактні дані (рис.8).



Рис. 8 – Оперативна інформація про викладачів кафедри ІТТС

Перехід до вікна “Інформаційний контент” надіє оперативну інформацію про останні новини університету, гранти, конкурси, семінари та інші актуальні події.

При переході до вікна “Навчальні матеріали” користувач повинен обрати необхідну групу та курс, після цього він отримає доступ до розкладу занять і навчальних матеріалів для обраної групи (рис. 9).



Парний		Непарний	
12.12	Моделювання програм. забезп.		
Понеділок	ауд. 1102		
	09:00		
13.12			
Вівторок			
14.12			
Середа			
15.12			
Четвер			
16.12	Технол. копон.прогр. забезп.	Технол. копон.прогр. забезп.	
П'ятниця	ауд. 1418 09:00	ауд. 1418 13:00	

Рис. 9 – Розклад занять для обраної групи

Інтерактивне вікно “Карта” містить зображення розміщення основних структурних елементів університету (навчальні корпуси, бібліотеки, тощо) (рис. 10) з детальним описом вибраного елемента.

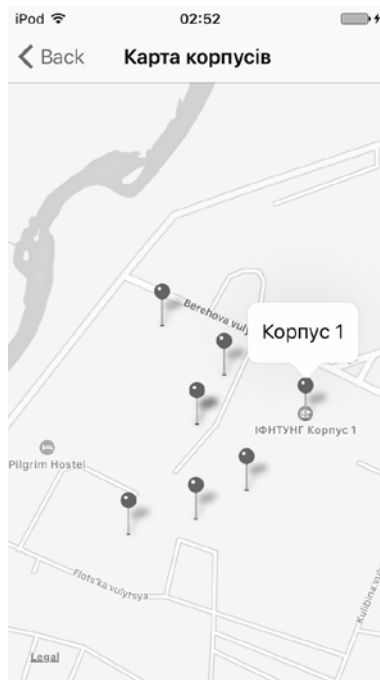


Рис. 10 – Розміщення структурних елементів університету

Основною перевагою даного додатку є можливість завантаження навчальних матеріалів прямо на мобільний пристрій використовуючи властивість багатопоточності ПЗ, а саме одним із методів для одночасного виконання операцій в ОС iOS з використанням класів NSOperationQueue та фреймворка Core Data для збереження даних.

Висновки. В ході досліджень було виявлено, що:

1. МН реалізує принципи відкритої освіти: гнучкість, модульність, незалежність від місця і часу, використання сучасних ІКТ. У мобільному навчанні на перше місце виходять такі дидактичні принципи як мультимедійність, інтерактивність, доступність.

2. Визначення МН характеризує, насамперед, дві основні складові педагогічного процесу – доступ до навчальної інформації і форми реалізації навчальної інтерактивності.

3. Мобільне навчання здійснюється у специфічному інформаційно-освітньому середовищі, основними функціональними і технологічними властивостями якого є висока швидкість створення, обробки й передавання інформації, двосторонній характер комунікацій, можливість роботи з гіпертекстом і мультимедіа, відкритий доступ до інформаційних ресурсів.

4. У ВНЗ України можливим є застосування двох моделей МН: On-line і Off-line. Слід зазначити, що ці моделі можуть застосовуватися, як у рамках дистанційного, так і традиційного (очного, заочного) навчального процесу.

5. Запровадження МН потребує від ВНЗ створення системи його забезпечення: правового, інформаційного, кадрового, методичного, фінансового.

6. Перспективними напрямками подальших досліджень є питання стратегії впровадження МН в навчальний процес ВНЗ України, розробка програмних засобів для створення навчальних матеріалів у вигляді багато-поточкових мобільних додатків інформаційно-

навчального призначення, педагогічні і психологічні основи даної технології.

Список літератури:

1. Тесля, Ю. Н. Enterprise Information Planning – новый класс систем в информационных технологиях высших учебных заведений Украины [Текст] / Ю. Н. Тесля, Н. Ю. Егорченкова, Е. Ю. Катаева, А. В. Егорченков // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 4/2 (82). – С. 11–23. doi:[10.15587/1729-4061.2016.74857](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.74857)
2. Шевченко, В. А. Индивидуализация самостоятельной работы студентов на основе информационных технологий [Текст] / В. А. Шевченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 4/1 (76). – С. 22–30. doi:[10.15587/1729-4061.2015.48240](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.48240)
3. Voychenko, O. Establishing Mobile Learning in The Ukraine: Problems and Prospects [Text] / O. Voychenko, N. Mykhailiv, L. Savyuk // Information Models and Analyses. – 2016. – Vol. 5, № 1. – P. 59–65.
4. Особливості поведінки українського інтернет-користувача – Google Consumer Barometer 2016 [Електронний ресурс] / Офіційний Блог – Google Україна. – Режим доступу: <https://ukraine.googleblog.com/2016/09/google-consumer-barometer-2016.html>. – 12.09.2016.
5. Sharples, M. A Theory of Learning for the Mobile Age [Text] / M. Sharples, J. Taylor, G. Vavoula, // The Sage Handbook of E-learning Research. – 2007. – № 4 – P. 63–81. doi:[10.4135/9781473955011.n4](https://doi.org/10.4135/9781473955011.n4)
6. Семеріков, С. О. Фундаменталізація навчання інформатичних дисциплін у Вищій школі [Текст]: монографія / С. О. Семеріков. – Кривий Ріг: Мінерал, 2009. – 340 с.
7. Триус, Ю. В. Організаційні та педагогічні аспекти розвитку і впровадження технологій мобільного навчання у вищій школі [Текст]: збірн. праць 6 міжн. конф. / Ю. В. Триус // Нові інформаційні технології в освіті для всіх: навчальні середовища. – Київ, 2011. – С. 285–294.
8. Стрюк, А. М. Навчальний об'єкт як компонент мобільного навчання [Текст] / М. І. Стрюк, А. М. Стрюк // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Серія: Педагогічна. – 2012. – №18. – С. 83–86.
9. Плескач, В. Л. Інформаційні системи і технології на підприємствах [Текст] / В. Л. Плескач, Т. Г. Затонацька. – Київ: Знання, 2011. – 718 с.
10. What Is Core Data? [Electronic resource] / Guides and Sample Code. – Available at: https://developer.apple.com/library/content/documentation/Cocoa/Conceptual/CoreData/index.html?utm_source=iosstash.io.
11. OnLine Help. Multithreaded Programming [Electronic resource] / Maplesoft. – Available at: <https://www.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=multithreaded>

Bibliography (transliterated):

1. Teslia, I., Yehorchenkova, N., Iegorchenkov, O., Kataieva, Y. (2016). Enterprise information planning – a new class of systems in information technologies of higher educational institutions of Ukraine. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(2(82)), 11–23. doi:[10.15587/1729-4061.2016.74857](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.74857)
2. Shevchenko, V. A. (2015). Individualization of students' independent work on the basis of information technologies. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(2(76)), 22. doi:[10.15587/1729-4061.2015.48240](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.48240)
3. Voychenko, O. (2016). Establishing Mobile Learning in The Ukraine: Problems and Prospects. Information Models and Analyses, 5 (1), 59–65.
4. Osoblyvosti povedinky ukrainskoho internet-korystuvacha – Google Consumer Barometer 2016. (12.09.2016). Ofitsiyniy Blog – Google Ukraina, Available at: <https://ukraine.googleblog.com/2016/09/google-consumer-barometer-2016.html>
5. Sharples, M., Taylor, J., Vavoula, G. (2007). A Theory of Learning for the Mobile Age. The SAGE Handbook of E-Learning Research, 63–81. doi:[10.4135/9781473955011.n4](https://doi.org/10.4135/9781473955011.n4)
6. Semerikov, S. O. (2009). Fundamentalizatsiia navchannia informatychnykh dystsyplyn u Vyshchii shkoli. Kryvyi Rih: Mineral, 340.

7. Tryus, Yu. V. (2011). Orhanizatsiini ta pedahohichni aspekty rozvytku i vprovadzhennia tekhnolohii mobilnoho navchannia u vyshchii shkoli. Sixth International Conference. New Information Technologies in Education for All: Learning Environment. Kiev, 285–294.
8. Striuk, A. M. (2012). Navchalnyi ob'ekt yak komponent mobilnoho navchannia. Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podil'skoho natsionalnoho universytetu im. Ivana Ohienka. Serii: Pedahohichna, 18, 83–86.
9. Pleskach, V. L. (2011). Informatsiini systemy i tekhnolohii na pidpriemstvakh. Kiev: Znannia, 718.
10. What Is Core Data? (2016). Guides and Sample Code. Available at: https://developer.apple.com/library/content/documentation/Cocoa/Conceptual/CoreData/index.html?utm_source=iosstash.io URL:
11. OnLine Help. Multithreaded Programming. (2016). Maplesoft. Available at: <https://www.maplesoft.com/support/help/Maple/view.aspx?path=multithreaded>

Надійшла (received) 11.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Розробка багатопотокових мобільних додатків інформаційно-навчального призначення/ Л. О. Сав'юк, Р. Б. Іванів // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.32–42 – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Разработка многопоточковых мобильных приложений информационно-образовательного назначения/ Л. А. Савюк, Р. Б. Иванов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.32–42 – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Developing multi-threaded applications of mobile information and educational purpose/ L. Savyuk, R. Ivaniv // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179). – P. 32–42. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сав'юк Лариса Олександрівна – кандидат технічних наук, Інститут інформаційних технологій, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, доцент кафедри Інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем, вул. Карпатська 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019; e-mail: novicecuratorslo@gmail.com.

Роман Богданович Іванів – Інститут інформаційних технологій, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, магістр кафедри Інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем, вул. Карпатська 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019; e-mail: r.ivaniv1994@gmail.com.

Савюк Лариса Александровна – кандидат технических наук, Институт информационных технологий, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных технологий и систем, ул. Карпатская 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019; e-mail: novicecuratorslo@gmail.com.

Иванов Роман Богданович – Институт информационных технологий, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, магистр кафедры информационно-телекоммуникационных технологий и систем, ул. Карпатская 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019; e-mail: r.ivaniv1994@gmail.com.

Savyuk Larisa – candidate of technical sciences, Institute of Information Technology, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, associate professor Department of Information Telecommunication Technologies and Systems, Str. Carpatskaya 15, city. Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019; e-mail: novicecuratorslo@gmail.com.

Roman Ivaniv – Institute of Information Technology, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Master's Degree Department of Information Telecommunication Technologies and Systems, Str. Carpatskaya 15, city. Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019; e-mail: novicecuratorslo@gmail.com.

УДК 629.12.015

С. В. ТЕРЛИЧ

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ПЛАВУЧОГО ДОКУ У НЕЛІНІЙНІЙ ПОСТАНОВЦІ З УРАХУВАННЯМ ЗАЯКОРІННЯ

У статті виконане дослідження вертикальних коливань плавучого доку при умові його постановлення на станові якоря. Виконане математичний опис поведінки плавучого доку від хвиль та тиску вітру. Запропоновано ряд рівнянь для визначення амплітуди вертикальних коливань. Розроблено ряд залежностей для визначення силових факторів у якорних канатах (ланцюгах) та реакцій на станових (мертвих) якорях. Наведено рекомендації щодо використання запропонованих залежностей при їх використанні у практичних розрахунках.

Ключові слова: плавучий док, динаміка моря, якорні системи, математичне моделювання.

В статье выполнено исследование вертикальных колебаний плавучего дока при условии постановки на становые якоря. Выполнено математическое описание поведения плавучего дока от волн и давления ветра. Предложен ряд уравнений для определения амплитуды вертикальных колебаний. Разработан ряд зависимостей для определения силовых факторов в якорных канатах (цепях) и реакций на становых (мертвых) якорях. Приведены рекомендации по использованию предложенных зависимостей при их применении в практических расчетах.

Ключевые слова: плавучий док, динамика моря, якорные системы, математическое моделирование.

In this article we have investigated the vertical oscillations of the floating dock on the condition statement on the bower. The mathematical description of the behavior of the floating dock from the waves and wind pressure. A number of equations to determine the amplitude of the vertical oscillations. A number of dependencies to determine the power factor in anchor ropes (chains) and reactions to become (the dead) anchors. The recommendations for the use proposed by dependency when used in practical calculations. The above article is aimed at facilitating the material calculate rational anchoring schemes. It takes into account the requirements of domestic and foreign design anchor devices. The studies of statics and dynamics of floating dock anchored in the general case of spatial tasks. It presents a practical method of calculation of anchor systems under different operating conditions.

Keywords: floating dock, the sea dynamics, anchoring systems, mathematical modeling.

Вступ. Розгляд задач про хитавицю плавучих об'єктів на якорях у лінійній постановці дозволяє достатньо глибоко досліджувати поведінку систем у просторовому та плоскому випадках. Разом із тим з'ясовано, що як теоретичне, так і прикладне значення мають дослідження коливань у нелінійній постановці з урахуванням жорсткісних характеристик систем заякоріння. У прикладному відношенні в першу чергу раціонально дослідити вертикальні коливання, які створюють найбільші зусилля у якорних в'язях.

Аналіз публікацій за тематикою дослідження. Стан дослідження вітчизняних та закордонних авторів щодо динаміки плавучого доку при заякорінні проаналізовано автором у публікаціях [1–7]. В посібнику [1] наведено основні відомості щодо проектування, конструювання доків, їх пристроїв та систем, наведено довідкові відомості щодо проектування технологічних процесів. У джерелі [2] виконано дослідження статички і динаміки плавучих об'єктів для загального випадку просторової задачі, а також проаналізовані конкретні схеми, які мають важливе прикладне використання. У підручнику [3] наведено розрахункові схеми визначення зовнішніх сил та внутрішніх зусиль у конструкціях нестандартних суден та засобів океанотехніки. В посібнику [4] автором прийняті до уваги сучасні вимоги класифікаційних товариств щодо судових пристроїв. У перерахованих виданнях використовуються рівняння хитавиці суден. Незалежно аналізуються кутова та вертикальна хитавиці і вони описуються різними рівняннями. При цьому вплив якорних канатів не враховується. У працях [5, 6] досліджено рух суден на регулярному хвилюванні. Складені рівняння, які описують вертикально-кільову хитавицю, а окреме рівняння визначає поперечні рухи. В той же час вплив якорних канатів не розглядався.

Мета статті. Створити математичний апарат для визначення параметрів вертикальної хитавиці плавучого доку із урахуванням впливу якорних канатів, а також оцінки внутрішніх зусиль у елементах якорного,

буксирного та швартовного пристроїв

Вільні коливання плавучого доку. Рівняння вільних вертикальних коливань на тихій воді з урахуванням демпфірування має вигляд [7]:

$$(M + M_z)\ddot{u} + \beta_x + R(u), \quad (1)$$

де характеристика жорсткості $R(u)$ приймається за формулами:

$$R(u) = K_1 u + K_2 u^3, u \leq 0; \quad R(u) = K_{02} u^3, u > 0,$$

де u – відносне переміщення;

$$K_1, K_2, K_{02} \text{ – чисельні коефіцієнти [7].}$$

Рівняння системи плавдок-докуєме судно представлено, як:

$$\ddot{u} + 2n_z \dot{u} + f(u) = 0, \quad (2)$$

$$\text{де } f(u) = \frac{R(u)}{M + M_z}. \quad (3)$$

Якщо систему можна вважати консервативною, то рівняння коливань прийме вигляд:

$$(M + M_z)\ddot{u} + R(u) = 0; \quad \dot{u} + f(u) = 0. \quad (4)$$

Вищенаведені рівняння коливань нелінійні, тому для їх розв'язання доцільно використати чисельні методи нелінійної механіки. Іноді раціонально використати ряд наближених методів розв'язання, а результати порівнювати між собою [8]. При нелінійних коливаннях частоти власних коливань залежать перш за все від величин їх амплітуд.

При симетричному навантаженні (рис. 1, а) характеристику жорсткості доцільно використовувати як непарний поліном:

© С. В. Терлич. 2016

$$R(u) = K_1 u + K_2 u^3; (u \neq 0). \quad (5)$$

Згідно методу гармонійної лінеаризації, частоти коливань повинні визначатися у відповідності із інтегралом [7]:

$$\lambda^2 = \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} f(A \sin \tau) \sin \tau d\tau. \quad (6)$$

Тоді при характеристиці за (5) власні частоти λ_z вертикальних коливань описуються залежністю:

$$\lambda_z^2 = a^2 + \zeta v A_x^2, \quad (7)$$

де

$$a^2 = \frac{K_1}{M + M_z}; \quad v = \frac{K_2}{M + M_z}. \quad (8)$$

У (7) A_x – амплітуди вертикальних коливань, а ζ – чисельний коефіцієнт, величина якого $\zeta = \frac{3}{4}$.

Способом прямої лінеаризації частоти власних коливань повинні знаходитись у відповідності до рівняння [9]:

$$\lambda^2 = \frac{5}{2A^5} \int_{-A}^A f(u) u^3 du. \quad (9)$$

Тоді при жорсткій характеристиці у вигляді *непарного поліному* (5) формула для частот λ_z буде мати попередній вигляд (7), але при величині чисельного коефіцієнту $\zeta = \frac{5}{7}$.

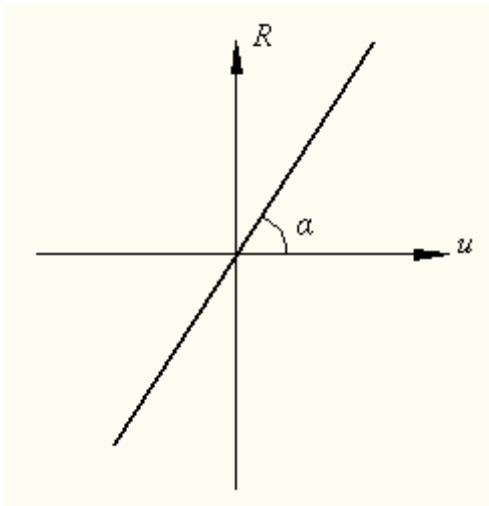


Рис. 1– Лінійна (симетрична) характеристика жорсткості

При наведенні характеристики $R(u)$ кубічною параболою (рис. 2)

$$R(u) = K_{02} u^3; \quad (10)$$

у відповідності із наведеним вище справедливо:

$$\lambda_z^2 = \zeta v_0 A_z^2; \quad v_0 = \frac{K_{02}}{M + M_z}, \quad (11)$$

де ζ має вищенаведені значення ($\zeta = \frac{3}{4}$ або $\zeta = \frac{5}{7}$).

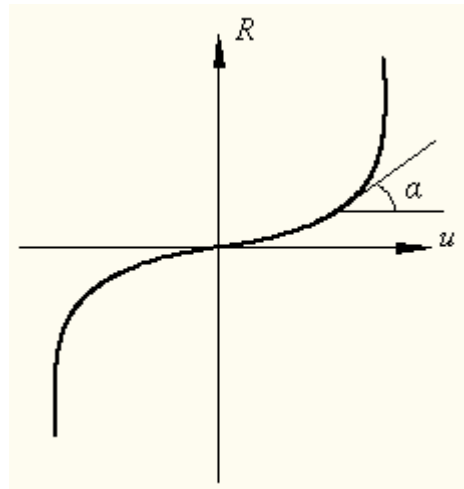


Рис. 2 – Нелінійна симетрична криволінійна характеристика жорсткості

Так, наприклад, при $\zeta = \frac{5}{7}$

$$\lambda_z = 0,845 A_z \sqrt{v_0}.$$

При *несиметричному жорсткому навантаженні* (рис. 3) характеристика жорсткості описується виразом у вигляді двох непарних поліномів:

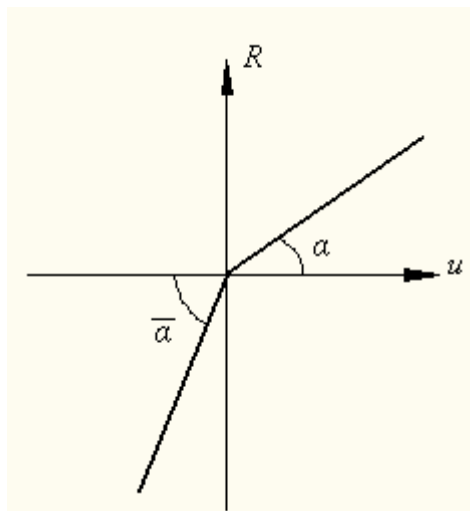


Рис. 3 – Нелінійна несиметрична із двох прямих характеристика жорсткості

$$\left. \begin{aligned} R(u) &= K_1 u + K_2 u^3; \quad (u \geq 0) \\ \bar{R}(u) &= \bar{K}_1 u + \bar{K}_2 u^3; \quad (u < 0) \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

У відповідності із (6) можна записати:

$$\lambda^2 = \frac{1}{\pi A} \left(\int_0^{\pi} f(A \sin \tau) \sin \tau d\tau + \int_{\pi}^{2\pi} \bar{f}(A \sin \tau) \sin \tau d\tau \right).$$

За методом гармонійної лінеаризації власні частоти λ_z вертикальних коливань описуються залежністю:

$$\lambda_z^2 = \frac{1}{2}(a_1^2 + a_2^2) + \frac{3}{8}(v_1 + v_2)A_z^2, \quad (13)$$

де

$$a_1^2 = \frac{K_1}{M + M_z}; \quad a_2^2 = \frac{\bar{K}_1}{M + M_z}; \quad (14)$$

$$v_1 = \frac{K_2}{M + M_z}; \quad v_2 = \frac{\bar{K}_2}{M + M_z}. \quad (15)$$

При представленні функції $R(u)$ у вигляді кубічних парабол отримано:

$$R(u) = K_{02}u^3, (u \geq 0); \quad \bar{R}(u) = \bar{K}_{02}u^3, (u < 0); \quad (16)$$

а у відповідності із вищенаведеним отримано результати:

$$\lambda_z^2 = \frac{3}{8}(\lambda_{01} + \lambda_{02})A_z^2, \quad (17)$$

де

$$v_{01} = \frac{K_{02}}{M + M_z}; \quad v_{02} = \frac{\bar{K}_{02}}{M + M_z}. \quad (18)$$

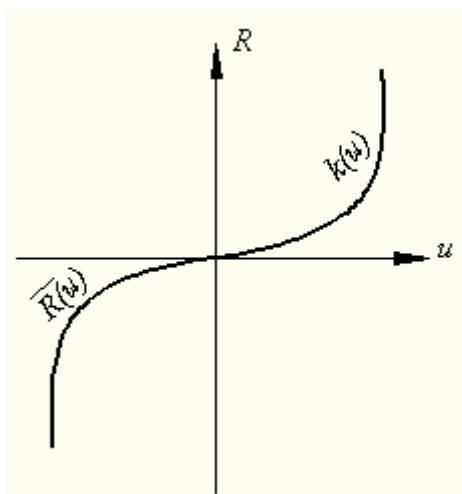


Рис. 4 – Нелінійна несиметрична криволінійна характеристика жорсткості

В цьому випадку *власні частоти* також залежать від амплітуд коливання.

При випадку, коли жорсткісна характеристика $R(u)$ має вигляд двох прямолінійних відрізків, справедливо:

$$R(u) = Ku, (u \geq 0); \quad \bar{R}(u) = \bar{K}u; \quad (u < 0). \quad (19)$$

В цьому випадку

$$\lambda_z^2 = \frac{1}{2}(a_1^2 + a_2^2), \quad (20)$$

де

$$a_1^2 = \frac{K_1}{M + M_z}; \quad a_2^2 = \frac{\bar{K}_1}{M + M_z}; \quad (21)$$

Під час проведення практичних розрахунків вільних вертикальних коливань плавучих споруд найбільший інтерес викликають: величини частот λ_z при значеннях амплітуд A_z , які викликані зовнішніми силами при змушених коливаннях; величини амплітуд A_z при яких мають місце значення частот λ_z близькі до частоти p збуджуючої сили.

Вимушені коливання плавучого доку. Рівняння вимушених вертикальних коливань при нелінійній постановці задачі має вигляд [10]

$$(M + M_z)\ddot{u} + \beta_z + R(u) = P_z(t), \quad (22)$$

де всі позначення аналогічні наведеним для вільних коливань. Згідно теорії нелінійних коливань раціонально розглянути наближенні розв'язання цього рівняння, які основані на лінеаризації рухомої системи. При цьому джерелами збуджень є морське хвилювання та тиск вітру, які можна описати рівнянням $P_z(t) = P_z \sin(pt + \delta)$ [10, 11]. Тоді залежність (22) матиме вигляд

$$\ddot{u} + 2n_z u + f(u) = \frac{P_z}{M + M_z} \sin(pt + \delta), \quad (23)$$

де $f(u)$ за (3). Для консервативних систем справедливо:

$$\ddot{u} + f(u) = \frac{P_z}{M + M_z} \sin(pt + \delta). \quad (24)$$

В результаті розв'язання рівнянь важливо отримати залежність для амплітуд A_z вимушених коливань, які необхідні далі для визначення та опису частот коливань внутрішніх зусиль у якірних канатах плавучої споруди. Для розв'язання рівняння (24) використано метод прямої лінеаризації за яким прийнято $f(u) = \lambda_z^2(A_z)u$. Таким чином рівняння (24) прийме вигляд

$$\ddot{u} + 2n_z u + \lambda_z^2(A_z)u = \frac{P_z}{M + M_z} \sin(pt + \delta). \quad (25)$$

Тут і надалі [7]

$$u = A_z \sin(pt + \delta + \varepsilon), \quad A_z = \frac{P_z}{\lambda_z^2(M + M_z)} k, \quad ,$$

$$\tan \varepsilon = -2 \frac{n_z p}{\lambda_z^2 - p^2}, \quad k_{\text{дх}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{p^2}{\lambda_z^2}\right)^2 + 4n_z^2 \frac{p^2}{\lambda_z^2}}}.$$

Звідси амплітуда вимушених коливань A_z дорівнюватиме

$$A_z = \frac{P_z}{M + M_z} \cdot \frac{1}{\sqrt{[\lambda_z^2(A_z) - p^2]^2 + 4n_z^2 p^2}} \quad (26)$$

При знехтуванні затування коливань

$$A_z = \frac{P_z}{M + M_z} \cdot \frac{1}{\lambda_z^2(A_z) - p^2} \quad (27)$$

Випадок симетричної характеристики жорсткості $R(u)$ у вигляді непарного поліному. При використанні для частоти коливань залежності (7) амплітуда A_z вимушених коливань із урахуванням демпфування знаходиться із виразу

$$\zeta v A_z^3 + (a^2 - p^2) A_z = B_z, \quad (28)$$

де

$$B_z = \sqrt{\left(\frac{P_z}{M + M_z}\right)^2 - 4n_z^2 p^2 A_z^2} \quad (29)$$

Тут v та a^2 прийнято за (8), а коефіцієнт $\zeta = \frac{3}{4}$

при гармонійній лінеаризації та $\zeta = \frac{5}{7}$ при прямій лінеаризації. При знехтуванні затуванням коливань

$$B_z = \frac{P_z}{M + M_z} \quad (30)$$

Рівняння (28) має один дійсний корінь A_z та легко розв'язується шляхом табуляції і може бути перевірено графічно. Це фактично точка перетину кривих

$$y_1 = \zeta v A_z^3 + (a^2 - p^2) A_z; \quad y_2 = B_z. \quad (31)$$

Для спрощення рівнянь (31) та можливості його використання у прикладних розрахунках введені позначення: H_1 – горизонтальні складові розтягнення у носовій та кормовій якірних в'язях у початковому стані; H_2, \bar{H}_2 – ті ж складові (носова та кормова відповідно) у робочому стані. Отримано

$$H_2 = K_1 A_z + K_2 A_z^3 + H_1; \quad H_2 = \bar{H}_2. \quad (32)$$

При довгих якірних в'язях величини H_2, \bar{H}_2 є навантаженнями на якоря, а короткими – вертикальними складовими навантаження. Подальші розрахунки динаміки системи плавуча споруда – якірний пристрій – ґрунт може бути виконано за статистичними залежностями.

Випадок симетричної характеристики жорсткості $R(u)$ у вигляді кубічної параболі. Для цього випадку амплітуда A_z вимушених коливань визначається з рівняння

$$\zeta v_0 A_z^3 - p^2 A_z = B_z, \quad (33)$$

де чисельний коефіцієнт ζ має незмінні величини, v_0 визначається за (11), а B_z за (29) при наявності затування коливань і за (30) при відсутності затування. Навантаження у якірних ланцюгах складатимуть

$$H_2 = K_{02} A_z^3 + H_1; \quad H_2 = \bar{H}_2. \quad (34)$$

Випадок несиметричної характеристики жорсткості $R(u)$ у вигляді непарних поліномів. Для частот коливань використовується залежність (13). Для визначення амплітуд A_z вимушених коливань використовуючи (14) та (15) отримано

$$\frac{3}{8}(v_1 + v_2) A_z^3 + \left(\frac{a_1^2 + a_2^2}{2} - p^2\right) A_z = B_z, \quad (35)$$

де a_1^2, a_2^2, v_1, v_2 визначаються за (14), (15). Дійсний корінь A_z знаходиться шляхом табуляції, прийнявши

$$y_1 = \frac{3}{8}(v_1 + v_2) A_z^3 + \left(\frac{a_1^2 + a_2^2}{2} - p^2\right) A_z; \quad (36)$$

$$y_2 = B_z$$

Навантаження у ланцюгах становлять:

$$H_2 = K_1 A_z + K_2 A_z^3 + H_1; \quad (37)$$

$$\bar{H}_2 = \bar{K}_1 A_z + \bar{K}_2 A_z^3 + H_1.$$

Випадок несиметричної характеристики жорсткості $R(u)$ у вигляді кубічних парабол. Амплітуда коливань A_z визначається із рівняння

$$\frac{3}{8}(v_{01} + v_{02}) A_z^3 - p^2 A_z = B_z. \quad (38)$$

Рівняння розв'язується аналітично і після підстановки отримано

$$H_2 = K_{01} A_z^3 + H_1; \quad \bar{H}_2 = \bar{K}_{02} A_z^3 + H_1. \quad (39)$$

Випадок несиметричної характеристики жорсткості $R(u)$ у вигляді двох прямолінійних відрізків. Для частот коливань було наведено залежність (20), звідки амплітуда дорівнює

$$A_z = \frac{2B_z}{(a_1^2 + a_2^2) - 2p^2}, \quad (40)$$

де a_1^2, a_2^2 за (21), а B_z за (30). В робочому стані навантаження складатимуть

$$H_2 = K A_z + H_1; \quad \bar{H}_2 = \bar{K} A_z + H_1.$$

Висновки. Створено розрахункову базу визначення амплітуди A_z вертикальних змушених коливань несамохідних плавучих споруд з урахуванням їх заякоріння, навантажень у якірних канатах у залежно-

сті від хвильового тиску P_z та його частот p , від опору n_z та інших факторів.

Список літератури:

1. Рашковский, А. С. Проектирование, технология и организация строительства композитных плавучих доков [Текст]: монография / А. С. Рашковский, Н. Г. Слуцкий, В. Н. Коннов, А. В. Щедролов. – Николаев: НУК, 2008. – 614 с.
2. Кульмач, П. П. Якорные системы удержания плавучих объектов [Текст] / П. П. Кульмач. – Судостроение, 1980. – 336 с.
3. Новиков, В. В. Принципы расчета прочности морских инженерных сооружений. Плавучие буровые установки [Текст]: уч. пос. / В. В. Новиков, Г. П. Шеменюк. – Владивосток: ДВФУ, 2011. – 112 с.
4. Зайцев, В. В. Проектирование общесудовых устройств [Текст] / В. В. Зайцев, А. Е. Еганов, Ю. Н. Коробанов, Э. В. Толышев. – Николаев: ИЛИОН, 2004. – 300 с.
5. Абрамовский, В. А. Влияние структуры поля скоростей ветра над волнением на динамику морских объектов [Текст] / В. А. Абрамовский // Научно-технический и производственный журнал. – 2009. – № 6. – С. 41–46.
6. Луговский, В. В. Динамика моря: избранные вопросы, связанные с изучением мореходности корабля [Текст] / В. В. Луговский. – Ленинград: Судостроение, 1976. – 198 с.
7. Александров, А. А. Справочник по управлению кораблем [Текст] / А. А. Александров, А. П. Броневицкий, В. А. Кузнецов, Г. М. Кузнецов, А. Б. Орлов, Ю. Е. Титов, С. С. Юшин. – Москва: Воениздат, 1974. – 509 с.
8. Седов, Л. И. Методы подобия и размерности в механике [Текст] / Л. И. Седов. – Москва: Наука, 1977. – 440 с.
9. Борисов, И. Д. Экспериментальное исследование волновых процессов в двухслойной системе несмешивающихся токонесящих жидкостей [Текст] / И. Д. Борисов, С. А. Пославский, Ю. И. Руднев // Прикладная гидромеханика. – 2010. – Т. 12, № 1. – С. 3–10.
10. Bearman, P. W. The interaction between a pair of circular cylinders normal to a stream [Text] / P. W. Bearman, A. J. Wadcock // Journal of Fluid Mechanics. – 1973. – Vol. 61, № 3. – P. 499–511. doi: [10.1017/s0022112073000832](https://doi.org/10.1017/s0022112073000832)
11. Raskin, L. Method of solving fuzzy problems of mathematical programming / L. Raskin, O. Sira // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 5/4 (83). – P. 23–28. doi: [10.15587/1729-4061.2016.81292](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292).

Bibliography (transliterated):

1. Rashkovskij, A. S., Sluckij, N. G., Konnov, V. N., Shhedrolovse, A. V. (2008). Proektirovanie, tehnologija i organizacija stroitel'stva kompozitnyh plavuchih dokov. Nikolaev: NUK, 614.
2. Kul'mach, P. P. (1980). Jakornye sistemy uderzhanija plavuchih objektov. Sudostroenie, 336.
3. Novikov, V. V., Shemendjuk, G. P. (2011). Principy rascheta prochnosti morskikh inzhenernyh sooruzhenij. Plavuchie burovyje ustanovki. Vladivostok: DVFU, 112.
4. Zajcev, V. V., Eganov, A. E., Korobanov, Ju. N., Tolyshv, Je. V. (2004). Proektirovanie obshhesudovyh ustrojstv. Nikolaev: ILION, 300.
5. Abramovskij, V. A. (2009). Vlijanie struktury polja skorostej vetra nad volneniem nadinamiku morskikh obektov. Nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal, 6, 41–46.
6. Lugovskij, V. V. (1976). Dinamika morja: izbrannye voprosy, svjazannye s izucheniem morehodnosti korablja. Leningrad: Sudostroenie, 198.
7. Aleksandrov, A. A., Bronevickij, A. P., Kuznecov, V. A., Kuznecov, G. M., Orlov, A. B., Titov, Ju. E., Jushin, S. S. (1974). Spravochnik po upravleniju korablem. Moscow: Voenizdat, 509.
8. Sedov, L. I. (1977). Metody podobija i razmernosti v mehanike. Moscow: Nauka, 440.
9. Borisov, I. D., Poslavskij, S. A., Rudnev, Ju. I. (2010). Jeksperimental'noe issledovanie volnovykh processov v duvslojnoj sisteme nesmeshivajushihsj tokonesushhih zhidkostej. Prikladnaja gidromehaniка, 12 (1), 3–10.
10. Bearman, P. W., Wadcock, A. J. (1973). The interaction between a pair of circular cylinders normal to a stream. Journal of Fluid Mechanics, 61 (3), 499–511. doi: [10.1017/s0022112073000832](https://doi.org/10.1017/s0022112073000832)
11. Raskin, L. (2016). Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(4(83)), 23–28. doi: [10.15587/1729-4061.2016.81292](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.81292).

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Аналітичне дослідження вертикальних коливань плавучого доку у нелінійній постановці з урахуванням заякоріння/ С. В. Терлич // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.43–47. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Аналитическое исследование вертикальных колебаний плавучего дока в нелинейной постановке с учетом заякорения/ С. В. Терлич // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.43–47. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

The analytical research of the vertical oscillations of the floating dock in the nonlinear formulation based anchoring/ S. V. Terlych // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179). – P.43–47. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Терлич Станіслав Володимирович – Херсонська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, старший викладач кафедри "Суднобудування"; проспект Адмірала Ушакова, 44, м. Херсон, Україна, 73022; e-mail: terlich@mail.ru.

Терлич Станіслав Владимирович – Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, старший преподаватель кафедры «Судостроение»; проспект Адмирала Ушакова, 44 м. Херсон, Украина, 73022; e-mail: terlich@mail.ru.

Terlych Stanislav Volodymyrovych – Kherson branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding, senior lecturer Department "Shipbuilding"; Avenue Admiral Ushakov, 44, Kherson, Ukraine, 73022; e-mail: terlich@mail.ru.

УДК 531.71; 681.2.083

М. Ф. ЖОВНІР

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРВИННОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЛІНІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ З РУХОМИМ ПРИЙМАЧЕМ ПОВЕРХНЕВИХ АКУСТИЧНИХ ХВИЛЬ

Наведена математична модель, що розроблена на основі дельта-функцій, первинного перетворювача (ПП) лінійних переміщень з використанням фазових набігань на поверхні п'єзоелектричного звукопроводу електричного поля поверхневих акустичних хвиль (ПАХ), які приймаються рухомим приймачем. Модель дозволила отримати залежності характеристик ПП від положення кожного електрода зустрічно-штирового перетворювача приймача ПАХ відносно акустичного потоку. Теоретичні співвідношення, результати чисельних розрахунків дозволяють обґрунтовувати конструктивні та електричні параметри ПП в залежності від заданих метрологічних характеристик перетворювача лінійних переміщень.

Ключові слова: поверхнева акустична хвиля, вимірювальний перетворювач, п'єзоелектричний звукопровід, зустрічно-штировий перетворювач.

Приведена математическая модель, которая разработана на основе дельта-функций, первичного преобразователя (ПП) линейных перемещений с использованием фазовых набегов на поверхности пьезоэлектрического звукопровода электрического поля поверхностных акустических волн (ПАВ), которые принимаются подвижным приемником. Модель позволила получить зависимости характеристик ПП от положения каждого электрода встречно-штиревого преобразователя приемника ПАВ относительно акустического потока. Теоретические соотношения, результаты численных расчетов позволяют обосновывать конструктивные и электрические параметры ПП в зависимости от заданных метрологических характеристик преобразователя перемещений.

Ключевые слова: поверхностная акустическая волна, измерительный преобразователь, пьезоэлектрический звукопровод, встречно-штировой преобразователь.

The article describes the development of a mathematical model for primary transducer (PT) of linear displacements on the basis of phasing constant on the surface of the piezoelectric sound conductor. Electric field of surface acoustic waves (SAW) is detected by movable receiver. It is the first time developed a mathematical model of the primary transducer for linear displacements with a movable SAW receiver calculated using Delta functions to obtain the dependences of the output characteristics of PT from the position of each electrode of the interdigital transducer of the SAW receiver relatively to the acoustic stream, which propagates on the surface of piezoelectric sound conductor. The practical values of research are theoretical model; numerical results allow substantiating the requirements for structural and electrical parameters depending on the specified metrological characteristics of a measuring transducer of linear displacements.

Keywords: surface acoustic wave, measuring transducer, the piezoelectric sound conductor, interdigital transducer

Вступ. Серед різноманітних типів вимірювальних перетворювачів (ВП) сили та тиску, переміщення та прискорення, крутильного моменту, температури, вологості та складу навколишнього середовища перспективними є ВП на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ). Використання ПАХ обумовлено можливістю створення хвильових процесів з малою довжиною хвилі при відносно невисоких частотах (десятки-сотні мегагерц) у порівнянні з електромагнітними та магнітостатичними хвилями, що забезпечує, при застосуванні частотного або фазового методів вимірювання, високу роздільну здатність і точність перетворення інформації в широкому динамічному діапазоні [1–13].

В останні роки пристрої на ПАХ впроваджуються також у безпроводні радіовимірювальні системи, які містять пристрій опитування і обробки інформації та дистанційно віддалені безпроводні перетворювачі на поверхневих акустичних хвилях і застосовуються для радіомоніторингу оточуючого середовища та контролю параметрів рухомих об'єктів, у тому числі вони можуть функціонувати в агресивному середовищі [14–18].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Вимірювальні перетворювачі на ПАХ створюються з використанням первинних перетворювачів (ПП) на базі зміни:

– фазової швидкості ПАХ та акустичної довжини лінії затримки (резонатора) внаслідок деформації звукопроводу балочного або мембранного типу [1–6, 14, 15];

– фазової швидкості ПАХ при дії навколишнього середовища на поверхню звукопроводу або на зовнішні чутливі елементи, що навантажують вхідні та вихідні зустрічно-штирові перетворювачі (ЗПП) ПАХ [1, 2, 7, 8, 16, 17];

– фазової швидкості ПАХ при переміщенні механічного зонда (мембрани) в електричному полі хвилі [9–11, 18];

– акустичної довжини лінії затримки при переміщенні ПАХ-приймача над поверхнею п'єзоелектричного звукопроводу [1, 2, 12, 13].

В основі більшості ВП на ПАХ лежить високостабільний ПАХ-генератор, що складається з регульованої під впливом вимірювальних фізичних або механічних величин резонатора або лінії затримки на ПАХ, які вмикаються в ланцюг зворотного зв'язку підсилювача. Застосування частотного методу вимірювання дозволяє отримувати високу роздільну здатність і точність, але динамічний діапазон обмежується набіганням фази не більше π [1–11].

У випадку необхідності вимірювання з високою роздільною здатністю переміщень в динамічному діапазоні до 100...200 мм необхідно застосовувати фазовий метод вимірювання. Для усунення багатозначності фазових вимірювань запропоновано метод вимірювання переміщень з використанням фазових набігань кількох ПАХ на поверхні п'єзоелектричного звукопроводу на різних частотах, на яких вимірюються інформаційні параметри, що визначають положення ПАХ-приймача [2, 12, 13].

На рис. 1 представлена функціональна схема ВП переміщень на ПАХ при збудженні хвилі у вигляді суперпозиції 3-х поверхневих акустичних хвиль з частотами f_i , де $i = 1, 2, 3$, причому $f_2 < f_1 < f_3$.

Первинний перетворювач складається із п'єзоелектричного звукопроводу 1 з поглиначами ПАХ 2 та 3, необхідних для створення режиму біжу-

© М.Ф. Жовнір.2016

чих хвиль, вхідного та контрольного зустрічно-штирових перетворювачів 4 та 5, сформованих на п'єзоелектричному звукопроводі, над яким на відстані X , не більшій довжини поверхневих акустичних хвиль, переміщується ПАХ-приймач, виконаний у вигляді ЗШП 6, сформованого на діелектричній пластині 7.

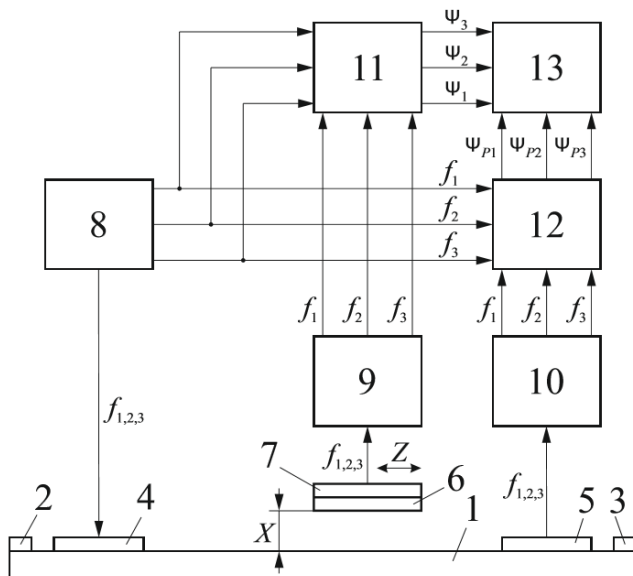


Рис. 1 – Схема функціональна ВП переміщень на ПАХ

Електричний сигнал з генераторного блоку 8, що складається із трьох високостабільних генераторів та суматора, подається на вхідний ЗШП 4 і збуджує у вигляді суперпозиції 3-х гармонічних коливань поверхневу акустичну хвилю, яка приймається ПАХ-приймачем 6 і контрольним ЗШП 5, вихідні сигнали з яких поступають на блоки підсилення і фільтрації 9 та 10, що складаються із високочастотних підсилювачів та 3-х фільтрів відповідно на частоти f_i . Після підсилення та фільтрації вихідні сигнали з блоків 9 та 10 поступають на фазовимірювальні блоки 11 та 12, на які подаються також опорні сигнали з генераторного блоку. Результати вимірювання фаз Ψ_i сигналів з ПАХ-приймача на частотах f_i поступають в блок обробки та формування трьох вимірювальних шкал перетворювача 13.

Наприклад, для формування точної шкали використовуються результати вимірювання Ψ_1 на частоті f_1 . Визначаючи $\Psi_{12} = \Psi_1 - \Psi_2$ або $\Psi_{31} = \Psi_3 - \Psi_1$ можна сформувати проміжну шкалу, а визначення $\Psi_{123} = \Psi_{12} - \Psi_{31}$ дозволить сформувати грубу шкалу вимірювального перетворювача.

В блок 13 одночасно поступають результати вимірювання фаз сигналів Ψ_{pj} ($j=1,2,3$) з блоку 12 для коригування фаз Ψ_i при дії дестабілізуючих факторів на звукопровід. Для цього визначається величина додаткового набігання фази $\Delta\Psi_{zi}$ кожної частоти f_i для координати Z , в якій знаходиться ПАХ-приймач за формулою:

$$\Delta\Psi_{zi} = \Delta\Psi_{pj}Z/L,$$

де L – відстань між вхідним 4 та контрольним 5 ЗШП; Z – координата знаходження ПАХ-приймача, що визначається попередньо в результаті вимірювання фаз Ψ_i .

Показано [12], що при використанні промислових цифрових фазометрів типу Ф5126 (роздільна здатність 0,1ел.град. та похибка $\pm 0,3$ ел.град.) потенційна роздільна здатність та похибка вимірювання лінійних переміщень на точній шкалі 3-х частотного ВП на ПАХ відповідно складає 0,015 мкм та $\pm 0,045$ мкм при діапазоні 0...100 мм.

Мета та задачі дослідження. Метою досліджень є розробка вимог до конструктивних та електричних параметрів первинного перетворювача лінійних переміщень на ПАХ в залежності від заданих метрологічних характеристик вимірювального перетворювача.

Для досягнення поставленої мети необхідно з використанням Δ -функцій розробити математичну модель, що визначала би функціональні залежності вихідних характеристик ПП від положення кожного електрода зустрічно-штирового перетворювача рухомого ПАХ-приймача відносно акустичного потоку, що поширюється по п'єзоелектричній поверхні звукопроводу.

Математична модель ПП лінійних переміщень на ПАХ. Топологічна схема 3-х частотного первинного перетворювача лінійних переміщень на ПАХ зображена на рис. 2 (позиції 1–7 на рис.1 та рис. 2 співпадають).

Для збудження та приймання ПАХ використано зустрічно-штирові перетворювачі, які запропоновані доволі давно і широко застосовуються в пристроях на ПАХ, але повний математичний опис їх роботи не знайдено із-за складності другорядних явищ, що виникають в процесі збудження, поширення та приймання ПАХ. У відомих моделях еквівалентних схем, моделях Δ -джерел, спектрального зважування, просторових гармонік розглядають ЗШП, що сформований на поверхні звукопроводу [19]. Безпосереднє використання цих моделей для опису роботи первинного перетворювача з рухомим ПАХ-приймачем неможливо, тому що при розробці математичної моделі ПП переміщень необхідно задавати параметри, які характеризують конструктивні особливості приймача та його положення відносно поверхні п'єзоелектричного звукопроводу.

Найбільш доцільним представляється побудова математичної моделі ПП переміщень на ПАХ на базі моделі Δ -джерел із урахуванням наявності рухомого ПАХ-приймача, тому що вона дозволяє знайти функціональні залежності вихідних характеристик перетворювача від положення кожного Δ -джерела приймача відносно акустичного потоку, що поширюється по п'єзоелектричній поверхні звукопроводу.

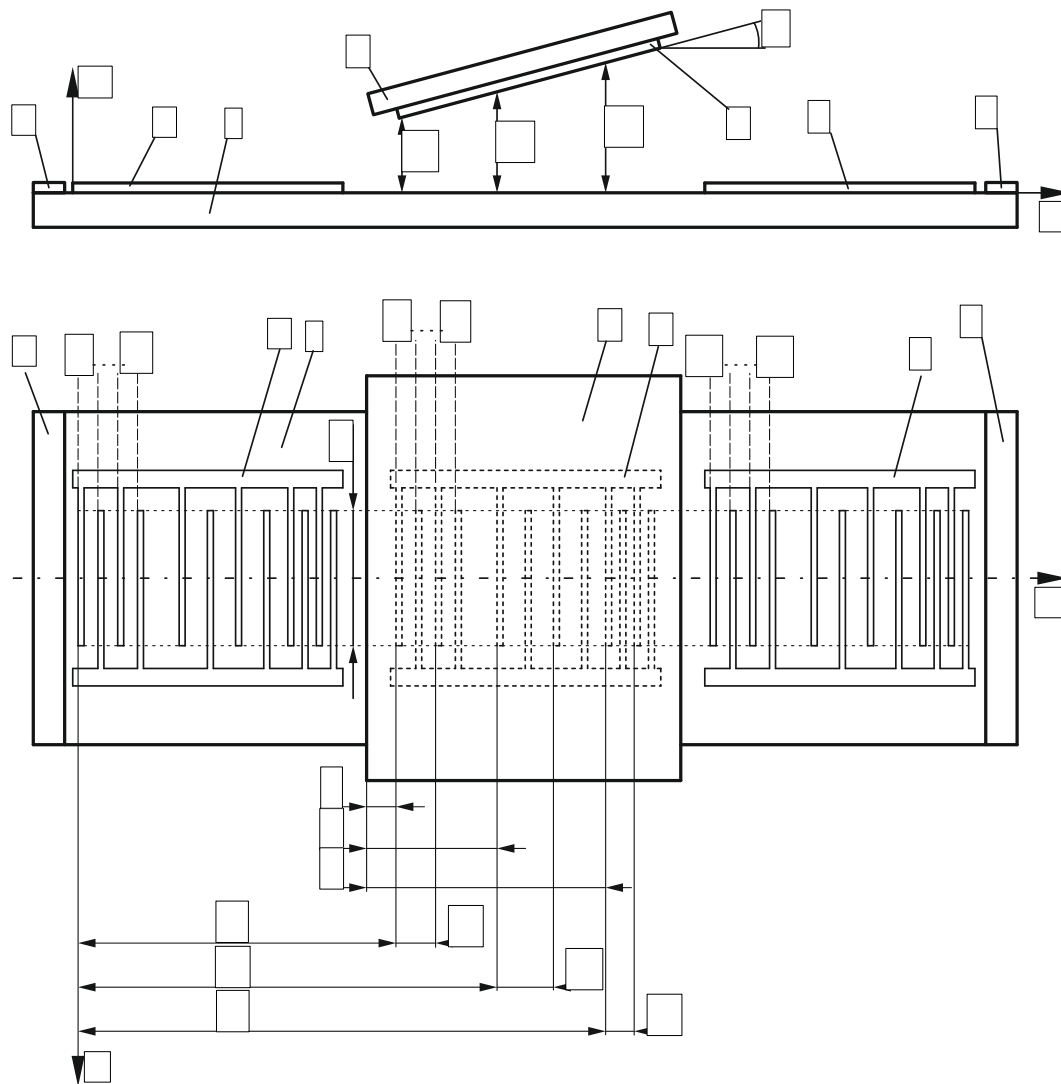


Рис. 2 – Топологічна схема ПП лінійних переміщень на ПАХ

У моделі Δ -джерел електроди ЗШП вважаються дискретними джерелами акустичної або електромагнітної енергії, які описуються Δ -функціями, заданими на краях кожного електрода [19]. Для спрощення розрахунків два джерела однакової полярності, що належать одному електроду або зазору, об'єднують в одне, розташоване в центрі електроду або зазору. Залежно від значення коефіцієнта електромеханічного зв'язку в реальних п'єзоелектриках переважає тангенціальна або нормальна складові електричного поля. Тому можна вважати, що поверхнева акустична хвиля в п'єзоелектриках зі слабким зв'язком (кварц) збуджується гармонічними джерелами, розташованими в центрах зазорів ЗШП, а в п'єзоелектриках з сильним зв'язком (ніобат літію, германат вісмуту, оксид цинку, нітрид алюмінію, п'єзокераміка системи ЦТС) - джерелами, розташованими в центрах електродів зустрічно-штирового перетворювача. Знак сумарного Δ -джерела визначається знаком електричного поля в зазорі або під електродом, а фаза - координатою центру зазору або електроду.

При розробці моделі використано наступну систему параметрів:

– центральні частоти генераторів f_i , частотне розстроювання другого та третього генераторів

відносно частоти першого генератора відповідно позначаються δ_2 та δ_3 ;

- короточасна нестабільність генераторів δ ;
- періоди зустрічно-штирових перетворювачів відповідно дорівнюють довжинам поверхневих акустичних хвиль, тобто $W_i = \lambda_i$;
- кількість електродів вхідного і контрольного ЗШП N та ЗШП ПАХ-приймача M для кожної частоти f_i ;
- коефіцієнт згасання ПАХ на поверхні звукопроводу α_0 ;
- коефіцієнт дисперсії фазової швидкості поверхневої акустичної хвилі під ПАХ-приймачем α ;
- кут нахилу ПАХ-приймача відносно поверхні звукопроводу β ;
- відносний зазор між приймачем та поверхнею звукопроводу X_i/λ_i .

До зустрічно-штирових перетворювачів 4 і 5 та ЗШП приймача ПАХ 6 висуваються наступні вимоги:

- ефективне збудження та приймання ПАХ на заданих трьох частотах f_i ;
- компенсація похибок вимірювання із-за неоднорідності звукопроводу і конструкторсько-

технологічних неточностей виготовлення, що вимагає застосування ЗШП приймача із значною кількістю електродів.

Вхідний сигнал у вигляді суперпозиції трьох електричних сигналів $u_i^{\text{BX}} = U_i^{\text{BX}} \exp(j(2\pi f_i t + \Psi_i^0))$ поступає на вхідний ЗШП і збуджує за рахунок зворотного п'єзоефекту біжучі ПАХ, що поширюються вздовж звукопроводу. Поверхневі акустичні хвилі можна представити як суму акустичних хвиль a_k , що генеруються кожним дискретним Δ -джерелом синфазно для відповідної частоти.

Нехтуючи ефектом кінцевої ширини електродів, у разі рівності ширини електроду і зазору, за якої ефективність ЗШП максимальна, і кількості електродів $N \gg 1$, поверхневу акустичну хвилю, що збуджується вхідним ЗШП, у точці з координатою Z_i на основі моделі дискретних Δ -джерел для кожної частоти f_i можна подати у вигляді:

$$a_i = \sum_{k=1}^N a_k = A_i \sum_{k=1}^N \exp(j\Psi_i^k), \quad (1)$$

де $A_i = A_{mi} \exp(j(2 f_i t + \Psi_i^0 + \Psi_i^\alpha))$;

$A_{mi} = \gamma \gamma_i U_i^{\text{BX}}$ – амплітуда ПАХ на частоті f_i ; γ – коефіцієнт електромеханічного перетворення електричного сигналу в ПАХ; γ_i – коефіцієнт, який враховує втрати на дифракцію і поширення хвилі до точки звукопроводу з координатою Z_i (у першому наближенні γ_i можна апроксимувати функцією $\gamma_i = \exp(-\alpha_0 Z_i)$, де α_0 (1/м) – стала згасання ПАХ на поверхні звукопроводу; $\Psi_i^\alpha = -2\pi(1-\delta)(Z_i + \alpha l_i)/\lambda_i$; $\delta \approx 10^{-8} \dots 10^{-7}$ – частотне розстроювання, що виникає в результаті нестабільності частоти генераторів; $\lambda_i = V/f_i$; V та λ_i – фазова швидкість і довжина ПАХ на частотах f_i ; Z_i – координата першого Δ -джерела секції ПАХ-приймача з періодом електродів $W_i = \lambda_i$; α – коефіцієнт дисперсії фазової швидкості хвиль під приймачем, залежний від конструктивних параметрів і величини зазору X_i між поверхнею звукопроводу та приймачем, при $X_i/\lambda_i \geq 0,10$ можна прийняти $\alpha \approx 0$ [10]; l_i – відстань від краю підкладки приймача до першого Δ -джерела відповідної секції ПАХ-приймача; N – кількість електродів у кожній секції вхідного ЗШП; Ψ_i^k – додатковий фазовий зсув, що вноситься Δ -джерелом з номером k , розташованим на відстані $Z_i^k = 0,5(k-1)W_i$ від початку відповідної секції вхідного ЗШП, визначається співвідношенням:

$$\Psi_i^k = \frac{2\pi}{\lambda_i}(1-\delta)Z_i^k - (k-1)\pi = -(k-1)\pi\delta. \quad (2)$$

Підсумовуючи в рівнянні (1) з урахуванням (2), отримуємо комплексний коефіцієнт передачі вхідного

ЗШП при малих частотних розстроюваннях ($\delta \ll 1$):

$$\bar{K}_i^{\text{BX}} = \bar{F}_i^{\text{BX}} K_i^{\text{BX}} \exp(j\Psi_i^{\text{BX}}), \quad (3)$$

де K_i^{BX} та Ψ_i^{BX} – відповідно модуль і аргумент коефіцієнта передачі вхідного ЗШП на частотах f_i ідеального перетворювача ($\delta = 0$, $\alpha = 0$, $\lambda_i = W_i$), що визначаються співвідношеннями:

$$K_i^{\text{BX}} = \gamma N; \quad (4)$$

$$\Psi_i^{\text{BX}} = -\frac{2\pi}{\lambda_i} Z_i; \quad (5)$$

\bar{F}_i^{BX} – комплексний коефіцієнт похибки, який можна представити у вигляді:

$$\bar{F}_i^{\text{BX}} = F_i^{\text{BX}} \exp(j\varphi_i^{\text{BX}}), \quad (6)$$

де F_i^{BX} і φ_i^{BX} – модуль і аргумент коефіцієнта похибки:

$$F_i^{\text{BX}} = \gamma_i \frac{\sin(N\pi\delta/2)}{(N\pi\delta/2)}; \quad (7)$$

$$\varphi_i^{\text{BX}} = \left[-(N-1)\frac{\pi}{2} + \frac{2\pi}{\lambda_i}(Z_i + \alpha l_i) \right] \delta. \quad (8)$$

Співвідношення (1)–(8) дозволяють визначити коефіцієнт похибки \bar{F}_i^{BX} в залежності від нестабільності частоти генератора δ , початкових координат ПАХ-приймача Z_i і l_i , дисперсії фазової швидкості хвилі α .

Електромагнітний зв'язок хвилі з ЗШП приймача здійснюється через зазор і є слабким, тому перевипромінюванням хвиль приймачем можна нехтувати. Крім цього відсутнє відбиття хвиль від електродів приймача, які є значними у випадку формування ЗШП на звукопроводі. Тому кількість електродів M кожної секції приймача може бути досить велика і визначається із умови $M < 1/\delta_H$, де δ_H – відносний частотний діапазон для налаштування на розрахункові частоти f_i . Результати досліджень [2, 13] показали, що необхідно очікувати $\delta_H < 5 \cdot 10^{-3}$, тоді $M < 200$, тобто приймач може бути розподілений і здійснювати приймання ПАХ на значній ділянці звукопроводу, що дозволяє зменшити вплив його неоднорідностей. При $\delta_{2,3} \gg \delta_H$ можна нехтувати вкладом у вихідний сигнал приймача будь-якої частоти f_i за рахунок бічних пелюсток амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) інших секцій ЗШП приймача. Тоді, із урахуванням експоненціального убунання потенціалу електричного поля хвилі від відстані X_i до поверхні п'єзоелектричного звукопроводу $\varphi = \varphi_0 \exp(-2\pi X_i/\lambda_i)$ [19], де

φ_0 – потенціал електричного поля на поверхні звукопроводу, і положення приймача під кутом β до поверхні звукопроводу таким чином, щоб фронт ПАХ залишався паралельним електродам ЗШП приймача, а також дисперсії фазової швидкості хвилі під приймачем α [10, 11], електричний сигнал u , що індуктується в приймачі, можна представити, як суму електричних сигналів $u_i^{\text{вих}}$ з частотами f_i , кожний з яких є сумою сигналів u_i^q , що створюються в кожному Δ -джерелі ЗШП відповідної секції приймача, проекція яких має координату Z_i^q від початку Z_i секцій з періодом W_i , тобто:

$$u_i^{\text{вих}} = \gamma_b \alpha_i \exp[E_i + jT_i] \sum_{q=1}^M \exp[Q_i^q + j\Psi_i^q], \quad (9)$$

$$E_i = -\alpha_0 Z - \alpha_\Delta \frac{2\pi}{\lambda_i} (1 + \alpha)(1 - \delta) X_i;$$

$$T_i = -\frac{2\pi}{\lambda_i} (1 - \delta) Z;$$

$$Q_i^q = -\alpha_0 Z_i^q - \alpha_\Delta \frac{2\pi}{\lambda_i} (1 + \alpha)(1 - \delta) X_i^q;$$

$$\Psi_i^q = -(q-1)\pi[(1 + \alpha)(1 - \delta)\cos\beta - 1];$$

$$Z_i^q = 0,5(q-1)W_i \cos\beta; \quad X_i^q = 0,5(q-1)W_i \sin\beta;$$

X_i і X_i^q – величина зазору першого Δ -джерела секції з періодом W_i і приріст зазору для q -го джерела вказаної секції; γ_b – коефіцієнт перетворення ПАХ в електричний сигнал при $X = X_i + X_i^q = 0$; α_Δ – параметр узгодження, який залежить від вхідного опору підсилювального блоку і приймає значення 1,0...1,5; Z – величина переміщення приймача; M – кількість електродів секції приймача; q – номер Δ -джерела (електрода) в секції.

Використовуючи співвідношення (1) та (9), комплексний коефіцієнт передачі ПАХ-приймача можна представити у вигляді:

$$\bar{K}_i^{\text{вих}} = \bar{F}_i^{\text{вих}} K_i^{\text{вих}} \exp(j\Psi_i^{\text{вих}}), \quad (10)$$

де $K_i^{\text{вих}}$ та $\Psi_i^{\text{вих}}$ – модуль і аргумент коефіцієнта передачі ПАХ-приймача ідеального перетворювача лінійних переміщень ($\alpha_0 = \alpha = \beta = \delta = 0$; $\alpha_\Delta = 1$), що визначаються як:

$$K_i^{\text{вих}} = \gamma_b M \exp\left[-\frac{2\pi}{\lambda_i} X_i\right]; \quad (11)$$

$$\Psi_i^{\text{вих}} = -\frac{2\pi}{\lambda_i} Z; \quad (12)$$

$\bar{F}_i^{\text{вих}}$ – комплексний коефіцієнт похибки ПАХ-приймача, що виникає в результаті згасання хвилі при поширенні по звукопроводу (α_0), дисперсії фазової швидкості (α), непаралельного до поверхні звукопроводу положення приймача (β), нестабільності частоти генератора (δ) та неузгодження вихідного імпедансу приймача з підсилювальним блоком (α_Δ), що представляється у вигляді:

$$\bar{F}_i^{\text{вих}} = \bar{F}_i^\mu \bar{F}_i^\zeta = F_i^{\text{вих}} \exp(j\varphi_i^{\text{вих}}), \quad (13)$$

де $\bar{F}_i^\mu = F_i^\mu \exp(j\varphi_i^\mu)$; $\bar{F}_i^\zeta = F_i^\zeta \exp(j\varphi_i^\zeta)$;

$F_i^{\text{вих}}$ та $\varphi_i^{\text{вих}}$ – модуль та аргумент коефіцієнта похибки ПАХ-приймача:

$$F_i^{\text{вих}} = F_i^\mu F_i^\zeta; \quad (14)$$

$$\varphi_i^{\text{вих}} = \varphi_i^\mu + \varphi_i^\zeta, \quad (15)$$

$$F_i^\mu = \exp\left[-\alpha_0 Z + \alpha_\Delta \frac{2\pi X_i}{\lambda_i} \delta\right]; \quad \varphi_i^\mu = -\frac{2\pi Z}{\lambda_i} \delta;$$

$$F_i^\zeta = \frac{1}{M C \sqrt{B_i}};$$

$$B_i = 1 + \exp(2ML_i) - 2\exp(ML_i)\cos(MP_i);$$

$$C_i = 1 + \exp(2L_i) - 2\exp(L_i)\cos(P_i);$$

$$\varphi_i^\zeta = \arctg D_i - \arctg Y_i; \quad D_i = \frac{-\exp(ML_i)\sin(MP_i)}{1 - \exp(ML_i)\cos(MP_i)};$$

$$Y_i = \frac{-\exp(L_i)\sin(P_i)}{1 - \exp(L_i)\cos(P_i)};$$

$$L_i = -0,5\alpha_0 W_i \cos\beta - \alpha_\Delta \pi(1 + \alpha)(1 - \delta)\sin\beta;$$

$$P_i = -\pi[(1 + \alpha)(1 - \delta)\cos\beta - 1].$$

Комплексний коефіцієнт передачі первинного перетворювача лінійних переміщень на частоті f_i :

$$\bar{K}_i = \bar{K}_i^{\text{вх}} \bar{K}_i^{\text{вих}} = \bar{F}_i K_i \exp(j\varphi_i) \quad (16)$$

де K_i та φ_i – модуль та аргумент коефіцієнта передачі ідеального вимірювального перетворювача ($\alpha_0 = \alpha = \beta = \delta = 0$; $\alpha_\Delta = 1$), що визначаються наступним чином:

$$K_i = \gamma_b N M \exp\left[-\frac{2\pi}{\lambda_i} X_i\right]; \quad (17)$$

$$\Phi_i = -\frac{2\pi}{\lambda_i}(Z_i + Z) = \Delta\Phi_i + 2\pi N_i + \Psi_i; \quad (18)$$

де $\Delta\Phi_i$ – початкові фази сигналів ПАХ-приймача на частотах f_i ; N_i – кількість довжин хвиль (число циклів фази) на відповідних частотах при переміщенні приймача на величину Z ; Ψ_i – дробні частки фазового набігання на частотах f_i , що фіксуються фазометричними блоками, а результати вимірювання дозволяють однозначно визначати положення приймача в межах довжин хвиль λ_i .

Комплексний коефіцієнт похибки первинного перетворювача лінійних переміщень \bar{F}_i у співвідношенні (16) є добутком коефіцієнтів похибок $\bar{F}_i^{\text{вх}}$ і $\bar{F}_i^{\text{вих}}$, тобто:

$$\bar{F}_i = \bar{F}_i^{\text{вх}} \bar{F}_i^{\text{вих}} = F_i \exp(j\varphi_i), \quad (19)$$

де F_i та φ_i – модуль і аргумент коефіцієнта похибки:

$$F_i = F_i^{\text{вх}} F_i^{\text{м}} F_i^{\text{з}}; \quad (20)$$

$$\varphi_i = \varphi_i^{\text{вх}} + \varphi_i^{\text{м}} + \varphi_i^{\text{з}}. \quad (21)$$

Використовуючи співвідношення (18) та (21), функцію перетворення ПП лінійних переміщень на ПАХ можна представити у вигляді:

$$\Phi = \Phi_i + \varphi_i. \quad (22)$$

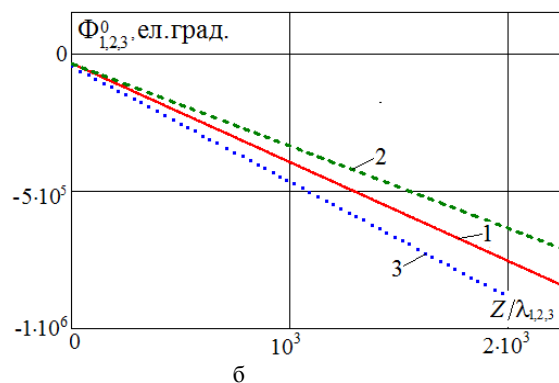
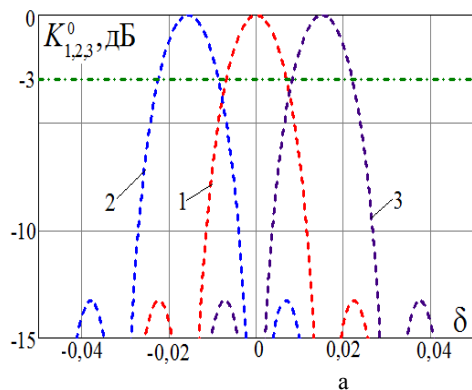


Рис. 3 – Теоретичні нормовані а – АЧХ та функції перетворення б – 3-х частотного ПП лінійних переміщень на ПАХ

При дослідженні вимірювальних перетворювачів на ПАХ переміщень було показано [2, 13], що ПАХ-приймач повинен переміщатися таким чином, щоб не виникала дисперсія фазової швидкості хвилі під приймачем, тобто при $\alpha \approx 0$, що можливо при відносному зазорі між приймачем і поверхнею звукопроводу $X_i/\lambda_i > 0,1$ [10], і малих кутах нахилу приймача $\beta \leq 10^{-4}$.

На рис. 4–7 представлено теоретичні залежності модуля F_i та аргумента φ_i коефіцієнта похибки від

Із співвідношень (17)–(22) при $\alpha = \alpha_0 = \beta = 0$ та $\alpha_\Delta = 1$ отримаємо залежність комплексного коефіцієнта передачі від частоти:

$$\bar{K}_i^0 = K_i^0 \cdot \exp(j\Phi_i^0) \quad (23)$$

де K_i^0 та Φ_i^0 – відповідно модуль (амплітудно-частотна характеристика) та аргумент (функція перетворення) ПП лінійних переміщень, що визначаються співвідношеннями:

$$K_i^0 = \gamma_1 \gamma_3 S_\delta \exp\left[-\frac{2\pi}{\lambda_i}(1-\delta)X_i\right], \quad (24)$$

$$\text{де } S_\delta = NM \frac{\sin(0,5N\pi\delta)}{(0,5N\pi\delta)} \cdot \frac{\sin(0,5M\pi\delta)}{(0,5M\pi\delta)};$$

$$\Phi_i^0 = -(N-1)\frac{\pi}{2}\delta + (M-1)\frac{\pi}{2}\delta - \frac{2\pi}{\lambda_i}(1-\delta)(Z_i + Z). \quad (25)$$

На рис. 3, а представлено теоретичні нормовані амплітудно-частотні характеристики (24), а на рис. 3, б функції перетворення (25) при $\delta = 0$, 3-х частотного первинного перетворювача лінійних переміщень при: $N=M=128$; $Z_i/\lambda_i = 100$; $f_1 = 70,62\text{МГц}$ (графіки 1);

$f_2 = f_1(1-\delta_2)$, $\delta_2 = 1/64$ (графіки 2);

$f_3 = f_1(1+\delta_3)$, $\delta_3 = 31/2048$ (графіки 3).

нестабільності частоти генератора δ та діапазону вимірювання Z/λ_1 при $\alpha = 0$, $\alpha_\Delta = 1,0$, $N = M = 128$, $\lambda_1 = W_1 = 46\text{мм}$, $Z_1/\lambda_1 = 100$ та при різних значеннях зазору між приймачем та поверхнею п'єзоелектричного звукопроводу X_1/λ_1 , кута нахилу приймача ПАХ β , коефіцієнта згасання ПАХ при поширенні α_0 .

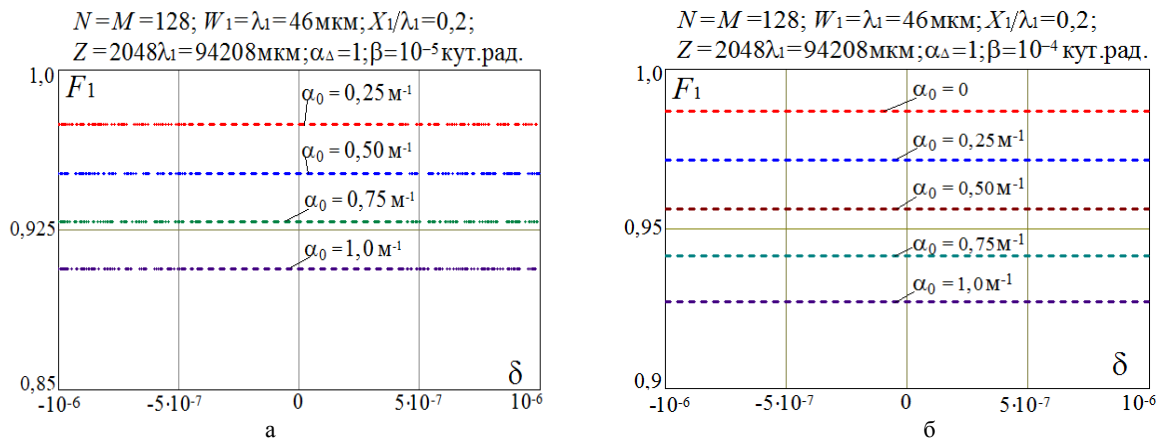


Рис. 4 – Теоретичні частотні залежності модуля F_1 коефіцієнта похибки при різних значеннях коефіцієнта згасання ПАХ α_0 та кута нахилу ПАХ-приймача β : а – $\beta = 10^{-5}$ кут.рад. ; б – $\beta = 10^{-4}$ кут.рад.

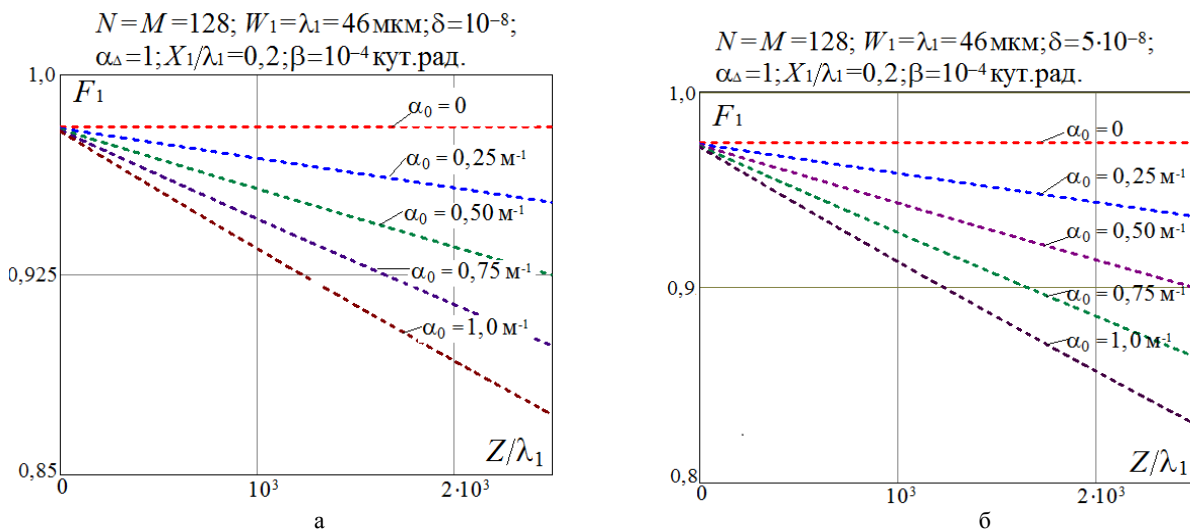


Рис. 5 – Теоретичні залежності модуля F_1 коефіцієнта похибки від відносного переміщення приймача ПАХ Z/λ_1 , кута нахилу ПАХ-приймача β , коефіцієнта згасання ПАХ α_0 та нестабільності частоти генератора δ : а – $\delta = 10^{-8}$; б – $\delta = 5 \cdot 10^{-8}$

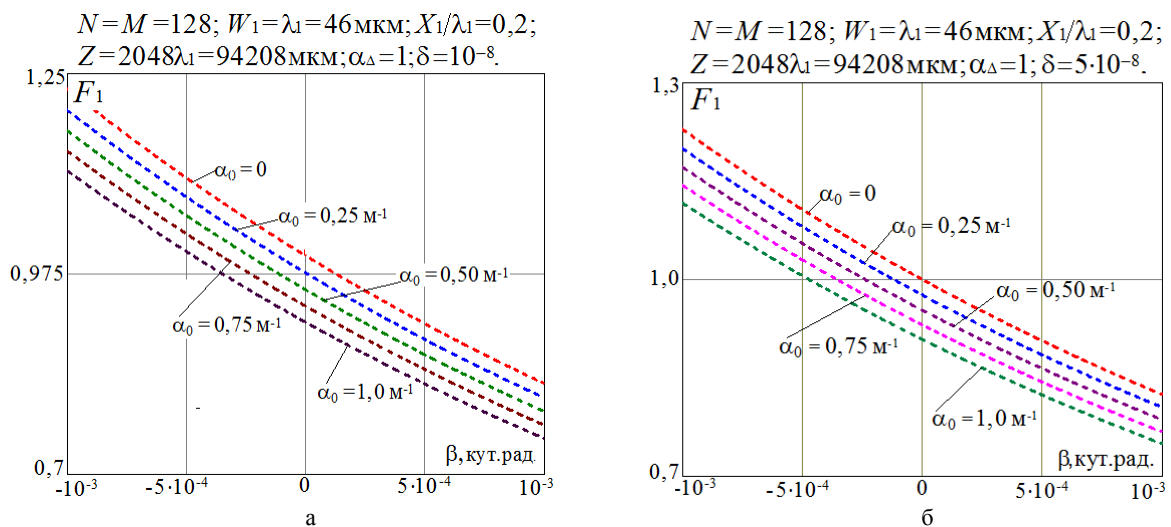


Рис. 6 – Теоретичні залежності модуля F_1 коефіцієнта похибки від кута нахилу ПАХ-приймача β при різних коефіцієнтах згасання ПАХ α_0 та нестабільності частоти генератора δ : а – $\delta = 10^{-8}$; б – $\delta = 5 \cdot 10^{-8}$

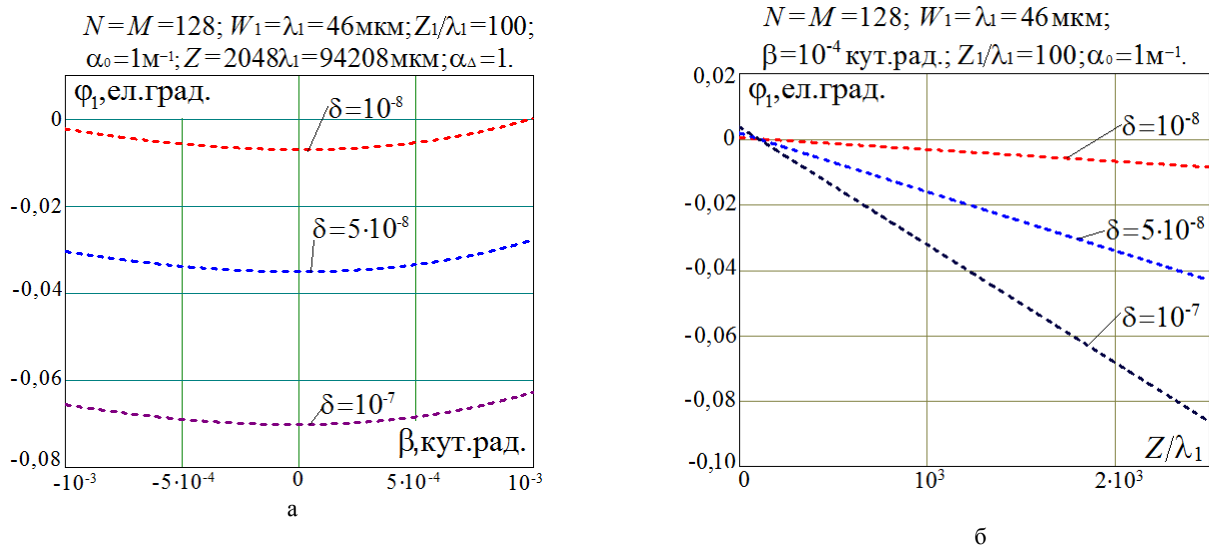


Рис. 7 – Теоретичні залежності аргумента φ_1 коефіцієнта похибки від нестабільності частоти генератора δ : а – кута нахилу ПАХ-приймача β ; б – величини переміщення Z/λ_1

Із результатів теоретичних розрахунків випливає, що при нестабільності частоти генератора $\delta = 10^{-8} \dots 10^{-7}$, відносному зазорі $X/\lambda = 0,1 \dots 0,3$, коефіцієнті згасання $\alpha_0 \leq 1 \text{ м}^{-1}$, кута нахилу ПАХ-приймача $\beta \leq 10^{-4}$ кут.рад. модуль коефіцієнта похибки при заданих параметрах змінюється в інтервалі $F_1 = 0,7 \dots 1,2$, а аргумент $\varphi_1 \approx 0 \dots 0,07$ ел.град. Наприклад, при $\delta = 10^{-8} \dots 5 \cdot 10^{-8}$ та $\beta = \pm 10^{-4}$ кут.рад. теоретичне значення фазової похибки буде в інтервалі $\varphi_1 = 0,007 \dots 0,04$ ел.град., що в 2,5 рази менше роздільної здатності промислових цифрових фазометрів типу Ф5126.

Висновки. Аналіз математичної моделі, результатів чисельних розрахунків дають змогу сформулювати наступні вимоги до конструктивних та електричних параметрів первинного перетворювача лінійних переміщень на ПАХ:

- довжина поверхневої акустичної хвилі $\lambda = 30 \dots 100 \text{ мкм}$;
- діапазон вимірюваних переміщень $Z/\lambda = 0 \dots 2000$;
- кількість електродів вхідного ЗШП $N < 200$;
- кількість електродів ЗШП ПАХ-приймача $M < 200$;
- відносний зазор між приймачем і поверхнею звукопроводу $X/\lambda = 0,1 \dots 0,3$;
- кут нахилу ПАХ-приймача відносно поверхні звукопроводу $\beta \leq 10^{-4}$ кут.рад.;
- короткочасна нестабільність частоти генератора $\delta = 10^{-8} \dots 5 \cdot 10^{-8}$ за 1 с.

Таким чином, виконання цих вимог дозволяє створення 3-х частотного перетворювача для однозначного вимірювання переміщень в діапазоні $Z = 0 \dots 100 \text{ мм}$ при потенційних значеннях роздільної здатності і абсолютної похибки на точній шкалі, які сумірні з метрологічними параметрами індуктосинів,

фотоелектричних перетворювачів та пристроїв на основі інтерферометрів, але мають значно менші масогабаритні показники, вартість та складність конструкції.

Список літератури:

1. Поляков, П. Ф. Акустоэлектроника. Физико-технологические основы и применение [Текст]: спр. пос. / П. Ф. Поляков, В. А. Хорунжий, В. П. Поляков. – Харьков: СМІТ, 2007. – 552 с.
2. Жовнір, М. Ф. Вимірювальні перетворювачі фізичних величин на поверхневих акустичних хвилях [Текст] / М. Ф. Жовнір, М. Г. Черняк, Д. В. Черненко, Л. М. Шеремет // Електроніка та зв'язок. – 2011. – № 1 (60). – С. 153–157.
3. Zbrutsky, A. Creation of low cost linear accelerometers for navigation and control systems [Текст] / A. Zbrutsky, N. Chernyak, G. Skripkovsky // Symposium Gyro Technology. – 2005. – P. 4.1–4.11.
4. Ленух, Я. И. Датчик угла поворота генераторного типа с элементом на поверхностных акустических волнах [Текст] / Я. И. Ленух // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2009. – № 3. – С. 24–25.
5. Kalinin, V. Development of a calibration procedure for contactless torque and temperature sensors based on SAW resonators [Text] / V. Kalinin, R. Lohr, A. Leigh // 2008 IEEE Ultrasonics Symposium, 2008. – P. 1865–1868. doi:10.1109/ultsym.2008.0459
6. Hribsek, M. F. Surface Acoustic Wave Sensors in Mechanical Engineering [Text] / M. F. Hribsek, D. V. Tomic, M. R. Radosavljevic // FME Transactions. – 2010. – № 38. – P. 11–18.
7. Fachberger, R. Monitoring of the temperature inside a lining of a metallurgical vessel using a SAW temperature sensor [Text] / R. Fachberger, A. Erlacher // Procedia Chemistry, 2009. – № 1 (1). – P. 1239–1242. doi:10.1016/j.proche.2009.07.309
8. Bogdan, O. ZnO Nanostructures as Sensing Element of Acoustic Wave Sensor [Text] / O. Bogdan, A. Orlov, O. Petrishev, V. Ulianova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2012. – № 6/12 (60) – P. 16–22. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/6021/5417>
9. Черненко, Д. В. Вимірювальні перетворювачі тиску на основі збурення електричного поля поверхневих акустичних хвиль [Текст] / Д. В. Черненко, О. М. Кузьменко, М. Ф. Жовнір // Вісник Кременчукського національного університету імені Михайла Остроградського. – 2013. – № 1. – С. 62–66.
10. Жовнір, М. Ф. Математичні моделі сенсорів переміщень та тиску на основі збурення електричного поля поверхневих акустичних хвиль [Текст] / М. Ф. Жовнір, О. О. Олійник, Л. Д. Писаренко // Журнал нано та електронної фізики. – 2016. – № 8 (1). – С. 01024–01025. doi:10.21272/jnep.8(1).01024
11. Жовнір, М. Ф. Вимірювальні перетворювачі мікропереміщень та тиску на поверхневих акустичних хвилях [Текст] / М. Ф. Жо-

- внір, М. В. Бітов, Л. Д. Писаренко // Електроніка та зв'язок. – 2016. – Т. 21, № 4 (93). – С. 49–57.
12. Жовнір, М. Ф. Оцінка потенційних роздільної здатності і точності вимірювальних перетворювачів лінійних та кутових переміщень на базі використання фазових набігань поверхневих акустичних хвиль [Текст] / М. Ф. Жовнір, О. В. Шостак // Електроніка та зв'язок. – 2015. – Т. 20, № 3 (86). – С. 101–106.
 13. Жовнір, М. Ф. Розробка пристроїв на ПАХ для вимірювання лінійних та кутових переміщень [Текст] / М. Ф. Жовнір, О. О. Олійник // Вісник НТУ «ХПІ» Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2015. – № 52 (1161). – С. 60–65.
 14. Mackensen, E. Wireless Passive SAW Identification Marks and Sensors [Text] / E. Mackensen, L. Reindl // Smart Sensors and MEMS. – 2004. – № 181. – P. 155–202. doi:[10.1007/978-1-4020-2929-5_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2929-5_5)
 15. Matsuzaki, R. Wireless Monitoring of Automobile Tires for Intelligent Tires [Text] / R. Matsuzaki, A. Todoroki // MDPI – Sensors. – 2008. – № 8. – P. 8123–8138. doi:[10.3390/s8128123](https://doi.org/10.3390/s8128123)
 16. Reindl, L. Wireless Passive Sensors: Basic Principles and Performances [Text] / L. Reindl // IEEE SENSORS. – 2008. – P. 1607–1610. doi:[10.1109/icsens.2008.4716758](https://doi.org/10.1109/icsens.2008.4716758)
 17. Zhovnir, M. F. Radio SAW-Sensors for Physical Parameters Measurement [Text] / M. F. Zhovnir, O. M. Kuzmenko, S. I. Pokutnyi // Journal of Applied Chemistry. – 2015. – № 3 (1). – P. 7–13.
 18. Chernenko, D. Wireless Passive Sensor Using Frequency Coded SAW Structures [Text] / D. Chernenko, M. Zhovnir, O. Oliynyk, B. Tsyganok // 35th International Spring Seminar on Electronics Technology, 2012. doi:[10.1109/isse.2012.6273174](https://doi.org/10.1109/isse.2012.6273174)
 19. Морган, Д. Устройства обработки сигналов на поверхностных акустических волнах [Текст] / Д. Морган. – Москва: Радио и связь, 1990. – 416 с.
- Bibliography (transliterated):**
1. Polyakov, P., Xorunzhyj, V., Polyakov, V. (2007). Akustoelektronika. Fiziko-technologicheskie osnovy i primenenie. Kharkiv: SMYT, 552.
 2. Zhovnir, M. F., Chernyak, M. G., Chernenko, D. V., Sheremet, L. M. (2011). Vymiryuvalni peretvoryuvachi fizychnykh velychyn na poverknevnykh akustychnykh hvylyakh. Electronics and Communications, 1 (60), 153–157.
 3. Zbrutsky, A., Chernyak, M., Skripkovsky, G. (2005). Creation of low cost linear accelerometers for navigation and control systems. Symposium Gyro Technology, 4.1–4.11.
 4. Lepykh, Ya. I. (2009). The turn angle gauge of generating type with an element on surface acoustic waves. Technology and design in electronic equipment, 3, 24–25.
 5. Kalinin, V., Lohr, R., Leigh, A. (2008). Development of a calibration procedure for contactless torque and temperature sensors based on SAW resonators. 2008 IEEE Ultrasonics Symposium. 1865–1868. doi:[10.1109/ultsym.2008.0459](https://doi.org/10.1109/ultsym.2008.0459)
 6. Hribsek, M. F., Tosic, D. V., Radosavljevic, M. R. (2010). Surface Acoustic Wave Sensors in Mechanical Engineering. FME Transactions, 38, 11–18.
 7. Fachberger, R., Erlacher, A. (2009). Monitoring of the temperature inside a lining of a metallurgical vessel using a SAW temperature sensor. Procedia Chemistry, 1 (1), 1239–1242. doi:[10.1016/j.proche.2009.07.309](https://doi.org/10.1016/j.proche.2009.07.309)
 8. Bogdan, O., Orlov, A., Petrishev, O., Ulianova, V. (2012). ZnO Nanostructures as Sensing Element of Acoustic Wave Sensor. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 6(12(60)), 16–22. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/6021/5417>
 9. Chernenko, D. V., Kuzmenko, O. M., Zhovnir, M. F. (2013). Vymiryuvalni peretvoryuvachi tysku na osnovi zbuennya elektrychnoho polya poverknevnykh akustychnykh hvyly. Visnyk Kremenchuk'skogo Nacionalnogo Universytetu Imeni Mykhajla Ostrogradskogo, 1, 62–66.
 10. Zhovnir, M. F., Oliynyk, O. O., Pysarenko, L. D. (2016). Mathematical Models of Pressure and Microdisplacement Sensors Based on Electric Field Perturbation of the Surface Acoustic Waves. Journal of Nano and Electronic Physics, 8 (1), 010241–010245. doi:[10.21272/jnep.8\(1\).01024](https://doi.org/10.21272/jnep.8(1).01024)
 11. Zhovnir, M. F., Bitov, M. V., Pysarenko, L. D. (2016). Vymiryuvalni peretvoryuvachi mikroperemishchen' ta tysku na poverknevnykh akustychnykh hvylyakh. Elektronika ta zv'yazok, 21, 4 (93), 49–57.
 12. Zhovnir, M. V., Shostak, O. V. (2015). Ocinka potencijnykh rozdilnoyi zdatnosti i tochnosti vymiryuvalnykh peretvoryuvachiv liniynykh ta kutovykh peremishchen na bazi vykorystannya fazovykh nabigan poverknevnykh akustychnykh hvyly. Electronics and Communications, 20, 3 (86), 101–106.
 13. Zhovnir, M. V., Oliynyk, O. O. (2015). Rozrobka prystroyiv na PAKh dlya vymiryuvannya liniynykh ta kutovykh peremishchen'. Visnyk NTU «KhPI» Seriya: Mekhaniko-tehnologichni systemy ta komplekсы, 52 (1161), 60–65.
 14. Mackensen, E., Reindl, L. (2004). Wireless Passive SAW Identification Marks and Sensors. Smart Sensors and MEMS, 181, 155–202. doi:[10.1007/978-1-4020-2929-5_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2929-5_5)
 15. Matsuzaki, R., Todoroki, A. (2008). Wireless Monitoring of Automobile Tires for Intelligent Tires. MDPI – Sensors, 8 (12), 8123–8138. doi:[10.3390/s8128123](https://doi.org/10.3390/s8128123)
 16. Reindl, L. M. (2008). Wireless Passive Sensors: Basic principles and performances. IEEE Sensors. 1607–1610. doi:[10.1109/icsens.2008.4716758](https://doi.org/10.1109/icsens.2008.4716758)
 17. Zhovnir, M. F., Kuzmenko, O. M., Pokutnyi, S. I. (2015). Radio SAW-Sensors for Physical Parameters Measurement. Journal of Applied Chemistry, 3 (1), 7–13.
 18. Chernenko, D., Zhovnir, M., Tsyganok, B., Oliynyk, O. (2012). Wireless passive pressure sensor using frequency coded SAW structures. 35th International Spring Seminar on Electronics Technology. doi:[10.1109/isse.2012.6273174](https://doi.org/10.1109/isse.2012.6273174)
 19. Morhan, D. (1990). Ustroystva obrabotky syhnalov na poverkhnostnykh akustycheskykh volnakh. Moscow: Radyo y svyaz, 416.

Надійшла (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Математична модель первинного перетворювача лінійних переміщень з рухомим приймачем поверхневих акустичних хвиль / М. Ф. Жовнір // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.48–57 – Бібліогр.: 19 назв. – ISSN 2079-5459.

Математическая модель первичного преобразователя линейных перемещений с подвижным приемником поверхностных акустических волн / Н. Ф. Жовнір // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 48–57. Бібліогр.: 19 назв. – ISSN 2079-5459.

A mathematical model of the linear displacements primary transducer with a movable surface acoustic waves receiver / M. Zhovnir // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179). – P. 48–57. – Bibliogr.: 19. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Жовнір Микола Федорович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національний

технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»; доцент, кафедри Електронних приладів та пристроїв, вул. Політехнічна, 16, корпус №12. Київ, Україна, 03056; e-mail: zhovnir101@gmail.com

Жовнір Николай Федорович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»; доцент кафедры Электронных приборов и устройств, ул. Политехническая, 16, корпус №12. Киев, Украина, 03056; e-mail: zhovnir101@gmail.com

Zhovnir Mykola – candidate of technical sciences, senior research assistant, associate professor, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»; Department of Electronic Devices and Equipment, Polytechnique str, 16, Kyiv, Ukraine, 03056, e-mail: zhovnir101@gmail.com

УДК 551.501: 551.509

Х. Г. АСАДОВ, Ш. Н. ЗЕЙНАЛОВА

МЕТОД МНОГОКРИТЕРИАЛЬНО–ВАРИАЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ОЗОНОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРИБРЕЖНЫХ ЗОНАХ

Предложен метод многокритериально-вариационной оптимизации для решения специализированных задач физики атмосферы, в частности для многодиапазонных интегрированных озонOMETРИЧЕСКИХ измерений. Предлагаемый метод предусматривает наложение определенного ограничения на интеграл второго члена взвешанной скалярной суммы частных критериев парафазно зависящих от искомой функции, определяющей условия проведения измерительного эксперимента. Конкретно рассмотрена задача оптимального интегрированного во времени измерения общего количества озона в атмосфере при использовании бортового комплекса, осуществляющего измерения в ультрафиолетовом и видимом диапазонах.

Ключевые слова: вариационная оптимизация, измерения, свертка, атмосфера, озонOMETрия, многокритериальная оптимизация

Запропоновано метод багатокритеріально-варіаційної оптимізації для вирішення спеціалізованих завдань фізики атомосферу, зокрема для багатодіапазонних інтегрованих озонOMETРИЧНИХ вимірювань. Пропонований метод передбачає накладення певного обмеження на інтеграл другого члена взвешанной скалярной суми приватних критеріїв парафазні залежать від шуканої функції, що визначає умови проведення вимірювального експерименту. Саме розглянуто задачу оптимального інтегрованого в часі вимірювання загальної кількості озону в атмосфері при використанні бортового комплексу, що здійснює вимірювання в ультрафіолетовому та видимому діапазонах.

Ключові слова: варіаційна оптимізація, вимірювання, згортка, атмосфера, озонOMETрія, багатокритеріальна оптимізація

The method of multicriterial-variation optimization is suggested for solution of some specialized tasks of atmospheric physics, particularly for multi-band integrated ozonometric measurements. The suggested method provides for application of some limitation on integral of the second member of weighted scalar sum of partial criterions which concurrently depend on looked for function, determining the conditions of measuring experiment. Concretely the task on optimum integrated measurements of total amount of atmospheric ozone using the onboard measuring complex, carrying out measurements in ultraviolet and visible bands. The optimality is accepted as reaching the extremum of weighted sum of channels signals. The optimum function of noisy effect of atmospheric aerosol providing the optimum measurements is searched for. The optimum function of noises depends on weight function of complexes channels. Such a dependence make it possible to use the weight function of channels as a control function to lead the function into optimum regime of operation by maximum differentiation of noises function from, optimum type of latter.

Keywords: variation optimization, measurements, convolution, atmosphere, ozonometrics, multicriterial optimization

Введение. Актуальность проведения атмосферных озонOMETРИЧЕСКИХ измерений общеизвестна. Атмосферный озон, точнее говоря озоновый слой стратосферы поглощая биологически опасную ультрафиолетовую радиацию Солнца практически выступает гарантом существования всего живого на Земле. ОзонOMETРИЧЕСКИЕ измерения в настоящее время осуществляются на Земле повсеместно с использованием глобальных, региональных и локальных измерительных сетей и систем. ОзонOMETРИЧЕСКИЕ измерения в принципе могут быть осуществлены в ультрафиолетовом (0,31–0,32 мкм), видимом (0,5–0,7) мкм и инфракрасном (9,8 мкм) диапазонах [1]. В настоящей статье рассматриваются вопросы оптимальных комплексных озонOMETРИЧЕСКИХ измерений в береговых урбанизированных территориях совместно в двух диапазонах (в ультрафиолетовом и видимом). Береговые урбанизированные территории характеризуются резкими структурными изменениями атмосферного аэрозоля в зависимости от направления ветра. Так при ветре с моря в атмосфере господствует крупнодисперсный морской аэрозоль, а при ветре с материка преобладает мелкодисперсный городской аэрозоль

[2]. Указанное обстоятельство диктует необходимость разработки новых измерительных методик с привлечением соответствующей математической базы. В настоящей статье мы рассмотрим возможность применения предлагаемого метода многокритериально-вариационной оптимизации для решения задачи проведения оптимальных озонOMETРИЧЕСКИХ измерений в береговых урбанизированных территориях [3, 4].

Оптимизация озонOMETРИЧЕСКИХ измерений в прибрежных зонах. Известно [1, 2], что некоторые многокритериальные задачи могут быть приведены к форме линейной скалярной свертки используемых частных критериев и нормированных весовых коэффициентов в виде

$$F_0 = \alpha_1 \cdot F_1[x(t)] + \alpha_2 F_2[x(t)] + \dots + \alpha_n F_n[x(t)] = \sum_{i=1}^n \alpha_i F_i[x(t)], \quad (1)$$

где:

$$\alpha_i, i = (\overline{1, n}),$$

весовые коэффициенты, удовлетворяющие условию нормировки

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1,$$

где $F_i[x(t)]$ – i -й частный критерий или частный функционал оптимизации, $x(t)$ – искомая функция текущего времени t .

Задача оптимизации формируется с учетом тех критериев F_i , которые взаимно конкурируют [2]. Если $F_1[x(t)]$ и $F_2[x(t)]$ являются конкурирующими критериями, то задача двухкритериальной оптимизации составляется в виде

$$F_{01} = \alpha_1 \cdot F_1[x(t)] + \alpha_2 F_2[x(t)], \quad (2)$$

где

$$\alpha_1 + \alpha_2 = 1, \quad (3)$$

В общем случае можно рассмотреть случай

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_1(t), \\ \alpha_2 &= \alpha_2(t), \end{aligned} \quad (4)$$

а выражение (2) показать в интегральной форме, т. е.

$$F_{01.H} = \int_0^{t_m} F_{01} dt = \int_0^{t_m} \alpha_1(t) \cdot F_1[x(t)] dt + \int_0^{t_m} \alpha_2(t) F_2[x(t)] dt, \quad (5)$$

где t_m – максимальная величина t .

Для решения задачи нахождения оптимальной функции $x(t)$ введем ограничение на второй член в правой части (5).

$$\int_0^{t_m} \alpha_2(t) F_2[x(t)] dt = C_1, \quad (6)$$

где: $C_1 = \text{const}$.

В общем случае, выражение (5) может быть записано в виде

$$F_{02.H} = \int_0^{t_m} \alpha_1(t) \cdot F_1[x(t)] dt + \gamma \int_0^{t_m} \alpha_2(t) F_2[x(t)] dt, \quad (7)$$

где γ – множитель Лагранжа.

При этом учитываем, что $\gamma = \text{const}$ и условие нормировки (3), (4) в этом случае принимает вид

$$\alpha_1(t) + \gamma \cdot \alpha_2(t) = 1. \quad (8)$$

Выражение (7) представляет собой математическую запись определения оптимальной функции $x(t)_{opt}$ по методу вариационной оптимизации [3], при которой $F_{02.H}$ достиг бы своего экстремума [5].

Таким образом, предлагаемый метод многокритериально – вариационной оптимизации позволяет вычислить оптимальную функцию, которая приводит

скалярную свертку конкурирующих функционалов к экстремальной величине.

Рассмотрим вопросы применения предлагаемого метода для оптимизации атмосферных озонметрических измерений [4]. Предполагается, что измерения осуществляются с помощью фильтровых солнечных фотометров [6, 7]. Далее рассматривается комплекс атмосферных озонметрических измерений, осуществляющий измерение общего количества озона в атмосфере в двух диапазонах: (1) в ультрафиолетовом диапазоне, на длинах волн 0,31 – 0,32 мкм [5], (2) в видимом диапазоне [6], на длинах волн 0,5 – 0,7 мкм.

Блок – схема озонметрического измерительного комплекса показана на рис. 1.

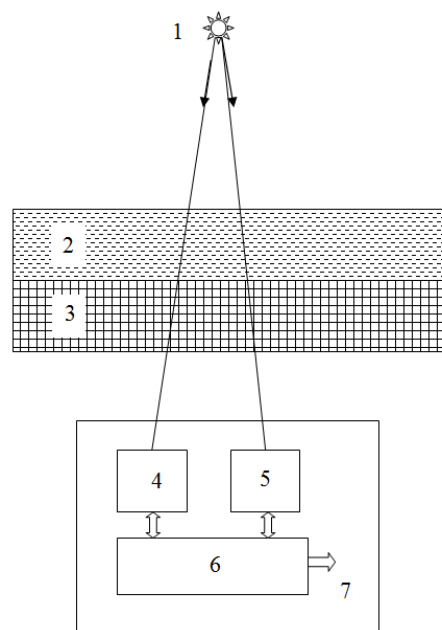


Рис. 1 – Блок – схема озонметрического комплекса, проводящего двухдиапазонные озонметрические измерения: 1 – Солнце; 2 – озоновый слой атмосферы; 3 – аэрозольный слой атмосферы; 4 – измеритель атмосферного озона в ультрафиолетовом диапазоне; 5 – измеритель атмосферного озона в видимом диапазоне; 6 – блок управления и обработки; 7 – измерительный комплекс.

Для дальнейшего анализа примем следующую упрощенную модель аэрозоля. Оптическая толщина атмосферного аэрозоля τ_{aer} определяется в качестве суммы мелкодисперсной $\tau_{aer.f}$ и крупнодисперсной составляющих $\tau_{aer.c}$, т. е.

$$\tau_{aer} = \tau_{aer.f} + \tau_{aer.c}, \quad (9)$$

При этом $\tau_{aer.f}$ и $\tau_{aer.c}$ определяются согласно модели Ангстрема, т. е. [7]

$$\tau_{aer.f} = \beta_f \cdot \lambda^{-\alpha_f}, \quad (10)$$

$$\tau_{aer.c} = \beta_c \cdot \lambda^{-\alpha_c}, \quad (11)$$

$$\beta_f + \beta_c = \beta_0; \quad \beta_0 = \text{const}; \quad (12)$$

где β_f и β_c – мелкодисперсная и крупнодисперсная аэрозольные мутности атмосферы; λ – длина волны; α_f и α_c – показатели Ангстрема, соответственно, мелкодисперсной и крупнодисперсной составляющих атмосферного аэрозоля.

Суммарный сигнал измерительных блоков комплекса определяется как:

$$F_{03} = \alpha_1(t) \cdot I_0(\lambda_{y\phi}) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_{y\phi}, t) + \beta_{y\phi}(t) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_{y\phi})}]} + \alpha_2(t) \cdot I_0(\lambda_g) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_g, t) + (\beta_0 - \beta_{y\phi}(t)) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_g)}]} \quad (13)$$

где первая и вторая составляющие выражения (13) представляют собой выражение закона Буггера – Бера, соответственно для УФ и ИК диапазонов;

$I_0(\lambda_{y\phi})$ и $I_0(\lambda_g)$ – соответственно интенсивность излучения Солнца на длинах волн $\lambda_{y\phi}$ и λ_g ;

$\tau_{oz}(\lambda_{y\phi}, t)$, $\tau_{oz}(\lambda_g, t)$ – оптические толщины озонового слоя атмосферы соответственно на длинах волн $\lambda_{y\phi}$ и λ_g .

По аналогии с выражением (7), интегрируя функционал (13) в интервале $0 - t_m$, введя множитель Лагранжа и ограничительное условие наподобие (6) получим

$$F_{03.H} = \int_0^{t_m} \alpha_1(t) \cdot I_0(\lambda_{y\phi}) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_{y\phi}, t) + \beta_{y\phi}(t) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_{y\phi})}]} dt + \gamma \cdot \int_0^{t_m} \alpha_2(t) \cdot I_0(\lambda_g) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_g, t) + (\beta_0 - \beta_{y\phi}(t)) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_g)}]} dt \quad (14)$$

при

$$\int_0^{t_m} \alpha_2(t) \cdot I_0(\lambda_g) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_g, t) + (\beta_0 - \beta_{y\phi}(t)) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_g)}]} dt = C_2, \quad (15)$$

где $C_2 = \text{const}$.

Для оптимизации проводимых измерений требуется вычислить такую функцию $\beta_{y\phi}(t)$ при которой функционал $F_{03.H}$ достиг бы экстремального значения [8–10]. Согласно методу Эйлера, оптимальная функция $\beta_{y\phi}(t)$ приводящая функционал (14) к его экстремальной величине должна удовлетворить условию

$$\alpha_1(t) \cdot I_0(\lambda_{y\phi}) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_{y\phi}, t) + \beta_{y\phi}(t) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_{y\phi})}]} \cdot [-\lambda^{-\alpha(\lambda_{y\phi})}] + \gamma \cdot \alpha_2(t) \cdot I_0(\lambda_g) \cdot e^{-[\tau_{oz}(\lambda_g, t) + (\beta_0 - \beta_{y\phi}(t)) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_g)}]} \cdot [-\lambda^{-\alpha(\lambda_g)}] = 0 \quad (16)$$

С учетом постоянства множителя Лагранжа в контексте решаемой задачи опустим процесс аналитического вычисления множителя Лагранжа и обозначим его как γ_0 .

В этом случае из выражения (16) находим

$$\beta_{y\phi}(t)_{opt} = \frac{\alpha_1(t) \cdot I_0(\lambda_{y\phi}) \cdot [-\lambda^{-\alpha(\lambda_{y\phi})}] / \gamma_0 \cdot \alpha_2(t) \cdot I_0(\lambda_g) \cdot \lambda^{-\alpha(\lambda_g)}}{\lambda_{y\phi}^{-\alpha(\lambda_{y\phi})} - \lambda_g^{-\alpha(\lambda_g)}} + \frac{\tau_{oz}(\lambda_g, t) - \tau_{oz}(\lambda_{y\phi}, t)}{\lambda_{y\phi}^{-\alpha(\lambda_{y\phi})} - \lambda_g^{-\alpha(\lambda_g)}} \quad (17)$$

Таким образом, при удовлетворении условия (17)

$F_{03.H}$ достигает экстремума. При этом, можно показать, что этот экстремум является минимумом. Следует отметить, что функция $\beta_{y\phi}(t)$ не является управляемой, т. е. задается природными условиями. Следовательно, подбор наилучшего режима озонметрических измерений может быть осуществлен путем выбора такой функции $\alpha_1(t)$ и $\alpha_2(t)$, которые обеспечили бы выполнение неравенства

$$\beta_{y\phi}(t) \neq \beta_{y\phi}(t)_{opt}$$

во всем интервале $0 - t_{max}$.

Выводы. Суммируя вышеизложенное, основной вывод проведенного исследования можно сформулировать следующим образом. Рассмотрена задача оптимального интегрированного за определенный период измерения общего количества озона в атмосфере при использовании бортового комплекса, осуществляющего измерения как в УФ диапазоне, так и в видимом диапазоне.

Оптимальность понимается в смысле достижения экстремума взвешенной суммы интегрированных сигналов каналов. Находится оптимальная функция шумов, обеспечивающая оптимальные измерения; при этом оптимальная функция шумов зависит от весовой функции каналов комплекса. Указанная зависимость позволяет использовать весовую функцию каналов в качестве управляющей функции для введения комплекса в оптимальный режим путем максимального удаления реальной временной функции изменения шумов от оптимального вида кривой этой функции.

Список литературы:

1. Теория принятия решений. Принятие оптимальных многоцелевых решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://forest.petsru.ru/courses/decision/_chap7_a.htm
2. Многокритериальные задачи принятия решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/3271206/>
3. Эльсгольц, Л. Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление [Текст] / Л. Э. Эльсгольц. – Москва: Книга по Требованию, 2012. – 424 с.
4. Morys, M. Design, calibration, and performance of MICROTOPS II handheld ozone monitor and Sun photometer [Text] / M. Morys, F. M. Mims, S. Hagerup, S. E. Anderson, A. Baker, J. Kia, T. Walkup // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2001. – № 106 (D13). – P. 14573–14582. doi: [10.1029/2001jd900103](https://doi.org/10.1029/2001jd900103)
5. Raj, P. E. Variability in Sun photometer-derived total ozone over a tropical urban station [Text] / P. E. Raj // Journal of Geophysical Research. – 2004. – № 109 (D8). doi: [10.1029/2003jd004195](https://doi.org/10.1029/2003jd004195)
6. Khoshshima, M. Variations of aerosol optical depth and Angstrom parameters at a suburban location in Iran during 2009–2010 [Text] / M. Khoshshima, A. A. Bidokhii, F. Ahmadi-Givi // Journal of Earth System Science. – 2014. – № 123 (1). – P. 187–199. doi: [10.1007/s12040-013-0380-1](https://doi.org/10.1007/s12040-013-0380-1)
7. Chance, K. V. Satellite measurements of atmospheric ozone profiles, including tropospheric ozone, from ultraviolet/visible measurements in the nadir geometry: a potential method to retrieve tropospheric ozone [Text] / K. V. Chance, J. P. Burrows, D. Perner, W. Schneider // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer. – 1997. – № 57 (4). – P. 467–476. doi: [10.1016/s0022-4073\(96\)00157-4](https://doi.org/10.1016/s0022-4073(96)00157-4)
8. Sanginova, O. Comparative analysis of some computational schemes for obtaining a compromise solution [Text] / Sanginova O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – № 1/4 (73). – P. 10–18. doi: [10.15587/1729-](https://doi.org/10.15587/1729-)

- [4061.2015.35607](#)
9. Mamedov, M. Multi criteria optimization of human resource management problems based on the modified topsis method [Text] / M. Mamedov, Z. Dzhabrailov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – № 2/4 (74). – P. 48–62. doi: [10.15587/1729-4061.2015.40533](#)
 10. Saveleva, O. Information technologies of optimizing designs and manufacturing techniques of rubber-metal products [Text] / O. Saveleva, I. Stanovska, E. Lebedeva, A. Toropenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 2/2 (80). – P. 28–35. doi: [10.15587/1729-4061.2016.65456](#)
- Bibliography (transliterated):**
1. Decision theory. The adoption of optimal multi-purpose solutions. Available at: http://forest.petrstu.ru/courses/decision/chap7_a.htm
 2. Multicriteria decision making problems. Available at: <http://www.studfiles.ru/preview/3271206/>
 3. Elsgolts, L. E. (2012). Differential equations and calculus of variations. Moscow: Book on Demand, 424.
 4. Morys, M., Mims, F. M., Hagerup, S., Anderson, S. E., Baker, A., Kia, J., Walkup, T. (2001). Design, calibration, and performance of Microtops II handheld ozone monitor and Sun photometer. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 106 (D13), 14573–14582. doi: [10.1029/2001jd900103](#)
 5. Raj, P. E. (2004). Variability in Sun photometer-derived total ozone over a tropical urban station. Journal of Geophysical Research, 109 (D8). doi: [10.1029/2003jd004195](#)
 6. Khoshsim, M., Bidokhti, A. A., Ahmadi-Givi, F. (2014). Variations of aerosol optical depth and Angstrom parameters at a sub-urban location in Iran during 2009–2010. Journal of Earth System Science, 123 (1), 187–199. doi: [10.1007/s12040-013-0380-1](#)
 7. Chance, K. V., Burrows, J. P., Perner, D., Schneider, W. (1997). Satellite measurements of atmospheric ozone profiles, including tropospheric ozone, from ultraviolet/visible measurements in the nadir geometry: a potential method to retrieve tropospheric ozone. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, 57 (4), 467–476. doi: [10.1016/s0022-4073\(96\)00157-4](#)
 8. Sanginova, O. (2015). Comparative analysis of some computational schemes for obtaining a compromise solution. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(4(73)), 10. doi: [10.15587/1729-4061.2015.35607](#)
 9. Mamedov, M., Dzhabrailov, Z. (2015). Multi criteria optimization of human resource management problems based on the modified topsis method. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(4(74)), 48. doi: [10.15587/1729-4061.2015.40533](#)
 10. Saveleva, O., Stanovska, I., Lebedeva, E., Toropenko, A. (2016). Information technologies of optimizing designs and manufacturing techniques of rubber-metal products. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(2(80)), 28. doi: [10.15587/1729-4061.2016.65456](#)

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Метод багатокритеріально-варіаційної оптимізації озонетричних вимірювань в прибережних зонах/ Х. Г. Асадов, Ш. Н. Зейналова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.57–60. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Метод многокритериально-вариационной оптимизации озонетрических измерений в прибрежных зонах/ Х. Г. Асадов, Ш. Н. Зейналова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.57–60. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

The method of multicriterial-variation optimization of ozonometric measurements in coastal zones/ H. H. Asadov, Sh. N. Zeynalova//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179). – P. 57–60. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Асадов Хикмет Гамид – доктор технических наук, профессор, начальник отдела, Научно-Исследовательский Институт Аэрокосмической Информатики, ул. Сулейман Сани Ахундов,1, г. Баку, Азербайджан, AZ1115 ; e-mail: asadzade@rambler.ru

Зейналова Шана Низами – аспирант, Национальное аэрокосмическое агентство, ул. Сулейман Сани Ахундов,1, г. Баку, Азербайджан, AZ1115

Асадов Хикмет Гамид – доктор технічних наук, професор, начальник відділу, Науково-Дослідний Інститут аерокосмічної Інформатики, вул. ул. Сулейман Сани Ахундов, 1, г. Баку, Азербайджан, AZ1115; e-mail: asadzade@rambler.ru.

Зейналова Шана Низами – аспірант, Національне аерокосмічне агентство, ул. Сулейман Сани Ахундов,1, г. Баку, Азербайджан, AZ1115

Asadov Hikmet – Doctor of Engineering, Professor, Research Institute of Aerospace Science; Suleyman Sani Akhundov str.1, Baku, Azerbaijan, AZ1115; e-mail: asadzade@rambler.ru.

Zeynalova Shana – graduate student, National Aerospace Agency; Suleyman Sani Akhundov str.1, Baku, Azerbaijan, AZ1115

УДК 381.5

*В. В. АРДЕЛЯН, Д. М. ОБІДІН, А. П. МУСІЄНКО***МЕТОДИКА НАКОПИЧЕННЯ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ ВИКОНАННІ ДІАГНОСТУВАННЯ В РОЗПОДІЛЕНИХ БАЗАХ ЗНАТЬ ПІЛОТАЖНО-НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ ПОВІТРЯНОГО СУДНА**

В роботі розроблена методика накопичення діагностичної інформації при виконанні діагностування в розподілених базах знань пілотажно-навігаційного комплексу повітряного судна. Крім того, розроблено процедуру визначення коректного модуля, який виконуватиме алгоритм діагностування і передає інформацію про семантичний стан розподіленої бази знань до системи управління.

Встановлено умови діагностування розподіленої бази знань: можливість поділу на модулі, які повинні бути зв'язані між собою і здатні перевіряти один одного; кожен модуль повинен мати вільний обчислювальний ресурс.

Ключові слова: діагностування, розподілена база знань, повітряне судно, пілотажно-навігаційний комплекс, система автоматичного управління.

В работе разработана методика накопления диагностической информации при выполнении диагностики в распределенных базах знаний пилотажно-навигационного комплекса воздушного судна. Кроме того, разработана процедура определения корректного модуля, который будет выполнять алгоритм диагностики и передачи информации о семантическом состоянии распределенной базы знаний в систему управления. Установлены условия диагностирования распределенной базы знаний: возможность разделения на модули, которые должны быть связаны между собой и способны проверять друг друга; каждый модуль должен иметь свободный вычислительный ресурс.

Ключевые слова: диагностирование, распределенная база знаний, воздушное судно, пилотажно-навигационный комплекс, система автоматического управления.

In this paper developed methods of accumulation diagnostic information in diagnosing the performance of distributed knowledge bases flight and navigation system of the aircraft. In addition, a procedure for determining the correct module that perform diagnostics algorithm and transmits information about the state of distributed semantic knowledge base to the control system.

It is shown that diagnosis of distributed knowledge base presupposes the following conditions: a knowledge base can be divided into modules to be interconnected and can check each other; each module should be available computing resources to perform audits and software redundancy for storage of tests and their results.

Also found that in the performance of basic checks appropriate to use the drug evaluation system, as it fully meets all situations failures in real distributed knowledge base.

Keywords: diagnostics, distributed knowledge base, aircraft flight and navigation system, automatic control system.

Вступ. В сучасних умовах постійно зростають вимоги до безпеки польотів. Відомо, що всі позаштатні ситуації на повітряних суднах розподіляються на складні, аварійні та катастрофічні. Відповідно до вимог Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) імовірність виникнення на повітряному судні складної ситуації на одну годину польоту не повинна перевищувати 10^{-4} , аварійної ситуації – 10^{-6} , а катастрофічна ситуація – 10^{-7} . Статистика авіаційних катастроф та подій як в Україні, так і в світі, для цивільної авіації, дозволяє зробити висновок про те, що найбільш поширеною причиною аварійності (від 60 до 80 %) є, так званий, людський чинник. Це пояснюється, переважно, обмеженими можливостями людини щодо управління складною технікою в екстрених ситуаціях. Тому одним з важливих напрямків забезпечення безпеки польоту є впровадження заходів, які спрямовані на підвищення ефективності процесів навігації та управління рухом повітряним судном. А в першу чергу це – автоматизація управління польотом повітряного судна. Стан сучасних бортових систем автоматичного управління (САУ) повітряним судном, як складової підсистеми бортового пілотажно-навігаційного комплексу, відповідає існуючим міжнародним нормам. Але умови експлуатації, наприклад, цивільної авіації пов'язані з постійним зростанням інтенсивності польотів. Так за даними ІКАО складність управління повітряним рухом за 2010 – 2016 рр. збільшилася на 7 – 10 %. Аналіз наукових праць вітчизняних та закордонних фахівців дозволив виявити тенденції розвитку систем автоматичного управління, які передбачають їх побудову на принципах інтелектуалізації та адаптивності.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Проблема забезпечення достовірності діагностування функціонування складних інтелектуальних систем досліджувалась в роботах О. А. Машкова [1], В. А. Машкова [2, 3]. Ключові положення теорії тестового діагностування потім були розвинені в роботах О.В. Барабаша [4,5], Ю. В. Кравченка [6], В. А. Савченка [7] та інших.

З аналізу робіт можна зробити висновок, що функціональна стійкість, як властивість складної технічної системи, забезпечується шляхом перерозподілу деякої існуючої в системі надмірності з метою парировання наслідків позаштатних ситуацій. Заходи, які спрямовані на забезпечення або підвищення функціональної стійкості, в першу чергу, забезпечують поліпшення характеристик відмовостійкості і живучості, але не обов'язково показників надійності окремих комплектуючих елементів і виробів, а, так само, тактико-технічних характеристик системи. Теорія функціональної стійкості перебуває в стадії розвитку, і формування показників функціональної стійкості як показників ефективності складних технічних систем є важливим напрямком наукових досліджень. Аналіз функціональної стійкості інтелектуальної системи автоматичного управління повітряним судном, як складної системи, дозволяє оцінити на скільки реальний процес функціонування системи буде відповідати розрахунковому, тому що завжди при розрахунках користуються наближеними моделями, і цілий ряд факторів не враховується.

Варто зазначити, що не всяка система може мати властивість функціональної стійкості, а саме, якщо

© В. В. Арделян, Д. М. Обідін, А. П. Мусієнко, 2016

немає надмірності, то нема чим і управляти при парированні наслідків позаштатних ситуацій. Тому, в такому випадку, навіть потенційно неможливо забезпечити цю властивість. На відміну від цього база знань інтелектуальної САУ польотом повітряного судна має надмірність всіх видів, а саме – функціональну, часову, інформаційну та структурну.

Отже, у сучасних умовах особливо важливим є забезпечення властивості функціональної стійкості процесів навігації та управління рухом повітряного судна. Це складне завдання доцільно поділити на ряд часткових завдань, одним з яких є розробка методики накопичення діагностичної інформації при виконанні діагностування в розподілених базах знань пілотажно-навігаційного комплексу повітряного судна.

Ціль та завдання дослідження. В усіх існуючих методах діагностування наголошується, що одним з важливих і складних завдань при організації діагностування є визначення модуля розподіленої бази знань, на який слід покласти функції виконання алгоритму дешифрування синдрому.

Метою роботи є розробка методики накопичення діагностичної інформації при виконанні діагностування в розподілених базах знань пілотажно-навігаційного комплексу повітряного судна. Зокрема, визначення коректного модуля, який виконуватиме алгоритм діагностування та буде передавати інформацію про семантичний стан розподіленої бази знань до системи управління.

Для досягнення сформульованої мети були поставлені наступні завдання:

1. Визначити умови яким повинна відповідати розподілена база знань для можливості її діагностування.

2. Визначити оптимальну систему оцінювання в процесі виконання елементарних перевірок, яка відповідає всім ситуаціям відмов в реальних розподілених базах знань.

3. Розробити методику накопичення діагностичної інформації при виконанні діагностування в розподілених базах знань пілотажно-навігаційного комплексу повітряного судна.

Розробка методики накопичення діагностичної інформації при виконанні діагностування в розподілених базах знань пілотажно-навігаційного комплексу повітряного судна. Відомо, що основною підсистемою будь-якої інтелектуальної системи є база знань, яка постійно поширюється за рахунок накопичення досвіду за час експлуатації [8]. Але знання мають суб'єктивний характер, а тому потребують оцінки їх достовірності для подальшого раціонального використання в алгоритмах прийняття рішення. Проблематика так званої діагностики розподіленої бази знань та використання інформації про достовірність знань при формуванні управління, яке парире наслідки нештатних ситуацій потребує детального вивчення, цьому питанню й присвячена дана робота.

При організації процедури діагностування одним з важливих завдань є завдання визначення коректного модуля, на який слід покласти функції аналізу структури і синдрому, тобто виконання алгоритму діагностування.

При динамічному діагностуванні це завдання вирішується завдяки способу умовної передачі результатів елементарних перевірок. Основним завданням даного способу є накопичення діагностичної інформації в пам'яті коректних модулів розподіленої бази знань (РБЗ). Накопичення виконується завдяки тому, що результати перевірок пересилаються в модулі РБЗ, перевірені з результатом "0".

У разі одиничного результату перевірки ($r=1$), діагностична інформація не пересилається, а запам'ятовується в пам'яті перевіряючого модуля. Завдяки даній процедурі, коректні модулі швидше накопичать достатній об'єм інформації для діагностування. Це необхідно для того, щоб алгоритм діагностування виконувався тільки коректним модулем, оскільки при виконанні алгоритму некоректним модулем можливе неправильне визначення семантичного стану РБЗ.

Для отримання результату діагностування з високою достовірністю необхідно, щоб інформація про результати перевірок накопичувалася тільки в коректних модулях. У цьому плані правомірним є доведення наступної теореми.

Теорема. При пересилці діагностичної інформації згідно способу умовної передачі результатів елементарних перевірок для будь-якої поточної структури справедливо, що один із коректних модулів накопичить більше результатів перевірок, ніж некоректні модулі.

Доведення. Припустимо, що в який-небудь довільний момент часу в розподіленій семантичній системі, що складається з N модулів, відмовили N_2 модулів. До цього моменту часу залишилися коректними N_1 модулів, де $N_1 = N - N_2$. У системі виконується процедура діагностування, в результаті якої виконане M перевірок.

Розі'ємо множина всіх модулів РБЗ $\{N\}$ на дві підмножини (рис. 1): $\{N_1\}$ – підмножина коректних модулів, $N_1 = |\{N_1\}|$; $\{N_2\}$ – підмножина некоректних модулів, $N_2 = |\{N_2\}|$. На рис. 1 позначено: M_1 – кількість ребер, що виходять з підмножини $\{N_1\}$ і входять в $\{N_2\}$: $e_{ij} = \{v_i, v_j\} \in \{M_1\}$, $v_i \in \{N_1\}$, $v_j \in \{N_2\}$;

M_2 – кількість ребер між модулями підмножини $\{N_1\}$: $e_{ik} = \{v_i, v_k\} \in \{M_2\}$, $v_i \in \{N_1\}$, $v_k \in \{N_1\}$;

M_3 – кількість ребер, що виходять з підмножини $\{N_2\}$ і входять в $\{N_1\}$: $e_{ji} = \{v_j, v_i\} \in \{M_3\}$, $v_i \in \{N_1\}$, $v_j \in \{N_2\}$;

M_4 – кількість ребер, між модулями підмножини $\{N_2\}$: $e_{jl} = \{v_j, v_l\} \in \{M_4\}$, $v_l \in \{N_2\}$, $v_j \in \{N_2\}$.

Оскільки у діагностичному графі всього M ребер, то очевидно, що підмножини ребер $\{M_i\}$, $i = 1, 4$ є непересічними:

$$M = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 \quad (1)$$

Припустимо, що перевірки рівномірно розподілені між модулями РБЗ.

Тоді: $m = \frac{M}{N}$, де m – середня кількість перевірок, виконаних одним модулем, або середня кількість витікаючих ребер однієї вершини діагностичного графа.

Припустимо, що всі m перевірок, які виконав один з модулів, рівномірно розподілені між рештою $N-1$ модулів. Тоді, коректний модуль $v_i, v_i \in \{N_1\}$ також виконав m перевірок, причому з них $m \cdot (N_1-1)/(N-$

1) перевірів коректних модулів, а $m \cdot N_2/(N-1)$ – некоректних. Аналогічно, v_j , де $v_j \in \{N_2\}$, перевірів $m \cdot N_1/(N-1)$ коректних і $m \cdot (N_2-1)/(N-1)$ некоректних модулів.

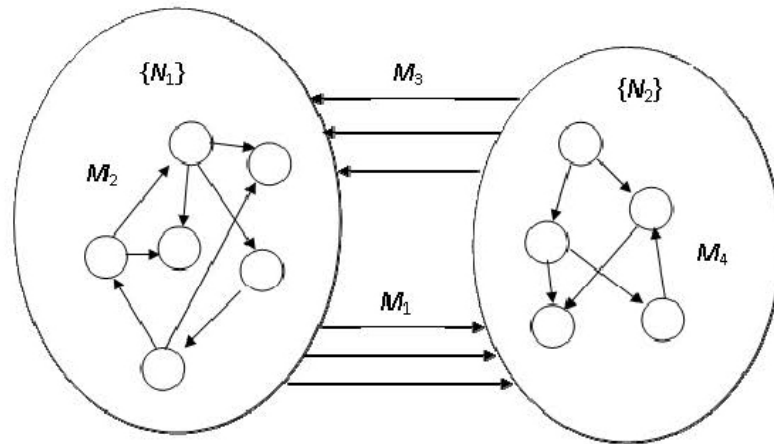


Рис. 1 – Розбиття діагностичного графа на дві підмножини модулів: $\{N_1\}$ – коректних, $\{N_2\}$ – некоректних

Виходячи з цього, M_i мають наступні значення:

$$\begin{cases} M_1 = mN_1 \frac{N_2}{N-1}; \\ M_2 = mN_1 \frac{N_1-1}{N-1}; \\ M_3 = mN_2 \frac{N_1}{N-1}; \\ M_4 = mN_2 \frac{N_2-1}{N-1}. \end{cases} \quad (2)$$

Розглянемо детальніше один із коректних модулів $v_i \in \{N_1\}$. Цей модуль накопичить в середньому l_i результатів перевірок:

$$l_i = l_1 + l_2 + l_3, \quad (3)$$

де l_1 – кількість перевірок, які виконав модуль v_i ; l_2 – кількість результатів перевірок, які отримав v_i відповідно до способу умовної передачі після того, як його перевірила решта N_1-1 коректних модулів з результатом "0"; l_3 – кількість результатів перевірок, які отримав v_i від тих, що перевірили його з результатом "0" некоректних модулів $v_j \in \{N_2\}$.

Виходячи з цього:

$$l_1 = m; \quad l_2 = \frac{M_2}{N_1}; \quad l_3 = \frac{1}{2} \frac{M_3}{N_1}. \quad (4)$$

У виразі l_3 дріб $1/2$ виражає ймовірність появи нульового результату, якщо перевірка виконана некоректним модулем. Підставивши (2) і (4) в (3), отримаємо кількість результатів, які накопичить коректний модуль v_i :

$$\begin{aligned} l_i &= m + m \frac{N_1-1}{N-1} + m \frac{N_2}{2(N-1)} = \\ &= \frac{m}{2(N-1)} (3N + N_1 - 4). \end{aligned} \quad (5)$$

Тепер розглянемо один з некоректних $v_j \in \{N_2\}$. Цей модуль перевірів $l_4 = m$ інших модулів, а також отримав l_5 результатів від інших некоректних модулів, що перевірили його з результатом "0".

Оскільки коректні модулі перевірили v_j з результатом "1" (за системою оцінювання Препарата [9]), то, згідно способу умовної передачі, вони не перешлють йому результати своїх перевірок.

Виходячи з цього:

$$l_j = l_4 + l_5, \quad (6)$$

$$\text{де } l_5 = \frac{1}{2} m \frac{N_2-1}{(N-1)}.$$

Таким чином, некоректний модуль v_j накопичить наступну кількість результатів перевірок:

$$l_j = m + m \frac{N_2-1}{2(N-1)} = \frac{m}{2(N-1)} (2N + N_1 - 3). \quad (7)$$

Тепер для доведення теореми необхідно довести, що $l_i > l_j$ або $\Delta L = l_i - l_j > 0$. Вираз для ΔL запишеться таким чином:

$$\Delta L = l_i - l_j = \frac{m}{2(N-1)} (N-1 + N_1 - N_2). \quad (8)$$

З урахуванням того, що $N = N_1 + N_2$, отримаємо:

$$\Delta L = \frac{m}{2(N-1)} (2N_1 - 1). \quad (9)$$

Аналіз виразу (9) показує, що ΔL може бути менше нуля тільки тоді, коли $N_1 = 0$. У випадку, якщо в системі є хоч би один коректний модуль, то він накопичить діагностичної інформації більше, ніж некоректні модулі. Теорема доведена.

Слід зазначити, що при доведенні теореми використовувалися наступні допущення: рівномірність розподілу перевірок між модулями; рівномірний закон розподілу результатів перевірок ($r_{ij}=0\sqrt{1}$), що виконуються некоректними модулями.

Особливий інтерес представляє окремий випадок, коли через нерівномірність закону розподілу результатів перевірок, що виконуються некоректними модулями, коректні модулі отримують інформації менше, а некоректні – більше. Це може відбутися в наступних випадках:

а) набір перевірок $\{M_3\}$ (див. рис. 1) буде виконаний з результатом "1", і некоректні модулі не пересилатимуть в коректні результати перевірок. Ця подія може відбутися з ймовірністю $p_1 = 0,5^{M_3}$;

б) набір перевірок $\{M_4\}$ виконаний з результатом "0", що може трапитися з ймовірністю $p_2 = 0,5^{M_4}$.

Внаслідок цього, некоректні модулі накопичать результатів більше, ніж в першому випадку.

З урахуванням описаних подій можна відмітити, що l_3 у виразі (3) буде дорівнювати 0, а l_5 у виразі (6) подвоїться.

Таким чином:

$$l'_i = m + m \frac{N_1 - 1}{N - 1}; \quad l'_j = m + m \frac{N_2 - 1}{N - 1}, \quad (10)$$

де l'_i – кількість результатів перевірок, які накопичаються в одному із коректних модулів $v_i \in \{N_1\}$; l'_j – кількість результатів перевірок, які накопичаються в одному з некоректних модулів $v_j \in \{N_2\}$.

Порівнюючи різницю, як в першому варіанті, отримаємо:

$$\Delta L' = l'_i - l'_j = \frac{m}{N - 1} (N_1 - N_2). \quad (11)$$

Таким чином, величина $\Delta L'$ буде від'ємна (коректні модулі накопичать інформації менше ніж некоректні) тільки у тому випадку, коли $N_2 > N_1$. Ця подія може відбутися з ймовірністю p_3 , яка визначається як ймовірність відмови в системі більше половини модулів.

Припустимо, що ймовірність коректного стану p однакова для кожного модуля. Тоді, використовуючи часткову теорему про повторення дослідів [10], отримаємо:

$$p_3 = \sum_{N_2 = \left\lceil \frac{N+1}{2} \right\rceil}^N C_N^{N_2} (1-p)^{N_2} p^{N-N_2}. \quad (12)$$

Таким чином, на підставі вищевказаних досліджень можна зробити висновок, що некоректні модулі можуть накопичити інформації більше, ($\Delta L < 0$) тільки при одночасній появі подій:

1) некоректні модулі перевіряють коректні з результатом "1";

2) некоректні модулі перевіряють один одного з результатом "0";

3) у системі, що складається з N модулів, більше некоректних модулів, ніж коректних. Ймовірність появи цих подій відповідно дорівнює p_1 , p_2 , p_3 , а ймовірність їх одночасної появи рівна добутку [10]:

$$p' = p \{ \Delta L' < 0 \} = p_1 p_2 p_3 = 0,5^{(M_3+M_4)} \times \sum_{N_2 = \left\lceil \frac{N+1}{2} \right\rceil}^N C_N^{N_2} (1-p)^{N_2} p^{N-N_2}. \quad (13)$$

Слід зазначити, що ймовірність p' є дуже малою величиною. Тому можна стверджувати, що при виконанні процедури діагностування у будь-якому випадку коректні модулі накопичать більше результатів перевірок, чим некоректні. Для підтвердження даного вислову розглянемо наступний приклад.

У системі, що складається з $N=8$ модулів, виконано $M=20$ перевірок. З урахуванням $N_1=3$, $N_2=5$, $p=0,8$, ймовірність p' за виразом (13) буде дорівнювати:

$$p' = p \{ \Delta L' < 0 \} = 0,5^{(5,35+7,14)} \times \sum_{i=5}^8 C_8^i (1-p)^i p^{8-i} = 1,8 \cdot 10^{-6}.$$

З наведеного прикладу видно, що у некоректних модулів може бути більше результатів перевірок, ніж у коректних, проте ймовірність цієї події настільки мала, що можна вважати цю подію неможливою.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено:

1. Застосування діагностування розподіленої бази знань припускає наявність наступних умов: база знань може бути поділена на модулі, які повинні бути зв'язані між собою і здатні перевіряти один одного; кожен модуль повинен мати вільні обчислювальні ресурси для виконання перевірок і програмну надмірність для зберігання тестів і їх результатів.

2. В процесі виконання елементарних перевірок доцільно використовувати систему оцінювання Препарата, оскільки вона найповніше відповідає всім ситуаціям відмов в реальних розподілених базах знань.

3. При виконанні елементарних перевірок доцільно здійснювати накопичення діагностичної інформації відповідно до способу умовної передачі результатів перевірок. При такому способі один із коректних модулів раніше інших накопичить достатній обсяг діагностичної інформації і буде виконувати алгоритм діагностування.

Список літератури:

1. *Машков, О. А.* Оптимизация цифровых автоматических систем, устойчивых к отказам [Текст] / *О. А. Машков, Л. М. Артюшин.* – Киев: КВВАИУ. – 1991. – 88 с.
2. *Машков, В. А.* Контроль и диагностирование цифровых вычислительных устройств [Текст] / *В. А. Машков.* – Киев: КВВАИУ. – 1991. – 84 с.
3. *Mashkov, V.* Applying Petri Nets to Modeling of Many-Core Processor Self-Testing when Tests are Performed Randomly [Text] / *V. Mashkov, J. Barilla, P. Simr* // Journal of Electronic Testing. – 2013. – Vol. 29, № 1. – P. 25–34. doi: [10.1007/s10836-012-5346-8](https://doi.org/10.1007/s10836-012-5346-8)
4. *Барабаш, О. В.* Функціональна стійкість – властивість складних технічних систем [Текст]: зб. наук. пр. / *О. В. Барабаш, Ю. В. Кравченко* // Збірник наукових праць НАОУ. – 2002. – № 40. – С. 225–229.

5. Mashkov, V. A. Self-Testing of Multimodule Systems Based on Optimal Check-Connection Structures [Text] / V. A. Mashkov, O. V. Barabash // Engineering Simulation. – 1996. – Vol. 13. – P. 479–492.
6. Кравченко, Ю. В. Визначення проблематики теорії функціональної стійкості щодо застосування в комп'ютерних системах [Текст] / Ю. В. Кравченко, С. В. Нікіфоров // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – № 1. – С. 12–18.
7. Савченко, В. А. Обоснование показателя функциональной устойчивости пространственной структуры для многопозиционных радионавигационных систем [Текст]: сб. науч. пр. / А. В. Савченко // Збірник наукових праць ХВУ. – 2004. – № 5 (52). – С. 41–42.
8. Pashynska, N. A decision tree in a classification of fire hazard factors [Text] / N. Pashynska, V. Snytyuk, V. Putrenko, A. Musienko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 5/10 (83). – P. 32–37. doi: [10.15587/1729-4061.2016.79868](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79868)
9. Preparata, F. P. On the connection assignment problem at diagnosable systems [Text] / F. P. Preparata, G. Metz, R. T. Chien // IEEE Transactions on Electronic Computers. – 1967. – № EC-16 (6). – P. 848–854. doi: [10.1109/pgec.1967.264748](https://doi.org/10.1109/pgec.1967.264748)
10. Вентцель, Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология [Текст] / Е. С. Вентцель. – Москва: Наука, 1988. – 208 с.
2. Mashkov, V. A. (1991). Monitoring and diagnosis of digital computing devices. Kiev: KVVVAUY, 84.
3. Mashkov, V., Barilla, J., Simr, P. (2013). Applying Petri Nets to Modeling of Many-Core Processor Self-Testing when Tests are Performed Randomly. Journal of Electronic Testing, 29 (1), 25–34. doi: [10.1007/s10836-012-5346-8](https://doi.org/10.1007/s10836-012-5346-8)
4. Barabash, O. V., Kravchenko, Yu. V. (2002). Funktsionalna stiykist – vlastivist tehnicnih folding systems. Zbirnyk naukovykh prats NAOU, 40, 225–229.
5. Mashkov, V. A., Barabash, O. V. (1996). Self-Testing of Multimodule Systems Based on Optimal Check-Connection Structures. Engineering Simulation, 13, 479–492.
6. Kravchenko, Yu. V., Nikiforov, S. V. (2014). Determination theory perspective on the application of functional stability in computer systems. Telecommunication and information technology, 1, 12–18.
7. Savchenko, V. A. (2004). Justification functional stability index of spatial structure for multi-position navigation system. Zbirnyk naukovykh prats KhVU, 5 (52), 41–42.
8. Pashynska, N., Snytyuk, V., Putrenko, V., Musienko, A. (2016). A decision tree in a classification of fire hazard factors. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(10(83)), 32–37. doi: [10.15587/1729-4061.2016.79868](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.79868)
9. Preparata, F. P., Metz, G., Chien, R. T. (1967). On the Connection Assignment Problem of Diagnosable Systems. IEEE Transactions on Electronic Computers, EC-16 (6), 848–854. doi: [10.1109/pgec.1967.264748](https://doi.org/10.1109/pgec.1967.264748)
10. Wentzel, E. S. (2010) Operations research: objectives, principles, methodology. Moscow: Science, 208.

Bibliography (transliterated):

1. Mashkov, O. A., Artiushyn, L. M. (1991). Optimization of digital automatic systems, fault tolerance. Kiev: KVVVAUY, 8.

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Методика накоплення діагностичної інформації при виконанні діагностування в розподілених базах знань пілотажно-навігаційного комплексу повітряного судна/ В. В. Арделян, Д. М. Обідін, А. П. Мусієнко// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 61–66.– Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Методика накоплення діагностической информации при выполнении диагностики в распределенных базах знаний пилотажно-навигационного комплекса воздушного судна/ В. В. Арделян, Д. Н. Обидин, А. П. Мусиенко// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 61–66.– Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Technique accumulation of diagnostic information when performing diagnostics in distributed knowledge bases flight and navigation system of the aircraft/ V.V. Ardelyan, D.N. Obidin, A.P. Musienko//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P.61 –66. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Арделян Вікторія Віталіївна – аспірант, Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, вул. Добровольського, 1, м. Кропивницький, Україна, 25005; e-mail: viktorija1801-92@mail.ru

Обідін Дмитро Миколайович – доктор технічних наук, професор, Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, заступник начальника Кіровоградської льотної академії Національного авіаційного університету з навчальної та наукової роботи; вул. Добровольського, 1, м. Кропивницький, Україна, 25005; e-mail: d.obidin@mail.ru

Мусієнко Андрій Петрович – кандидат фізико-математичних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, науковий співробітник факультету інформаційних технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка; вул. Ванди Василевської, 24, м. Київ, Україна, 02000; e-mail: musienko-andrey@gmail.com

Арделян Вікторія Віталіївна – аспірант, Кировоградская летная академия Национального авиационного университета, ул. Добровольского, 1, г. Кропивницкий, Украина, 25005; e-mail: viktorija1801-92@mail.ru

Обидин Дмитрий Николаевич – доктор технических наук, профессор, Кировоградская летная академия Национального авиационного университета, заместитель начальника Кировоградской летной академии Национального авиационного университета по учебной и научной работе; ул. Добровольского, 1, г. Кропивницкий, Украина, 25005; e-mail: d.obidin@mail.ru

Мусиенко Андрей Петрович – кандидат физико-математических наук, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, научный сотрудник факультета информационных технологий Киевского нацио-

нального університета імені Тараса Шевченка; ул. Ванды Василевской, 24, г. Киев, Украина, 02000; e-mail: mysienkoandrey@gmail.com

Ardelyan Victoria – graduate student, Kirovograd Flight Academy of National Aviation University, st. Dobrowolski 1, Kropyvnytskyi, Ukraine, 25005; e-mail: viktoria1801-92@mail.ru

Obidin Dmitry – doctor of technical sciences, professor, Kirovograd Flight Academy of National Aviation University, the deputy head of the Kirovograd Flight Academy of National Aviation University on educational and scientific work; st. Dobrowolski 1, Kropyvnytskyi, Ukraine, 25005; e-mail: d.obidin@mail.ru

Musienko Andrii – candidate of Physics and Mathematics, Taras Shevchenko National University of Kyiv, researcher at the Faculty of Information Technologies of Kiev National Taras Shevchenko University; st. Wanda Wasilewska 24, Kiev, Ukraine, 02000; e-mail: mysienkoandrey@gmail.com

УДК 621.3.082.55, 535.568, 531.713.8

О. О. ОЛІЙНИК, М. Ф. ЖОВНІР, Б. А. ЦИГАНОК

РОЗРАХУНОК МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ НА ОСНОВІ ВИМІРЮВАНЬ ДВОПРОМЕНЕЗАЛОМЛЕННЯ У ЗВУКОПРОВОДАХ ПАХ-ПРИСТРОЇВ

В статті приведені результати дослідження внутрішніх механічних напружень в п'єзокристалі $LiNbO_3$ YZ-зрізу, а також приповерхневих механічних напружень, які виникають у звукопроводах після напылення зустрічноштирових перетворювачів (ЗШП) при виготовленні пристроїв на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ). Вимірний розподіл величини двоприменезаломлення з використанням методу модуляційної поляриметрії та розрахована на його основі відносна анізотропія механічних напружень у звукопроводі. Результати досліджень фотопружних властивостей звукопроводів демонструють високу чутливість модуляційно-поляризаційного методу вимірювання для контролю якості п'єзокристалів та виявлення залишкових приповерхневих механічних напружень після напылення ЗШП.

Ключові слова: механічні напруження, фотопружність, звукопровід, ПАХ-пристрої, модуляційна поляриметрія, ніобат літію, лінія затримки.

В статье приведены результаты исследования внутренних механических напряжений в пьезокристаллах $LiNbO_3$ YZ-срезы, а также приповерхностных механических напряжений, возникающих в звукопроводе после напыления встречноштировых преобразователей (ВШП) при изготовлении устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Измерено распределение величины двулучепреломления с использованием метода модуляционной поляриметрии и рассчитана на его основе относительная анизотропия механических напряжений в звукопроводе. Результаты исследований фотоупругих свойств звукопровода демонстрируют высокую чувствительность модуляционно-поляризационного метода измерения для контроля качества пьезокристаллов и выявления остаточных приповерхностных механических напряжений после напыления ВШП.

Ключевые слова: механические напряжения, фотоупругость, звукопровод, ПАВ-устройства, модуляционная поляриметрия, ниобат лития, линия задержки.

The article presents the study results of internal mechanical stresses in piezoelectric $LiNbO_3$ crystals of YZ-cut, as well as near-surface stress, appeared in sound conductor after deposition of interdigital transducers (IDT) on the surface acoustic wave (SAW) devices during manufacturing. Birefringence distribution was measured by modulation polarimetry method. Mechanical stresses in the sound conductor were calculated on the basis of relative optical anisotropy. Research results of photoelastic properties show a high sensitivity of modulation-polarization measurement method for quality control of piezocrystals and to identify near-surface residual stress after IDT deposition.

Keywords: mechanical stress, photoelasticity, sound conductor, SAW-devices, modulation polarimetry, lithium niobate, delay circuit.

Вступ. При вирощуванні монокристалів ніобату літію в ньому виникають дефекти кристалічної структури, пов'язані з хімічним складом розчинів, параметрами навколишнього середовища тощо. Зокрема, при розділенні монокристалу $LiNbO_3$ на пластини YZ-зрізу виникають поверхневі механічні напруження розтягу та стиснення, що викликані порушенням шаром на поверхнях звукопроводу. Наступне шліфування, полірування та відпалювання вже готових звукопроводів може значно зменшити величину поверхневих механічних напружень. Проблема контролю якості звукопроводів вирішують багатьма способами: поляризаційними, фотоакустичними, ультразвуковими, рентгенівськими, але для досягнення достатньої чутливості згадані методи можуть виявитись або занадто складними у застосуванні або недостатньо чутливими.

На звукопроводах з $LiNbO_3$ виготовляються сучасні прилади акустоелектроніки, зокрема, сенсори на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ), які активно конкурують у сфері вимірювання фізичних величин. Застосування ПАХ обумовлене можливістю отриман-

ня хвильових процесів з малою довжиною хвилі, що забезпечує, при використанні частотного або фазового методів вимірювання, велику чутливість і точність перетворення інформації в широкому динамічному діапазоні. Сенсори на ПАХ відносяться до акустоелектронних компонентів, що використовують п'єзоелектричні пластини, на які нанесено систему зустрічно-штирових перетворювачів (ЗШП). Зазвичай, в сенсорах на ПАХ використовується чутливість спеціальних зрізів п'єзоелектричних матеріалів до дестабілізуючих факторів: температури, вологості, механічних напружень, деформації, тощо. Недоліком пристроїв даного типу є низька надійність внаслідок можливого руйнування мембрани через крихкість п'єзоелектричного звукопроводу при перевантаженнях та складність виготовлення мембрани у звукопроводі [1]. Актуальним залишається розробка методів неруйнівного контролю механічних напружень та параметрів деформації в мембранах, виготовлених з п'єзоелектричних матеріалів.

© О. О. Олійник, М. Ф. Жовнір, Б. А. Циганок, 2016

В роботі [2] на основі рівнянь Гріна-Крістофеля проаналізовані процеси поширення ПАХ в приповерхневому шарі звукопроводу під дією зовнішнього електричного поля або механічних напружень у вигляді математичних моделей. При теоретичних розрахунках ПАХ розглядаються у вигляді плоских монохроматичних хвиль, пружні зміщення та електричний потенціал котрих є взаємолінійними залежностями. Зазвичай, для спрощення математичної моделі вибирають граничні умови, які не враховують механічні напруження на поверхні кристалу (звукопроводу). У випадку, коли деформація від механічних напружень є ортогональною до поверхні звукопроводу, виникає можлива трансформація хвиль Релея у хвилі Стоунлі, що є окремою проблемою при роботі ПАХ-приладів. Наступним спрощенням у розрахунках приймається те, що покриття поверхні звукопроводу здійснено ідеальнопровідним шаром металу, достатньо тонким, щоб не викликати зміни механічних властивостей поверхні звукопроводу. Проведена оцінка впливу нелінійних тензорів деформації кристалу третього порядку і статичної деформації у звукопроводі на зміну характеристик ПАХ, що відповідно до величини коефіцієнтів тензору деформацій в межах 10^{-10} - 10^{10} вказує на низьку та високу залежність параметрів ПАХ від числового значення коефіцієнту.

З огляду на згадані обставини, очевидною є проблема моделювання пристроїв на ПАХ, оскільки похибка моделі, яка приймає ряд припущень стосовно ідеальності тензора діелектричних властивостей звукопроводу та достатньо тонких шарів ЗШП, може сягати понад 100%. Ця обставина вимагає розробки методики та інструментарію для контролю фізичних параметрів вихідних матеріалів звукопроводу (кварц, $LiNbO_3$, германат вісмуту та ін.) та пристроїв на їх базі для того, щоб враховувати початкові та граничні параметри в математичних моделях та проектуванні ПАХ-пристроїв.

Завданням даної роботи є застосування методу модуляційної поляриметрії для вимірювань величини двопронезаломлення в монокристалах ніобату літія, яка викликана явищем фотопружності. На основі результатів вимірювань – зробити розрахунки відносної величини приповерхневих механічних напружень та на їх основі сформулювати рекомендації щодо поліпшення існуючих та перспективних математичних моделей [2, 3], які б враховували фізичні параметри дефектів, жорстких включень, пустот, механічно напружених областей, деформацій та інше в матеріалах, в тому числі звукопроводах для ПАХ-пристроїв [1, 3, 4].

Методика та результати вимірювань. Механічні напруження в матеріалі звукопроводу проявляються у вигляді анізотропії показника заломлення в ортогональних напрямках, що добре відомо як фотопружний ефект (ФПЕ), який можна спостерігати фактично у всіх анізотропних середовищах.

Автори роботи [5] представили результати використання методу модуляційної поляриметрії для визначення абсолютних значень механічних напружень у сапфірових оптичних вікнах. Ними відмічено, що провести поляризаційні вимірювання традиційним полярископом-поляриметром ПКС-250 не має можливості, через його недостатню чутливість. Для експе-

риментальних досліджень полірованої пластини звукопроводу з ніобату літію був використаний саме згаданий вище модуляційно-поляризаційний метод, основою якого є реєстрація явища лінійного подвійного променезаломлення.

У якості об'єкту дослідження в даній роботі взято звукопровід у вигляді пластини $LiNbO_3$ YZ-зрізу розмірами $26_x \times 26_y \times 1_z$ мм та лінія затримки (ЛЗ) на ПАХ розмірами $9_x \times 12_y \times 1_z$ мм, яка виготовлена на поверхні звукопроводу шляхом напилення ЗШП товщиною 300 нм, рис. 1.

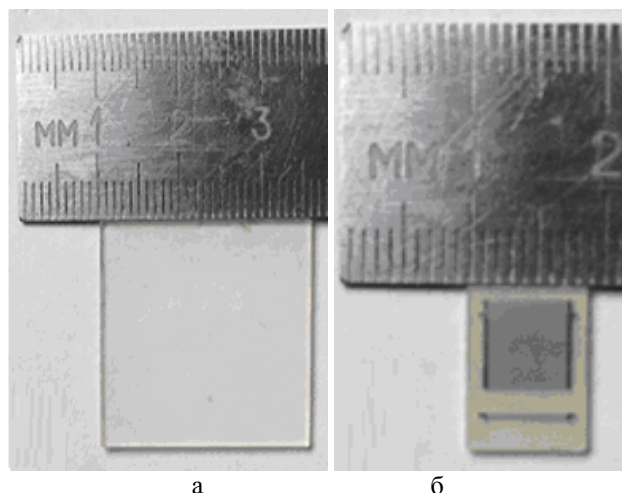


Рис. 1 – Зовнішній вигляд: а – пластини звукопроводу, б – лінії затримки на ПАХ

Полірування робочих поверхонь звукопроводів з ніобату літія здійснювалось на полірувальних станках типу ВІМ3.105.001 з використанням алмазної пасті АСМ 715 та АСМ 5/3 згідно ГОСТ 16877-71, та завершувалось алмазною пастою АСМ 1/10.

Вимірювання механічних напружень у звукопроводі (рис. 1а) виконувалось в режимі на просвіт вздовж кристалографічної осі Z, методика та метрологічні параметри якого докладно описані в роботах [6, 7]. Зв'язок величини двопронезаломлення δ_n з анізотропією показника заломлення $n_{\perp} - n_{\parallel}$, його відповідною різницею головних механічних напружень $\sigma_{\perp} - \sigma_{\parallel}$ та товщиною зразка d_z , при довжині хвилі $\lambda = 630$ нм описується виразами:

$$\delta_n = \frac{2\pi}{\lambda} d_z (n_{\perp} - n_{\parallel}), \quad (1)$$

$$\sigma_{\perp} - \sigma_{\parallel} = \frac{2\pi d_z (n_{\perp} - n_{\parallel})}{\lambda C}. \quad (2)$$

Розрахунок нормованого розподілу механічних напружень на основі результатів вимірювання параметрів Стокса лінійно поляризованого лазерного випромінювання, направлено під кутом 45° до його осей XY в режимі на просвіт представлено на рис. 2. Варто відмітити, що майже вся внутрішня структура звукопроводу має неоднорідні механічні напруження стиснення, а на краях – неоднорідні механічні напруження розтягу. Оскільки сили розтягу і сили стиснен-

ня є врівноваженими, то очевидно з рис. 2, що питома енергія сил розтягу набагато більша та зосереджена здебільшого на краях зразка. Відносна зміна механічних напружень зі знаком мінус відповідає силам розтягування, зі знаком плюс – силам стиснення. Відносна зміна показника заломлення лежить в межах $\Delta n = 10^{-6} \div 4 \cdot 10^{-4}$. Така дисперсія можлива не лише завдяки розподілу механічних напружень, але й через дійсний хімічний склад досліджуваного кристалу ніобату літію та точність кристалографічної орієнтації [8]. В будь-якому випадку, результати дослідження двопронезаломлення дають інформацію про однорідність властивостей звукопроводу в межах кристалу звукопроводу. Для визначення абсолютних значень величини механічного напруження необхідні додаткові дослідження константи фотопружності C та її залежності від геометричних параметрів звукопроводу та кристалографічної орієнтації.

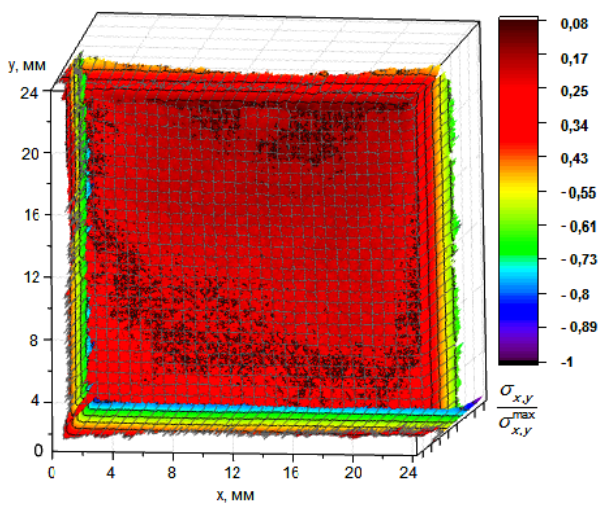


Рис. 2 – Нормований розподіл механічних напружень в пластині $LiNbO_3$ за нормальних умов ($d_z = 1$ мм), показник заломлення n може приймати значення від 2,29 до 2,2

Прийнявши константу фотопружності для ніобату літію $C=2,77 \cdot 10^{-9} \text{ Па}^{-1}$ [9], та підставивши її у рівняння (2) отримаємо абсолютні значення внутрішніх механічних напружень в діапазоні $\sigma_{\perp} - \sigma_{\parallel} = [1,15; -460]$ МПа. Причому, з врахуванням інструментальної похибки $\pm 10\%$ при вимірюваннях синхронно-фазовим вольтметром, методичної $\pm 5\%$ та похибок заокруглення отримаємо похибку розрахунків, яка не перевищує 20%.

Вимірювання величини анізотропії показника заломлення у звукопроводі ЛЗ на ПАХ (рис. 1б) проведено у відбитому від поверхні випромінюванні, оскільки ЗШП утворює оптично непрозору плівку. При великих значеннях показника поглинання та відбиття, відбите лазерне випромінювання формується в шарі, співрозмірному з довжиною поглинання, а при малих – потрібно враховувати двохразовий прохід випромінювання через товщину зразка, а також механізм взаємодії з відбиваючою поверхнею. На основі розв'язку рівнянь Максвелла для речовини з діелектричною проникністю ϵ використовується наступний вираз для

знаходження фази відбитої від анізотропного середовища електромагнітної хвилі [13]:

$$\delta_g = \arctg \left[\frac{2n'_y n''_y}{1 - (n'_y)^2 - (n''_y)^2} \right] - \arctg \left[\frac{2n'_x n''_x}{1 - (n'_x)^2 - (n''_x)^2} \right] \quad (3)$$

n'_y, n''_y – дійсна та уявна частини комплексного показника заломлення вздовж y -координати; n'_x, n''_x – дійсна та уявна частини комплексного показника заломлення вздовж x -координати. Оскільки матеріал звукопроводу $LiNbO_3$ має тригональну сингонію, ромбоєдричну структуру та набуває анізотропію діелектричних властивостей при одновісній деформації, то можна прийняти як модель – лінійну залежність показників заломлення від одновісного механічного напруження [10], що викликане напленням ЗШП:

$$\begin{aligned} n'_x &= n'_{0x} + C\sigma_x, \\ n''_x &= n''_{0x} + C\sigma_x, \\ n'_y &= n'_{0y} - \nu C\sigma_y, \\ n''_y &= n''_{0y} - \nu C\sigma_y, \\ \sigma_i &= \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}, \end{aligned} \quad (4)$$

де C – константа фотопружності; ν – коефіцієнт Пуассона (для $LiNbO_3$ $\nu=0,276$ [10]); σ_x, σ_y – компоненти приповерхневих механічних напружень σ_i вздовж ортогональних координат XY [5, 7].

Оптична схема приладу для знаходження n'_x, n''_x, n'_y, n''_y та вимірювання δ_g побудована за принципом інтерферометра Майкельсона, у якому застосовано фотопружний модулятор стану поляризації, рис. 3.

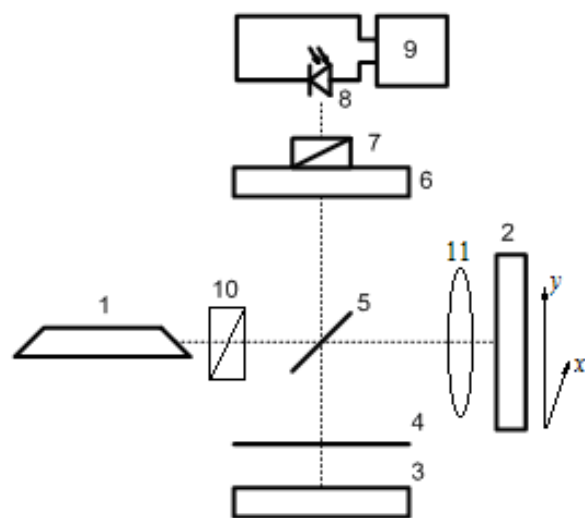


Рис. 3 – Оптична схема приладу для вимірювання механічних напружень у звукопроводі $LiNbO_3$ в режимі відбиття: 1 – лазер, 2 – звукопровід, 3 – дзеркало, 4 – чвертьхвильова фазова пластинка, 5 – напівпрозоре дзеркало, 6 – фотопружний модулятор, 7 – поляризатор, 8 – фотоприймач, 9 – синхронно-фазовий детектор, 10 – поляризатор, 11 – фокусуюча лінза

Для вимірювання відносно великих механічних напружень (порядку одиниць ГПа) у звукопроводах можливо використати поляризаційний метод реєстрації двопронезаломлення величиною $\Delta n = 10^{-3}$, описаний в [12]. У випадку малих значень механічних напружень $\Delta n = 10^{-12} \div 10^{-3}$, для їх виявлення можуть бути придатні здебільшого диференціальні методики модуляційної поляриметрії [13]. Висока чутливість диференціальних методик до зміни стану поляризації пояснюється тим, що окрім аналізу амплітуди, фази та частоти електромагнітного випромінювання додатково аналізуються параметри комплексного показника заломлення $N = n + ik$, який в анізотропній речовині описується двома компонентами дійсної складової n_{\parallel} , n_{\perp} та двома компонентами уявної складової - показника поглинання k_{\perp} і k_{\parallel} . Різниця складових показника заломлення впливає на різницю швидкостей ортогональних складових падаючого під азимутальним кутом $\theta = \pi/4$ лазерного випромінювання, що в свою чергу призводить до перетворення лінійного стану поляризації в еліптичний. Анізотропія показника поглинання спричиняє, крім еліптичної поляризації, зміну азимуту лазерного випромінювання. Вимірювання різниці між компонентами показника заломлення та поглинання дає додаткові параметри для розрахунку амплітуди та фази механічних напружень в матеріалах електроніки. На сьогодні обмеження чутливості вимірювання двопронезаломлення лежать в межах $\Delta n = 10^{-13} \div 10^{-12}$, що викликано переважно наявністю теплових та квантових шумів у вимірювальних приладах, а також чутливість залежить від часу накопичення корисного сигналу [6].

Для експериментального визначення величини двопронезаломлення у відбитому від анізотропної поверхні звукопроводу випромінюванні використана оптична схема вимірювання циркулярної компоненти вектора Стокса. Для цього в оптичній схемі на рис.3 в початковому стані на зразок падає лінійно поляризоване випромінювання довжиною хвилі $\lambda = 632$ нм та азимутом поля хвилі 45° відносно осей XY, а фотопружний модулятор налаштовано на реєстрацію циркулярно поляризованої компоненти лазерного випромінювання. Описана методика є універсальною, тому що дозволяє вимірювати механічні напруження у відбитті не лише в оптично прозорих матеріалах як то кварц, ніобат літію, але й в оптично непрозорих: кремній, германій, GaAs, CdS, CdTe, тощо [13].

Результати вимірювання двопронезаломлення δ_s в приповерхневій полірованій області ЛЗ на ПАХ одержані шляхом растрового сканування лазерним променем сфокусованим до діаметру 10 мкм. Остаточний розрахунок відносного розподілу механічних напружень методом сіток зроблений згідно виразів (3), (4). Для спрощення розрахунків область поверхні з напиленнями ЗШП вважається квазітонкою суцільною плівкою.

З врахуванням різних коефіцієнтів відбиття алюмінію та ніобату літію, результати розрахунків відносної зміни механічних напружень на рис. 4 демонструють очевидну неоднорідність величини анізотро-

пії механічних напружень на поверхні звукопроводу. Також слід відмітити, що шини ЗШП створюють максимальні механічні напруження розтягу порядку 4,6 ГПа, а ЗШП структура спричиняє напруження розтягу в межах [0,53; 2,65] ГПа.

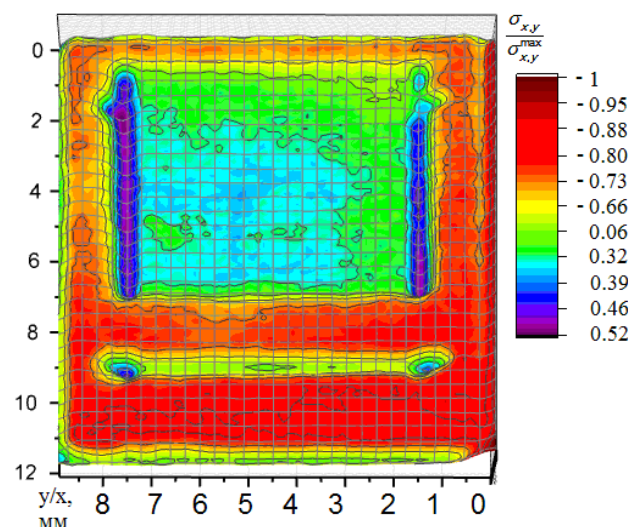


Рис. 4 – Нормований розподіл механічних напружень на поверхні звукопроводу ЛЗ на ПАХ

Для теоретичної оцінки експериментальних результатів використано підхід, представлений в роботі [11]. Механічні напруження, які створюють шини ЗШП (алюмінієві та з проміжним шаром титану), нанесені на кристалічну підкладку ніобату літію, розраховані згідно виразів:

$$\sigma_{Al} = \frac{E(a_0 - a_{Al})}{2\nu a_0} = 65,78 \text{ ГПа},$$

$$\sigma_{Ti} = \frac{E(a_0 - a_{Ti})}{2\nu a_0} = 31,69 \text{ ГПа},$$
(5)

де E – модуль Юнга (170 ГПа); a_0 – період кристалічної ґратки звукопроводу (0,515 нм); a_{Al} – період кристалічної ґратки алюмінію (0,405 нм), a_{Ti} – період кристалічної ґратки титану (0,465 нм), ν – коефіцієнт Пуассона (0,276).

Порівняння теоретичних розрахунків з результатами експериментальних досліджень демонструє розбіжність у 7–14 разів, але підтверджує порядок величини механічних напружень, які виникають після напилення ЗШП. Очевидно, що використовуючи проміжний шар титану 2–10 нм перед напиленням 300 нм алюмінієвих ЗШП, можна зменшити механічні напруження на поверхні звукопроводу удвічі. Наступні операції відпалювання після напилення шарів металізації, які не враховують вирази (5), можуть зменшити поверхневі механічні напруження у 4 і більше разів [6]. Також плівка алюмінію товщиною 300 нм на поверхні звукопроводу не може вважатись абсолютно тонкою, оскільки частина механічних напружень розсіюється в шарі металізації, так само як і в об'ємі підкладки (звукопроводу). Отже можна дійти висновку, що після технологічних операцій напилення металізації на поверхню звукопроводу вдається зменшити по-

верхнєві механічні напруження орієнтовно в 7 разів, але не вдалось позбавитись їх повністю. Залишкові механічні напруження на поверхні ЛЗ на ПАХ лежать в межах $[-8,85; 4,6]$ ГПа.

Висновки. Застосування диференційного методу модуляційної поляриметрії, який полягає у модуляції ортогональних компонент лінійної поляризованого лазерного випромінювання, дозволяє дослідити механічні характеристики звукопроводу та ЛЗ на ПАХ. Отримані результати демонструють, що при проектуванні пристроїв на ПАХ не варто нехтувати анізотропією механічних напружень в приповерхневій області звукопроводу. Необхідно заздалегідь закладати в технологічний процес методи, які не будуть враховувати амплітудну та фазову анізотропію властивостей матеріалів акустоелектроніки. Результати чутливого вимірювання фазового зсуву між ортогональними компонентами лазерного випромінювання отримано з використанням синхронно-фазового детектора UNIPAN 232В, що забезпечує відношення С/Ш на граничній чутливості різниці фаз $\Delta S = 2\pi \cdot 10^{-8}$ рад, не менше 65 дБ. Проведені вимірювання лежать в області $\Delta S = 2\pi \cdot 10^{-5}$ рад, що при часі накопичення сигналу 0,1 с дозволило отримати результати вимірювань з відношенням С/Ш=80 дБ.

Інструментальна та методична похибка проведених вимірювань не перевищують 20 %.

В перспективі описана методика може також використовуватись для досліджень фізичних параметрів не лише звукопроводів, але й оптично непрозорих полікристалічних та аморфних матеріалів (Si, C, CdS, CdTe, кераміка, тощо), в яких виникають механічні напруження внаслідок нанесення струмопровідних чи резистивних паст, напилення провідників, епітаксії, іонної імплантації і т.д.

Список літератури:

- Zhovnir, M. F. Mathematical Models of Pressure and Microdisplacement Sensors Based on Electric Field Perturbation of the Surface Acoustic Waves [Text] / M. F. Zhovnir, O. O. Oliinyk, L. D. Pysarenko // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2016. – № 8 (1). – P. 01024–1–01024–5. doi: [10.21272/jnep.8\(1\).01024](https://doi.org/10.21272/jnep.8(1).01024)
- Бурков, С. И. Влияние внешних статистических воздействий на распространение упругих волн в пьезокристаллах и слоистых структурах [Текст]: дис. докт. физ.-мат. наук: 01.04.03 / С. И. Бурков. – Сибирский федеральный университет. – Красноярск, 2016. – 274 с.
- Гук, Н. А. Идентификация геометрических параметров упругих свойств жестких включений в тонкой пластине [Текст] / Н. А. Гук, Н. И. Степанова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 2/7 (80). – С. 4–9. doi: [10.15587/1729-4061.2016.64395](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.64395)
- Жовнір, М. Ф. Розробка пристроїв на ПАХ для вимірювання лінійних та кутових переміщень. Частина 1 [Текст]: зб. наук. пр / М. Ф. Жовнір, О. О. Олійник // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2015. – № 52 (1161). – С. 60–65.
- Сердега, Б. К. Поляризаційно-модуляційна методика визначення абсолютних значень механічних напружень у сапфірових оптичних вікнах [Текст] / Б. К. Сердега, І. С. Матяш, В. П. Маслов, Н. В. Качур // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія: Приладобудування. – 2013. – Вип. 45. – С. 82–90.
- Matyash, I. E. Detection of stresses induced by heat flux in a solid by using a photoelastic microscope [Text] / I. E. Matyash, I. A. Minaylova, O. N. Mischuk, O. O. Oliinyk, B. K. Serdega, B. A. Tsyganok // Electronics and communications. – 2014. – Vol. 19, № 2 (79). – P. 9–22.
- Бекетов, Г. В. Фізичні основи поляриметрії високої інформаційної здатності [Текст]: монографія / Г. В. Бекетов, О. С. Климов, І. С. Матяш, Є. А. Оберемок, С. П. Руденко. – Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 249 с.
- Атучин, В. В. Зависимость показателей преломления ниобата лития от химического состава кристалла [Текст] / В. В. Атучин // Весник СибГУТИ. – 2009. – №3. – С. 39–45.
- Cordero-Montalvo, C. Piezo and thermo-optic behavior of LiTaO₃ [Text] / C. Cordero Montalvo, K. Vedam // Journal of Applied Physics. – 1981. – № 52 (2). – P. 944–947. doi: [10.1063/1.328782](https://doi.org/10.1063/1.328782)
- Нарасимхамурти, Т. С. Фотоупругие и электрооптические свойства кристаллов [Текст] / Т. С. Нарасимхамурти. – Москва: Мир, 1984. – 623 с.
- Шаповалов, В. А. Спин-волновой резонанс и его поверхностная мода в пленке мангалита [Текст] / В. А. Шаповалов // Физика и техника высоких давлений. – 2010. – Т. 20, № 1. – С. 56–61.
- Сусліков, Л. М. Новий метод вимірювання дисперсії двопронизаломлення анізотропних кристалів [Текст] / Л. М. Сусліков, З. П. Гадьмаші, С. В. Кун, С. Ю. Переш // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Фізика. – 1998. – Вип. 2. – С. 134–136.
- Сердега, Б. К. Модуляційна поляриметрія [Текст] / Б. К. Сердега. – Київ: Наукова думка, 2011. – 237 с.

Bibliography (transliterated):

- Zhovnir, M. F., Oliinyk, O. O., Pysarenko, L. D. (2016). Mathematical Models of Pressure and Microdisplacement Sensors Based on Electric Field Perturbation of the Surface Acoustic Waves. Journal of Nano- and Electronic Physics, 8 (1), 01024–1–01024–5. doi: [10.21272/jnep.8\(1\).01024](https://doi.org/10.21272/jnep.8(1).01024)
- Burkov, S. I. (2016). Influence of external statistical effects on the propagation of elastic waves in piezoelectric crystals and layered structures. Siberian Federal University, Krasnoyarsk, 274.
- Guk, N. A., Stepanova, N. I. (2016). Identification of the geometry and elastic properties of rigid inclusions in thin plate. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(7(80)), 4–9. doi: [10.15587/1729-4061.2016.64395](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.64395)
- Zhovnir, M. F., Oliinyk, O. O. (2015). Development of SAW devices for measuring linear and angular displacements. Part 1. Mechanical engineering systems and complexes, 52 (1161), 60–65.
- Serdega, B. K. (2013). Polarization-modulation method of determining the absolute values of mechanical stresses in sapphire optical windows. Bulletin National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». Series: Instrument, 45, 82–90.
- Matyash, I. E., Minaylova, I. A., Mischuk, O. N., Oliinyk, O. O., Serdega, B. K., Tsyganok, B. A. (2014). Detection of stresses induced by heat flux in a solid by using a photoelastic microscope. Electronics and communications, 19, 2 (79), 9–22.
- Beketov, H. V., Klymov, O. S., Matyash, I. Ye., Oberemok, Ye. A., Rudenko, S. P. (2013). Fizychni osnovy poliarymetrii vysokoi informatyvnoi zdatnosti. Kiev: NTUU «KPI», 249.
- Atuchyn, V. V. (2009). Zavsymost pokazatelei prelomleniya nyobata lytyia ot khymycheskoho sostava krystalu. Vesnyk SybHUTY, 3, 39–45.
- Cordero-Montalvo, C., Vedam, K. (1981). Piezo- and thermo-optic behavior of LiTaO₃. Journal of Applied Physics, 52 (2), 944–947. doi: [10.1063/1.328782](https://doi.org/10.1063/1.328782)
- Narasimhamurty, T. S. (1984). Photoelastic and electro-optical properties of crystals. Moscow: Myr, 623.
- Shapovalov, V. A. (2010). Spyn-volnovoї rezonans y eho poverkhnostnaia moda v plenke manhalyta. Fyzyka i tekhnika vysokykh davleniy, 20 (1), 56–61.
- Suslikov, L. M. (1988). New method for measuring dispersion of birefringence in anisotropic crystals. Scientific Bulletin of the Uzhgorod University. Series: Physics, 2, 134–136.
- Serdega, B. K. (2011). Modulation polarimetry. Kiev: Naukova Dumka, 237.

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Розрахунок механічних напружень на основі вимірювань двопронезаломлення у звукопроводах ПАХ-пристроїв/ О. О. Олійник, М. Ф. Жовнір, Б. А. Цыганок// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 66–71.– Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Расчет механических напряжений на основе измерений двулучепреломления в звукопроводах ПАВ-устройств/ О. О. Олейник, Н. Ф. Жовнир, Б. А. Цыганок// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 66–71. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Calculation of mechanical stresses based on birefringence measurements in sound conductors of SAW-devices/ О. О. Oliinyk, М. F. Zhovnir, В. А. Tsyganok //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P. 66–71. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Олійник Остап Олегович – НТУУ «КПІ», асистент Кафедри електронних приладів та пристроїв, адреса: вул. Політехнічна, 16, м. Київ, Україна, 03056. e-mail.: ostap.oliinyk@gmail.com

Олейник Остап Олегович – НТУУ «КПИ», ассистент Кафедры электронных приборов и устройств, адрес: ул. Политехническая, 16, г. Киев, Украина, 03056. e-mail.: ostap.oliinyk@gmail.com

Ostap Oliinyk – NTUU “KPI”, assistant of Electronic Devices and Equipment Department, address: 16 Polytechnic str., Kyiv, Ukraine, 03056. e-mail.: ostap.oliinyk@gmail.com

Жовнір Микола Федорович – кандидат технічних наук, НТУУ «КПІ», доцент Кафедри електронних приладів та пристроїв, адреса: вул. Політехнічна, 16, м. Київ, Україна, 03056

Жовнир Николай Федорович – кандидат технических наук, НТУУ «КПИ», доцент Кафедры электронных приборов и устройств, адрес: ул. Политехническая, 16, г. Киев, Украина, 03056

Mykola Zhovnir – candidate of technical sciences, NTUU “KPI”, associate professor of Electronic Devices and Equipment Department, address: 16 Polytechnic str., Kyiv, Ukraine, 03056

Цыганок Борис Архипович – кандидат технічних наук, НТУУ «КПІ», професор Кафедри електронних приладів та пристроїв, адреса: вул. Політехнічна, 16, м. Київ, Україна, 03056

Цыганок Борис Архипович – кандидат технических наук, НТУУ «КПИ», профессор Кафедры электронных приборов и устройств, адрес: ул. Политехническая, 16, г. Киев, Украина, 03056

Borys Tsyganok – candidate of technical sciences, NTUU “KPI”, professor of Electronic Devices and Equipment Department, address: 16 Polytechnic str., Kyiv, Ukraine, 03056

УДК 004.78: 65.012

А. П. СОБЧАК, О. П. ПОПОВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЛИЦА ПРИНИМАЮЩЕГО РЕШЕНИЯ НА ВИРТУАЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ. ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Проведено аналіз математичних моделей, що описують поведінку керівника віртуального підприємства. Висвітлено проблеми створення штучного інтелекту, як сукупності засобів програмного забезпечення, які за своїм принципом дії схожі з інтелектом людини і суттєво полегшують його розумову працю, допомагають у вирішенні завдань і розширюють межі пізнання навколишнього світу і визначення, що необхідно зробити для того, щоб принцип дії і оперативності штучного інтелекту був максимально наближений до людського мозку, при цьому встановлено зв'язок штучного і природного інтелекту.

Ключові слова: моделювання, віртуальне підприємство, особа, яка приймає рішення, штучний інтелект, інформаційні технології.

Проведен анализ математических моделей, описывающих поведение руководителя виртуального предприятия. Освещены проблемы создания искусственного интеллекта, как совокупности средств программного обеспечения, которые по своему принципу действия сходны с интеллектом человека и существенно облегчают его умственный труд, помогают в решении задач и расширяют границы познания окружающего мира и определения, что необходимо предпринять для того, чтобы принцип действия и оперативности искусственного интеллекта был максимально приближен к человеческому мозгу, при этом установлена связь искусственного и естественного интеллекта.

Ключевые слова: моделирование, виртуальное предприятие, лицо принимающее решение, искусственный интеллект, информационные технологии.

The analysis of mathematical models describing the behavior of the head. Efforts in torture comprehension problems of artificial intelligence, as a set of software tools, which by their principle of operation similar to the intelligence of man and essentially obleg-chayut his intellectual work, help in solving various kinds of problems and extend the boundaries of knowledge of the world and determine that need to be taken to ensure that the principle of action and efficiency of artificial intelligence as close as possible to the human brain. It was revealed to more deeply understand and appreciate the natural intelligence which man possesses, and to develop a model of their own actions at a certain level. The connection of artificial and natural intelligence, the advantages and disadvantages of each of them identified. Consideration of how to implement the knowledge in using artificial intelligence system "artificial and natural intelligence." The necessity of taking into account the limitations in the construction of systems with artificial intelligence and setting behavior analyzer according to the type of human nature.

It proposed a comprehensive understanding of the human brain as a complex, evolving, dynamic, procedural system, and the principles of mapping and processing of information received by a person from the surrounding reality.

The practical significance of the study is to establish the need to address restrictions on the construction of systems with artificial intelligence and setting behavior analyzer according to the type of human nature.

Keywords: modeling, virtual enterprise, decision maker, artificial intelligence, information technology.

Введение. Виртуальное предприятие – предприятие, состоящее из сообщества территориально распределенных субподрядчиков, которые взаимодействуют в процессе производства, функционирующего через телекоммуникационные средства.

Любые информационные системы поддержки принятия решений по своему определению предназначены для помощи по объективному оцениванию, прогнозированию и управлению предприятием руководителем или, как принято называть, лицом принимающим решение (ЛПР), который в свою очередь является человеком со свойственным ему характером психологическим состоянием, что нельзя не учитывать при использовании информационных технологий на производстве.

В настоящее время понятия «модель», «моделирование», а также понятия «психические процессы», используются в психологии довольно часто. «Модель» понимается, как уменьшенная копия или образец изучаемых психических процессов. А «моделирование» – как построение таких копий или образцов. В информатике «под моделью некоторого объекта понимается другой объект (реальный, знаковый или воображаемый), отличный от исходного, который обладает существенными для целей моделирования свойствами и в рамках этих целей полностью заменяет исходный объект [1, 2].

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Известно довольно много моделей отдельных психических процессов и состояний, разработанных отечественными исследователями [1–5].

Искусственный интеллект в разное время исследовали многие отечественные и зарубежные авторы [6–10]. Среди исследователей [3] в настоящее время распространено мнение, что математическое моделирование в психологии предполагает не только построение, но и верификацию, т.е. проверку, полноты и адекватности, моделей психических процессов и состояний. Кроме того, с помощью математических моделей обычно стремятся найти новые свойства моделируемых объектов [3, 11]. Это становится возможным, когда модели заставляют функционировать в тех условиях, в которых моделируемый объект никогда не был. Последнее, по мнению ряда авторов, в частности, [1] и др., отличает математическое моделирование от простого формального описания объекта. Модели одного и того же объекта обычно отличаются одна от другой полнотой и адекватностью. Полнота модели – степень соответствия элементов модели и их отношений элементам и отношениям моделируемого объекта. Адекватность – способность модели продемонстрировать то же поведение, что и моделируемый объект. Справедливо считается, что модель тем удачнее, чем более она полна и чем выше ее адекватность. Принимается, что психические явления более сложны и многообразны, чем явления физического мира. Поэтому отображающие их модели должны выражаться более сложными математическими конструкциями, требующими больших усилий по созданию, преобразованию и интерпретации.

© А. П. Собчак, О. П. Попова, 2016

Цель и задачи исследования. Задача моделирования поведения лица принимающего решения, отражает в себе основные проблемные моменты, сложившиеся в философии, психологии, социологии, кибернетике и в прочих науках. Очевидно, что вопросы, поднятые в ней, имеют фундаментальное значение как для познания человеком окружающего мира, так и самого себя. Также не вызывает сомнения, что ответы на эти вопросы могут быть найдены на пересечении разных научных дисциплин – путем объединения методов и принципов, изначально относящихся к разным областям формализованного знания. Цель – поиск парадигмы, которая позволила бы разработать общую модель поведения человека.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) построение математических моделей психических процессов и поведения руководителя виртуального предприятия;
- 2) провести анализ подходов к моделированию искусственного интеллекта;
- 3) Введение ограничений искусственного интеллекта по типу характера человека (установить необходимость учета ограничений при построении систем с искусственным интеллектом).

Математические модели психических процессов лица принимающего решения на виртуальном предприятии. При построении математических моделей психических процессов и поведения руководителя виртуального предприятия применена аксиома выбора Д.Льюиса, стохастические модели обучения Р. Буша, Ф. Мостеллера, Р. Аткинсона, Г. Бауэра, В. Эстеса, М. Цетлина.

Главная задача математической психологии – это построение математических моделей психических процессов и поведения руководителя виртуального предприятия. Первые модели (например, аксиома выбора Д.Льюиса, стохастические модели обучения Р. Буша, Ф. Мостеллера, Р. Аткинсона, Г. Бауэра, В. Эстеса, М. Цетлина) способствовали решению этой задачи. Однако, каждая из них описывала поведение человека строго в той или иной ситуации. Поэтому наиболее важной задачей математической психологии является поиск такой парадигмы, которая позволила бы разработать общую модель поведения человека [2]. В данной статье рассмотрим человека - руководителя т.е. лицо принимающее решение.

Для моделирования взаимодействия субъекта и среды используется аппарат исследования операций. Математические модели в психологии по методам исследования операций в основном можно разделить на:

- 1) Детерминированные – теория графов, геометрическое моделирование, логико-математические модели.
- 2) Стохастические – вероятностные, теории игр, теории полезности, динамическое программирование.
- 3) Синергетические.

Единственной к настоящему времени удачной попыткой создания общей модели рефлексивного поведения является формула человека [10]. Модель обладает большой прогностической силой. В теории рефлексивных процессов В [10] предполагается, что субъект живёт в мире, в котором существуют два полю-

са – позитивный и негативный. Субъекту соответствуют четыре переменные: значения X_1, x_2, x_3, x_1 [0, 1]:

- x_1 – это мера давления мира, склоняющего субъекта выбрать положительный полюс;
- x_2 – субъективная оценка давления мира в сторону позитивного полюса;
- x_3 – мера интенции субъекта выбрать положительный полюс;

X_1 – мера готовности субъекта выбрать положительный полюс. Если $X_1 = 1$, то субъект готов выбрать положительный полюс; Если $X_1 = 0$, - то отрицательный.

Теоретической моделью субъекта является формальный оператор $X_1 = f(x_1, x_2, x_3)$. Чтобы определить конкретный вид функции, Лефевр формулирует три аксиомы:

1. Аксиома свободы воли означает, что если мир плох ($x_1 = 0$) и воспринимается субъектом как таковой ($x_2 = 0$), то любая субъективная интенция превращается в объективную готовность: $X_1 = x_2 = x_3$.

2. Аксиома незлонамеренности утверждает, что если мир подталкивает субъекта к совершению хорошего поступка ($x_1 = 1$), то тот всегда совершает хороший поступок: $X_1 = 1$ при любых x_1 и x_3 .

3. Аксиома доверчивости утверждает, что если субъект видит мир идеальным ($x_2 = 1$), то он готов совершить действия по требованию мира.

Если функция $f(x_1, x_2, x_3)$ линейна по каждой из переменных, и выполнены все аксиомы, то $X_1 = f(x_1, x_2, x_3) = x_1 + x_3 - x_1 x_3 - x_2 x_3 + x_1 x_2 x_3$.

Модель Лефевра позволяет выявить роль «золотого сечения» в задачах выбора, объяснить различие в результатах психофизических опытов с категориальной и магнитудной стимуляцией [6].

Одним из количественных методов изучения психических явлений и процессов, адекватно отражающих их системный характер, признан метод МШ. С его помощью анализируются попарные различия D_{ij} между элементами i и j , в результате чего строится геометрический образ системы. Элементы системы изображаются точками моделирующего пространства, а связям между элементами соответствуют расстояния d_{ij} между i и j . Модели МШ можно расклассифицировать по двум основаниям.

По типу данных, полученных в эксперименте:

- прямое субъективное шкалирование (задана одна матрица близостей D_{ij});
- модель предпочтений (задана матрица близостей D_{ij} и матрица предпочтений);
- модель индивидуального шкалирования (задано несколько матриц близостей).

По процедуре реализации метода:

- метрическое шкалирование (расстояние в реконструируемом пространстве d_{ij} пропорционально различиям D_{ij} , полученным в эксперименте);
- неметрическое шкалирование (данные D_{ij} монотонно связаны с расстояниями d_{ij} в пространстве Минковского) [2].

Вероятностные модели представляют самый широкий класс моделей в психологии. Модели такого типа существуют почти во всех её разделах. Далее будут приведены лишь отдельные, наиболее характерные примеры.

Так, в моделях наущения есть класс вероятностных моделей. Примером общей вероятностной модели процесса наущения является модель, имеющая два подмножества гипотез. (K. Chow, J. Cotton, 1983; Ch. Brainerd, 1982). Согласно этим моделям, испытуемый выдвигает гипотезу из одного подмножества; в случае верного решения в следующем испытании гипотеза выдвигается из этого же множества, а в случае неудачи – с вероятностью p происходит выбор одного из двух подмножеств. Однако модели, имеющие три подмножества гипотез, более адекватно отражают процесс идентификации понятий [7].

В качестве примера адекватной вероятностной модели можно привести разработанную А. Дрынковым (1985) модель, описывающие кривые наущения и представляющую собой автомат-подкрепление со счётным множеством расстояний.

Предметом исследования является искусственный интеллект как элемент, расширяющий лицу принимающему решения границы познания окружающей действительности и дающий возможность понять саму суть процесса конструирования, происходящего в мозге.

Объектом исследования является проблема создания искусственного интеллекта.

Механизм искусственного интеллекта. Сегодня следует по-новому взглянуть на сущность процесса познания человеком окружающей его действительности. Немаловажную роль в этом процессе играет искусственный интеллект. Необходимо оценить то, какую пользу и помощь может он оказать человеку – лицу принимающему решения, в познании им окружающего мира. В данной работе изучаются механизмы мышления ЛПР, познавательные и творческие способности систем искусственного интеллекта. В изучении механизмов мышления искусственный интеллект выступает в качестве теоретической модели и сравнивается с естественным (человеческим) интеллектом. Результаты сравнения осмысливаются на основании нового направления - конструктивистской эпистемологии.

Конструктивистская эпистемология - это направление, включающее в себя ряд выводов, касающихся природы знания и конструирования реальности в процессе познания человеком окружающей его действительности. Процесс познания человеком окружающей его действительности, с позиций конструктивистской эпистемологии, представляет собой конструирование посредством нашего сознания всех предметов и объектов, которые находятся в окружающем нас мире. Основной идеей конструктивистской эпистемологии является идея кругообразности, так как она, как любая теория познания, одновременно является теорией и моделью о самой себе [3].

В компьютерных технологиях, которые относятся к системам искусственного интеллекта, виртуальная реальность конструируется с помощью компьютера, который в данном случае выступает в качестве искусственного мозга, одновременно являясь как частью искусственно созданной им действительности, так и той реальной действительности, в которой он в данный момент находится относительно человека, работающего на нем и в которой находится, непосредственно, и сам человек, как и все остальные предметы и объекты, окружающие его. Так как искусственный интеллект в чистом виде должен представлять собой систему, которая по своему принципу действия и структуре очень сходна с мозгом человека, то многие принципы и критерии конструктивистской эпистемологии можно соотнести также и к нему [4].

Предыдущее столетие отмечено первыми попытками дать определение Искусственному Интеллекту, построить парадигму для его реализации и даже предвосхитить могущие от этого быть последствия. Однако, когда дело доходило до проверки практикой тех или иных теоретических построений — процесс упирался в тупик, который был обусловлен двумя причинами:

а) недостаточный уровень развития технических средств моделирования поведения человека;

б) отсутствие четких формальных определений признаков разумности и/или человечности поведения.

При этом, если первая причина в наши дни постепенно сходит на нет, то вторая продолжает оставаться препятствием на пути построения адекватных моделей человеческого поведения.

Возникший кризис привел к бифуркации проблемы на две следующие:

Первая: моделирование разумности, как воплощение функций восприятия и познания (реализация рациональности). Вторая: моделирование интенциональности, как создание механизма индивидуальности и достижение персональности поведения (реализация ментальности) [4].

На сегодняшний день исследования в области искусственного интеллекта ведутся по следующим направлениям: представление знаний, которое включает в себя «онтологии порталов знаний», содержащие описание структуры и типологии информационных ресурсов сети Интернет, а также моделирование рассуждений, приобретение знаний, машинное обучение и автоматическое порождение гипотез, интеллектуальный анализ данных и обработка образной информации, многоагентные системы, динамические интеллектуальные системы и планирование и т.д.

У всех типах характеров человека есть как позитивные, так и негативные стороны, сведенные в табл. 1, которые необходимо учитывать в виде наложения ограничений при построении ИИ.

Таблица 1 – Положительные и отрицательные черты различных типов характера

Тип характера	Положительные черты	Отрицательные черты
Шизоидный	1) Хорошая память 2) Умение замечать детали 3) Творческий подход к выполнению дел	1) Страх быть непонятым окружающими 2) Уход в себя 3) Редкое проявление эмоций 4) Отстраненность от окружающих
Нарциссический	1) Заниженное чувство агрессивности	1) Преувеличенное чувство собственной значимости 2) Резкое неприятие критики 3) Неспособность к самозащите 4) Острая потребность в заботе и поддержке
Параноидальный	1) Инстинкт самосохранения на высоком уровне	1) Подавленность 2) Недоверчивость 3) Обостренное чувство опасности 4) Острая подозрительность к людям 5) Неадекватные эмоциональные взрывы
Обсессивно-компульсивный	1) Повышенное внимание к мелочам и деталям 2) Опрятность 3) Бережливость 4) Стремление к совершенству	1) Нерешительность 2) Сомнительность 3) Отсутствие чувства юмора
Психопатический (антисоциальный)	1) Наличие качеств лидера	1) Неспособность к длительным отношениям 2) Тотальная недоверчивость 3) Низкий порог агрессивности
Истерический	1) Сердечность 2) Человечность 3) Хорошо развит инстинкт самосохранения	1) Острая чувствительность к происходящему
Депрессивный и маниакальный		1) Маниакальное состояние самоуничтожения 2) Глубокая самокритика 3) Болезненная реакция на критику 4) Легко поддаются любому влиянию
Мазохический		1) Скованность 2) Неестественность 3) Неуверенность 4) Чрезмерная скромность 5) Добровольная униженность

Обсуждение результатов исследования моделирования поведения лица принимающего решения на виртуальном предприятии. Искусственный интеллект определен как исследовательская область эпистемологии как науки и техники, которая изучает соотношение искусственного интеллекта и естественного, место и роль искусственного интеллекта в познании.

Выявлено логико-эпистемологическое основание искусственного интеллекта, критерии которого сводятся к первостепенной роли мыслительных операций.

Теоретическая и практическая ценность полученных результатов определяется актуальностью разработки современных проблем искусственного интеллекта, их философского осмысления, места и роли в различных сферах познания и деятельности и введение ограничений.

В данной статье практическая значимость исследования заключается в установлении необходимости учета ограничений представленных в табл. 1 при построении систем с искусственным интеллектом и настройке поведенческого анализатора по типу характера человека.

В результате проведенной работы обобщим:

1. Искусственный интеллект – это система, которая имеет много сходных особенностей с человеческим мозгом. Человек конструирует системы искусственного интеллекта при помощи естественного интеллекта.

2. Искусственный интеллект помогает человеку в познании самого себя (своего внутреннего мира), и того мира, в котором он живет (внешнего мира).

3. Искусственный интеллект дает возможность более глубоко понять и оценить естественный интеллект, которым человек обладает, и разработать модель своих собственных действий на некотором уровне.

4. Искусственный интеллект существенно облегчает умственный труд человека, беря на себя трудоемкую часть его работы, и помогает в решении стоящих перед ним задач.

Проблема создания искусственного интеллекта остается в настоящее время до конца не разрешенной. Несмотря на то, что искусственный интеллект является предметом исследования многих областей научного знания, таких как информатика, кибернетика, нейробиология, робототехника и результатов, которых достигли исследователи, все же нельзя сказать, что он на сегодняшний день уже создан. Ведь, фактически, искусственный интеллект – это мозг, сконструированный искусственно, который по принципу действия и оперативности должен быть максимально приближен к человеческому мозгу.

Для того чтобы достигнуть такого результата, необходимо досконально изучить человеческий мозг, его механизмы, то, как они взаимосвязаны и взаимодействуют, все процессы, происходящие в нем, принципы действия и восприятия информационного пото-

ка из окружающего мира, познавательные возможности. Человеческий мозг в настоящее время на должном уровне не изучен, поэтому разработаны и существуют лишь отдельные элементы искусственного интеллекта.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено:

1. Предложено комплексная модель понимания человеческого мозга как сложной, развивающейся, динамической, процессуальной системы, а также принципов отображения и переработки получаемой руководителем виртуального предприятия информации из окружающей его реальной действительности. Рассмотрены процессы конструирования реальной действительности в сознании ЛПР.

2. Проведен анализ подходов к моделированию искусственного интеллекта. При чем установлено, что познание при помощи систем искусственного интеллекта осуществляется путем взаимодействия и обмена информацией между человеком и компьютером, в системе «искусственный и - естественный интеллект». Искусственный и естественный интеллект дополняют друг друга. Например, такие недостатки естественного интеллекта, как медлительность дополняются быстротой действия систем искусственного интеллекта и, наоборот, искусственной интеллект, обладая малой способностью к креативности (созиданию), дополнен креативностью естественного интеллекта.

3. Установлена необходимость учета ограничений при построении систем с искусственным интеллектом на примере ограничений по типу характера человека.

Список литературы:

1. Гаазе-Рапопорт, М. Г. От амебы до робота. Модели поведения [Текст] / М. Г. Гаазе-Рапопорт, Д. А. Поспелов. – Москва: Наука, 1987. – 285 с.
2. Поспелов, Г. С. Искусственный интеллект основа новой информационной технологии [Текст] / Г. С. Поспелов. – Москва: Наука, 1988. – 280 с.
3. Журавлев, А. Л. Программа социально-психологического исследования выборов руководителей трудовых коллективов [Текст] / А. Л. Журавлев, Е. В. Тугарева // Методики социально-психологической оценки личности и группы. – 2002. – С. 191–209.
4. Андрейчиков, А. В. Интеллектуальные информационные системы [Текст] / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – Москва: Финансы и статистика, 2004. – 424 с.
5. Васильев, С. Н. Интеллектуальное управление диалектическими системами [Текст] / С. Н. Васильев, А. К. Жерлов, Б. Е. Федун. – Москва: Физматлит, 2000. – 352 с.
6. Алексеева, И. Ю. Человеческое знание и его компьютерный образ [Текст] / И. Ю. Алексеева. – Москва: ИФРАН, 1993. – 218 с.

7. Рябов, Г. Г. Комплексные фундаментальные исследования интеллекта путь к созданию компьютерных технологий новых поколений [Текст] / Г. Г. Рябов, В. В. Суворов // Вычислительные методы программирование. – 2005. – № 6. – С. 2–7.
8. Сосновекий, Б. А. Интеллект общая способность к рациональному познанию, разумному (адекватному поведению в проблемных ситуациях) [Текст] / Б. А. Сосновекий. – Москва: Юрсайт, 2005. – 489 с.
9. Johnson, D. K. Reclaiming reality: a critique of Maturana's ontology of the observer [Text] / D. K. Johnson // Methodologia. – 1991. – Vol. 9. – P. 7–31.
10. Лёфевр, В. А. Логика рефлексивных игр и рефлексивное управление [Текст] / В. А. Лёфевр. – Тбилиси: Мецниереба, 1967. – 164 с.
11. Дружинин, В. Н. Экспериментальная психология [Текст]: уч. пос. / В. Н. Дружинин. – Москва: ИНФРА-М, 1997. – 256 с.
12. Гуминський, Р. В. Методика прийняття рішення щодо протидії інформаційним загрозам віртуальних спільнот [Текст] / Р. Гуминський // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 2/2 (74). – С. 4–8.
13. Штерн, В. Дифференциальная психология и ее методические основы [Текст] / В. Штерн. – Москва: Наука, 1998. – 336 с.

Bibliography (transliterated):

1. Gaaze-Rapoport, M. G., Pospelov, D. A. (1987). Ot ameby do robota. Modeli povedenija. Moscow: Nauka, 285.
2. Pospelov, G. S. (1988). Iskustvennyj intellekt osnova novoj informacionnoj tehnologii. Moscow: Nauka, 280.
3. Zhuravlev, A. L., Tugareva, E. V. (2002). Programma social'no-psihologicheskogo issledovanija vyborov rukovoditelej trudovyh kollektivov. Metodiki social'no-psihologicheskoy ocenki lichnosti i grupy, 191–209.
4. Andrejchikov, A. V., Andrejchikova, O. N. (2004). Intel'ktual'nye informacionnye sistemy. Moscow: Finansy i statistika, 424.
5. Vasil'ev, S. N., Zherlov, A. K., Fedunov, B. E. (2000). Intel'ktnoe upravlenie dialekticheskimi sistemami. Moscow: Fizmatlit, 352.
6. Alekseeva, I. Ju. (1993). Chelovecheskoe znanie i ego komp'juternyj obraz. Moscow: IFRAN, 218.
7. Rjabov, G. G., Suvorov, V. V. (2005). Kompleksnye fundamental'nye issledovanija intellekta put' k sozdaniju komp'juternyh tehnologij novyh pokolenij. Vychitatel'nye metody programmirovaniya, 6, 2–7.
8. Sosnovckij, B. A. (2005). Intel'kt obshhaja sposobnost' k racional'nomu poznaniyu, razumnomu (adekvatnomu povedeniju v problemnyh situacijah). Moscow: Jursajt, 489.
9. Johnson, D. K. (1991). Reclaiming reality: a critique of Maturana's ontology of the observer. Methodologia, 9, 7–31.
10. Lefevr, V. A. (1967). Logika refleksivnyh igr i refleksivnoe upravlenie. Tbilisi: Mecniereba, 164.
11. Druzhinin, V. N. (1997). Jeksperimental'naja psihologija. Moscow: INFRA-M, 256.
12. Huminsky, R. V. (2015). Methods of decision making on counteraction to informational threats to virtual communities. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(2(74)), 4–8. doi:[10.15587/1729-4061.2015.38016](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.38016)
13. Shtern, V. (1998). Differencial'naja psihologija i ee metodicheskie osnovy. Moscow: Nauka, 336.

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Моделивання поведінки особи приймає рішення відповідно до віртуальному підприємством. застосування моделей в інформаційних технологіях/ А. П. Собчак, О. І. Попова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.72–77. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Моделирование поведения лица принимающего решения на виртуальном предприятии. применение моделей в информационных технологиях/ А. П. Собчак, О. И. Попова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механі-

ко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.72-77. – Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Modeling the behavior of decision makers in the virtual enterprise. application of models in information technology/ A. Sobchak, O. Popova/Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P.72 –77. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Собчак Андрій Павлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри менеджменту, докторант Національного аерокосмічного університету ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», вул. Чкалова, 17, Харків, Україна, 61070, e-mail: Sobchak@ukr.net

Попова Ольга Ігорівна – комерційний директор товариства з обмеженою відповідальністю Науково-Виробниче Підприємство «КИАТОН», вул. Астрономічна 17/40, Харків, Україна, 61085, e-mail: Batbkivna@ukr.net

Собчак Андрей Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры менеджмента, докторант Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», ул. Чкалова, 17, Харьков, Украина, 61070, e-mail: Sobchak@ukr.net

Попова Ольга Игоревна – коммерческий директор общества с ограниченной ответственностью Научно-Производственное Предприятие «КИАТОН», ул. Астрономическая 17/40, Харьков, Украина, 61085, e-mail: Batbkivna@ukr.net

Sobchak Andrii – candidate of technical sciences, Department of Management, assistant professor of management, doctoral candidate of the National Aerospace University Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute" str. Chkalov, 17, Kharkiv, Ukraine, 61070, e-mail: Sobchak@ukr.net

Popova Olga – commercial director of a limited liability company Scientific Production Enterprise "KIATON" str. Astronomichna 17/40, Kharkov, Ukraine, 61085 e-mail: Batbkivna@ukr.net

**ТЕХНОЛОГІЇ ТА
ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА**

УДК 656.13:629.114

Ю. А. МОНАСТИРСЬКИЙ, А. С. ВІВЧАРИК**ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ КАР'ЄРНОГО АВТОСАМОСКИДУ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ГАРЯЧИХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНИХ ШЛАКІВ**

Виконано теоретичні дослідження методом кінцевих елементів розподілу температурних полів в елементах конструкції кар'єрного автосамоскиду при перевезенні гарячих сталеплавильних шлаків при різних ступенях завантаження та різних порах року. Результати досліджень можуть бути використані при експлуатації спеціальної техніки, що перевозить гарячі сипучі вантажі. Розроблені заходи по зниженню негативного впливу високих температур на надійність роботи кар'єрних автосамоскидів.

Ключові слова: кар'єрний автосамоскид, метод кінцевих елементів, температурні поля, сталеплавильні шлаки.

Выполнены теоретические исследования методом конечных элементов распределения температурных полей в элементах конструкции карьерного автосамосвала при перевозке горячих сталеплавильных шлаков при разных степенях загрузки и разных временах года. Результаты исследований могут быть использованы при эксплуатации специальной техники, которая перевозит горячие сыпучие грузы. Разработаны мероприятия по снижению негативного влияния высоких температур на надежность работы карьерных автосамосвалов.

Ключевые слова: карьерный автосамосвал, метод конечных элементов, температурные поля, сталеплавильные шлаки.

The questions related to exploitation of open-pit dump tracks by the carrying capacity of 45 t on transportation of hot at a temperature to 800°C of steel-smelting slags on metallurgical productions are examined in the article.

The certainly-element model of open-pit dump tracks of BELAZ is first created by the carrying capacity of 45 t. Executed theoretical researches and distributions of the temperature fields are set in the elements of construction of open-pit dump tracks at transportation of hot steel-smelting slags at the different degrees of loading and different seasons.

As a result of undertaken theoretical studies it is set that change of temperature of slag from 400°C to 800°C and seasons (ambient temperatures are from 0°C to +20°C) influence on the temperature of platform, wheels, tires and other constituents of open-pit dump tracks by the carrying capacity of 45 t, but maximal values of temperature of heating of the marked components open-pit dump track does not exceed them workers of temperatures.

Comparison of falling of temperature shows on the ribs of inflexibility of platform, that at the different absolute values of falling of temperature, the relative to the temperature of slag falling of temperature for all calculations folds 33±0,5 %.

The results of researches can be used on during exploitation of the special technique that transports hot friable loads.

Keywords: open-pit dump track, finite element method, temperature fields, steel-smelting slags steelmaking slags/

Вступ. В Україні на всіх металургійних підприємствах працюють кар'єрні автосамоскиди на перевезенні сталеплавильних шлаків. Відносно мала кількість досить специфічних машин на окремому підприємстві обумовлює необхідність у додаткових витратах для підтримання працездатного стану машин силами автосамоскидів. Від ефективної роботи кар'єрних самоскидів залежать основні показники роботи переробного комплексу металургійного комбінату. Для прибирання шлаку з печей і транспортування його на переробку або у відвал на ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» використовують кар'єрні автосамоскиди БелАЗ вантажопідйомністю 45 т, температура шлаку становить близько 800°C. Кар'єрні самоскиди призначені для перевезення гірничої маси з температурою, що дорівнює температурі оточуючого середовища і недостатньо пристосовані для перевезень високотемпературних сипучих вантажів, тому врахування впливу температурних показників на зміни технічного стану самоскидів з наступними змінами у підходах до періодичності та обсягів робіт з технічного обслуговування, обґрунтування норм експлуатації мастильних матеріалів, на основі сучасних теоретичних досліджень, дозволить підвищити ефективності роботи кар'єрних самоскидів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. При перевезенні гарячих шлаків температурний режим залежить від багатьох факторів, головними з яких є температура самого вантажу, оточуючого середовища а також інтенсивність теплообміну

при русі машин. Крім зазначеного на температурний режим впливають довжина маршруту, стан дорожнього покриття, час руху автомобіля з вантажем. Слід зауважити, що ці фактори діють обопільно.

Проблема і дійсні значення температурних режимів роботи автосамоскидів в умовах перевезення гарячого шлаку майже не висвітленні, або обмежені малою кількістю статей. Серед них на особливу увагу заслуговує роботи Паранукяна В.С. та Помазкова М.В. щодо дослідження дійсних температурних режимів роботи автосамоскидів БелАЗ-7540 вантажопідйомністю 30 т в умовах доменного та сталеплавильного виробництва [1–5]. У порівнянні з умовами ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в даному випадку машини мають в 1,5 рази меншу вантажопідйомність та температура шлаків коливається в межах 300-400°C, що практично в 2 рази менше. Питання експлуатації, технічного сервісу та надійності роботи кар'єрних автосамоскидів з гідромеханічною трансмісією в Україні практично не розглядаються, а особливо стосовно експлуатації в специфічних умовах металургійних підприємств [6–8]. Авторами раніше були виконані дослідження надійності роботи та експериментально за допомогою тепловізорної зйомки визначені розподіли температурних полів в кар'єрних автосамоскидах вантажопідйомністю 45 т цеху технологічного транспорту ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [9–11].

Ціль та задачі дослідження. Ціллю математичного моделювання являлося визначення розподілу

© Ю. А. Монастирський, А. С. Вівчарик. 2016

температурних полів по елементах конструкції кар'єрних автосамоскидів при різних температурах сталеплавильного шлаку, що перевозився, з наступним порівнянням з результатами тепловізійної зйомки.

Першим етапом дослідження було створення геометричної моделі кар'єрного автосамоскида БЕЛАЗ-7547 вантажопідйомністю 45 т (рис. 1). Модель складалася з 73 структурних елемента, 10 з яких обмежували поверхню кузова в якій знаходився гарячий шлак і до яких прикладалися початкові значення температури шлаку.

Геометрична модель була розбита у автоматизованому режимі 4202198 вузлами на 2593784 об'ємних елемента (рис.2). Мінімальний середній розмір елементів в місцях, в яких прогнозується максимальний градієнт температури склав 0,51412 см. Максимальні розміри елементів були в місцях стабільних полів температур і дорівнювали 10,2820 см.

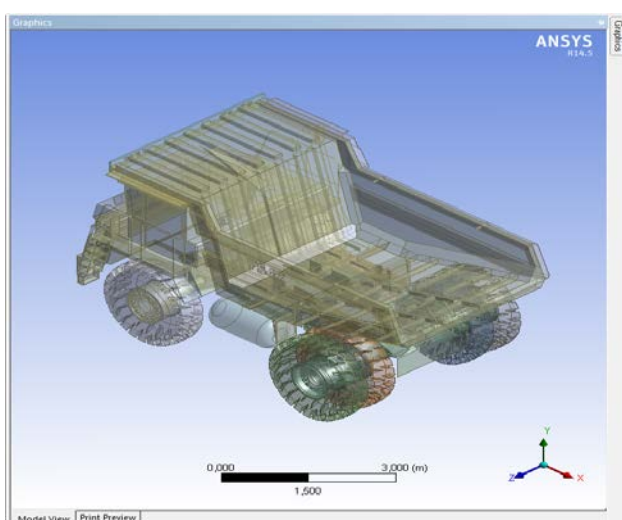


Рис. 1 – Геометрична модель кар'єрного автосамоскида БЕЛАЗ-7547 (роздруківка програми ANSYS)

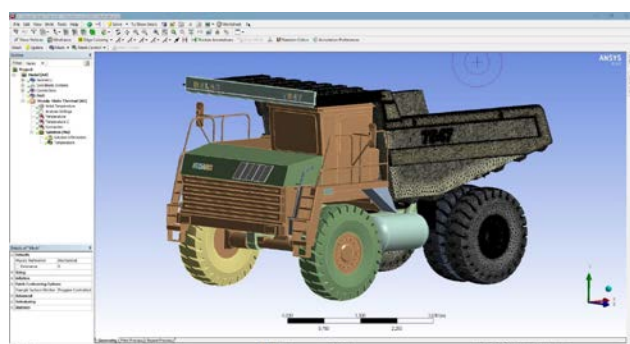


Рис. 2 – Етап розбивки геометричної моделі кар'єрного самоскиду на кінцеві елементи

Детально була опрацьована платформа (рис.3). Внутрішня поверхня платформи була розділена на 10 структурних елементів, у тому числі передній борт, два бокових борта, два елементи днища, козирок платформи та елементи з'єднання бортів з днищем. На ці елементи зверху прикладалась умова еквівалентна температурі гарячого шлаку від 400 до 800 С з кроком у 100⁰С. Температура зовнішнього повітря приймалася 0 (зимовий період) та +20 (літній період).

Матеріал кузова – структурована сталь, яка використовується для кузовів автосамоскидів з наступними властивостями: коефіцієнтом теплопровідності – 97206 Вт/(м·К), щільність – 7850 кг/м³, температурний коефіцієнт – 85 С⁻¹, питома теплоємність – 462 Дж/(кг·К), коефіцієнт випромінювання – 85 Вт/(м²·К⁴), тепловий опір - 1,7·10⁻⁷ Ом·м.

Аналіз результатів розрахунків (рис. 3–8) показують, що найбільше падіння температури від гарячого шлаку на платформі спостерігається на козирку та бризковиках, до температури навколишнього середовища. Крайові (зліва та права) показники температурного поля на козирку відрізняються від центральних за рахунок особливості моделі (борт кузова та боковина козирка представлені однією розрахунковою частиною і тому мають температуру боковини, а не козирка. Ці значення, в наслідок великої дистанції від основних вузлів та агрегатів кар'єрного автосамоскиду, на температурні показники не впливають, ними можна нехтувати. Розподіл температури симетричний відносно продовжної осі автосамоскиду (рис. 7, б, в та 8, б, в).

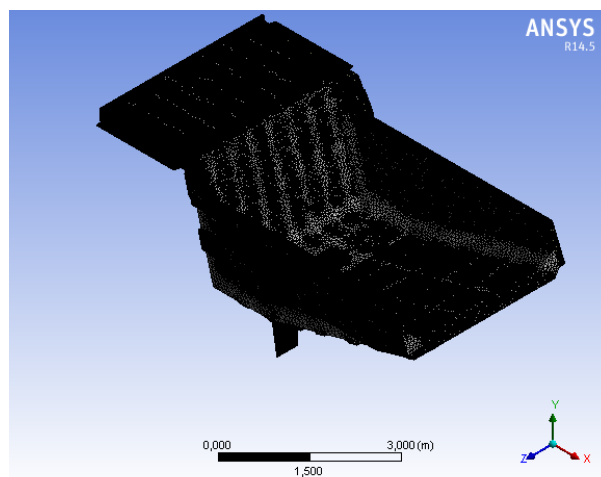


Рис. 3 – Розбивка платформи на кінцеві елементи, вид з боку

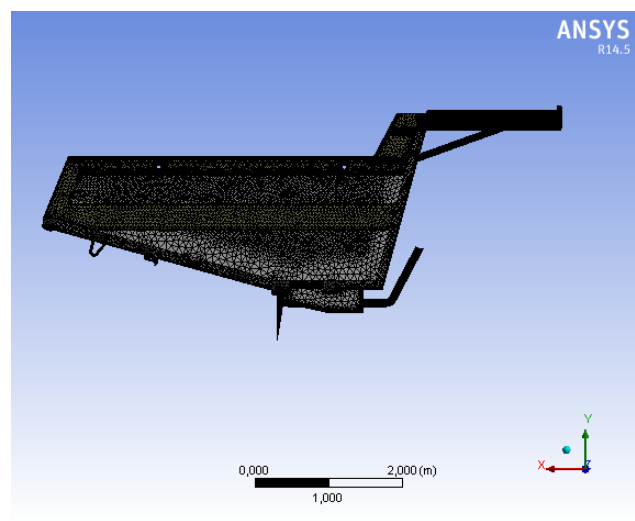


Рис. 4 – Розбивка платформи на кінцеві елементи, вид зверху

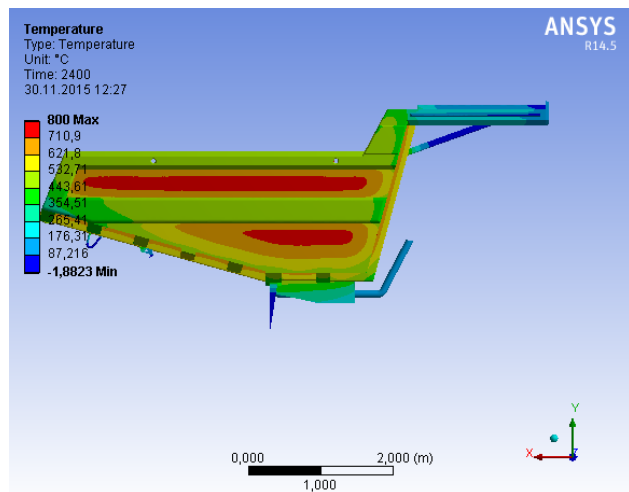
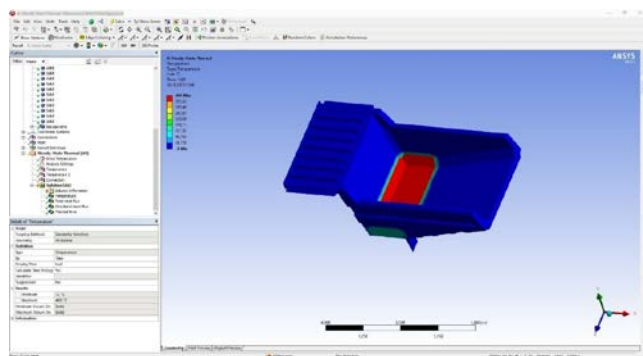
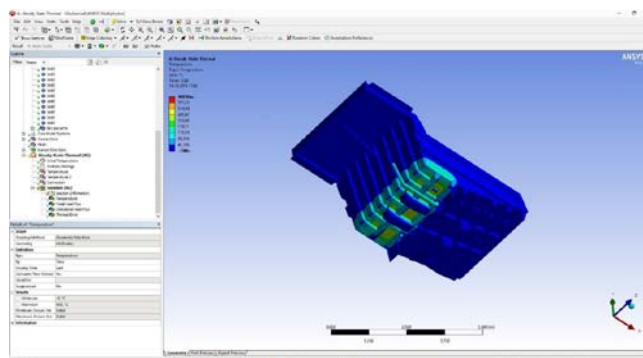


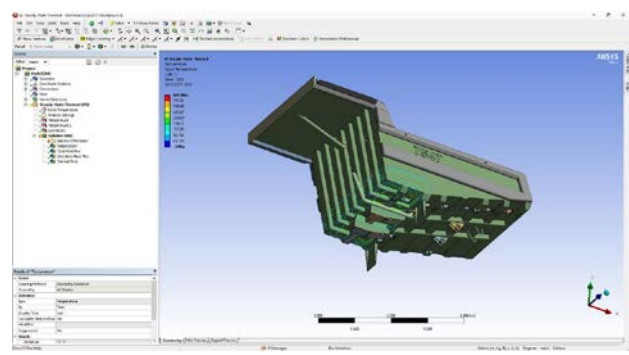
Рис. 5 – Вид з боку на розподіл температури в платформі.



а

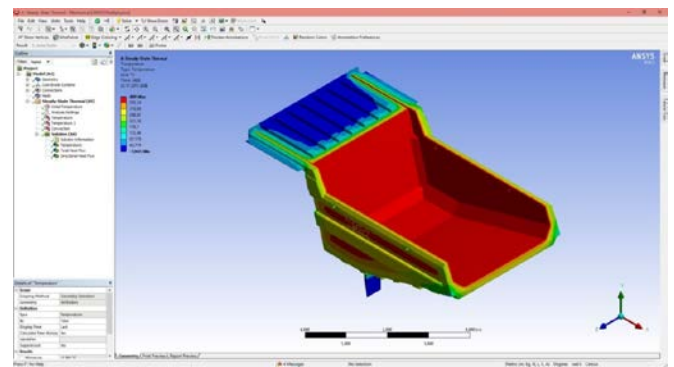


б

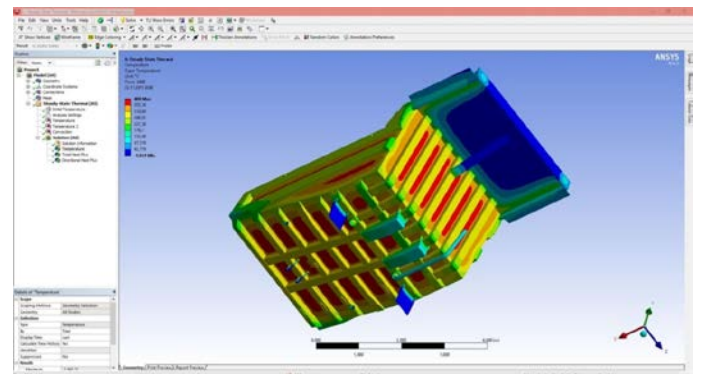


в

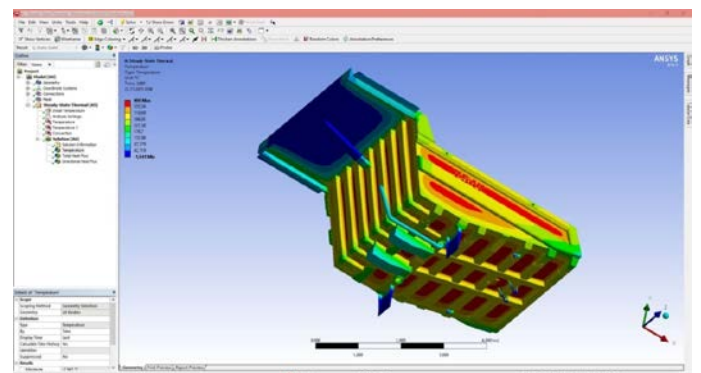
Рис. 6 – Розподіл температури в платформі при частковому завантаженні при температурі шлаку 400°C: а – вид зверху; б – вид знизу в – ізоляції на бортах та днищі



а



б



в

Рис. 7 – Розподіл температури в платформі при температурі шлаку 400°C: а – вид зверху; б – вид знизу з правого борту, в – вид знизу з лівого борту

Площини платформи зовні мають таку ж температуру, що й шлак і це цілком логічно. Порівняння падіння температури на ребрах жорсткості платформи показує, що при різних абсолютних значеннях падіння температури (рис. 9), відносно до температури шлаку падіння температури для всіх розрахунків складає $33 \pm 0,5\%$.

Аналіз розподілу температур в колесах та шинах машин показує, що максимальні значення не перевищують 44°C зимою та 64°C літом при температурі шлаку 400°C , що знаходиться в межах робочих температур, як коліс так і шин (рис. 10, 11).

Температурні поля в колесах та шинах машин при температурі шлаку 800°C не відрізняються від попередніх, максимальні значення не перевищують 88°C зимою та 108°C літом що також не виходить за межі робочих температур (рис. 12, 13).

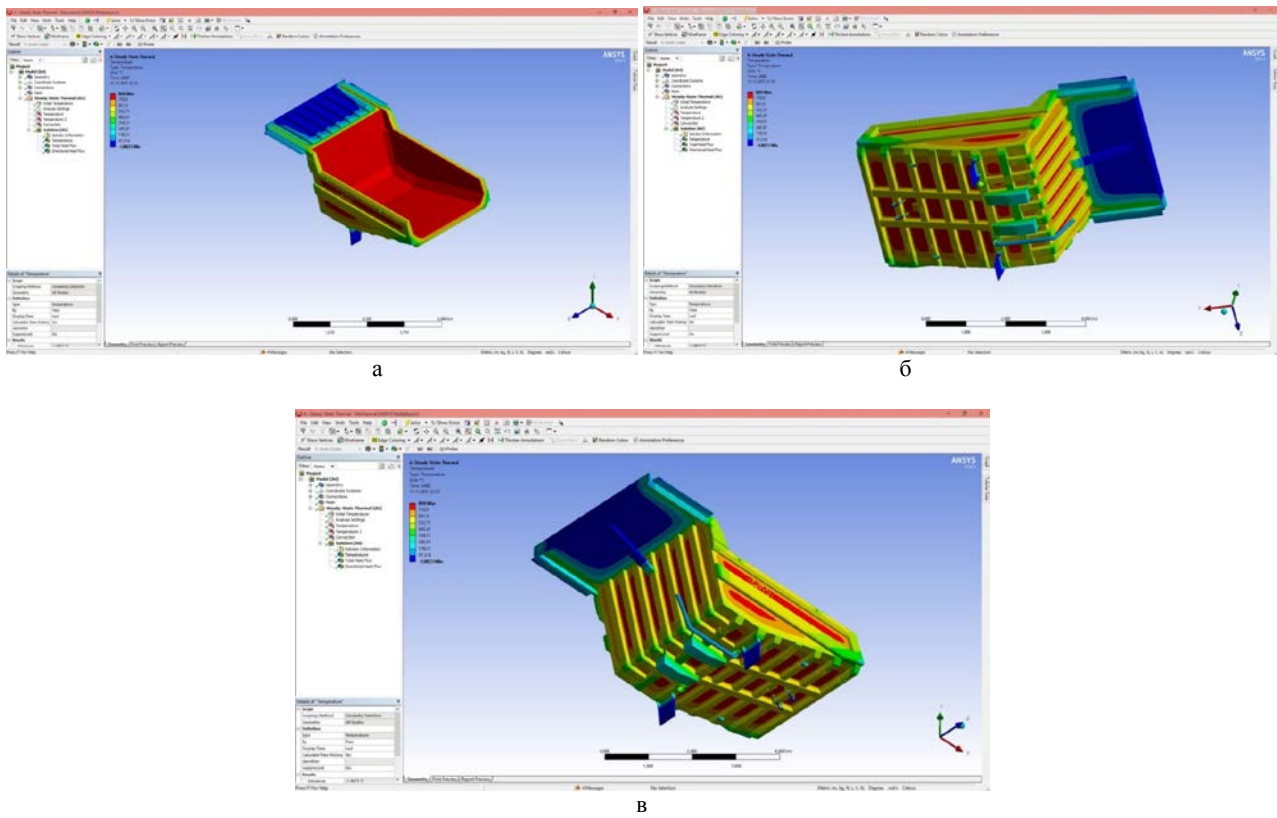


Рис. 8 – Розподіл температури в платформі при температурі шлаку 800°С: а – вид зверху; б – вид знизу з правого борту, в – вид знизу з лівого борту

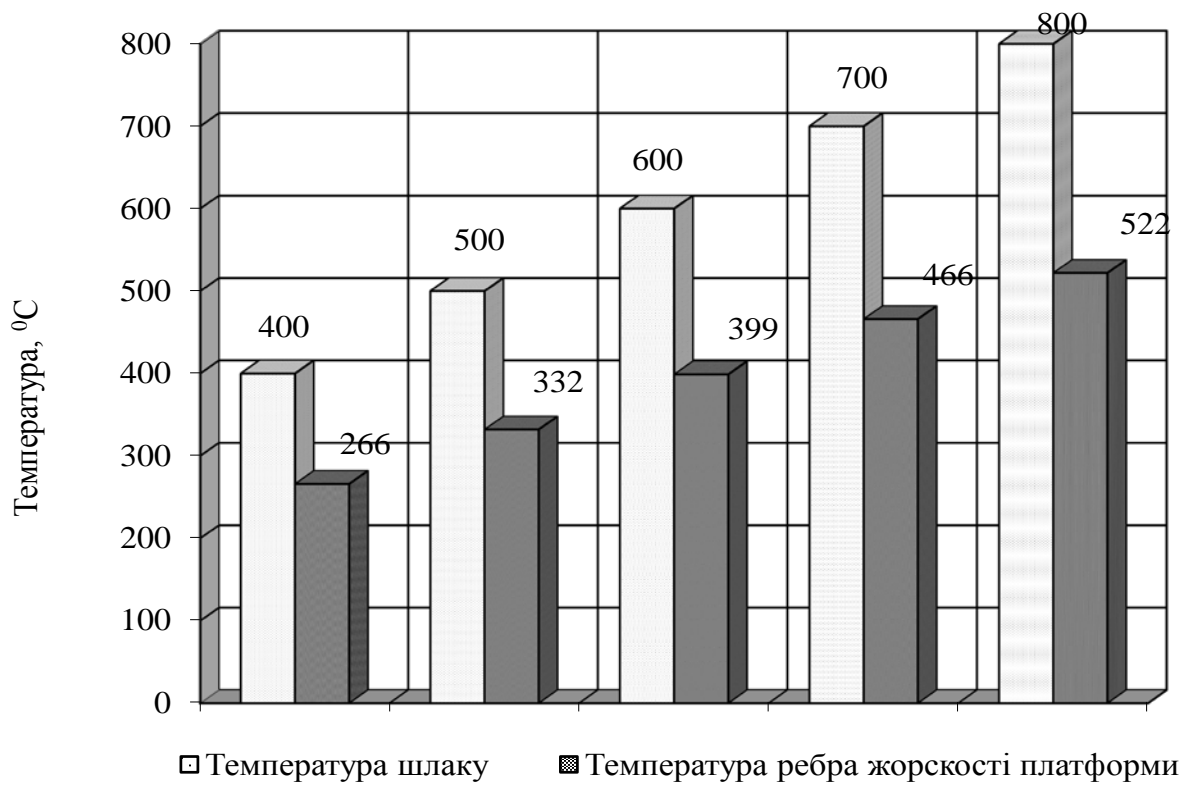


Рис. 9 – Температура шлаку та ребер жорсткості платформи

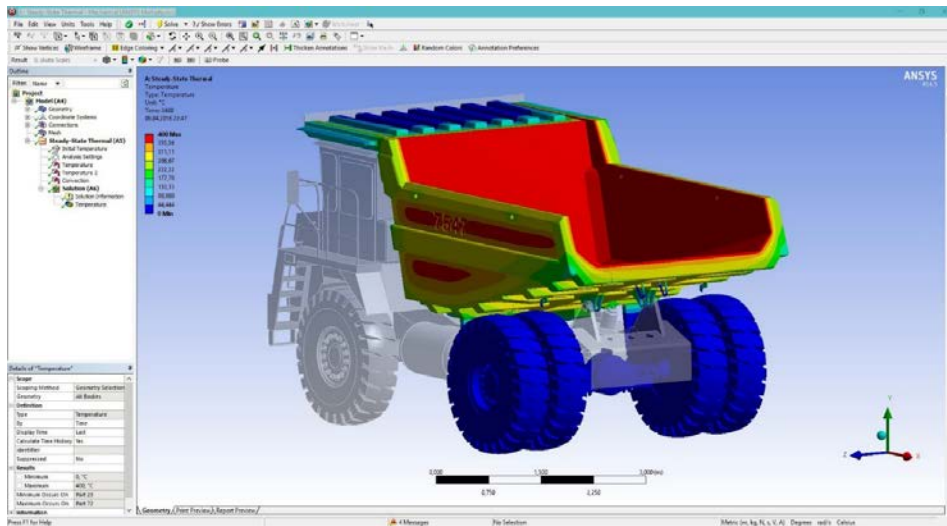


Рис. 10 – Розподіл температури в платформі, колесах і шинах зимою при температурі шлаку 400° C.

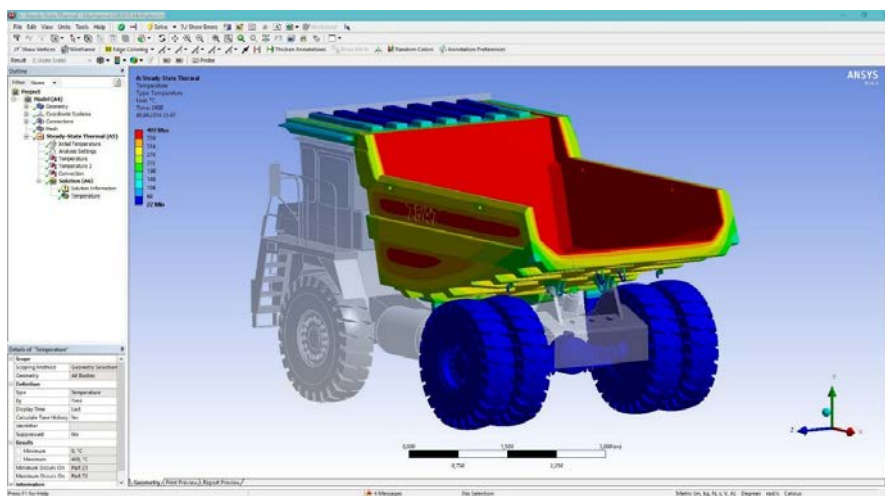


Рис. 11 – Розподіл температури в платформі, колесах і шинах літом при температурі шлаку 400° C.

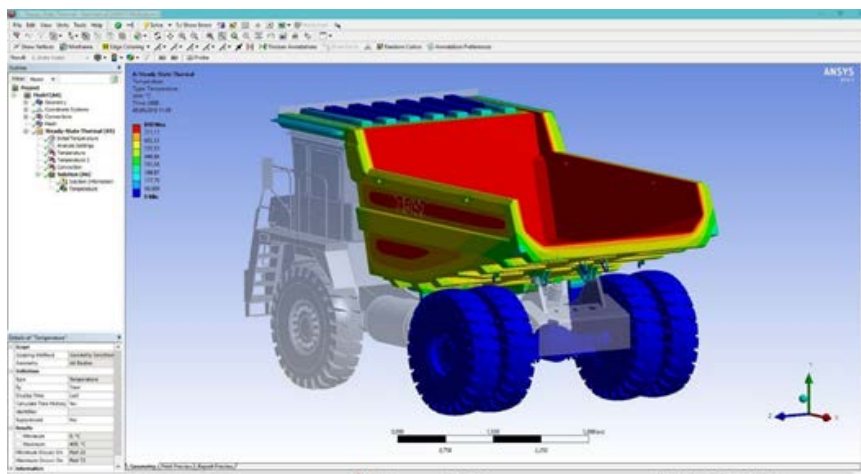


Рис. 12 – Розподіл температури в платформі, колесах і шинах зимою при температурі шлаку 800° C.

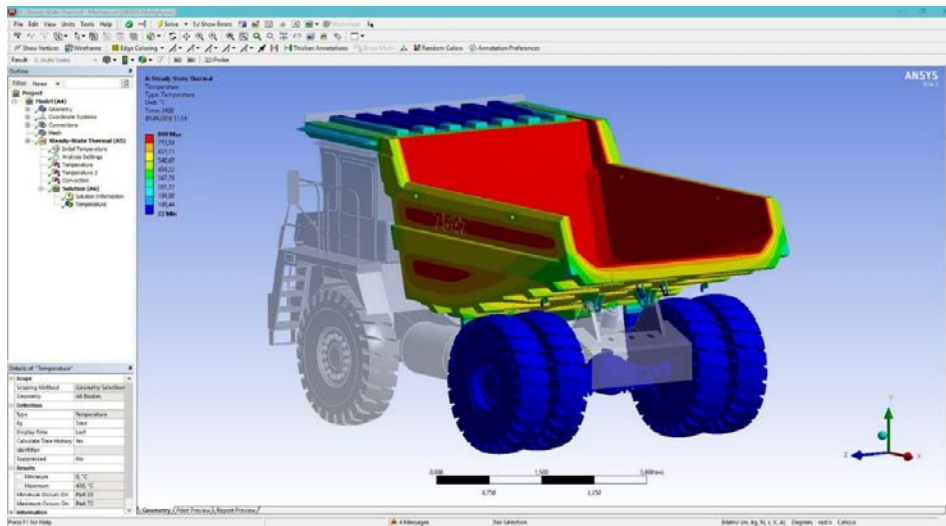


Рис. 13 – Розподіл температури в платформі, колесах і шинах літом при температурі шлаку 800°C .

Висновки. В результаті проведених теоретичних досліджень на кінцево-елементній моделі встановлено, що зміна температури шлаку з 400°C до 800°C та пори року (температури оточуючого середовища з 0°C до $+20^{\circ}\text{C}$) впливають на температуру платформи, коліс, шин та інших складових кар’єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 45 т, але максимальні значення температури нагріву означених компонентів кар’єрного автосамоскиду не перевищують їх робочих температур. Порівняння падіння температури на ребрах жорсткості платформи показує, що при різних абсолютних значеннях падіння температури, відносно до температури шлаку падіння температури для всіх розрахунків складає $33\pm 0,5\%$.

Список літератури:

1. Паранукян, В. Э. Повышение эффективности транспортного обслуживания сталеплавильного производства металлургических заводов [Текст] / В. Э. Паранукян, М. В. Помазков // Вестник ВНУ им. В. Даля. – 2004. – № 7 (77). – С. 36–38.
2. Паранукян, В. Э. Исследование температурного режима эксплуатации большегрузных автосамосвалов БелАЗ-7540 на технологических перевозках высокотемпературных сталеплавильных шлаков [Текст] / В. Э. Паранукян, М. В. Помазков, В. В. Ступак, Ю. В. Артамонова // Защита металлургических машин от поломок. – 2006. – № 9. – С. 110–117.
3. Паранукян, В. Э. Оценка влияния основных технических эксплуатационных показателей на срок службы большегрузных автосамосвалов БелАЗ-7540 [Текст] / В. Э. Паранукян, Ю. В. Артамонова // Вестник ПГТУ. – 2007. – № 17. – С. 189–192.
4. Помазков, М. В. Методические основы планирования технического обслуживания большегрузных автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях металлургических предприятий [Текст] / М. В. Помазков // Защита металлургических машин от поломок. – 2008. – № 10. – С. 191–195.
5. Помазков, М. В. Совершенствование оперативного управления технологическими автотранспортом сталеплавильного производства [Текст] / М. В. Помазков // Вестник ПГТУ. – 2008. – № 18. – С. 237–240.
6. Монастирський, Ю. А. Визначення надійності роботи агрегатів гідромеханічних трансмісій кар’єрних самоскидів [Текст] / Ю. А. Монастирський, А. В. Гальченко // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2013. – № 142. – С. 57–60.
7. Монастирський, Ю. А. Статистичний аналіз причин виходів з ладу гідромеханічних трансмісій кар’єрних самоскидів вантажопідйомністю 30–45 т [Текст] / Ю. А. Монастирський, А. В. Гальченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – 2013. – № 30 (1003). – С. 95–99.

8. Монастирський, Ю. А. Аналіз парків кар’єрних самоскидів підприємств центральної частини України [Текст] / Ю. А. Монастирський, А. В. Гальченко, А. С. Вівчарик // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – 2014. – № 9 (1052). – С. 38–42.
9. Монастирський, Ю. А. Определение теплотерь груза и элементов кузова при перевозке горячих шлаков карьерными самосвалами БЕЛАЗ-7547 [Текст] / Ю. А. Монастирський, Е. Ю. Даниленко, А. С. Вівчарик // Качество минерального сырья. – 2014. – С. 519–523.
10. Монастирський, Ю. А. Дослідження температурних полів кар’єрних самоскидів при перевезенні гарячих сталеплавильних шлаків в зимовий період [Текст] / Ю. А. Монастирський, А. С. Вівчарик // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2015. – № 2 (219) – С. 122–125.
11. Монастирський, Ю. А. Надійність роботи агрегатів кар’єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 45 т при перевезенні гарячих сталеплавильних шлаків [Текст] / Ю. А. Монастирський, І. В. Бондар, А. С. Вівчарик, А. В. Гальченко // Наукові нотатки. – 2016. – № 55. – С. 251–255.

Bibliography (transliterated):

1. Paranyakyan, V. E., Pomazkov, M. V. (2004). Povyishenie effektivnosti transportnogo obsluzhivaniya staleplavilnogo proizvodstva metallurgicheskikh zavodov. Visnik SNU im. V. Dallya, 7 (77), 36–38.
2. Paranyakyan, V. E., Pomazkov, M. V., Stupak, V. V., Artamonova, Yu. V. (2006). Issledovanie temperaturnogo rezhima ekspluatatsii bolshegruznykh avtosamosvalov BelAZ-7540 na tehnologicheskikh perevozkah vyysokotemperaturnykh staleplavilnykh shlakov. Zahist metallurgiyinykh mashin vid polomok, 9, 110–117.
3. Paranyakyan, V. E., Artamonova, Yu. V. (2007). Otsenka vliyaniya osnovnykh tehniko-ekspluatatsionnykh pokazateley na srok sluzhby bolshegruznykh avtosamosvalov BelAZ-7540. Visnik PDTU, 17, 189–192.
4. Pomazkov, M. V. (2008). Metodicheskie osnovy planirovaniya tehnicheskogo obsluzhivaniya bolshegruznykh avtosamosvalov, ekspluatiruemykh v usloviyah metallurgicheskikh predpriyatiy. Zahist metallurgiyinykh mashin vid polomok, 10, 191–195.
5. Pomazkov, M. V. (2008). Sovershenstvovanie operativnogo upravleniya tehnologicheskimi avtoperevozkami staleplavilnogo proizvodstva. Visnik PDTU, 18, 237–240.
6. Monastyrskiy, Yu. A., Halchenko, A. V. (2013). Vyznachennia nadiinosti roboty ahrehativ hidromekhanichnykh transmisiy kariernykh samskydiv. Visnyk SevNTU, 142, 57–60.
7. Monastyrskiy, Yu. A., Halchenko, A. V. (2013). Statystychnyi analiz prychny vykhodiv z ladu hidromekhanichnykh transmisiy kariernykh samskydiv vantzahpodiomnistiu 30–45 t. Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannia, 30 (1003), 95–99.
8. Monastyrskiy, Yu. A., Halchenko, A. V., Vivcharyk, A. S. (2014). Analiz parkiv kariernykh samskydiv pidpriemstv tsentralnoi chastyny Ukrainy. Visnyk NTU «KhPI». Seriya:

- Avtomobile- ta traktorobuduvannya, 9 (1052), 38–42.
9. Monastyrskiy, Yu. A., Danilenko, E. Yu., Vivcharik, A. S. (2014). Opredelenie teplopoter gruzha i elementov kuzova pri perevozke goryachih shlakov karernymi samosvalami BELAZ-7547. Kachestvo mineralnogo syrya, 519–523.
10. Monastyrskiy, Yu. A., Vivcharyk, A. S. (2015). Doslidzhennia temperaturnykh poliv kariernykh samoskydiv pry perevezenni hariachykh staleplavlynykh shlakiv v zymovy period. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia, 2 (219), 122–125.
11. Monastyrskiy, Yu. A., Bondar, I. V., Vivcharyk, A. S., Halchenko, A. V. (2016). Nadiinist roboty ahrehativ kariernykh avtosamoskydiv vantazhopidomnistiu 45 t pry perevezenni hariachykh staleplavlynykh shlakiv. Naukovi notatky, 55, 251–255.

Надійшла (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Теоретичні дослідження розподілу температурних полів кар'єрного автосамоскиду при перевезенні гарячих сталеплавильних шлаків/ Ю. А. Монастирський, А. С. Вівчарик// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.78–84. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Теоретические исследования распределения температурных полей карьерного автосамосвала при перевозке горячих сталеплавильных шлаков/ Ю. А. Монастирский, А. С. Вивчарык // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 78–84. Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Theoretical researches of distribution of the temperature fields of open-pit dump tracks at transportation of hot steel-smelting slags/ Yr. Monastirskiy, A. Vivcharyk //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P.78 –84. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Монастирський Юрій Анатолійович – доктор технічних наук, професор, Кафедра автомобільного транспорту, ДВНЗ «Криворізький національний університет», вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027, e-mail: monastirskiy08@ukr.net.

Вівчарик Андрій Степанович – аспірант Кафедра автомобільного транспорту, ДВНЗ «Криворізький національний університет», вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна, 50027, e-mail: a.vivcharyk@ukrburgas.com.ua.

Монастирський Юрій Анатолієвич – доктор технических наук, профессор, Кафедра автомобильного транспорта, ГВУЗ "Криворожский национальный университет", ул. Виталия Матусевича, 11, г. Кривой Рог, Украина, 50027, e-mail: monastirskiy08@ukr.net.

Вивчарык Андрей Степанович – аспірант, Кафедра автомобильного транспорта, ГВУЗ "Криворожский национальный университет", ул. Виталия Матусевича, 11, г. Кривой Рог, Украина, 50027, e-mail: a.vivcharyk@ukrburgas.com.ua.

Monastirskiy Yuriy – Doctor of Science (PhD), Professor, Head of Automobile Facilities Department SIHE “Kryvyi Rih National University”, Vitalii Matusevych str. 11, Kryvyi Rih city, Ukraine, 50027, e-mail: monastirskiy08@ukr.net.

Vivcharyk Andrij – graduate student of Automobile Facilities Department SIHE “Kryvyi Rih National University”, Vitalii Matusevych str. 11, Kryvyi Rih city, Ukraine, 50027, e-mail: a.vivcharyk@ukrburgas.com.ua.

ОХОРОНА ПРАЦІ, БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЯ

УДК 663.41

Н. М. ПЕНКІНА, Л. В. ТАТАР

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЦЕПТУРНОГО СКЛАДУ ПИВА З ДОДАВАННЯМ ХВОЙНОГО ЕКСТРАКТУ

Запропоновано розробку рецептури пива з додаванням нетрадиційної рослинної сировини та побудовано математичну модель із метою прогнозування вмісту хмелю та хвої сосни звичайної. Доведено доцільність часткової заміни хмелю на хвою сосни звичайної та визначено вплив цих інгредієнтів на органолептичні показники і вміст дубильних речовин у готовому продукті. Установлено співвідношення складових рецептури, які забезпечили максимальне наближення до заданих показників розробленого пива. Визначено хімічний склад розробленого пива.

Ключові слова: пиво, екстракт, хвоя, хміль, дубильні речовини, математична модель.

Предложена разработка рецептуры пива с добавлением нетрадиционного растительного сырья, построена математическая модель с целью прогнозирования содержания хмеля и хвои сосны обыкновенной. Доказана целесообразность частичной замены хмеля на хвою сосны обыкновенной и определено влияние этих ингредиентов на органолептические показатели и содержание дубильных веществ в готовом продукте. Установлено соотношение составляющих рецептуры, которые обеспечили максимальное приближение к заданным показателям разработанного пива. Определен химический состав разработанного пива.

Ключевые слова: пиво, экстракт, хвоя, хмель, дубильные вещества, математическая модель.

Hop responsible for the characteristic taste and aroma of beer, but recent research scientists give reason to believe the negative impact of hops in the human body. Partial replacement hops on plant material or extracts in the manufacture of beer positive impact on the quality of the finished drink because it is a source of natural antioxidants and reduces the negative effects of alcohol.

The goal is to develop formulations of beer with hops partial replacement needles on pine that provide high biological value drinks and significantly reduce the negative impact of hops in the human body.

Built beer recipes regression model with the addition of pine extract, the correlation components of the formulation that makes it possible to get a drink of high biological value with pronounced hop bitterness and a refreshing pine tone and partial replacement of pine needles hops will reduce the cost of the finished beer.

The expediency of partial replacement hops on needles of pine and the influence of these ingredients on the organoleptic properties and the content of tannins in the finished product. It is established that the content of pine needles in terms of sublimated substance can not be more than 20 % by weight of the estimated norm hop, enough to preserve the bitterness and aroma hops.

Keywords: beer, extract, pine needles, hop, tannins, mathematical model.

Вступ. Останнім часом усе більше уваги приділяється збереженню здоров'я населення та безпечності харчових продуктів, а конкуренція на споживчому ринку, що постійно зростає, вимагає підвищення якості пива. Пиво – єдиний алкогольний напій, що містить хмільну гіркоту, яка активізує виділення шлункового соку та пригнічує небажану дію алкоголю в пиві. Хміль відповідає за характерний смак і аромат пива, але результати останніх досліджень вчених дають підставу стверджувати, що він негативно впливає на організм людини [1–2].

Пиво з додаванням прянощів і лікарських трав відоме давно. Додавання деяких спецій дозволяло приховувати сторонні присмаки та подовжувати термін зберігання пива. Трави слугували заміною хмелю, надаючи пиву невеликої гіркоти й терпкості. Зараз існує близько тисячі сортів пива, в яких спеції та трави використовують для отримання хмільного напою з незвичними смаковими властивостями й ароматом. Отже, рослинна сировина, яка є джерелом природних антиоксидантів, має високу харчову та біологічну цінність і може бути використана як альтернатива хмелю.

Сьогодні, перш ніж налагодити виробництво нового продукту, обов'язково проектується його рецептура. Розробка та вдосконалення рецептур нових сортів пива пов'язані з дослідженням співвідношення вмісту окремих компонентів у готовому продукті. У ході вирішення цієї проблеми сукупність вимог до якості продукції формується у вигляді набору обме-

жень, які стосуються елементів хімічного складу сировини. Отже, побудова математичної моделі для визначення впливу вмісту зазначених інгредієнтів на якість готового продукту і встановлення на її основі потрібних співвідношень, що забезпечать задані показники якості, є актуальними завданнями і дозволить отримати напій із високими антиоксидантними й органолептичними показниками та розширити асортимент ринку напоїв.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Одним зі шляхів вирішення зазначеної вище проблеми є розробка вченими способу виробництва оздоровчого пива, за якого рекомендується частину хмелю замінити на рослинні екстракти. Кількість екстракту женьшеню в пиві складає 0,01–0,15 мас %, хвойного екстракту – 0,01–0,02 мас %, кореню дикого ланцетника – 0,005–0,01 мас %. Рисове пиво має оригінальний смак і аромат, а часткова заміна хмелю призведе до зменшення його негативно впливу на організм людини [3].

Відомий спосіб виробництва пива з додаванням соснової добавки, при цьому частка хмелю складає 0,08–0,1 %, а соснової добавки до 0,8% пивного сула. Добавку, приготовану з порошку соснової кори, шишок та хвої сосни вводять на стадії кип'ятіння з хмелем. Це дозволяє поліпшити смакові властивості пива та підвищити біологічну цінність й лікувальні властивості готового напою [4].

Математичне моделювання широко використовується в харчовій промисловості для знаходження рецептур продуктів що забезпечують задані показники якості. Результати останніх досліджень доводять ефективність альтернативного способу проектування рецептури з наперед заданою низкою вимог до харчової та біологічної цінності інгредієнтів. На основі натурального вітамінно-мінерального комплексу рослинної сировини ученими математично змодельована рецептура травного квасу із певними параметрами біохімічного складу [5].

Також у фаховій літературі представлено системне математичне моделювання, оптимізація рецептур багатокомпонентних продуктів та моделювання в технології напоїв [6]. Отже, саме розширення можливостей оптимізації програмних засобів дозволить вийти на якісно новий рівень у розробці безпечних продуктів із високою біологічною цінністю з додаванням рослинної сировини.

Ціль та задачі дослідження. Метою роботи є розробка рецептури пива з частковою заміною хмелю на хвою сосни звичайної, що забезпечить високу біологічну цінність напою та вірогідно зменшить негативний вплив хмелю на організм людини. Знаходження кількісних співвідношень хмелю та хвої сосни звичайної в рецептурі пива шляхом математичного моделювання встановить максимальне наближення до показників якості готового продукту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Визначити в рецептурному складі пива кількісне співвідношення хмелю та хвої сосни за допомогою варіювання їх концентрацій із метою зниження негативної дії хмелю на організм людини;
2. Установити раціональне співвідношення вмісту хвої сосни звичайної та хмелю;
3. Раціоналізувати співвідношення зазначених інгредієнтів відповідно до заданих показників якості пива із додаванням хвойного екстракту.

Матеріали та методи дослідження часткової заміни в рецептурі пива хмелю на хвою сосни звичайної. Особливістю розв'язання задачі з часткової заміни хмелю на хвою сосни звичайної є те, що необхідно використовувати канонічну форму поліному, яка була введена Шефе [7]. Інші інгредієнти рецептури пива є незмінними. У цьому випадку за відсутності повної інформації про механізм впливу різних концентрацій хвої та хмелю на показники готового продукту доцільно обрати симплекс-гатковий план.

Об'єкт дослідження – пиво з додаванням водного екстракту хвої сосни звичайної. Пиво належить до групи алкогольних напоїв із вмістом етилового спирту від 0,5 відсотка об'ємних одиниць.

Технологічний процес виробництва пива складається з приготування затору, його оцукрювання, фільтрування, кип'ятіння суслу, охолодження і внесення дріжджів, бродіння суслу, доброджування молодого пива і розливу готового пива.

Пиво – досить поширений напій у багатьох країнах світу, що має попит завдяки своїм смаковим характеристикам і аромату. Проте дія хмільного напою на організм людини передбачає помірне його споживання.

Часткова заміна хмелю на рослинну сировину або її екстракти під час виробництва пива позитивно вплине на якість готового напою, оскільки вона є джерелом природних антиоксидантів і знижує негативну дію алкоголю [8, 9].

Розв'язання задачі побудови плану експерименту для двокомпонентних інгредієнтів здійснювали у два етапи:

- побудова математичної моделі, яка буде відтворювати залежності між змінними, що досліджуються, і показниками якості готового продукту;
- знаходження співвідношення вмісту хвої сосни звичайної та хмелю, що забезпечує максимальне наближення значення кожного показника якості готового продукту до бажаних значень.

Суть розробленого нами способу виробництва пива полягає в наступному. Пиво готували за класичною технологією та вносили хвойний екстракт на стадії головного бродіння суслу. Водний екстракт хвої сосни звичайної додавали за нормою 600–620 мл / дал суслу та зброджували пивними дріжджами низового бродіння. Головне бродіння проводили до вмісту видимого екстракту 2,5–2,8 %. Бродіння та доброджування пива тривало не менше ніж 25 діб.

Хвоя сосни звичайної (*Pinus sylvestris*) містить не менше ніж 200 мг % потужного антиоксиданту вітаміну С (у зимовий період до 600 мг %), 350–360 мг % жиророзчинного вітаміну Е (токоферол). Не менш важливим антиоксидантом є провітамін А (каротин), який міститься у хвої сосни в кількості 140–320 мг %. Важливими компонентами хвої сосни є флавоноїди (рутин, кверцетин та його глікозиди), які мають імуностимулюючі, імуномодельючі та антиоксидантні властивості. Флавоноїди разом із вітамінами беруть участь у підтримці функції антиоксидантного захисту організму. Фітонциди, що входять до складу хвої є важливими антимікробними речовинами; вони, містять ефірні олії – суміші летких ароматичних сполук. Отже, окрім часткової заміни хмелю, використання обраної сировини дозволить отримати пиво, збагачене БАР, із новими оригінальними смаковими властивостями та з меншою токсичною дією на організм людини [10].

Результати дослідження часткової заміни в рецептурі пива хмелю на хвою сосни звичайної. Визначення раціональних значень рецептури пива з додаванням хвойного екстракту з метою часткової заміни хмелю є складним технологічним завданням, тому його вирішення проведено на основі сучасних методів дослідження, до яких у першу чергу належать методи математичного моделювання. Однак, беручи до уваги те, що жодної попередньої інформації про механізм впливу різних концентрацій хвої сосни та хмелю на показники готового продукту немає, доцільно обрати симплекс-гатковий план побудови експерименту. Крім того, за рахунок використання сучасної теорії планування експерименту, що полягає в проведенні цілеспрямованих дослідів, зменшено кількість експериментів та загальний термін проведення досліджень.

У нашій роботі при виборі додаткового компонента для виробництва пива ми керувалися високими антиоксидантними властивостями хвої сосни звичай-

ної та її хімічним складом, який найбільш наближений до складу хмелю (поліфенольні, гіркі та пектинові речовини, ефірні олії тощо) [10].

Найважливішими для пивоваріння поліфенолами є флавоноли, катехіни й антоціаногени, які впливають на його органолептичні властивості. Помутніння пива в більшості випадків супроводжується поступовим погіршенням його аромату та смаку [11]. Поліфенольні (дубильні) речовини, які беруть участь в утворенні колоїдного помутніння в пиві, переходять із солоду і хмелю в сусло, а потім у пиво. За сучасними уявленнями поліфеноли солоду і хмелю значною мірою визначають смак, колір, пінисті властивості пива, а також схильність готового напою до колоїдного помутніння. Колоїдні помутніння утворюють головним чином антоціаногени, що містяться в хмельових і солодових дубильних речовинах [12]. Отже, небезпека виникнення помутніння в пиві зростає із збільшенням дози хмелю. Тому було створено два вектори для оцінки якості готового продукту: за органолептичними показниками та за вмістом дубильних речовин.

Задача побудови плану експерименту для двокомпонентних сумішей полягає в пошуку координат точок плану $x_{iu} = (x_{1u}, x_{2u})$ за таких умов:

$$\sum_{i=1}^2 x_{iu} = 1, \quad x_{iu} \geq 0 \quad (i=1,2 \quad u=1,2,\dots,N), \quad (1)$$

де N – кількість точок планування.

Питання, яке необхідно вирішити при побудові математичної моделі – це задати її порядок. Беручи до уваги, що жодної попередньої інформації про характер залежності між заданими величинами x_1 (кількість хвої сосни) та x_2 (кількість хмелю) немає, пропонуємо для показника якості готового продукту математичну модель четвертого порядку, яка має такий вигляд:

$$\hat{y}(x_1, x_2) = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_1 x_2 + a_4 x_1 x_2 (x_1 - x_2) + a_5 x_1 x_2 (x_1 - x_2)^2. \quad (2)$$

За практичної реалізації з метою зменшення кількості дослідів використовують насичене планування. При цьому матриця планування є квадратною і визначник інформаційної матриці дорівнює квадрату визначника X . Під час проведення експериментів із метою підвищення точності моделювання необхідно в кожній точці дослідження робити два вимірювання.

Друге питання, яке повинно бути вирішено, – це визначення діапазону зміни вхідних компонентів з урахуванням рівняння (1). З огляду на результати раніше проведених досліджень рецептурного складу можна зробити висновок, що відносна кількість частки хвої сосни не може бути більше 0,3 від частки хмелю. Це обмеження обумовлено результатами попередніх досліджень готового продукту за показниками органолептики. Перевищення частки хвої більш ніж на 0,3 призводить до суттєвого погіршення якості пива.

Екстракт хвої сосни звичайної додавали в пивне сусло на стадії головного бродіння, урахувавши літературні дані, оскільки це дає мінімальну втрату ароматичних речовин. З огляду на зазначене були запропоновані числові дані, наведені у табл. 1. Під час їх вибору були враховані рекомендації загального характеру, притаманні проведенню подібних досліджень [13].

За результатами проведення дослідів створено два вектори для оцінки якості готового продукту (табл. 2): Y_1 – оцінка за органолептичними показниками (за 25 бальною шкалою), Y_2 – оцінка за вмістом дубильних речовин (мг/дм^3) – та побудовано матрицю двофакторного експерименту.

Таблиця 1 – Числові дані проведення експерименту

№ досліду	1	2	3	4	5	6	7
X_1	0	0,1	0,15	0,2	0,25	0,12	0,22
X_2	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,88	0,78

Таблиця 2 – Результати досліджень

Показник	Номер досліду				
	1	2	3	4	5
Y_1	24,0	24,0	24,8	24,5	22,6
Y_2	239,0	236,0	232,0	229,0	225,0

У ході дослідження було знайдено такі значення коефіцієнтів:

$$\begin{aligned} a_1^T &= (1.237 \times 10^3 \dots 24 - 2.473 \times 10^3 \dots - 2.18 \times 10^3 \dots - 966.667), \\ a_2^T &= (-1.111 \times 10^4 \dots 239 \dots 2.132 \times 10^4 \dots 1.52 \times 10^4 \dots 5.333 \times 10^3). \end{aligned} \quad (3)$$

Коефіцієнти моделі знаходили за формулою:

$$a_i = (F^T F)^{-1} F^T Y_i, \quad (4)$$

де F – матриця експерименту, побудована на основі даних табл. 1.

Розв'язання задачі щодо знаходження співвідношення вмісту хмелю та хвої сосни для забез-

печення потрібних показників якості базується на використанні методів багатокритеріальної оптимізації [7]. Це означає, що треба знайти таке співвідношення хмелю та хвої, яке забезпечить максимальне наближення до заданих значень за певним критерієм наближення. Вибір найкращого критерію обумовлено особливостями технологічного процесу. У більшості випадків використовують критерій найменших квад-

ратів, бо він дає можливість наблизитися до заданого значення без урахування можливих великих відхилень від заданих значень на малому інтервалі коливань значень параметрів технологічного режиму. Тому за критерій наближення до показників якості продукту було обрано такий критерій:

$$q = (y_{i3} - y_i)^2, \tag{5}$$

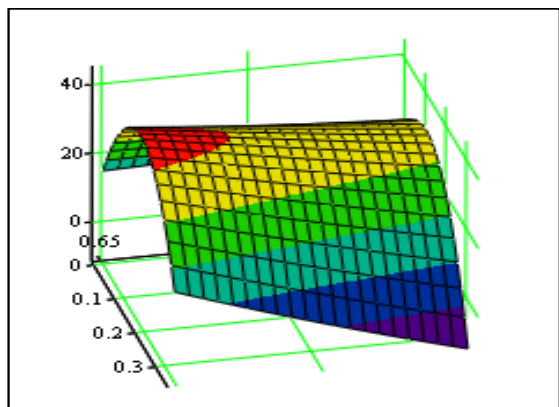
де y_i – показник якості, значення якого визначається за результатами обчислення математичної моделі; y_{i3} – заданий показник якості відповідного параметра.

Для визначення співвідношень хвої та хмелю для знаходження максимального значення показника органолептики та мінімального значення вмісту дубильних речовин були використані відповідні програми пакета MathCAD.

Обговорення результатів дослідження часткової заміни в рецептурі пива хмелю на хвою сосни звичайної. У ході розрахунків було встановлено, що оптимальні значення відповідно критеріїв якості не відповідають єдиному сполученню вхідних параметрів технологічного процесу. Так, максимальне значення за органолептикою забезпечувалося при $x_1 = 0,165$, $x_2 = 0,835$. Мінімальне значення за дубильними речовинами забезпечувалося при $x_1 = 0,25$, $x_2 = 0,75$.

Фрагмент програми MathCAD із відповідними формулами та результатами виконаних розрахунків наведено нижче.

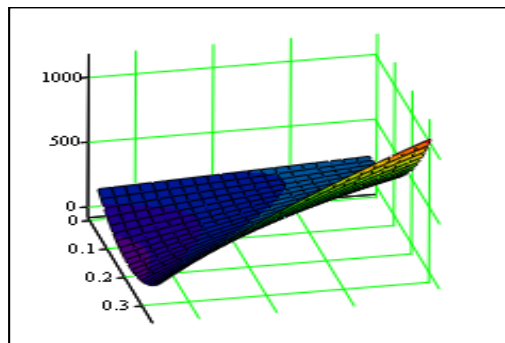
Позначення M1 означає кількісний показник з органолептики, M2 – кількісний вміст дубильних речовин. Загальний вигляд математичної моделі для органолептичних показників та вмісту дубильних речовин (поліном Шефе) наведено на рис. 1, 2.



M1

Рис. 1 – Загальний вигляд математичної моделі органолептичних показників (поліном Шефе)

Для знаходження остаточних значень вмісту показників хвої та хмелю необхідно об'єднати ці критерії в один комплексний критерій, за результатами розрахунків якого можна знайти такі співвідношення параметрів хвої сосни та хмелю, які дозволять максимально наблизитися до заданих значень. За доцільні значення було обрано оптимальні значення показників якості, що були визначені програмою розрахунків за математичною моделлю.



M2

Рис. 2 – Загальний вигляд математичної моделі вмісту дубильних речовин (поліном Шефе)

Фрагмент розрахунків програми MathCAD наведено на рис. 3

```
x1 := 0.15    x2 := 0.5

Given    0 ≤ x1 ≤ 0.35    0.65 ≤ x2 ≤ 1    x1 + x2 = 1

P1 := Maximize(M1, x1, x2)    P1 = (0.165 / 0.835)    M1(P1_1, P1_2) = 24.859

P1 := Maximize(M1, x1, x2)    P1 = (0.165 / 0.835)    M1(P1_1, P1_2) = 24.859

x1 := 0.15    x2 := 0.5

Given

0 ≤ x1 ≤ 0.25    0.65 ≤ x2 ≤ 1    x1 + x2 = 1

P2 := Minimize(M2, x1, x2)    P2 = (0.25 / 0.75)    M2(P2_1, P2_2) = 225
```

Рис. 3 – Фрагмент розрахунків програми MathCAD

Отже, необхідно одночасно мінімізувати два критерії показників якості готової продукції. За узагальнений критерій якості було обрано критерій, який наведено на рис. 4 у вигляді фрагмента програми MathCAD.

$$Q(x1, x2) := \sum_{i=1}^2 [(24.86 - Y1(x1, x2))^2 + (225 - Y2(x1, x2))^2]$$

Рис. 4 – Узагальнений критерій якості

Числові значення – це бажані значення показників якості готового продукту. Остаточно формула, за якою визначатимуть параметри продукту та результати обчислення наведені на рис. 5 у вигляді фрагмента програми MathCAD.

$$R2 := \text{Minimize}(Q, x1, x2) \quad R2 = \begin{pmatrix} 0.192 \\ 0.808 \end{pmatrix}$$

$$M1(R2_1, R2_2) = 24.651 \quad M2(R2_1, R2_2) = 229.462$$

Рис. 5 – Остаточна формула визначення параметрів продукту

Для знаходження числових значень співвідношення кількості хвої та хмелю була використана стандартна програма Minimize пакета MathCAD. Остаточні значення рецептури є такими: $x_1 = 0,2$; $x_2 = 0,8$.

Отже, вміст хвої сосни в перерахунку на сублімовану речовину становить не більше ніж 20 %

за масою від розрахункової норми хмелю, що достатньо для збереження гіркоти та аромату хмелю.

На заключному етапі проведено визначення складу речовин розробленого пива з додаванням хвойного екстракту (табл. 3).

Таблиця 3 – Склад речовин, що містяться в 1 л пива

Речовина	Вміст, мг	Рівень забезпечення добової потреби, %
1	2	3
Вуглеводи, г	34,5	34,5
Білок, г	4,2	5,3
V ₁ (тіамін)	0,033	2,4
V ₂ (рибофлавін)	0,31	19,4
V ₆ (піридоксин)	0,62	32,6
C (аскорбінова кислота)	35,2	35,2
H (біотин)	0,005	3,3
Нікотинова кислота	7,8	43,3
Фолієва кислота	0,03	5,0
Пантотенова кислота	1,1	18,3
Мінеральні речовини		
Калій	480,0	24,0
Фосфор, г	0,22	27,5
Магній	89,0	22,3
Кальцій	70,5	5,9

Рецептурний склад пива забезпечує 35,2 % добової потреби у вітаміні С. Вміст мінеральних речовин у розробленому пиві не перевищує їх добової норми споживання і знаходиться в межах норми.

Висновки

1. Побудовано регресійну модель рецептури пива з додаванням хвойного екстракту, встановлено співвідношення складових рецептури, що дає можливість отримати напій із високою біологічною цінністю, а часткова заміна хмелю хвоєю сосни звичайної веде до зниження собівартості готового пива.

2. Наступна експериментальна перевірка отриманих значень рецептури підтвердила їх доцільність і можливість використання на виробництві ТОВ «ОЛНА», м. Харків. Затверджено Технологічну інструкцію до виробництва 10% світлого пива «Смагд» із рецептурою, ТІ 14297558-340:2016.

3. Розроблена рецептура пива може застосовуватися на підприємствах пивоварного виробництва, оскільки для реалізації не потребує жодних додаткових засобів, а запропонована додаткова сировина є в достатній кількості на території Східного регіону України та широко використовується в традиційній та народній медицині.

Список літератури:

- Nicolic, D. Metabolism of 8-prenylnaringenin, a potent phytoestrogen from hops (*Humulus lupulus*), by human liver microsomes [Text] / D. Nicolic // Drug Metabolism and Disposition. – 2004. – Vol. 32, № 2. – P. 272–279. doi: [10.1124/dmd.32.2.272](https://doi.org/10.1124/dmd.32.2.272)
- Stampfer, M. J. Effects of Moderate Alcohol Consumption on Cognitive Function in Women [Text] / M. J. Stampfer, J. H. Kang, J. Chen, R. Cherry, F. Grodstein / New England Journal of Medicine. – 2005. – № 352 (3). – P. 245–253. doi: [10.1056/NEJMoa041152](https://doi.org/10.1056/NEJMoa041152)
- Manufacturing method of health enhancing beer [Electronic resource]: Patent Korea KR20030020339A, Classification C12C12/00 / Duk K. K., Gi J. K.; assignee: Duk Ki Kim, Gi Jun

- Kim. – № 10-2003-0007254; filed 02.05.2003; published 03.08.2003. – Available at: <https://www.URL:https://patents.google.com/patent/KR20030020339A>
- Pine-juice beer and its brewing method [Electronic resource]: Patent China CN101024802B, Classification C12C11/00, C12C5/00 / W. Xiaomei, Y. Shengyuan. – № 200610009715.9; filed 17.02.2006; published 12. 05.2010. – Available at: <https://www.URL:https://www.google.com/patents/CN101024802B?cl=en&hl=ru>
- Zavoroxina, H. V. Моделирование рецептуры травяных квасов [Текст] / Н. В. Заворохина, О. В. Чугунова, В. М. Позняковский // Пиво и напитки. – 2012. – № 6. – С. 12–14.
- Musina, O. N. Системное моделирование многокомпонентных продуктов питания [Текст] / О. Н. Мусина, П. А. Лисин // Техника и технология пищевых производств. – 2012. – № 4 (27). – С. 32–37.
- Montgomery, D. C. Introduction to Linear Regression Analysis, 5th edition [Text] / D. C. Montgomery, E. A. Peck, G. G. Vining. – New Jersey: A John Wiley & Sons, 2013. – 672 p.
- Kosminskiy, G. I. Разработка технологии новых сортов пива на основе пряно-ароматического сырья [Текст] / Г. И. Косминский, Е. А. Козлова, Н. Г. Царева // Пищевая промышленность: наука и технология. – 2011. – № 4 (14). – С. 11–15.
- Daniilova, L. A. Антиоксиданты из растительного сырья в технологии стабилизации пива [Текст] / Л. А. Данилова, А. Е. Мелетьев, Т. А. Березка, Т. В. Арутюнян // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 4/10 (64). – С. 23–26. – Режим доступа: <http://journals.urau.ru/eejt/article/view/16308/13831>
- Penkina, H. M. Шишки хмелю та листя хвойних порід дерев у виробництві напоїв [Електронний ресурс] / Н. М. Пенкіна, Л. В. Тамар. – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/17_PN_2015/Chimia/5_194480.doc.htm
- Rovaletti, M. M. L. Polysaccharides influence on the interaction between tannic acid and haze active proteins in beer [Text] / M. M. L. Rovaletti, E. I. Benítez, N. M. J. Martinez Amezaga, N. M. Peruchena, G. L. Sosa, J. E. Lozano, // Food Research International. – 2014. – № 62. – P. 779–785. doi: [10.1016/j.foodres.2014.03.017](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.017)
- Kunze, W. Technology Brewing and Malting [Text] / W. Kunze. – Berlin: VLB, 2014. – 960 p.
- Nikolaeva, S. V. Решение оптимизационной задачи составления рецептурной смеси при неопределённости целевого критерия [Текст] / С. В. Николаева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2006. – № 11. – С. 57–59.

Bibliography (transliterated):

1. Nikolic, D. (2004). Metabolism of 8-prenylaringenin, a potent phytoestrogen from hops (*humulus lupulus*), by human liver microsomes. *Drug Metabolism and Disposition*, 32 (2), 272–279. doi: [10.1124/dmd.32.2.272](https://doi.org/10.1124/dmd.32.2.272)
2. Stampfer, M. J., Kang, J. H., Chen, J., Cherry, R., Grodstein, F. (2005). Effects of Moderate Alcohol Consumption on Cognitive Function in Women. *New England Journal of Medicine*, 352 (3), 245–253. doi: [10.1056/NEJMoa041152](https://doi.org/10.1056/NEJMoa041152)
3. Duk, K. K., Gi, J. K.; assignee: Duk Ki Kim, Gi Jun Kim. (02.05.2003). Manufacturing method of health enhancing beer. Patent Korea KR20030020339A, Classification C12C12/00. Appl. № 10-2003-0007254. Filed 02.05.2003. Available at: <https://patents.google.com/patent/KR20030020339A>
4. Xiaomei, W., Shengyuan, Y. (12.05.2010). Pine-juice beer and its brewing method. Patent China CN101024802B, Classification C12C11/00, C12C5/00. Appl. № 200610009715.9. Filed 17.02.2006. Available at: <https://www.google.com/patents/CN101024802B?cl=en&hl=ru>
5. Zavorohina, N. V., CHugunova, O. V., Poznyakovskii, V. M. (2012). Modelirovanie receptury travnykh kvasov. Pivo i napitki, 6, 12–14.
6. Musina, O. N., Lisin, P. A. (2012). Sistemnoe modelirovanie mnogokomponentnykh produktov pitaniya. Tehnika i tehnologiya pishchevykh proizvodstv, 4 (27), 32–37.
7. Vontgomery, D. C., Peck, E. A., Vining, G. G. (2013). Introduction to Linear Regression Analysis, 5th edition. New Jersey: A John Wiley & Sons, 672.
8. Kosminskii, G. I., Kozlova, E. A., Careva, N. G. (2011). Razrabotka tehnologii novykh sortov piva na osnove pryanoaromaticheskogo syr'ya. *Pishchevaya promyshlennost': nauka i tehnologiya*, 4 (14), 11–15.
9. Danilova, L. A., Melet'ev, A. E., Berezka, T. A., Arutyunyan, T. V. (2013). Antioxidants from plant materials in the technology of beer stabilization. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 4(10(64)), 23–26. Available at: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/16308/13831>
10. Penkina, N. M., Tatar, L. V. (2015). Hop cones and leaves of coniferous trees in the production of beverages. Available at: http://www.rusnauka.com/17_PN_2015/Chimia/5_194480.doc.htm
11. Rovaletti, M. M. L., Benítez, E. I., Martinez Amezaga, N. M. J., Peruchena, N. M., Sosa, G. L., Lozano, J. E. (2014). Polysaccharides influence on the interaction between tannic acid and haze active proteins in beer. *Food Research International*, 62, 779–785. doi: [10.1016/j.foodres.2014.03.017](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.03.017)
12. Kunze, W. (2014). *Technology Brewing and Malting*, Berlin: VLB, 960.
13. Nikolaeva, S. V. (2006). Reshenie optimizacionnoy zadachi sostavleniya recepturnoy smesi pri neopredelyonnosti celevogo kriteriya. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyria*, 11, 57–59.

Надійшла (received) 13.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Розробка рецептури пива з додаванням хвойного екстракту/ Н. М. Пенкіна, Л. В. Татар // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 85–90.– Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Разработка рецептуры пива с добавлением хвойного экстракта/ Н. М. Пенкіна, Л. В. Татар // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 85–90.– Бібліогр.: 13 назв. – ISSN 2079-5459.

Modeling of beer recipe with the addition of pine extract/ Penkina N., Tatar L //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P. 85–90. – Bibliogr.: 13. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Пенкіна Наталія Михайлівна – Кандидат технічних наук, Харківський державний університет харчування та торгівлі, доцент кафедри "Товарознавства в митній справі"; вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: penkina-nataliya@rambler.ru

Татар Лариса Василівна – Харківський державний університет харчування та торгівлі, асистент кафедри "Товарознавства, управління якістю та екологічної безпеки"; вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: tornado.1972@mail.ru.

Пенкіна Наталия Михайловна – Кандидат технических наук, Харьковский государственный университет питания и торговли, доцент кафедры "Товароведения в таможенном деле"; ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: penkina-nataliya@rambler.ru

Татар Лариса Васильевна – Харьковский государственный университет питания и торговли, ассистент кафедры "Товароведения, управления качеством и экологической безопасности"; ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: tornado.1972@mail.ru.

Penkina Natalia – Candidate of Technical Sciences, Associate, Kharkov State University of Food Technology and Trade, Department of merchandise in customs; str. Klochkovskaya, 333, Kharkov, Ukraine, 61051; e-mail: penkina-nataliya@rambler.ru.

Tatar Larisa – Kharkov State University of Food Technology and Trade, Assistant Department of Commodity, quality management and environmental safety; str. Klochkovskaya, 333, Kharkov, Ukraine, 61051; e-mail: tornado.1972@mail.ru.

УДК 658.788

А. А. ЛЯМЗИН, М. В. ХАРА, Е. А. УКРАИНСКИЙ

МЕХАНИЗМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ В СРЕДЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗОН

Розглядається механізм формування «графік-розклад», що забезпечує просторове зміна маршрутних ліній (пере маршрутизації) на часовому відрізку для ефективної діяльності транспортних систем в середовищі промислових зон, з мінімальним впливом на її екологічну складову. «Графік-розклад» дозволить забезпечити розумне управління ефективною взаємодією транспортних систем і середовища промислових зон і може бути реалізований в системі управління департаменту великими муніципальними утвореннями.

Ключові слова: динамічність транспортних потоків, конфігурації транспортного каркаса, екологічна безпека, середа промислових зон.

Рассматривается механизм формирования «график-расписание», обеспечивающего пространственное изменение маршрутных линий (пере маршрутизации) на временном отрезке для эффективной деятельности транспортных систем в среде промышленных зон, с минимальным воздействием на ее экологическую составляющую. «График-расписание» позволит обеспечить разумное управление эффективным взаимодействием транспортных систем и среды промышленных зон и может быть реализован в системе управления департамента крупными муниципальными образованиями.

Ключевые слова: динамичность транспортных потоков, конфигурации транспортного каркаса, экологическая безопасность, среда промышленных зон.

The article deals with issues related to the mechanism of maintenance of ecological safety of transport systems, industrial zones, represented as a complex territorial unit of satisfying the demand of urban society, as well as municipal and industrial entities with a mandatory provision of the regeneration potential of the natural resources of the zone. As a scientific novelty first formed and solved the problem of the formation of routing lines in a time warp for the efficient operation of transport systems in the environment of industrial areas, with minimal impact on its environmental component. The practical significance of the developed mechanism lies in the possibility of its implementation in the control system effective interaction of transport systems and the protection of industrial zones of major municipalities. The result of a general reduction in real-time decision-making in rolling stock management system in the urban environment for 5–10 % of the existing indicators.

Keywords: dynamic traffic flow, vehicle chassis configuration, environmental safety, the environment of industrial zones.

Введение. Обеспечение устойчивости транспорта среды промышленных зон (СПЗ)-сложная и требующая своего решения задача. СПЗ имеет свой уникальный в своем роде микроклимат. Он распространяется далеко за границы СПЗ, который можно сравнить с природными экстремальными местами обитания: территории сильного облучения, высоких температур и метастабильных транспортных потоков.

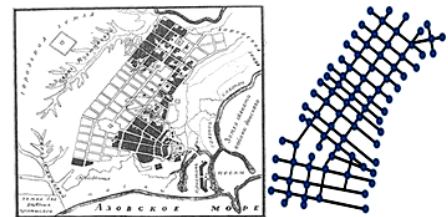
Низкий уровень эффективности во взаимодействии транспортной системы со средой промышленной зоны привела к снижению экологической безопасности последней.

Возникновение данной проблемы вызвано высокой динамикой транспортных потоков, обусловленной низким потенциалом конфигурации транспортного каркаса среды промышленных зон с учетом процесса ее эволюции (рис. 1).

Эволюцию проблемы можно представить в виде логической цепи: «низкий потенциал конфигурации Транспортного каркаса (1)-высокая динамичность Транспортных потоков (2)-низкая экологическая безопасность Транспортных систем (3)». И присвоит условное название самой проблеме «3Т». Сложившаяся неблагоприятная экологическая ситуация в среде промышленных зон является следствием того, что во многих случаях критерием эффективности транспортной системы служит максимальное извлечение прибыли и расширение масштабов бизнеса, а не его сбалансированность и поддерживающее развитие среды промышленных зон

на основе установленных приоритетов ресурсосбережения, экологичности и безопасности.

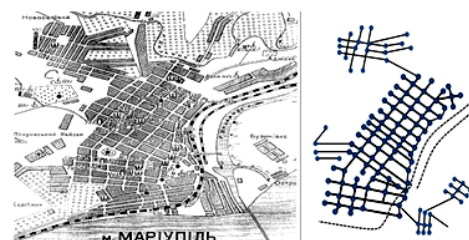
Первый
«эволюционный» этап
развития системы
—
План города Мариуполя
и граф его транспортной
сети, 1826 г.



Второй
«эволюционный» этап
развития системы
—
План города Мариуполя
и граф его транспортной
сети, 1910 г.



Третий
«эволюционный» этап
развития системы
—
План города Мариуполя
и граф его транспортной
сети, 1930 г.



Четвертый
«эволюционный» этап
развития системы
—
План города Мариуполя
и граф его транспортной
сети, 2016 г.



Рис. 1 – Эволюционный процесс развития план города Мариуполя и его транспортной сети

© А. А. Лямзин, М. В. Хара, Е. А. Украинский. 2016

Именно поэтому решение проблемы «ЗТ» основанное на разработке методов и моделей, обеспечивающих организационно-экологическую устойчивость всех элементов транспортной системы в среде промышленных зон является актуальным направлением.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Учитывая существующий теоретический базис, определяющий условия устойчивости транспорта, для выполнения поставленных в работе задач будем рассматривать эффективность транспортных систем и экологическую безопасность их работы, как единое целое.

Следует подчеркнуть, согласно существующей теории [1–6], транспортные источники как базовый элемент СПЗ можно отнести ко второй группе источников негативного воздействия на ЭУ транспорта. Вопросами, связанными с теоретическим описанием механизмов воздействия транспортных источников на ЭУ в различное время занимались отечественные и зарубежные ученые [7–9]. В результате выполненных исследований сформировался подход, в котором транспортные источники относят к наземным непрерывно действующим источникам с переменной мощностью воздействия на экологическое равновесие СПЗ. В некоторых исследованиях для оценки степени влияния на ЭР транспортных источников, они представляются как стационарные точечные. Это позволяет экстраполировать на передвижные источники закономерности воздействия на экологическую устойчивость СПЗ стационарных источников. При этом стационарными источниками назначают линейные элементы транспортного каркаса, а воздействие на узловых точках каркаса рассматривается как фоновое [10].

Существует и другая научная гипотеза, которая гласит: «...источники загрязнения равномерно распределены по некоторой площади в среде промышленных зон. В качестве собственно транспортного источника, как источника загрязнения рассматривается сеть дорог отдельного промышленного района, в границах которого осуществляется движение транспортных средств» [5]. В этой гипотезе критерием для деления среды промышленных зон на кварталы служат как их административные границы, так и параметры развития улично-дорожной сети (УДС) (в частности, плотность УДС).

Однако как в первом, так и во втором методе при описании передвижных источников и их влияние на экологическую устойчивость транспортной системы (ЭУТС) в явном виде мало зависит от условий движения, а потому при выявлении доли влияния транспортных источников на общий уровень ЭУТС для разработки организационных мероприятий по его стабилизации данные методы становятся малоинформативными. Данный факт, в свою очередь, затрудняет процесс поиска критериев определяющих реальную оценку ЭУТС, и тем самым делает процесс управления ЭУТС малоэффективным. В связи с этим имеет научную актуальность вопрос нахождения механизмов, способных выделять и количественно оценивать только ту составляющую ЭУТС, которая приходится на долю транспорта в среде промышленных зон. При

этом они должны быть чувствительны к изменению ЭУТС, вызванного организационными мероприятиями, направленными на обеспечение безопасности СПЗ.

Механизм обеспечения организационно-экологической устойчивости транспортной системы в среде промышленных зон. Для решения данной проблемы необходима разработка механизма формирования «график-расписание (Г–Р)», обеспечивающего пространственное изменение маршрутных линий (пере маршрутизации) на временном отрезке для эффективной деятельности транспортных систем в среде промышленных зон, с минимальным воздействием на ее экологическую составляющую.

«Г–Р» позволит обеспечить разумное управление эффективным взаимодействием транспортных систем и среды промышленных зон.

Для решения задачи построения «Г–Р» предложена целевая функция «ЗТ» и указаны ограничения:

$$F(G/R) = \alpha_U \sum_{j=1}^l x_j \lambda \{Z_j^v\} + \alpha_C \sum_{j=1}^K y_j \sum_{i=1}^M \lambda \{L_i \in T_j\} \sum_{i=1}^{n_i} d_{ii}^j \diamond \lambda \{Z_{ii}^{T_j}\} \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$G/R \in (P, S, L, A),$$

где G/R – эффективность «Г–Р»; α_U, α_C – весовые коэффициенты, указывающие на приоритетность определенного блока целей транспортных компаний и потребителей транспортных услуг, как субъектов обеспечивающих жизнедеятельность среды промышленной зоны; x_j – приоритетность требований (ограничений), выдвигаемых транспортными компаниями и потребителями транспортных услуг при достижении поставленных целей; Z_j^v – требования групп и кластеров потребителей транспортных услуг; L_i – транспортные компании; T_j – кластеры транспортных компаний; $Z_{ii}^{T_j}$ – сектор деятельности транспортных компаний; d_{ii}^j – фактор, определяющий сегмент в секторе деятельности транспортных компаний; l – количество требований потребителей транспортных услуг; K – количество кластеров транспортных компаний, определяемых их мощностью и направленностью в своих действиях (количество подвижного состава в парках, их техническое состояние и т.п.); M – количество транспортных компаний; n_i – количество транспортных компаний в i -ом транспортном кластере; Ω – область ограничений.

В поставленной задаче учтены значение кластеров потребителей транспортных услуг и транспортных компаний как некоторых совокупностей, а так же цели кластеров потребителей транспортных услуг и отдельных транспортных компаний с учетом существующего блока их характеристик. Однако формирование целевой функции является скорее теоретическим базисом, конструктивный подход – алгоритм решения задачи – более сложный процесс. Учитывая предыдущий опыт и тенденции, предложено меха-

низм поиска эффективного «Г–Р» осуществлять, используя эволюционные технологии. Разработав структуру алгоритма решения и реализова целевую функцию, возможно оценить его функциональность.

«Г–Р» формируется отдельно для транспортных систем обслуживающих грузовые и пассажирские корреспонденции. Для определения адекватности того или иного «Г–Р» необходимо проверить ограничения представленной целевой функции. Для оптимизации вычислительного процесса реализуется матрично-эволюционный метод. С этой целью «Г–Р» представляется как электронная таблица с полями:

$$S_E = \frac{\text{Season, Day, Cassessment of the potential of the journey}}{\text{ClusterType, Conditional routing number}}, \quad (2)$$

где *Season* – сезон; *Day* – день; *Cassessment of the potential of the journey* – оценка потенциала маршрута перемещения; *ClusterType* – тип кластера; *Conditional routing number* – условный номер маршрута (номер маршрута – суммарная величина звеньев его формирующих (линейных, узловых)).

Такая структура усложняет проверку адекватности «Г–Р». Упростим ее и визуально представим некоторой трехмерной матрицей (решетчатой структурой). Такая структура будет иметь вид прямоугольника со сторонами лежащими на осях:

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{\text{Season}}{\text{Day}}, \\ X_2 &= \frac{\text{Cassessment of the potential of the journey}}{\text{ClusterType}}, \\ X_3 &= \text{Conditional routing number}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$S_E = \frac{\text{Season}}{\text{Day}}, \quad (4)$$

$$\frac{\text{Cassessment of the potential of the journey}}{\text{ClusterType}},$$

$$\text{Conditional routing number}$$

где $\frac{\text{Season}}{\text{Day}}$ – точка, определяющая вариант решения задачи во временном пространстве;

$$\frac{\text{Cassessment of the potential of the journey}}{\text{ClusterType}} -$$

оценка потенциала составленного маршрута в заданной временной координате для конкретного транспортного кластера;

Conditional routing number – условный номер маршрута (номер маршрута – суммарная величина звеньев его формирующих (линейных, узловых)).

В узлах решетки пространственной модели прямоугольника будут находиться значения:

$$\begin{aligned} &\text{Поставщик транспортных услуг} - \\ &\text{ЗВид транспортной услуги} \text{ сити логистические р} \text{ешения"} - \quad (5) \\ &\text{–Уровень экологической безопасности} \end{aligned}$$

Практическая реализация разработанного механизма в системе управления муниципальным транспортом и результаты его реализации. В рамках данной статьи описан механизм и на его основе разработан программный продукт "Система управления распределением движения", который в свою очередь был создан на базе объектно-ориентированного языка программирования C++ в визуальной средемbarcadero RAD Studio XE, используемых в приложении базы данных созданы в среде InterBase 2009.

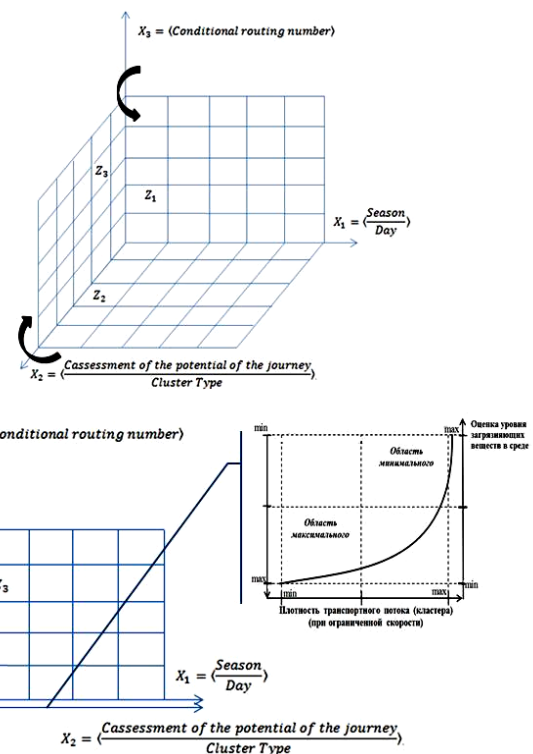


Рис. 2 – Графическое решение проблемы

Задачами решает программный продукта являются: интеграция города Мариуполь и его муниципальных транспортных (на примере коммунального предприятия «Мариупольское-Трамвайно-Троллейбусное управление» г. Мариуполь) систем в единое целое; развитие культуры; использование логистики всеми властными структурами города рационализация материальных и социальных потоков в муниципальном хозяйстве; максимизация загрузки производственных мощностей предприятий муниципального хозяйства; экономия материальных ресурсов на всех стадиях материального потока; оптимизация затрат на производство и реализацию готовой продукции и услуг населению; снижение выбросов токсичных и парниковых газов в окружающую среду от деятельности транспортных систем. Результатом внедрения является общее сокращение реального времени на принятие решений в системе управления подвижного

состава в условиях городской среды на 5–10% от существующих показателей.

Достоверность полученных результатов подкрепляются актом внедрения результатов, подписанный начальником троллейбусно-трамвайного управления г. Мариуполь Симоненко В.И. (акт внедрения подписан 24.09.2014 г.).

Выводы. Сформированный механизм имеет практическое значения т.к. позволяет департаментам управления транспортными системами формировать «адекватные» графики-расписания в условиях промышленных и рекреационных районов крупных муниципальных образований с учетом факторов технологической и экологической безопасности.

Список литературы:

1. Луканин, В. Н. Промышленно-транспортная экология [Текст]: учеб. / В. Н. Луканин, Ю. В. Трофименко. – Москва: Высшая школа, 2003. – 273 с.
2. Луканин, В. Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда [Текст]: учеб. пос. / В. Н. Луканин, А. П. Булаев, Ю. В. Трофименко, М. В. Яшина. – Москва: ИНФРА-М, 1998. – 408 с.
3. Cuesta, J. A. Phase transitions in two dimensional traffic-flow models [Text] / J. A. Cuesta, F. C. Martínez, J. M. Molera, A. Sánchez // Physical Review E. – 1993. – № 48 (6). – P. 175–178. doi:10.1103/physreve.48.r4175
4. Медовщиков, Ю. В. Исследование в теории автомобиля [Текст] / Ю. В. Медовщиков // Транспорт: наука, техника, управление. – 1993. – № 4. – С. 30–40.
5. Dougherty, M. A review of neural networks applied to transport [Text] / M. Dougherty // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 1995. – V. 3, № 4. – P. 247–260. doi:10.1016/0968-090x(95)00009-8
6. Голубев, И. Р. Окружающая среда и транспорт. [Текст] / И. Р. Голубев, Ю. В. Новиков. – Москва: Транспорт, 1987. – 205 с.
7. Hubenko, V. K. The effectiveness of the route network of industrial zones in the urban logistics [Text]: inter. scien. conf. / V. K. Hubenko, A. A. Lyamzin, M. Hara // TRANSPORT PROBLEMS `2013: V International Scientific Conference Katowice. – 2013. – № 1. – P. 150–156.

8. Губенко, В. К. Эффективность системы обеспечения экологической безопасности муниципальных транспортных систем [Текст]: II между. эколог. конгр. / В. К. Губенко, А. А. Лямзин, О. В. Губенко // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов. – 2009. – № 2. – С. 189–193.
9. Лямзин, А. А. Оценка потенциала системы «Транзит» промышленных сити-районов [Текст] / А. А. Лямзин, М. В. Хара // Вестник Донецкого института автомобильного транспорта. – 2013. – № 4. – С. 32–43.
10. Sustainable Transportation and TDM. Planning That Balances Economic, Social and Ecological Objectives [Electronic resource] – Available at: \www/ URL: <http://www.vtpi.org/tdm/tdm67.htm>.

Bibliography:

1. Lukanin, V. N., Trofimenko, V. (2001). Industrial and transport Ecology. Moscow: High school, 273.
2. Lukanin, V. N., Buslaev, A. P., Trofimenko, Iu. V., Yashin, M. V. (1998). Motor flows and the Environment. Moscow: INFRA-M, 408.
3. Cuesta, J. A., Martínez, F. C., Molera, J. M., Sánchez, A. (1993). Phase transitions in two-dimensional traffic-flow models. Physical Review E, 48 (6), R4175–R4178. doi:10.1103/physreve.48.r4175
4. Medovschikov, Iu. V. (1993). Research in the car theory. Transport: science, technology, management, 4, 30–40.
5. Dougherty, M. (1995). A review of neural networks applied to transport. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 3 (4), 247–260. doi:10.1016/0968-090x(95)00009-8
6. Golubev, I. R., Novikov Yu. V. (1987). The environment and transport. Moscow: Transport, 205.
7. Hubenko, V. K., Lyamzin, A. A., Hara, M. V. (2013). The effectiveness of the route network of industrial zones in the urban logistics/ TRANSPORT PROBLEMS `2013: V International Scientific Conference Katowice, 1, 150–156.
8. Hubenko, V. K., Lyamzin, A. A., Hubenko, O. V. (2009). The effectiveness of the system of ecological safety of municipal transport systems. Ecology and life safety of industrial-transport complexes, 2, 189–193.
9. Lyamzin, A. A., Hara, M. V. (2013). Assessment of the potential of the system "Transit" industrial city zones. Bulletin of Donetsk Institute of Road Transport, 4, 32–43.
10. Sustainable Transportation and TDM. Planning That Balances Economic, Social and Ecological Objectives. Available at: <http://www.vtpi.org/tdm/tdm67.htm>.

Поступила (received) 10.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Механізм забезпечення організаційно-екологічної стійкості транспортної системи в середовищі промислових зон/ А. О. Лямзін, М. В. Хара, Є. О. Український // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 91–95.– Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Механизм обеспечения организационно-экологической устойчивости транспортной системы в среде промышленных зон/ А. А. Лямзин, М. В. Хара, Е. А. Украинский // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 91–95.– Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Mechanism to ensure the organizational and environmental sustainability of the transport system in an environment of industrial zones/ A. Lyamzin, M. Hara, E. Ukrainian //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P.91 –95. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лямзін Андрій Олександрович – кандидат технічних наук, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», доцент кафедри «Технології міжнародних перевезень і логістика», вул. Університетська, 7, м Мариуполь, Україна, 87500; e-mail: alyamzin@yandex.ua.

Хара Марина Володимирівна – кандидат технічних наук, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», доцент кафедри «Транспортні технології промислових підприємств», вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, Україна, 87500; e-mail: marina-khara@yandex.ru.

Український Євген Олександрович – асистент, кафедра Автомобільний транспорт, Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет», вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, Україна, 87500; e-mail: e.a.ukrainskyi@gmail.com.

Лямзин Андрей Александрович – кандидат технических наук, Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», доцент кафедры «Технологии международных перевозок и логистика», ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, Украина, 87500; e-mail: alyamzin@yandex.ua.

Хара Марина Владимировна – кандидат технических наук, Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», доцент кафедры «Транспортные технологии промышленных предприятий», ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, Украина, 87500; e-mail: marina-khara@yandex.ru.

Украинский Евгений Александрович – ассистент, Кафедра Автомобильный транспорт, Государственное высшее учебное заведение «Приазовский государственный технический университет», ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, Украина, 87500; e-mail: e.a.ukrainskyi@gmail.com.

Lyamzin Andrei Alexandrovich – candidate of Technical Sciences, State Higher Educational Institution "Azov State Technical University," Associate Professor of the Department "Technology of international transport and logistics", Str. University, 7, Mariupol, Ukraine, 87500; e-mail: alyamzin@yandex.ua.

Hara Marina Vladimirovna – candidate of Technical Sciences, State Higher Educational Institution "Azov State Technical University," Associate Professor of "Transport technology industry", Str. University, 7, Mariupol, Ukraine, 87500; e-mail: marina-khara@yandex.ru.

Ukrainian Evgeny Alexandrovich – assistant, Department of Road Transport, State Higher Educational Institution "Azov State Technical University," Associate Professor of "Transport technology industry", Str. University, 7, Mariupol, Ukraine, 87500; e-mail: e.a.ukrainskyi@gmail.com.

УДК 628.477

І. Г. КОЦЮБА, А. Ф. ЩЕРБАТЮК, Т. Б. ГОДОВСЬКА

ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ УТВОРЕННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ В МІСТІ ЖИТОМИРІ

Опановували практичний досвід поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) в Україні і розвинених країнах світу. Вивчили теоретико-методологічні підходи щодо проведення аналізу процесів утворення ТПВ з врахуванням екологічних, соціальних і економічних факторів. Створено науково-методичне забезпечення для прогнозування обсягів утворення ТПВ на території міста. Виявлена залежність накопичення твердих побутових відходів від впливу основних соціальних, екологічних і економічних факторів, які забезпечили б можливість прогнозувати їх динаміку в якості основи ефективних управлінських рішень в області регіональної екологічної безпеки.

Ключові слова: обсягів накопичення, тверді побутові відходи, прогнозування, екологічна безпека, дохід, житловий фонд

Овладевали практическим опытом обращения с твердыми бытовыми отходами (ТБО) в Украине и развитых странах мира. Изучили теоретико-методологические подходы по проведению анализа процессов образования ТБО с учетом экологических, социальных и экономических факторов. Создан научно-методическое обеспечение для прогнозирования объемов образования ТБО на территории города. Вывявлена зависимость накопления твердых бытовых отходов от влияния основных социальных, экологических и экономических факторов, которые обеспечили бы возможность прогнозировать их динамику в качестве основы эффективных управленческих решений в области региональной экологической безопасности.

Ключевые слова: объемов накопления, твердые бытовые отходы, прогнозирования, экологическая безопасность, доход, жилой фонд

The article discussed the issues related to the prediction of the volume of waste accumulation, practical experience of solid waste (MSW) in Ukraine and the developed world. The aim of this work is to improve process flowsheets collection and transportation of solid waste, which will significantly reduce the anthropogenic and environmental impact in the region.

Studied theoretical and methodological approaches to the analysis of processes of solid waste, taking into account environmental, social and economic factors. A scientific and methodological support for forecasting volumes of solid waste in the city.

As revealed scientific novelty dependent accumulation of solid waste from the effects of major social, environmental and economic factors that would ensure it possible to predict their dynamics as the basis for effective administrative decisions in the field of regional ecological security.

Keywords: volume accumulation, municipal solid waste, forecasting, environmental security, income, housing

Вступ. На сьогодні однією із основних причин екологічно небезпечної ситуації в ряді регіонів України є недосконалість системи збирання й транспортування твердих побутових відходів (ТПВ), яка потребує вдосконалення та постійної адаптації до зростання кількості та різноманітності побутових відходів внаслідок збільшення чисельності міського населен-

ня, підвищення добробуту, зміни обсягу житлового фонду, роздрібною торгівлі та виробництва [1].

Разом з тим, вибір оптимальної технології переробки ТПВ – найбільш відповідальний етап при проектуванні системи санітарної очистки міста від відходів [2]. Для цього необхідно враховувати дані про особливості клімату в місті, перспективи забудови,

© І. Г. Коцюба, А. Ф. Щербатюк, Т. Б. Годовська, 2016

вдосконалення інфраструктури, зміну чисельності населення, обсяг та морфологічний склад ТПВ та їх фізико-хімічні показники, заплановані об'єкти з переробки ТПВ та гідрогеологічні характеристики, концентрації шкідливих речовин в атмосфері тощо.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Зростання населення, індустріалізація, урбанізація й економічне процвітання промисловорозвинених країн і країн, що розвиваються, призводять до збільшення ТПВ. До того ж, чим складнішою стає хімічна природа відходів, тим більшу небезпеку вони несуть для людей і навколишнього природного середовища. Управління поводженням з ТПВ вивчали автори робіт [3, 4].

Практичний досвід авторів робіт [5, 6] засвідчив: якщо під час складування на полігонах та звалищах морфологічний склад ТПВ суттєво не впливає (або майже не впливає) на технологію робіт і технічні показники, то в процесі промислової переробки він набуває важливого значення. Основними показниками стають морфологічний склад, вологість ТПВ та співвідношення органічних і неорганічних речовин. Зрозуміло, що з кожним роком змінюється морфологічний склад ТПВ. У сучасний період збільшується кількість полімерів (ПЕТФ, картону) і значно зменшалася кількість харчових відходів. У зв'язку з цим постає питання про необхідність роздільного збирання окремих компонентів ТПВ як населенням, так і торговельними, промисловими та іншими підприємствами; матеріальне заохочення підприємств і фізичних осіб забезпечить збирання залишків тари й упаковок, паперових і харчових відходів, а також скла та ПЕТФ.

Ціль та задачі дослідження. Метою даної роботи є удосконалення процесів технологічних схем збирання та транспортування твердих побутових відходів, що дозволить суттєво зменшити антропогенне та техногенне навантаження на довкілля регіону.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися такі завдання:

1. Провести аналіз основних проблем ефективно-го збирання та безпечного транспортування твердих побутових відходів.

2. Визначити залежності обсягів накопичення ТПВ залежно від впливу екологічних, соціально-економічних чинників та спрогнозувати обсяги утворення твердих побутових відходів на території міста.

Матеріали та методи дослідження. З традиційних загальнонаукових методів застосовувалися: аналіз і синтез (дослідження властивостей і факторів впливу обсяг накопичення ТПВ); порівняння та аналогія; узагальнення та абстрагування; математичне програмування, теорія графів і теорія множин (розробка системи збирання та транспортування ТПВ); управління проектами (планування і здійснення проекту транспортування ТПВ); моделювання і прогнозування (перевірка розроблених концепцій і верифікація запропонованих моделей). Також для вирішення поставлених завдань у дослідженні використовувалися методи математичного моделювання (математична статистика). Формування баз даних накопичення та транспортування ТПВ здійснювалося у середовищах Mathcad 7.0, Microsoft Excel, Borland C++, а при прогнозі і моделюванні системи транспортування ТПВ використовувалися географічні інформаційні системи у середовищі MapInfo.

Результати дослідження залежностей обсягів накопичення ТПВ від різних факторів. Місто Житомир – населений обласний пункт, який можна розглядати як об'єкт, що накопичує ТПВ. Тому, можемо розробити модель на основі виробничих функцій для визначення обсягів ТПВ. Мета побудови функції полягає в прогнозуванні обсягу накопичення ТПВ в регіональній еколого-економічній системі.

Історично в місті сформувалися райони розселення: Центральний, Мальованка-Корбутівка, Богунія, Хмельники, Соколова гора, Крошня, Смоківка-Мар'янівка, Східний, які дуже різняться характером та капітальністю забудови. Сучасний Житомир – місто з територією в 60,1 м². За адміністративно-територіальним устроєм, воно має обласне значення й поділяється на 2 райони: Богунський і Корольовський. Кількість наявного населення м. Житомира становить приблизно 267 тис. осіб і останнім часом має тенденцію до зменшення (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні показники соціально-економічного розвитку м. Житомира за 2009–2014 роки

Чинники	2009 р.	2010 р.	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.
Чисельність населення, тис. чол.	271,9	271,7	271,8	271,9	271,3	270,9
Житловий фонд міста, тис. м ²	5399	5403	5386	5387	5393	5372
Промислове виробництво, млн грн	3117,5	3495,4	4119,5	6621,8	6943,4	8008,9
Роздрібна торгівля, млн грн	1977,1	2485,6	3445	3698,5	4047,1	4731,2
Доходи, млн грн	8972,8	9632,8	11034,5	13055	13473,5	14407
Відходи міста, м ³	459172,2	486983,2	452689,2	469610,6	502268,6	527884,5

Для міста характерно нерівномірність розселення мешканців щодо основних масивів робочих місць. Колишні промислові зони, сформовані здебільшого в 1950–1980 роках, розташовані у двох районах: східному і північному. Останнім часом відбувається становлення нових форм власності й суспільних відносин, переосмислюються методи забудови міста. Замість промислових гігантів, створюються невеликі ефективні приватні, спільні підприємства та виробництва. Ростуть нові житлові масиви на околицях міста,

і постає нагальне питання про коригування міської межі, яка враховувала б його фактичний стан.

Усі відходи м. Житомира без попереднього сортування вивозять на міський полігон. Зараз жодними міськими, державними чи громадськими інспекціями не визначено, який точний об'єм відходів накопичено на міському звалищі. У наш час полігон перевантажений на 95 % від проектної потужності [7]. Зважаючи на те, що полігон не має можливості розширюватися він збільшується у висоту. Через відсутність загорожі

легкі фракції відходів розносяться вітром, що засмічує територію поблизу звалища.

Накопичення ТПВ у Житомирській області і в усій Україні загалом характеризується тим, що в найбільш густо населених і промислово розвинутих регіонах з високим відсотком міського населення обсяги відходів, що накопичуються, значно вищі, ніж у сільськогосподарських. Тому переважна більшість зазначених відходів припадає на великі міста. Відповідно до норм утворення твердих побутових відходів, від кожного мешканця міста Житомира в середньому накопичується в рік $1,8 \text{ м}^3$ твердих побутових відходів [1, 7]. Аналіз процесу накопичення ТПВ у місті Житомирі дозволив виявити залежність їхньої структури і об'ємів від основних чинників. Під контроль узято ті чинники, які істотно впливали на вихід досліджуваного об'єкта, якщо кількість була великою, вдавалися до відсіювання менш істотних чинників. При дослідженні врахували, якщо виключити з обліку хоча б один чинник, то це негативно позначиться на результатах дослідження. Отже, на об'єм утворення ТПВ у місті впливають такі фактори як кліматичні умови, рівень життя населення тощо, кількість яких обмежимо найбільш вагомими [8].

Оскільки місто Житомир – обласний населений пункт, його можна розглядати як об'єкт, який

утворює ТПВ (за аналогією до підприємства, яке виготовляє продукцію). Це дає можливість розробити математичну модель на основі функції найменших квадратів для визначення об'ємів накопичення ТПВ. Мета побудови функції полягає в прогнозуванні обсягу накопичення ТПВ в регіональній еколого-економічній системі [9].

Насамперед урахували чисельність населення (n_c , тис. чол.). Установили пряму залежність (табл. 1): чим більше жителів населеного пункту, тим більш обсяг ТПВ. Крім того, вплив чисельності жителів на питомих обсяг ТПВ через відмінності рівня споживання. Кількість житлового фонду (f_g , тис. м^2) як показник розвиненості населеного пункту, також є чинником впливу [10]. Підтвердженням цього є вимоги нормативних документів, що регламентують оплату населенням послуг з вивезення ТПВ не за кількістю тих, хто проживає у квартирі, а за її метражем. Одним з важливих чинників виступив оборот роздрібною торгівлі, включаючи громадське харчування, де утворюється істотна частка ТПВ (t_p , млн грн).

Фактори, що характеризують розвиток суспільства й добробут населення, – обсяг виробленої промислової продукції (v_p , млн грн) та грошові доходи населення (z_p , млн грн).

Таблиця 2 – Фактичні дані для побудови виробничої функції м. Житомира

Фактор	Роки					
	Фактичні					
	2011 р.	2012 р.	2013 р.	2014 р.	2015 р.	2016 р.
n_c , тис. чол.	271,8	271,9	271,3	270,9	269,9	267,6
f_g , тис. м^2	5386	5387	5393	5372	5389	5398
t_p , млн грн	3445	3698,5	4047,1	4731,2	5348,6	5938
v_p , млн грн	4119,5	6621,8	6943,4	8008,9	10845,1	11693
z_p , млн грн	11034,5	13055	13473,5	14407	18034	19521
$q_{\text{мне}}$, м^3	452689,2	469610,6	502268,6	527884,5	551550,6	576806,7

На основі даних (табл. 1, 2) середньорічної чисельності населення міста в цілому й адміністративно-територіальних одиниць зокрема були отримані апроксимуючі поліноміальні залежності.

Як приклад розглянуто місто в цілому (рис. 1). Аргументом для цього й наступних графіків, а також залежностей використано різницю $u = Z - 2012$, де Z – рік. Так, наприклад, значенню $u = -2$ відповідає

$u = 2010$, а значенню $u = 2$ відповідає $Z = 2014$.

Тобто, за нуль прийнято розрахунковий 2012 рік. Це дозволило зменшити величини коефіцієнтів у формулах. Статистичні дані по місту в цілому можуть бути апроксимовані (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,95$) поліноміальною залежністю:

$$n_c = -0,1548x^2 + 622,41x - 625522 \quad (1)$$

З графіка (рис. 1) і залежності рівняння (1) видно, що кількість населення міста сильно зменшується, що вказує на несприятливу демографічну ситуацію. Використовуючи отриману апроксимуючу залежність, може визначити прогнозні значення середньорічної чисельності населення міста.

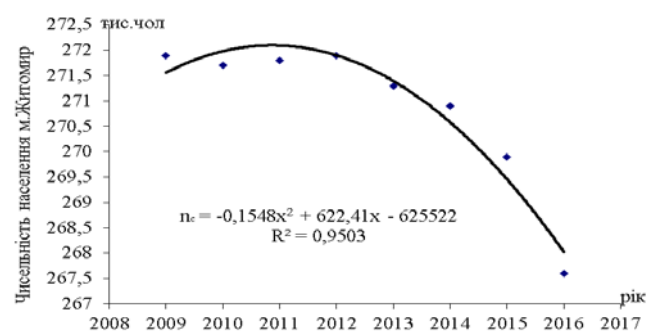


Рис. 1 – Середньорічна чисельність населення м. Житомира

На основі даних (табл. 1, 2) об'єму житлового фонду міста отримано залежність (рис. 2). Одержані статистичні дані можна апроксимувати ($R^2 = 0,58$):

$$f_g = 0,3611x^3 - 2179x^2 + 4E+06x - 3E+09 \quad (2)$$

Використовуючи отримані апроксимуючі залежності, може визначити прогнозні значення об'єму житлового фонду, на підставі яких можна зробити висновки, що об'єм житлового фонду, незважаючи на зменшення чисельності населення, збільшується.

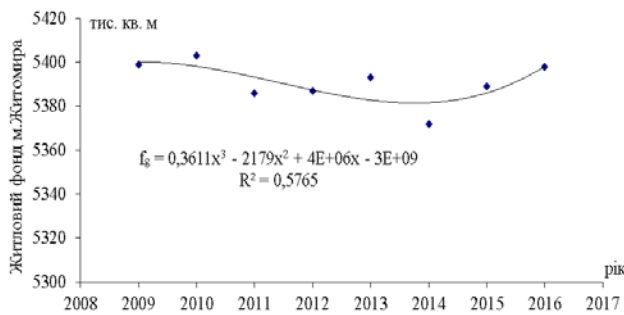


Рис. 2 – Об'єм житлового фонду м. Житомира

На основі даних (табл. 1, 2) об'єму роздрібної торгівлі міста, включаючи громадське харчування, отримано рівняння (3), на основі якого побудовані графіки (рис. 3) й отримана апроксимуюча залежність для м. Житомира ($R^2 = 0,99$):

$$t_r = -0,0994x^2 + 550,68x + 3684,1 \quad (3)$$

Така апроксимуюча залежність дозволяє отримати такі прогнозні значення об'ємів роздрібної торгівлі, включаючи громадське харчування. Тому самим можна зробити висновок, що об'єм роздрібної торгівлі, включаючи громадське харчування, зростає.

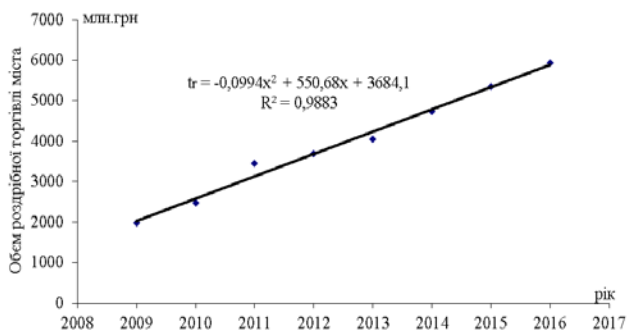


Рис. 3 – Об'єм роздрібної торгівлі м. Житомира

Аналогічно на основі статистичних даних побудували графіки та залежності для інших параметрів. За фактори, що характеризують розвиток суспільства й добробут населення, взято обсяг виробленої промислової продукції (рис. 4) та грошові доходи населення (рис. 5).

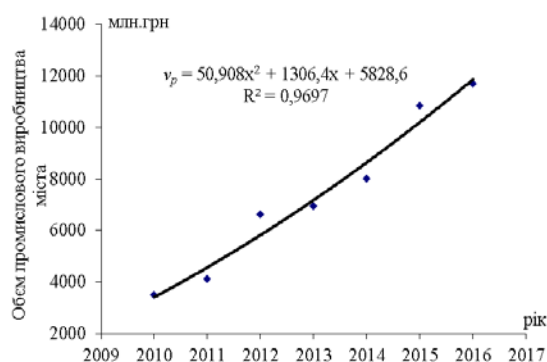


Рис. 4 – Обсяг промислового виробництва м. Житомира

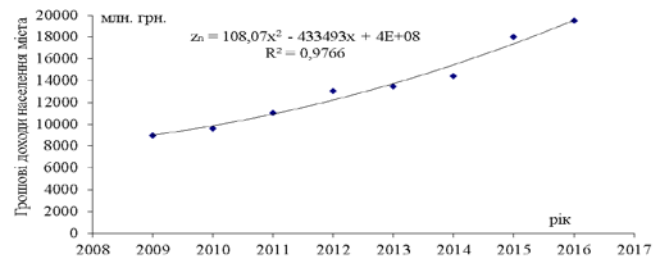


Рис. 5 – Грошові доходи населення м. Житомира

Використовуючи отриману апроксимуючу залежність, визначили прогнозні значення по грошових доходах населення та обсягу промислового виробництва. Отже, останнім часом спостерігається стійкий ріст грошових доходів населення м. Житомира й істотне зростання обсягу промислового виробництва. Найближчим часом ця тенденція збережеться.

Статистика об'ємів твердих побутових відходів, що вивозяться, показує їх постійну зміну. Загальною тенденцією останніми роками було зростання об'ємів вивезення, на що вказує апроксимація результатів. Розкид точок відносно лінії тренду говорить про низьку якість статистичних даних (рис. 6).

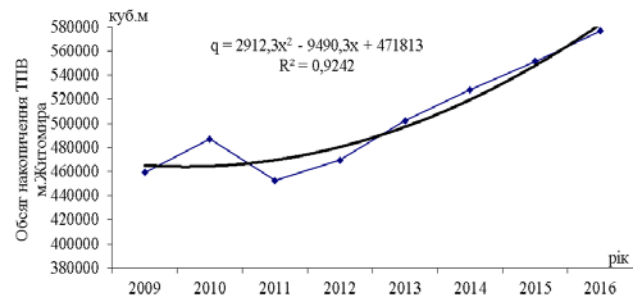


Рис. 6 – Обсяг накопичення ТПВ міста Житомира

Аналіз даних свідчив, що приросту кожного з ресурсів відповідає позитивний приріст ТПВ. Це дозволяє стверджувати, що функція q буде підвищуватися з ростом кожного аргументу. Збільшення об'єму ТПВ здійснюється за рахунок збільшення обсягу житлового фонду, істотного зростання показників роздрібної торгівлі та громадського харчування, зростання промислового виробництва, значного підвищення доходів.

Висновки. При організації й управлінні процесами обігу накопичення ТПВ міста не обмежувалися рамками окремого полігону, а розширили систему до кордонів конкретного регіону (місто Житомир). Таким чином, дослідили особливості чинними соціального, виробничого, економічного розвитку міста, які впливають на процес утворення ТПВ м. Житомир – динамічний регіон, що розвивається, з відносно гарними для середньо-українського рівня показниками оцінки діяльності виробництва.

Найбільший вплив на утворення обсягу ТПВ міста мають доходи населення. Найбільшу кількість відходів можна прогнозувати на 2019 рік. Це пояснюється інтенсивною чисельністю населення та залежністю рівнем життя і розвитку тих чи інших виробництв промисловості міста. Обмеженість ресурсів не дозво-

ляє збільшити населення більш ніж в 1,5 рази в прогнозованому періоді, тому можна вважати, що ефективність приросту цього ресурсу падає в силу його подальшого збільшення.

Список літератури:

- ДБН В.2.4-2-2005. Проектування. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування [Електронний ресурс]. – Київ: Держбуд України, 2005. – 40 с. Режим доступу: <http://www.stroynote.com.ua/construction-regulations/document-395.html>.
- Кульчицька-Жигайло, Л. Стандарти ЄС та чинні в Україні норми і правила проектування та експлуатації полігонів твердих побутових відходів [Текст]: міжн. наук.-техн. конф. / Л. Кульчицька-Жигайло // Полігони твердих побутових відходів: проектування та експлуатація, вимоги Європейського Союзу, Кіотський протокол. – 2008. – С. 145–155.
- Лотоцький, О. Б. Національна стратегія поводження з твердими побутовими відходами в Україні – шляхи до стабільного майбутнього [Текст]: збірн. міжн. конгр. / О. Б. Лотоцький, Й. Бістром // Екологія, технологія, економіка, водопостачання, каналізація. – Київ: ВПЦ «Три крапки», 2005. – С. 47–51.
- Gworek, B. Impact of the Municipal Solid Waste Łubna Landfill on Environmental Pollution by Heavy Metals [Text] / B. Gworek, W. Dmuchowski, E. Koda, M. Marecka, A. H. Baczewska, P. Brągoszewska, A. Sieczka, P. Osiński // Water. – 2016. – Vol. 8, № 10. – P. 470. doi: [10.3390/w8100470](https://doi.org/10.3390/w8100470)
- Sharma, D. Parametric Analysis of Leachate and Water Resources around Municipal Solid Waste Landfill area in Solan [Text] / D. Sharma, R. Ganguly // MATEC Web of Conferences. – 2016. – № 57. – P. 4. doi: [10.1051/mateconf/20165703011](https://doi.org/10.1051/mateconf/20165703011)
- Nghiem, L. D. Water reclamation and nitrogen extraction from municipal solid waste landfill leachate [Text] / L. D. Nghiem, F. I. Hai, A. Listowski // Desalination and Water Treatment. – 2016. – № 57 (60). – P. 29220–29227. doi: [10.1080/19443994.2016.1169949](https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1169949)
- Chun, S. K. The Effect of Leachate and Organic Waste Water Injection on Decomposition Characteristics of Landfill Waste [Text] / S. K. Chun, N. J. Kim // Journal of Korea Society of Waste Management. – 2012. – Vol. 29, № 8. – P. 697–704. doi: [10.9786/kswm.2012.29.8.697](https://doi.org/10.9786/kswm.2012.29.8.697)
- Про затвердження Методики розроблення оцінки впливу на навколишнє природне середовище для об'єктів поводження з твердими побутовими відходами [Електронний ресурс]. – Київ: Держбуд України, 2006. – 21 с. – Режим доступу: <http://ua-info.biz/legal/basert/ua-dmpwje.htm>
- Льченко, А. В. Використання програмного забезпечення з метою оптимізації системи поводження з твердими відходами міста Житомира [Текст] / А. В. Льченко, І. Г. Коцюба // Екологічна безпека. – 2011. – № 1. – С. 13–16.
- Льченко, А. В. Визначення зміни кислотності ґрунтів стихійних звалищ передмістя Житомира / Льченко А. В., Коцюба І. Г. // Вісник ЖДТУ. Серія: Технічні науки. – 2008. – № 4 (47). С. 252–257.

Bibliography (transliterated):

- DBN V.2.4-2-2005. Proektuvannya. Poligony` tverdy`x pobutovy`x vidxodiv. Osnovni polozhennya proektuvannya (2005). Kiev: Derzhbud Ukrayiny, 40. Available at: <http://www.stroynote.com.ua/construction-regulations/document-395.html>.
- Kulchytka-Zhyhailo, L. (2008). Standarty YeS ta chynni v Ukraini normy i pravyla proektuvannya ta ekspluatatsii polihoniv tverdykh pobutovykh vidkhodiv. Polihony tverdykh pobutovykh vidkhodiv: proektuvannya ta ekspluatatsiia, vymohy Yevropeiskoho Soiuzu, Kiotskyi protokol, 145–155.
- Lototskyi, O. B., Bistrom, Y. (2005). Natsionalna stratehiia povodzhennia z tverdymy pobutovymy vidkhodamy v Ukraini – shliakhy do stabilnoho maibutnoho. Ekologiya, tekhnologiya, ekonomika, vodopostachannya, kanalizaciya, Kiev: VPCZ «Try krapky», 47–51.
- Gworek, B., Dmuchowski, W., Koda, E., Marecka, M., Baczewska, A., Brągoszewska, P., Sieczka, A. Osiński, P. (2016). Impact of the Municipal Solid Waste Łubna Landfill on Environmental Pollution by Heavy Metals. Water, 8 (10), 470. doi: [10.3390/w8100470](https://doi.org/10.3390/w8100470)
- Sharma, D., Ganguly, R. (2016). Parametric Analysis of Leachate and Water Resources around Municipal Solid Waste Landfill area in Solan. MATEC Web of Conferences, 57, 4. doi: [10.1051/mateconf/20165703011](https://doi.org/10.1051/mateconf/20165703011)
- Nghiem, L. D., Hai, F. I., Listowski, A. (2016). Water reclamation and nitrogen extraction from municipal solid waste landfill leachate. Desalination and Water Treatment, 57 (60), 29220–29227. doi: [10.1080/19443994.2016.1169949](https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1169949)
- Chun, S. K., Kim, N. J. (2012). The Effect of Leachate and Organic Waste Water Injection on Decomposition Characteristics of Landfill Waste. Journal of Korea Society of Waste Management, 29 (8), 697–704. doi: [10.9786/kswm.2012.29.8.697](https://doi.org/10.9786/kswm.2012.29.8.697)
- On approval of the Methodology development impact assessment on the environment for objects of solid waste (2006). Kiev: Derzhbud Ukrainy, 21. Available at: <http://ua-info.biz/legal/basert/ua-dmpwje.htm>
- Ilchenko, A. V., Kocyuba, I. G. (2010). Using software to optimize the system of solid waste of the city of Zhitomir. Environmental Security, 1, 13–16.
- Ilchenko, A. V., Kocyuba, I. G. (2008). Determination of change of acidity of soils of elemental dumps of suburb of Zhytomyr. Bulletin ZSTU. Series: Engineering, 4 (47), 252–257.

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Прогнозування обсягів утворення твердих побутових відходів в місті Житомирі/ І. Г. Коцюба, А. Ф. Щербатюк, Т.Б. Годовська// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.95–100. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Прогнозирование объемов образования твердых бытовых отходов в городе Житомире/ И. Г. Коцюба, А. Ф. Щербатюк, Т.Б. Годовская// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.95–100. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Forecasting volumes of solid waste in the city of Zhytomyr/ I. Kotsiuba, A. Shcherbatyuk, T. Godovska //Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179). – P. 95–100. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Коцюба Ірина Григорівна – кандидат технічних наук, Житомирський державний технологічний університет, доцент кафедри екології; вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005; e-mail: kotsuba28@yandex.ua

Коцюба Ірина Григорьевна – кандидат технических наук, Житомирский государственный технологический университет, доцент кафедры экологии; ул. Чудновская, 103, г. Житомир, Украина, 10005; e-mail: kotsuba28@yandex.ua

Kotsiuba Iryna – candidate of technical sciences, associate professor, Zhytomyr State Technological University, Department of ecology; Chudnivska str., 103, Zhytomyr, Ukraine, 10005; e-mail: kotsuba28@yandex.ua;

Щербатюк Анна Федорівна, Житомирський державний технологічний університет, доцент кафедри екології; вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна, 10005; e-mail: bazko80@ukr.net

Щербатюк Анна Федоровна – кандидат технических наук, Житомирский государственный технологический университет, доцент кафедры экологии; ул. Чудновская, 103, г. Житомир, Украина, 10005

Shcherbatyuk Anna – candidate of technical sciences, associate professor, Zhytomyr State Technological University, Department of ecology; Chudnivska str., 103, Zhytomyr, Ukraine, 10005; e-mail: bazko80@ukr.net

Годовська Тетяна Борисівна – кандидат технічних наук, директор, ПП «Експертний центр «Укркобіокон», пл. Згоди, 3/75, к. 21, м. Житомир, Україна, 10030, e-mail: godovskatetyana@gmail.com.

Годовская Татьяна Борисовна – кандидат технических наук, директор, ЧП «Экспертный центр «Укрэкобиокон», пл. Згоди, 3/75, к. 21, г. Житомир, Украина, 10030, e-mail: godovskatetyana@gmail.com.

Godovska Tetyana – candidate of technical sciences, director, Private Company "Expert Center "Ukrekobiokon", Zgoda sq., 3/75, apt. 21, Zhytomyr, Ukraine, 10030, e-mail: godovskatetyana@gmail.com

УДК 621.039.586:614.876

В. М. ВАЩЕНКО, В. Л. СИДОРЕНКО, І. Б. КОРДУБА

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВИДУВАННЯ ^{137}Cs У ЧОРНОБИЛЬСЬКІЙ ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ ПІСЛЯ ПРИРОДНИХ ПОЖЕЖ

Наведено модель дефляції (вітрового переносу) радіоактивних продуктів згорання після природної пожежі у Чорнобильській зоні відчуження, що використовується для розрахунку горизонтальної міграції радіонуклідів у вигляді модуля дефляції. Запропонована методика розрахунку переносу еолового матеріалу, в якому містяться радіонукліди.

Звертається також увага на те, що вогняні смерчі, які часто утворюються в зонах пожеж, є особливим маловивченим явищем, здатним створити небезпечну радіаційно-екологічну ситуацію шляхом інтенсивного підйому радіоактивних субстанцій на значні висоти та перенесення їх із зони пожежі на значні відстані.

Ключові слова: зона відчуження, природні пожежі, радіоцезій, дефляція, видування, вогняний смерч.

Представлена модель дефляції (ветрового переносу) радиоактивных продуктов сгорания после природного пожара в Чернобыльской зоне отчуждения, которая используется для расчета горизонтальной миграции радионуклидов в виде модуля дефляции. Предложена методика расчета переноса эолового материала, в котором содержатся радионуклиды. Акцентируется также внимание на том, что огненные смерчи, которые часто образуются в зонах пожаров, являются особым малоизученным явлением, способным создать опасную радиационно-экологическую обстановку путем интенсивного подъема и переноса радиоактивных субстанций из зоны пожара на значительные высоты и расстояния.

Ключевые слова: зона отчуждения, природные пожары, радиоцезий, дефляция, выдувание, огненный смерч.

This paper presents deflation (wind blowing) model of radioactive burning products after a wildfire in Chernobyl alienation zone. This model is used to calculate horizontal migration of nuclides as a deflation module. Based on existing models and experimental study of cesium-contaminated radionuclides deflation, a method for calculating eolic material transport containing radionuclides is proposed. Atmosphere radioactive contamination after radionuclides-contaminated forest fires is estimated by model forecast of radionuclides transport after wildfire and experimental data on ^{137}Cs deflation intensity and their ratio. The development of model of radiocesium wind blowing into the air after a wildfire is based on requirement that it must disclose deflation nature, first of all, concerning ^{137}Cs specific activity, maximal wind speed, dust storms durations, etc. Insensitivity and direction of ^{137}Cs horizontal migration are linked to wind speed, its dynamic characteristics, soil susceptibility to deflation, degree of soil protection from wind, soil stability, vegetation availability, relief peculiarities, weather conditions and other factors.

It is also stressed that firestorms, which often occur in wildfire regions, are a special understudied phenomenon that can cause a hazardous radiation-ecological situation by intense uplift of radioactive substances to significant heights and transport them from wildfire area to large distances that will subsequently cause radioactive contamination of areas outside the forest fires region.

Keywords: Exclusion Zone, wildfires, cesium, deflation, blowing out, firestorm.

Вступ. У процесі Чорнобильської катастрофи на територію 30-ти кілометрової зони ЧАЕС випало у вигляді радіоактивних опадів близько 4,4 ПБк ^{137}Cs , 4,0 ПБк ^{90}Sr та 32 ТБк $^{239,240}\text{Pu}$.

З 1986 по 2014 рік у Чорнобильській зоні сталося біля 1000 природних пожеж, якими було охоплено 16,9 тис. га лісів та 19,6 тис. га трав'яного настилу. Після природних пожеж горизонтальна міграція радіоактивних продуктів згорання (РПЗ), які містяться в ґрунтах, призводить до радіоактивного забруднення чистих територій або збільшення густини радіаційного забруднення тих ділянок, що розташовані поруч з територіями, які піддаються видуванню (дефляції).

Разом з тим, небезпека вторинного радіоактивного забруднення територій пов'язана з густиною радіоактив-

ного забруднення ґрунту, який піддається впливу вітрової ерозії, та питомою активністю радіонуклідів в еоловому матеріалі. Існуючі матеріали щодо вітрової ерозії потребують нового аналізу у зв'язку з виникненням питань оцінки поля концентрації радіонуклідів у приземному повітрі, густини випадань на земну поверхню, дози опромінення від вторинного забруднення РПЗ, а дефляція як агент горизонтальної міграції радіонуклідів набуває нового мало вивченого напрямку.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Інформація про рівень дефляції РПЗ після природної пожежі (лісова, лугова, торф'яна, їх комбінації), пов'язана з розрахунками модуля дефляції. Такі розрахунки зручно виконувати, користуючись моделями дефляції. Проте існуюче різно-

© В. М. Ващенко, В. Л. Сидоренко, І. Б. Кордуба, 2016

маніття моделей дефляції радіонуклідів та їх аналіз спричиняють вибір саме тих, які дають можливість отримувати реальні дані про модуль дефляції для конкретних лісових пожеж і природних умов.

Ціль та задачі дослідження. Оцінити величину радіоактивного забруднення атмосфери після пожеж у лісах, забруднених технологічними радіонуклідами, за допомогою модельного прогнозу переносу радіонуклідів після природної пожежі, експериментальним даним щодо коефіцієнту інтенсивності дефляції ^{137}Cs та їх співвідношень.

Матеріали та методи дослідження. За своїм функціонуванням існуючі моделі дефляції радіонуклідів неоднозначні і можуть бути об'єднані у декілька груп [1–3]: прогноз дефляції, що спирається на математико-статистичні залежності факторів дефляції; прогноз дефляції, що спираються на результати досліджень фізичної природи ґрунтової аеродинаміки і кліматичних факторів; прогнозу переносу радіонуклідів при дефляції.

У наведених моделях прогнозу видування радіонуклідів у повітря звичайно використовувалися непараметричні коефіцієнти, які мають суб'єктивний характер виявлення (розрахунку) коефіцієнта інтенсивності дефляції. Дані моделі представлені як такі, що не враховують особливостей ґрунтових відмін, вони не містять інформацію про гранулометричний склад ґрунту, який є досить важливим показником.

Проведений вище аналіз існуючих моделей дає підставу стверджувати, що прийняті за базову модель розрахунку підйому й атмосферного переносу радіоактивних аерозолів як таку, що найбільш повно враховує фізичну сутність дефляції радіоактивних продуктів згорання після лісової пожежі та подає її об'єктивну параметричну оцінку у вигляді модуля неможливо. Тільки після проведення експериментальних досліджень радіоекологічного характеру, основними з яких є розподіл питомої активності радіонуклідів у структурних фракціях ґрунтів різного генетичного типу, а також спеціальних аеродинамічних досліджень, цю модель можна буде використати у прогнозних розрахунках переносу радіоактивної речовини.

Результати дослідження переносу радіонуклідів після природної пожежі. Для оцінки реальних процесів поверхневого стоку радіоцезію у травні 1994 року було проведено пошаровий відбір зразків ґрунту у горілому лісі біля с. Куповате (30-кілометрова зона ЧАЕС) [4]. Результати гамма-спектрометричного аналізу ґрунту пошарово на модельному схилі після лісової пожежі показали, що на другій частині схилу відбулося значне нагромадження радіоцезію (більше ніж 2,5 рази). Ці дані свідчать про можливість інтенсифікації процесів стоку ^{137}Cs після пожежі. Очевидно, що у результаті пожежі, коли підстилка та дернина повністю вигорають, можна очікувати значного збільшення швидкості міграції та

поверхневого стоку радіоцезію. На рис. 1 представлено гістограму розподілу фракції нелеткої золи (%) за масою, а на рис. 2 – гістограма розподілу активності ^{137}Cs у зональному залишку.

Густина забруднення згорілої підстилки становила $70\text{--}900\text{ кБк/м}^2$ і була покрита радіоактивним зольними частками розміром $10\text{--}20\text{ мкм}$ з питомою активністю по ^{137}Cs $0,6\text{--}1,5\text{ кБк/кг}$, які можуть стати вторинним джерелом радіаційного забруднення навколишнього середовища за рахунок дефляції.

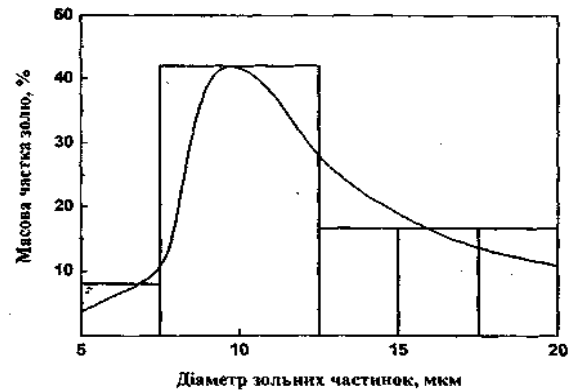


Рис. 1 – Розподіл фракцій нелеткої золи у лісовій підстилці

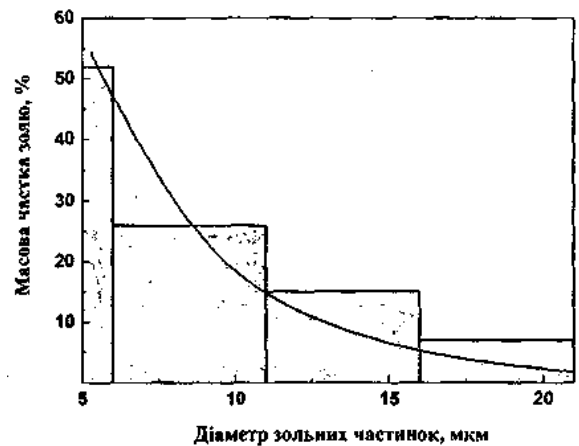


Рис. 2 – Розподіл активності ^{137}Cs у зольному залишку лісової підстилки

У табл. 1 наведено розподіл активності ^{137}Cs у зольному залишку залежно від дисперсності зольних часток. Зміна активності ^{137}Cs в зольному залишку проводили на напівпровідниковому γ -спектрометрі з використанням багатоканального аналізатора з похибкою $\leq 15\%$. З даних, наведених у табл. 1 видно, що максимум розподілу фракції золи за розміром і активності ^{137}Cs складає $\sim 70\%$ для лісової підстилки, для хвої та гілок сосни – $> 60\%$ та припадає на частки розміром $1\text{--}5\text{ мкм}$ і це значення зменшується зі збільшенням розміру часток золи. Отримані дані дозволили розрахувати швидкість вільного осадження крупних часток золи розміром $< 20\text{ мкм}$ за законом Стокса.

Таблиця 1 – Розподіл активності ^{137}Cs в зольному залишку в залежності від їх дисперсності для різного виду паливного матеріалу, %

Тип рослинної біомаси	Діаметр зольних часток, мкм				
	< 2,0	< 4,0	< 6,0	< 8,0	< 10,0
Лісова підстилка	45	30	15	12	8
Гілки і хвоя сосни	40	25	17	8	10

$$V_{\text{пс}} = \frac{g d_3}{18 \eta_e} (\rho_3 - \rho_e), \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння частки золи, м²/с; d_3 – аеродинамічний еквівалент діаметру часток золи, мкм; η_e – динамічний коефіцієнт в'язкості повітря, Па/с; ρ_3 – густина часток золи, кг/м³; ρ_e – густина повітря, кг/м³.

Середня швидкість сухого осадження радіоактивної золи склала 0,008 м/с. Поверхня лісової підстилки після пожежі буде покрита радіоактивними зольними частками розміром 5–20 мкм з активністю по ¹³⁷Cs більше 60 %, які можуть стати вторинним джерелом забруднення навколишнього середовища за рахунок дефляції. Причому поширення радіоактивного золи залежатиме від коефіцієнта вітрового захоплення, який є усередненою характеристикою від геометричних розмірів і форм часток золи, їх фізико-хімічних властивостей, від структури і стану поверхні землі, наявності та виду рослинного покриву. Розподіл зольних часток ¹³⁷Cs за розмірами задовільно апроксимувати логнормальною функцією виду:

$$n(r) = \frac{n_0}{\sqrt{2\pi} \cdot \lg \sigma_g} \exp \left[-\frac{\lg(r/r_0)}{2 \lg^2 \sigma_g} \right], \quad (2)$$

де $n(r)$ – число зольних часток ¹³⁷Cs в інтервалі $r, r + dr$; n_0 – інтегральна концентрація зольних часток ¹³⁷Cs, що визначена з логнормального розподілу;

r_0 – медіанний радіус зольних часток ¹³⁷Cs, мкм; σ_g – стандартне геометричне відхилення.

Розподіл питомої активності радіоцезію у структурних фракціях ґрунтів після природний пожежі залежить від їх генетичного типу. Не пояснюючи в межах даної роботи природу цього явища, що було предметом спеціальних досліджень [5, 6], зазначимо, що в торф'яних і дерново-підзолистих суглинкових ґрунтах питома активність ¹³⁷Cs збільшується зі зменшенням діаметра структурних фракцій. Інтенсивність видування ґрунту з осадженнями ¹³⁷Cs значною мірою залежать від його гранулометричного складу і вмісту в ньому гумусу: на ґрунтах супіщаного гранулометричного складу вітрова ерозія починає проявлятися при швидкості вітру 3–4 м/с; на легкосуглинкових – 4–6 м/с; на важкосуглинкових – 5–7 м/с; на глинистих – 7–8 м/с.

Зольні частки розміром 0,05–0,10 мм переміщуються при швидкості вітру 3–3,5 м/с на висоті 0,15 м. Частки золи розмірами 0,25 мм переносяться вітром у повітрі, якщо збільшується сила вітру – зростає інтенсивність вітрової ерозії ¹³⁷Cs.

З метою виявлення закономірностей розподілу активності ¹³⁷Cs у структурних фракціях ґрунтів та визначення її в тій частині ґрунту, що транспортується вітром (мова йде про структурні фракції розміром до 1 мм у діаметрі, про еоловий матеріал), були проведені спеціальні аеродинамічні експериментальні дослідження, результати яких наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Питома активність радіоцезію в ґрунтах та їх ерозійній фракції

Статистичний показник	Дерново-підзолистий суглинковий		Дерново-підзолистий суглинковий		Торфовий	
	ґрунт	еоловий матеріал	ґрунт	еоловий матеріал	ґрунт	Еоловий матеріал
Питома активність ¹³⁷ Cs, Бк/кг	770	550	760	780	540	990
Стандартна похибка, Бк/кг	214,7	219,3	150,4	143,2	115,8	175,1
Стандартне відхилення	607,2	620,4	425,5	405,1	463,0	700,2
Дисперсія вибірки	368691	384882	181053	164100	214375	490327
Ексцес	4,68	6,84	0,84	0,21	3,98	0,74
Мінімум	200	70	270	250	113	187
Максимум	2150	2045	1575	1505	1810	2470
Коефіцієнт варіації	79,0	113,0	56,3	51,8	86,3	71,1

З приведених в табл. 2 даних бачимо, що активність ¹³⁷Cs у еоловому матеріалі трьох типів ґрунтів, що аналізувалися, коливалася у межах від 540 на мінеральних до 990 Бк/кг на органогенних ґрунтах. Причому активність еолового матеріалу торфовищ перевищувала в 1,8 рази питому активність еолового матеріалу 0–5 см шару ґрунту. Коефіцієнт інтенсивності дефляції ¹³⁷Cs після природний пожежі визначали за даними натурних спостережень:

$$\left(K(t) = \frac{0,1 P_i m b V_2}{S a t V_1} \right), \quad (3)$$

де $K(t)$ – коефіцієнт інтенсивності дефляції, кг/га-год.;

P_i – коефіцієнт, що характеризує тип природний пожежі (лісова, лугова, торф'яна, їх комбінація);

m – середня вага шару ґрунту, забрудненого ¹³⁷Cs після природної пожежі, що вловлюється пилозбірником під час інтенсивного вітру, кг;

t – час дефляції, год.;

V_1, V_2 – середня та базисна (10,5 м·с⁻¹) швидкість вітру на висоті 0,5 м, м·с⁻¹;

a – ширина приймальної частини пиловловлювача, см;

b – ширина природний пожежі, м;

S – площа природний пожежі, га.

Для ґрунтів, що досліджувалися, були розраховані коефіцієнти інтенсивності дефляції (табл. 3).

Таблиця 3 – Агрохімічні показники ґрунтів і коефіцієнт інтенсивності дефляції ґрунтів за ^{137}Cs при швидкості вітру більше 10 м/с на висоті флюгеру за параметром шорсткості 0,01 м

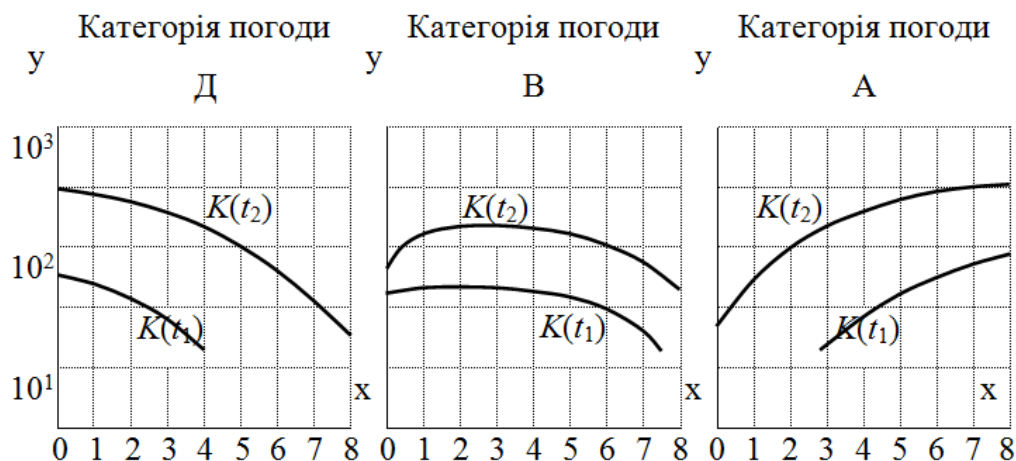
Ґрунт	pH _{KCl}	Гумус, %	Коефіцієнт дефляції, кг/га · год.
Дерново-підзолистий піщаний	5,6	2,1	1,5
Дерново-підзолистий супіщаний	5,4	1,6	0,6
Дерново-підзолистий суглинковий	5,9	3,7	0,007
Торфволице осушене	5,7	6,8	0,14

Обговорення результатів дослідження. Розробка моделі прогнозу видування радіоцезію у повітря після природної пожежі спирається передусім на те, що вона повинна істотно розкривати природу дефляції, насамперед таку, як питома активність ^{137}Cs , максимальна швидкість вітру, тривалість пилових бур тощо. Інтенсивність і напрямки горизонтальної міграції ^{137}Cs пов'язані зі швидкістю вітру, його динамічними характеристиками, сприйнятливостю ґрунту до дефляції, ступенем захищеності його від впливу вітру, стійкості ґрунту, наявності рослинного покриву, особливостей рельєфу, погод-

них умов та інших чинників.

На рис. 3 приведено залежність коефіцієнту інтенсивності дефляції $K(t)$ після торф'яної пожежі для різних метеорологічних умов (швидкості вітру та категорії погоди):

- Д – нестійка стратифікація атмосфери, що характерна для сонячної літньої погоди (конвекція);
- В – нейтральна стратифікація для літньої погоди з перемінною хмарністю (ізотермія);
- А – стійка стратифікація атмосфери, що характерна для морозного зимового дня (інверсія).

Рис. 3 – Залежність коефіцієнту інтенсивності дефляції $K(t)$ після торф'яної пожежі від метеорологічних умов (вісь x – швидкість вітру, м/с; вісь y – площа зони забруднення ^{137}Cs , м²), де $K(t_1) > 1$; $K(t_2) < 1$

Вогняні смерчі як особливий вид радіаційно-екологічної небезпеки. Вогняні смерчі утворюються в зонах сильних лісових пожеж, масивних пожеж в містах, в результаті аварій та пожеж на нафтобазах та на нафтохімічних об'єктах [10–13] і несуть в собі потенціал екологічних катастроф [7–9]. Вони наносять величезну шкоду навколишньому середовищу, залишають масові руйнування та людські жертви. Особливу радіаційну екологічну небезпеку вогняні смерчі можуть створити під час сильних пожеж в радіаційно забруднених лісових масивах.

Лісові пожежі є катастрофічними стихійними лихами. Однак, не дивлячись на те, що вогняні смерчі найпогужнішим чином підсилюють та прискорюють процеси видування та перенесення радіоактивних субстанцій із зон лісових пожеж на великі висоти і на значні відстані, цей феномен з точки зору радіаційної екологічної безпеки, все ще залишається мало дослідженим.

На основі використання методу теорії подібності і розмірностей, і даних незалежних лабораторних та

натурних експериментів, в яких незалежними способами були утворені вогняні смерчі, отримані чисельні значення критеріїв подібності для процесів протікання і теплообміну у вогняних смерчах. В результаті було виявлено, що формування і еволюція вогняних смерчів не залежить від способу їх утворення та від типу горючих матеріалів, а визначається значеннями щільності теплового потоку, силами Архімеда та гравітації, тертя і сили яка закручує газ. Горіння у вогняному смерчі носить дифузійний характер і залежить від швидкості радіального притоку окислювача із простору навколо смерчу. На сьогодні фізичні теоретичні та експериментальні дослідження вогняних смерчів значно просунулись в сторону їх поглибленого розуміння й дали велику кількість принципово нових результатів. Проте дослідження проблеми видування та перенесення вогняними смерчами радіоактивних продуктів горіння і їх перенесення із зон лісових пожеж на радіаційно забруднених лісових територіях відсутні. Однак, виходячи з пожежної ситуації в Чорнобильській зоні відчуження в останні роки [14],

такі дослідження як на сьогодні, так і в перспективі, є вкрай актуальними.

Найчастіше в зонах пожеж спостерігаються великі вогняні смерчі з діаметрами приблизно в 1 метр і більше. Проте в Каліфорнії, під час недавніх пожеж в серпні 2016 року, на пагорбах поряд з Сан-Бернардино в 96 км на схід від Лос-Анджелеса, утворювались незвичайно потужні смерчі з діаметром понад 150 метрів. Ці смерчі втягували в себе вогонь, який по вузькій воронці піднімався до димних хмар. Каліфорнійські вогняні смерчі швидко поширювати лісові пожежі, високо піднімали продукти горіння, розносячи їх на десятки кілометрів, виривали із землі дерева, руйнували та вщент спалювали будівлі.

У 1936 році в СРСР в населеному пункті Курша-2 відбулась страшна трагедія, яка за кількістю жертв перевищувала Чорнобильську. В перших числах серпня в центрі Мещерського краю, в районі Чаруса, виникла пожежа. Сильний південний вітер погнав вогонь на північ і над зоною пожежі утворились смерчі які швидко перетворили низову пожежу в найстрашнішу верхову лісову пожежу. В цій трагедії 3 серпня 1936 року загинуло більше 1200 людей. Із всього населення Курші-2, поселень на лісосіках, а також особового складу військових частин, кинутих на вогонь, вижили трохи більше 20 людей.

Спеціальні експерименти по створенню штучних смерчів за допомогою ста досить потужних нафтових пальників (метеотронів), розташованих на площі 100 м², показали що при спалюванні 15 тон нафти на протязі 15 хвилин спостерігалось утворення густих хмар, з яких починали звішуватись воронки смерчів з висотою більше 100 м. Ці експерименти також показали що для ініціювання смерчу пальне вигідніше спалювати не на поверхні землі, а попередньо розпилити його по висоті ініційованого смерчу і неперервно підживлювати його. Кількість нафти, необхідної для ініціювання штучного смерчу, була оцінена в 500 т що еквівалентно згоранню приблизно 1500 тон деревини.

Висновки

1. Використовуючи викладену вище модель прогнозу переносу радіонуклідів після природної лісової пожежі, а також експериментальні дані по коефіцієнту інтенсивності дефляції ¹³⁷Cs та їх співвідношення у повітрі, можна оцінити величину радіоактивно забрудненості атмосфери.

2. Радіаційно-екологічна небезпека вогняного смерчу полягає в тому, що безпосередньо під час пожежі в радіоактивно забрудненій зоні, смерч може піднімати на значні висоти будь які радіоактивні речовини та субстанції і швидко переносити їх на великі відстані, спричинюючи тим самим радіоактивне забруднення територій шляхом перенесення радіації.

Список літератури:

1. Пристер, Б. С. Ветроэрозийные процессы и особенности создания оптимальных комплексных решений охраны почв в зоне загрязнения радионуклидами [Текст]: сб. научн. тр. / Б. С. Пристер, Н. П. Омеляненко, Л. В. Перепелятнікова, А. Б. Лавровський // Проблемы сельскохозяйственной радиэкологии. – 1991. – С. 64–74.
2. Васенков, Г. І. Горизонтальна міграція цезію-137 при ерозійних процесах [Текст] / Г. І. Васенков, О. С. Полищук // Вісник

- аграрної науки. – 1999. – № 9. – С. 37–39.
3. Долгилевич, М. И. Функции органического вещества, определяющие поведение радиоцезия в системе почва-растение [Текст] / М. И. Долгилевич, К. Йохансон, Г. И. Васенков // Вестник аграрной науки. – 1997. – № 3. – С. 19–25.
4. Азаров, С. І. Дослідження надходження ¹³⁷Cs в повітря при лісових пожежах в Чорнобильській зоні [Текст] / С. І. Азаров, В. Л. Сидоренко, О. В. Руденко, А. В. Пруський // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2011. – Вип. 9. – С. 5–10.
5. Борисюк, Б. В. Агроекологічна оцінка радіоактивно забрудненого ґрунтового покриву виведеного із сільськогосподарського обігу [Текст]: зб. наук. пр. / Б. В. Борисюк, В. А. Трємбіцький, О. М. Лукомський // Сучасні проблеми збалансованого природокористування. – 2009. – С. 131–136.
6. Гаргер, Е. К. Вторичный подъем радиоактивного аэрозоля в приземном слое атмосферы [Текст]: монография / Е. К. Гаргер. – Чернобыль: Институт проблем безопасности АЭС, 2008. – 192 с.
7. Наливкин, Д. В. Ураганы, бури, смерчи. Географические особенности и геологическая деятельность [Текст] / Д. В. Наливкин. – Москва: Наука, 1969. – 487 с.
8. Наливкин, Д. В. Смерчи [Текст] / Д. В. Наливкин. – Москва: Наука, 1984. – 111 с.
9. Меркулов, В. И. Гидродинамика знакомая и незнакомая [Текст] / В. И. Меркулов. – Москва: Наука, 1989. – 133 с.
10. Кэрвер, Г. Ф. Огненные смерчи [Текст] / Г. Ф. Кэрвер, Ф. Е. Фендел, П. С. Фелдман // Теплопередача. – 1985. – Т. 107, № 1. – С. 16–26.
11. Brunswing, H. Feuersturm uber Hamburg [Text] / H. Brunswing. – Stuttgart: Motorbuch Verlag, 2003. – 470 p.
12. Schubert, R. Examination of the Building Density and Fuel Loading in the Districts Eimsbittel and Hammerbrook in the City of Hamburg as of July 1943 [Text] / R. Schubert. – California: Menlo Park, 1969. – 114 p.
13. Ebert, C. H. V. The Meteorological Factor in the Hamburg Fire Storm [Text] / C. H. V. Ebert // Weatherwise. – 1963. – № 16 (2). – P. 70–75.
14. Бондар, О. І. Мінімізація радіаційних наслідків лісових пожеж після чорнобильської катастрофи на основі еколого-інформаційного моніторингу [Текст] / О. І. Бондар, С. І. Азаров, В. М. Ващенко, В. І. Паламарчук, В. Л. Сидоренко. – Херсон: Гринь Д. С., 2016. – 298 с.

Bibliography (transliterated):

1. Prister, B. S., Omel'janenko, N. P., Perepeljatnikova, L. V., Lavrovskij, A. B. (1991). Vetrojerozionnye processy i osobennosti sozdaniya optimal'nyh kompleksnyh reshenij ohrany pochv v zone zagrjaznenja radionuklidami. Problemy sel'skhozjajstvennoj radiojologii, 64–74.
2. Vasenkov, G. I., Polishchuk, O. Ye. (1999). Gory`zontal` na migraciya cезiyu-137 pry` erozijn`x procesax. Visny`k agrarnoy nauky, 9, 37–39.
3. Dolgilevich, M. I., Johanson, K., Vasenkov, G. I. (1997). Funkcii organicheskogo veshhestva, opredelajushhie povedenie radioceziya v sisteme pochva-rastenie. Vestnik agrarnoj nauki, 3, 19–25.
4. Azarov, S. I., Sy`dorenko, V. L., Rudenko, O. V., Prus`kyj, A. V. (2011). Doslidzhennya nadhodzhennya ¹³⁷Ss v povitrya pry` lissovy`x pozhezax v Chornobylskij zoni. Pozhezna bezpeka: teoriya i prakty`ka, 9, 5–10.
5. Borysyuk, B. V., Trembiczkyj, V. A., Lukomskyj, O. M. (2009). Agroekologichna ocinka radioakty`vno zabrudnenogo g`runtovogo pokry`vu vy`vedenogo iz sil`s`kogospodars`kogo obigu. Suchasni problemy` zbalansovanogo pry`rodokory`stuvannya, 131–136.
6. Garger, E. K. (2008). Vtorichnyj podem radioaktivnogo ajerozolja v prizemnom sloe atmosfery. Chernobyl: Institut problem bezopasnosti AJeS, 192.
7. Nalivkin, D. V. (1969). Uragany, buri, smerchi. Geograficheskie osobennosti i geologicheskaja dejatel`nost. Moscow: Nauka, 487.
8. Nalivkin, D. V. (1984). Smerchi. Moscow: Nauka, 111.
9. Merkulov, V. I. (1989). Gidrodinamika znakomaja i neznakomaja. Moscow: Nauka, 133.
10. Kjerer, G. F., Fendel, F. E., Feldman, P. S. (1985). Ognennye smerchi. Teploperedacha, 107 (1), 16–26.
11. Brunswing, H. (2003). Feuersturm uber Hamburg. Stuttgart: Motorbuch Verlag, 470.
12. Schubert, R. (1969). Examination of the Building Density and Fuel Loading in the Districts Eimsbittel and Hammerbrook in the

- City of Hamburg as of July 1943. California: Menlo Park, 114.
13. Ebert, C. H. V. (1963). The Meteorological Factor in the Hamburg Fire Storm. *Weatherwise*, 16 (2), 70–75.
14. Bondar, O. I., Azarov, S. I., Vashchenko, V. M., Palamarchuk, V.

I., Sy`dorenko, V. L. (2016). Minimizaciya radiacijny`x naslidkiv lisovy`x pozhezh pislya chornoby`l`s`koyi katastrofy` na osnovi ekologo-informacijnogo monitory`ngu, Herson: Grin` D. S., 298.

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Методика розрахунку видування ^{137}CS у чорнобильській зоні відчуження після природних пожеж/ В. М. Ващенко, В. Л. Сидоренко, І. Б. Кордуба// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 100–105.– Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Методика расчета выдувания ^{137}CS в чернобыльской зоне отчуждения после природных пожаров/ В. Н. Ващенко, В. Л. Сидоренко, И. Б. Кордуба// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.100–105. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

The method of calculation blowing ^{137}CS in Chernobyl alienation zone after wildfires/ V. M. Vashchenko, V. L. Sidorenko, I. B. Korduba//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P.100 –105. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ващенко Володимир Миколайович – доктор фізико-математичних наук, професор, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, м. Київ, Україна, 03035.

Ващенко Владимир Николаевич – доктор фізико-математических наук, професор, Государственная экологическая академия последиplomного образования и управления, ул. Митрополита Василя Липковського, 35, корпус 2, г. Киев, Украина, 03035.

Vashchenko Volodymyr Mykolayovych – Dr. of Sci., professor, State Ecological Academy of Post-Graduate Education and Management, V.Lypkivskogo str., 35, bldg.2, Kyiv, Ukraine, 03035.

Сидоренко Володимир Леонідович – кандидат технічних наук, начальник відділу, Інститут державного управління у сфері цивільного захисту ДСНС України, вул. Вишгородська, 21, м. Київ, Україна, 04074

Сидоренко Владимир Леонидович – кандидат технических наук, доцент, начальник отдела, Институт государственного управления в сфере гражданской защиты ДСНС Украины, ул. Вышгородская, 21, г. Киев, Украина, 04074

Sidorenko Vladimir Leonidovich – Ph.D., Associate Professor, Head of the Institute of Public Administration for Civil Protection DSNS Ukraine st. Vyshgorodskaya, 21, Kyiv, Ukraine, 04074

Кордуба Ірина Богданова – аспірант, Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корпус 2, м. Київ, Україна, 03035

Кордуба Ирина Богданова – аспірант, Государственная экологическая академия последиplomного образования и управления, ул. Митрополита Василя Липковського, 35, корпус 2, г. Киев, Украина, 03035

Korduba Irina Bogdanova – graduate student, State Ecological Academy of Post-Graduate Education and Management, V.Lypkivskogo str., 35, bldg.2, Kyiv, Ukraine, 03035.

УДК 504.05.662

С. В. ГАРБУЗ

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ЗНИЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ВЕНТИЛЯЦІЇ РЕЗЕРВУАРІВ З НАФТОПРОДУКТАМИ

Розглядається несприятливий екологічний вплив на довкілля викидів із резервуарів з залишками нафтопродуктів під час їх провітрювання перед проведенням ремонтних та інших видів робіт. Наведені розрахунки щодо екологічного впливу об'єктів на атмосферу. Результатом досліджень є розроблений механізм системного підходу до зниження екологічної небезпеки вентиляції резервуарів з нафтопродуктами. Скорочення тривалості робіт з очищення резервуарів і зниження рівня пожежовибухонебезпеки при їх вентиляції потребує вивчення всіх фізичних факторів та закономірностей, що впливають на цей процес.

Ключові слова: екологічна безпека, атмосфера, забруднювачі повітря, вентиляція резервуарів, залишки нафтопродуктів

Рассматривается неблагоприятное экологическое воздействие на окружающую среду выбросов из резервуаров с остатками нефтепродуктов во время их проветривания перед проведением ремонтных или иных видов подготовительных работ. Приведены расчеты для различных видов экологически неблагоприятного воздействия объектов на атмосферу. Результатом исследований является разработанный механизм системного подхода к повышению экологической безопасности вентиляции резервуаров с нефтепродуктами. Сокращение продолжительности работ по очистке резервуаров и снижение уровня пожаровзрывоопасности при их вентиляции требует изучения всех физических факторов и закономерностей, влияющих на этот процесс.

Ключевые слова: экологическая безопасность, атмосфера, загрязнители воздуха, вентиляция резервуаров, остатки нефтепродуктов

The article examines cases of the adverse ecological impact on the environment of emissions from tanks of oil residues during their airing before the repairs or other types of preparatory works, as well as before the changing of the class of petroleum products. Reducing the duration of cleaning tanks and reducing the level of fire and explosion hazard during their ventilation requires exploring all physical factors and consistency that affect this process. At the article was shown a complex of mathematical calculations for various types of environmentally adverse impacts of objects on the atmosphere. The result of research is the developed mechanism of systematic approach to improve the environmental safety of the ventilation of tanks with petroleum products. Diesel oil, gasoline, toluene were used as fluids for research. Laboratory studies to water were used as a fluid for comparison. Supply air in the designed and constructed experimental tanks was supplied in four ways. Three of which have previously been studied and described in the literature (traditional supply, contrary and mixed), and also the supply which was developed by the author using the innovative ejector-vortex flow method. Its effectiveness is proven on several parameters – ventilation speed, environmental compatibility and efficiency.

Keywords: ecological safety, atmosphere, air pollutants, ventilation of tanks, oil residues

Вступ. Для практичного підтвердження теоретичних викладок щодо зниження екологічної небезпеки при вентиляції резервуарів з залишками нафтопродуктів, наведених у попередніх роботах автора [1–5], стало за потрібне спроектувати, розробити та виготовити спеціальний стенд, за допомогою якого проводилися дослідження способів примусової вентиляції резервуарів, в тому числі й запропонованого нами інноваційного способу [6]. Стенд призначений для визначення рухливості повітря при різних способах його подачі у внутрішній простір резервуарів, швидкості випару та втрати маси рідинами, що в них зберігалися.

Метою експериментальних досліджень, що описуються, було одержання низки експериментальних даних щодо пожежовибухонебезпеки процесу вентиляції резервуарів нафтогазового комплексу перед проведенням вогневих (ремонтних) робіт за рахунок підвищення продуктивності очищення викидів. Поставлена мета досягається за рахунок максимального перемішування подаваного повітря з газом у резервуарі.

Результати досліджень масообміну при вентиляції резервуарів можуть бути використані для практичного застосування способів очищення резервуарів. Також результати досліджень ефективності процесу вентиляції й процесу випару рідин є більш екологічними, ніж ті, що застосовуються до сьогодні.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Обговорення проблеми забруднення атмосферного повітря – однієї із самих гострих екологічних проблем сьогодення, у сучасній науковій та публіцистичній літературі ведеться достатньо поширено як вітчизняними так і закордонними науковцями [7–9]. З означеної проблеми витікає наукова задача щодо забезпечення

сталого фільтрації (очищення) викидів із резервуарів з залишками нафтопродуктів під час їх провітрювання перед ремонтними, профілактичними та іншими видами робіт або при зміні класу нафтопродуктів, що в них зберігаються, з мінімальною кількісною складовою потрапляння шкідливих речовин в атмосферу.

У роботах «класиків» моделювання вентиляційних процесів [10–16], описані нині відомі способи та методики їх застосування. Ми ж пропонуємо новий спосіб провітрювання [17].

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є одержання репрезентативного ряду даних щодо пожежовибухонебезпеки процесу вентиляції резервуарів нафтогазового комплексу перед проведенням вогневих (ремонтних) робіт за рахунок підвищення продуктивності очищення викидів, що досягається за рахунок максимального перемішування подаваного повітря з газом у резервуарі.

Задачею дослідження є підвищення екологічної безпеки при очищенні й ремонті резервуарів з нафтопродуктами не тільки для нафтової й нафтопереробної промисловості, де так встаткування застосовується скрізь, а також для інших галузей народного господарства, що споживають нафтопродукти та мають резервуари для їхнього зберігання.

При розв'язанні поставленої задачі створено універсальний метод розрахунку, єдиний для різних типів джерел та отримані рівняння, що дають описи процесів, що відбуваються при цьому.

Таким чином, актуальним завданням є створення універсальних моделей та технічних комплексів для оцінки впливу вентиляційних екологічно небезпечних процесів, що протікають в вертикальних циліндрич-

них резервуарах з нафтопродуктами.

© С. В. Гарбуз. 2016

Матеріали та методи дослідження щодо розробки системного підходу для зниження екологічної небезпеки забруднення атмосфери викидами із резервуарів з залишками нафтопродуктів під час їх провітрювання. Методи дослідження, в тому числі й при обробці результатів експериментальних досліджень процесів вентиляції резервуарів із залишками нафтопродуктів при різних (відомих та запропонованому автором інноваційному) способах подачі повітря, містять в собі аналітичні та експериментальні дослідження з використанням сучасної контрольно-виміральної апаратури та використовують загальні та спеціальні методи наукового дослідження.

Усі дослідження виконувалися у світлий час доби та при відсутності грозових й передгрозових метеоумов. Температура зовнішнього повітря – в межах 20–27 °С. При вимірі рухливості повітря за допомогою термоанемометра «ТКА-ПКМ» швидкість припливного повітря (в м/с) відображалася на його цифровому дисплеї.

При різних способах подачі припливного повітря (а саме – назустріч, традиційному, змішаному та інноваційному) в просторі експериментального резервуару проводилися виміри втрати маси горючих й легкозаймистих рідин (для точності вимірів втрати маси рідин, що випаровуються, експеримент проводився також на воді).

Обробка дослідних даних по втраті маси рідинами в процесі вентиляції проводилася в середніх відносних значеннях величин маси. Відносне значення втрати маси рідиною виражається в такий спосіб:

$$\bar{m} = \frac{m_i}{m_{ж}} \quad (1)$$

де m_i – маса рідини в i -ю одиницю часу, г; $m_{ж}$ – маса рідини, залитої в експериментальну ємність, г.

Результати досліджень зміни відносних значень втрати маси однокомпонентних рідин (вода, толуол, октан, гексан) представлені на рис. 1–4.

Результати досліджень однокомпонентних рідин свідчать про те, що зміни відносних значень втрати маси для них у вентилятованих резервуарах є лінійними.

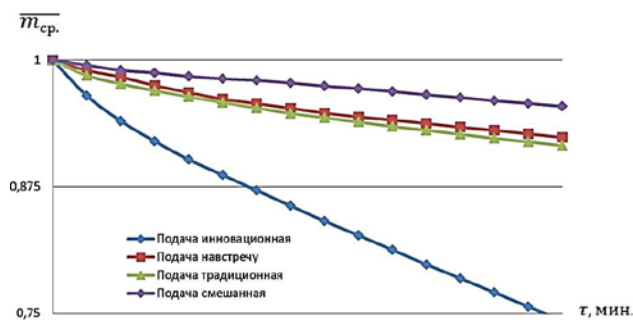


Рис. 1 – Дослідження втрати маси води при різних схемах подачі припливного повітря

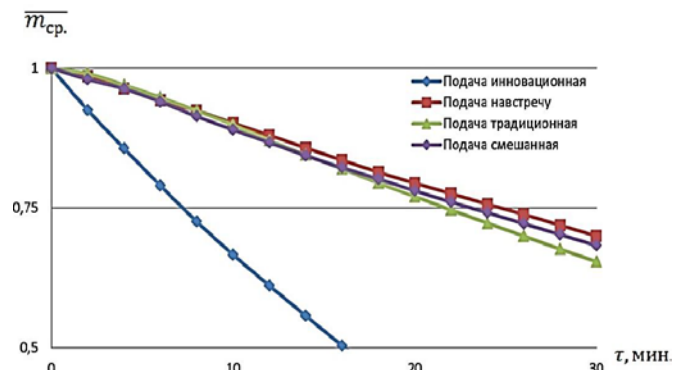


Рис. 2 – Дослідження втрати маси толуолу при різних схемах подачі припливного повітря

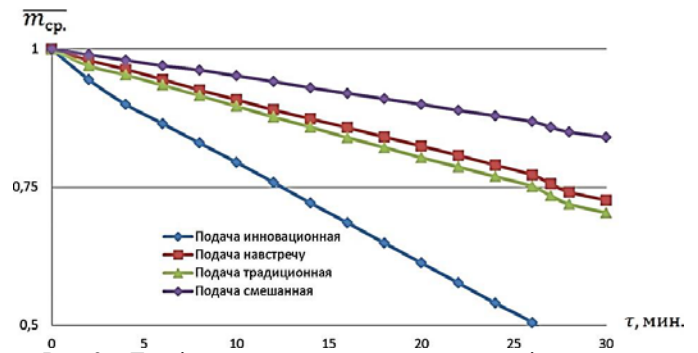


Рис. 3 – Дослідження втрати маси октану при різних схемах подачі припливного повітря

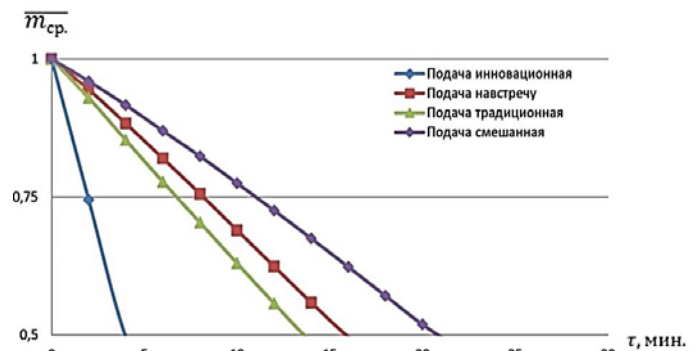


Рис. 4 – Дослідження втрати маси гексану при різних схемах подачі припливного повітря

Результати досліджень зміни відносних значень втрати маси для багатокомпонентних рідин (бензини, дизельне паливо) представлені на рис. 5, 6.

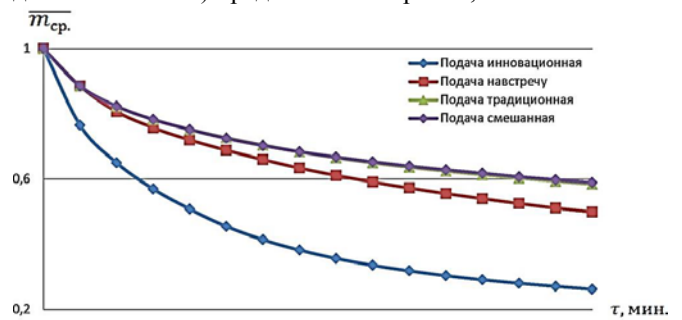
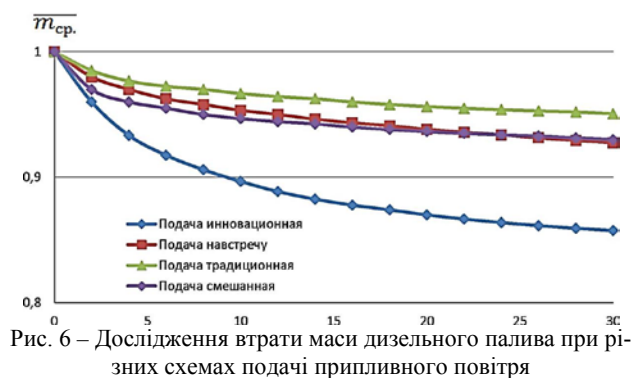


Рис. 5 – Дослідження втрати маси бензинів А-92/95 при різних схемах подачі припливного повітря



Результати досліджень для багатокомпонентних рідин свідчать про те, що зміни відносних значень втрати їх маси у вентилюваних резервуарах не є лінійними. При цьому швидкість зміни відносних значень втрати маси для запропонованого нами інноваційного ежекторно-вихрового способу подачі повітря для всіх досліджуваних рідин суттєво вище, ніж при інших способах організації вентиляції.

Для порівняння даних щодо втрати маси рідини у внутрішньому просторі резервуарів при їх вентиляції, отриманих експериментальним шляхом, з розрахунковими даними проведемо розрахунки за відомими формулами.

1. Маса рідини, що випарувався, m :

$$m = W \cdot F_u \cdot T, \tag{2}$$

де W – інтенсивність випару, $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$; F_u – площа випару, м^2 ; T – час випару, с (1 год.=3600 с)

2. Інтенсивність випару W :

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{\mu} \cdot P_s, \tag{3}$$

де η – коефіцієнт, прийнятий залежно від швидкості й температури повітряного потоку над поверхнею випару; μ – молярна маса рідини, $\text{м}^3 \cdot \text{кмоль}^{-1}$; P_s – тиск насиченої пари при розрахунковій температурі рідини t_p , кПа.

3. Тиск насиченої пари:

$$\text{Lg}P_s = A - \frac{B}{C + t_p}, \tag{4}$$

де A, B, C – константи рівняння Антуана (за довідковим даними), кПа; t_p – розрахункова температура повітря, $^{\circ}\text{C}$.

Для нафтопродуктів, що перебувають поза температурним інтервалом, тиск насиченої пари, кПа, визначають по формулі [15]:

$$P_s = \frac{\exp[6,908 + 0,0443(t_{\text{пен}} - 0,924t + 2,055)]}{1047 + 7,48t_{\text{ен}}}, \tag{5}$$

де $t_{\text{ен}}$ – температура спалаху, $^{\circ}\text{C}$.

Відповідно до [18] тиск насиченої пари води дорівнює 0,03 атм. (або 3,03 кПа).

Для детальності та наочності порівняння розрахункових і експериментальних значень залежності зміни маси досліджуваних рідин від швидкості припливного повітря у внутрішньому просторі резервуара, в процесі експерименту варто розбити внутрішній простір резервуара на площини перетину – рис. 7.

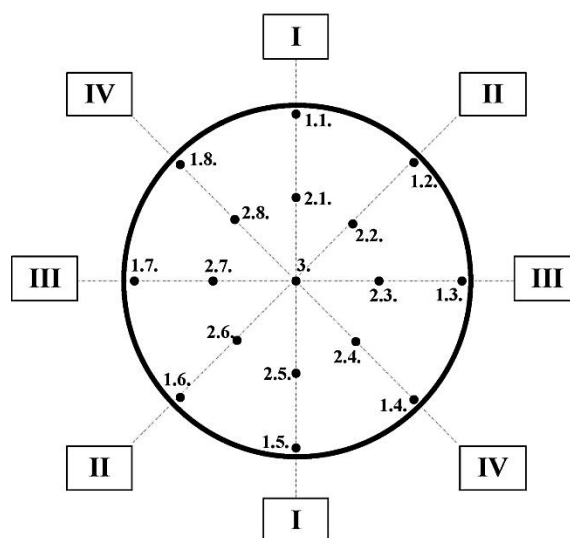


Рис. 7 – Крапки й площини перетину резервуара

Порівняння експериментальних і розрахункових змін відносної інтенсивності випару в площині перетину III експериментального резервуара, обмеженої крапками виміру 1.3., 2.3., 3., 2.7., 1.7., при організації схеми вентиляції інноваційним способом для однокомпонентної рідини толуол представлено на рис. 8.

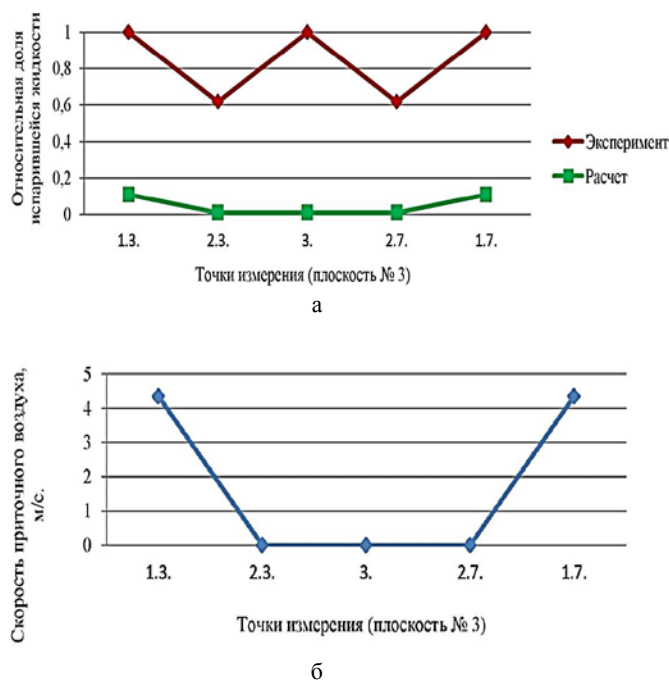
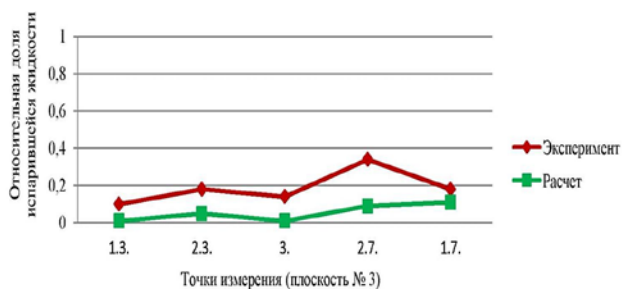


Рис. 8 – Графіки зміни інтенсивності випару толуолу залежно від рухливості повітря над поверхнею випару в експериментальному резервуарі при подачі припливного повітря запропонованим способом: а – графік зміни втрати маси толуолу в площині перетину III; б – графік зміни швидкості припливного повітря в площині перетину III

Порівняння експериментальних і розрахункових змін відносної інтенсивності випару в площині перетину III експериментального резервуара при організації схеми вентиляції традиційним способом для толуолу представлено на рис. 9.



а



б

Рис. 9 – Графіки зміни інтенсивності випару толуолу залежно від рухливості повітря над поверхнею випару в експериментальному резервуарі при подачі припливного повітря традиційним способом: а – графік зміни втрати маси толуолу в площині перетину III; б – графік зміни швидкості припливного повітря в площині перетину III

Залежність втрати маси води за 1 годину вентиляції при різних способах подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара показано на рис. 10.

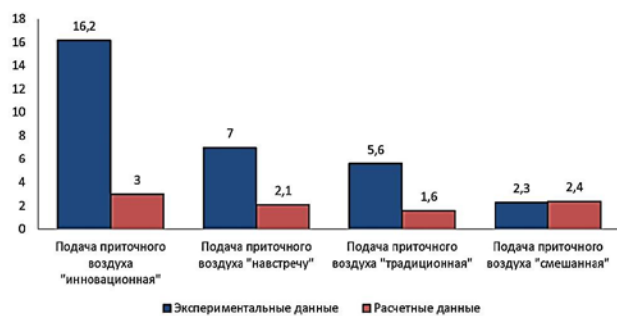


Рис. 10 – Діаграма втрати маси води при вентиляції резервуара

Втрата маси дизпалива за 1 годину вентиляції при різних способах подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара показано на рис. 11.

Втрата маси бензинами А-92 та А-95 за 1 годину вентиляції при різних способах подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара показано на рис. 12.

Втрата маси толуолу за 1 годину вентиляції при різних способах подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара показано на рис. 13.

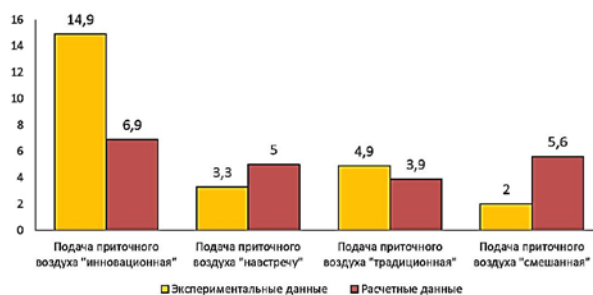


Рис. 11 – Діаграма втрати маси дизельного палива при вентиляції резервуара

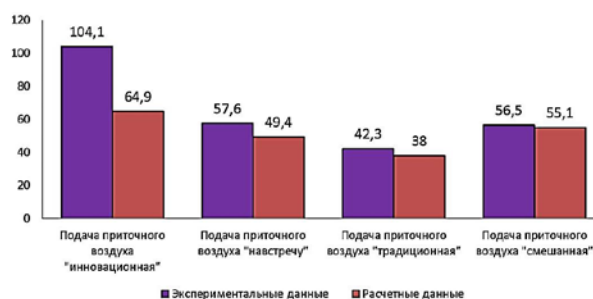


Рис. 12 – Діаграма втрати маси бензинами при вентиляції резервуара

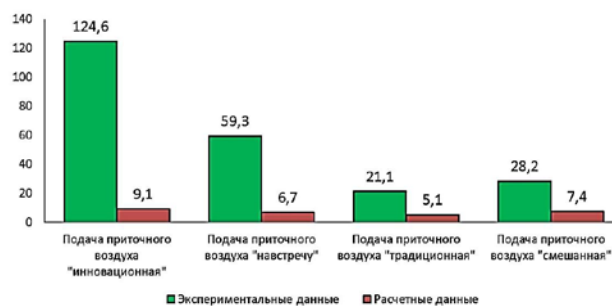


Рис. 13 – Діаграма втрати маси толуолу при вентиляції резервуара

Отже, при вентиляції газового простору всередині резервуара можна використовувати будь-які способи подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара. Ефективність способів вентиляції оцінюється шляхом порівняння середньооб'ємних втрат маси рідини при однакових параметрах подачі припливного повітря. Другий параметр ефективності – це матеріальні витрати.

На рис. 14 показана загальна діаграма втрати маси досліджуваними рідинами за 1 годину вентиляції при використанні різних способів подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара за даними лабораторних експериментів, що були проведені в рамках дослідження. Із них випливає, що по ефективності способів подачі припливного повітря, схеми розташовуються в наступному порядку:

- 1) подача припливного повітря за схемою 1;
- 2) подача припливного повітря за схемою 2;
- 3) подача припливного повітря за схемою 4;
- 4) подача припливного повітря за схемою 3.

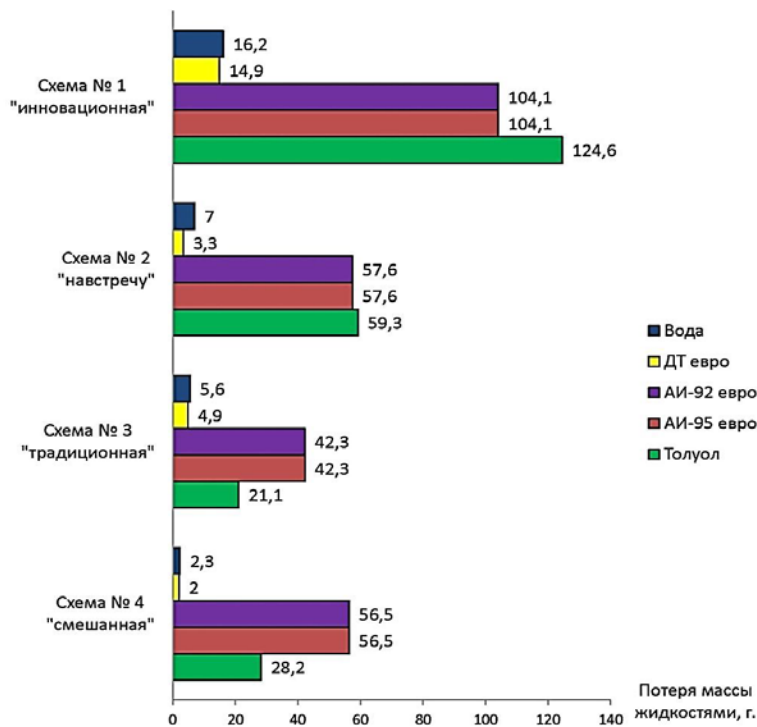


Рис. 14 – Залежність втрати маси рідинами за 1 годину вентиляції, отримана експериментальним шляхом

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень відносних значень швидкостей повітря у внутрішньому просторі резервуара й часток, що випарувалися з рідин при однакових витратах повітря

Номери схем подачі повітря	Відносна швидкість повітря	Частки, що випарувалися з рідини			
		вода	дизпаливо	бензини А-92/95	толуол
інноваційна	2,4	0,08	0,08	0,63	0,7
назустріч	1,8	0,01	0,01	0,35	0,32
традиційна	1	0,02	0,02	0,25	0,11
змішана	1,9	0,01	0,01	0,34	0,15

З даних табл. 1 бачимо, що при ежекторно-вихровому (запропонованому інноваційному) способі подачі повітря у внутрішній простір резервуара відносна швидкість в 2,4 рази вища, ніж при організації подачі припливного повітря традиційним способом. При цьому частка рідини, що випарувалася, більша в 4 рази для води й дизпалива, в 2,52 – для бензинів, в 6,3 – для толуолу при однаковій витраті повітря.

Нами запропонована методика оцінки динаміки зміни концентрації парів у резервуарі при витіканні вільних струменів повітря. Для визначення динаміки зміни концентрації парів у резервуарі при конвективному масообміні проводилися лабораторні експерименти.

Для досліджень була обрана однокомпонентна рідина – толуол й багатокомпонентні нафтопродукти – дизельне паливо та бензини. Для «чистоти» експерименту дослідження із втрати маси рідинами при примусовій вентиляції резервуара проводилися також на воді.

Перед проведенням експериментів за допомогою анемометра замірялась швидкість потоків повітря всередині резервуара.

Для визначення концентрації домішок вибухонебезпечних речовин в газовому просторі вентилязованого резервуара необхідно знати інтенсивність випару (потік маси) нафтопродукту, що знаходиться в сере-

Причому подача за схемою 1 значно перевершує інші схеми вентиляції за ефективністю вентилявання. Використання схем 2 і 4 мають підвищену пожежну безпеку та дбають про чистоту простору над резервуаром, але тривалість вентиляції значно зростає. Схема 3 – традиційна й по своїх характеристиках схожа зі способами вентиляції резервуарів, розглянутих у роботах [19–22], її відмінність лише в розташуванні люка для видалення газоповітряної суміші.

Результати експериментальних досліджень відносних значень швидкостей повітря у внутрішньому просторі резервуара й часток, що випарувалися з рідин при однакових витратах повітря, наведені в табл. 1.

дині резервуара. Математичну обробку даних проводимо у вигляді залежності:

$$\pi_p = f(Re, Pr, \pi_0, \mu), \tag{6}$$

де $\pi_p = \frac{j_l}{\rho v}$ – число, що враховує поперечний потік маси.

У роботі [19] встановлено емпіричну формулу для резервуарів:

$$\pi_{pд} = 0,065 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr \cdot \theta^2 \cdot \pi \cdot \mu^{0,5}. \tag{7}$$

Інтенсивність випару в тій же роботі визначається як:

$$M_0 = 0,065 \cdot \frac{\rho \cdot v \cdot F_u \cdot F_0}{V} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_0 \cdot \pi_0 \cdot \mu^{0,5}, \tag{8}$$

$$Pr_0 = \frac{v}{D_t}, \tag{9}$$

$$D_t = D_0 \cdot \left(\frac{T}{273} \right)^n, \tag{10}$$

де D_0 – значення коефіцієнта дифузії [23], m^2/c ; T – температура навколишнього повітря, K ; n – показник ступеня, прийнятий відповідно до довідкової літератури.

Відносні експериментальні інтенсивності випарів досліджуваних рідин у схемах вентиляції експериме-

нтального стенда розраховані у вигляді $\frac{W_3}{\sqrt{\mu} \cdot P_s}$ в за-

лежності від коефіцієнта дифузії D_t і числа подоби Прандтля дифузійного Pr_d . Результати представлені на рис. 15, 16.

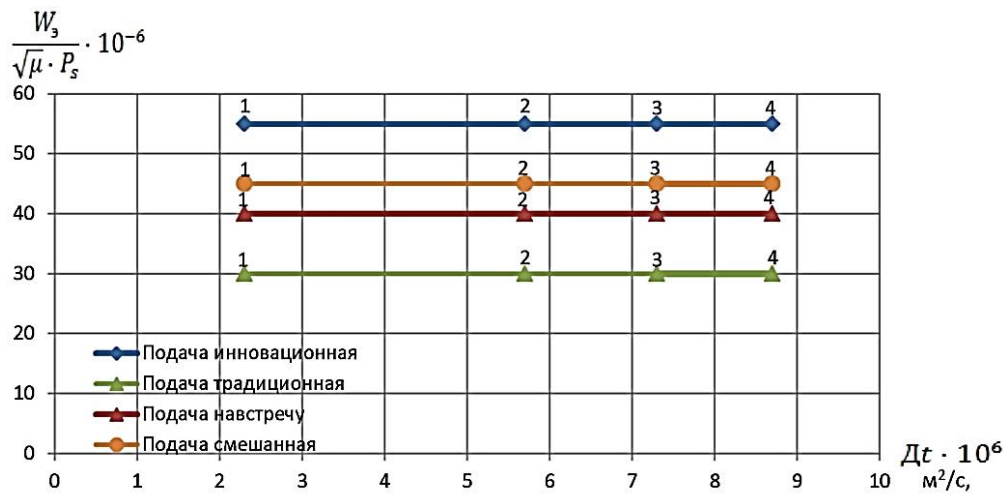


Рис. 15 – Залежність відносної інтенсивності випару від коефіцієнта дифузії:
1 – вода; 2 – дизпаливо; 3 – бензини; 4 – толуол

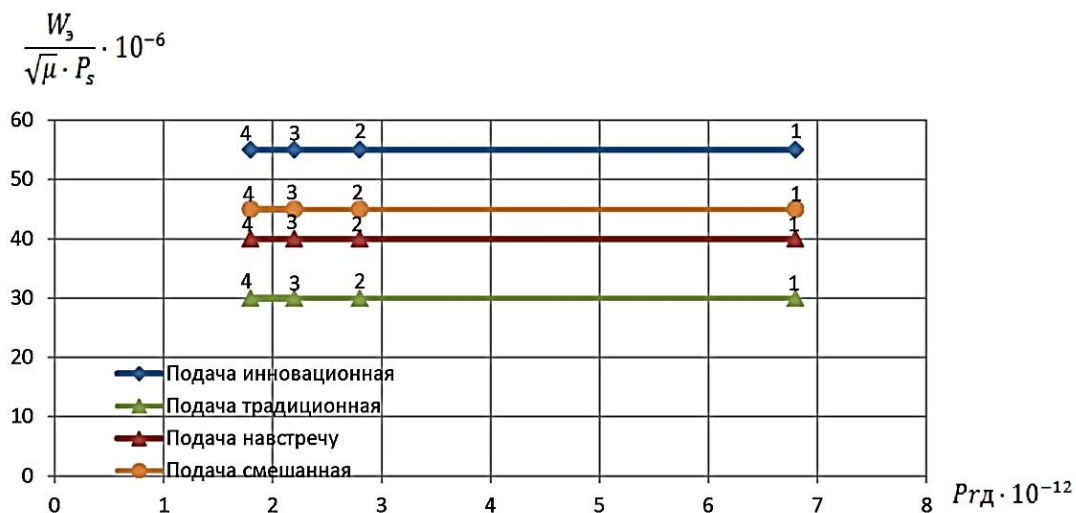


Рис. 16 – Залежність відносної інтенсивності випару від числа Прандтля дифузійного:
1 – вода; 2 – дизпаливо; 3 – бензини; 4 – толуол

Концентрацію насичених парів визначаємо як:

$$\pi_{\partial} = \frac{P_s}{P_0}. \quad (11)$$

Тиск насичених пар визначаємо з рівняння Антуана:

$$P_s = 10^{A - \frac{B}{C+t}} \quad (12)$$

Відносну молекулярну масу:

$$\mu^{0,5} = \left(\frac{M}{M_n} \right)^{0,5}. \quad (13)$$

Щільність і коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря:

$$\rho_n = \frac{353}{T_n}, \quad (14)$$

$$\nu = [14,7 + 0,09 \cdot (T_n - 283)] \cdot 10^{-6}. \quad (15)$$

Число Рейнольдса визначаємо по стандартній формулі:

$$R_e = \frac{\omega \cdot l}{\nu}, \quad (16)$$

де l – характерний лінійний розмір об'єкту, $l = \frac{V}{F_0}$.

Загальна площа поверхонь резервуара:

$$F_3 = F_{дн} + F_{д} + F_{б.п.}, \quad (17)$$

де $F_{дн}$ – площа днища, m^2 ; $F_{д}$ – площа даху, m^2 ; $F_{б.п.}$ – площа бічної поверхні, m^2 .

Середню рухливість повітря в резервуарі визначаємо по формулі В.М. Эльтермана [12]:

$$\omega = 0,7 \cdot \varepsilon_n^{1/3} \cdot \left(\frac{V}{F_0}\right)^{1/3}, \quad (18)$$

де ε_n – енергія припливного струменя; V – об'єм резервуара, m^3 ; F_0 – загальна площа поверхні резервуара, m^2 .

Енергія припливного струменя:

$$\varepsilon_n = \frac{f_n \cdot v_n^3}{2V}, \quad (19)$$

де f_n – площа припливного отвору, m^2 ; v_n – швидкість подачі повітря в припливний отвір, м/с.

Швидкість подачі повітря та площа припливного отвору відповідно:

$$v_n = \frac{q}{f_n}, \quad (20)$$

$$f_n = 0,785 \cdot d_{пр.от.}^2, \quad (21)$$

де $d_{пр.от.}$ – діаметр припливного отвору, м.

Інтенсивність випару рівна:

$$W = \frac{M_0}{F_u}, \quad (22)$$

Коефіцієнт нерівномірності розподілу концентрацій визначається по формулі [20]:

$$\eta = 0,48 \cdot \left(\frac{q}{V}\right)^{0,132}. \quad (23)$$

Відповідно до існуючих методик інтенсивність випару визначається як:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{\mu} \cdot P_s \quad (24)$$

А маса рідини, що випарувалася, як:

$$m = W \cdot F_u \cdot T. \quad (25)$$

Результати, отримані в ході експерименту, а саме – середньої інтенсивності випару по однокомпонентній рідині толуол і багатокомпонентній рідині бензини А-92/95 – у часі, представлені на рис. 17, 18.

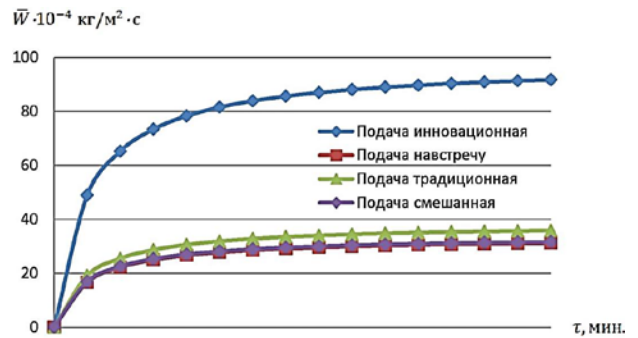


Рис. 17 – Графік середнього значення інтенсивності випару толуолу

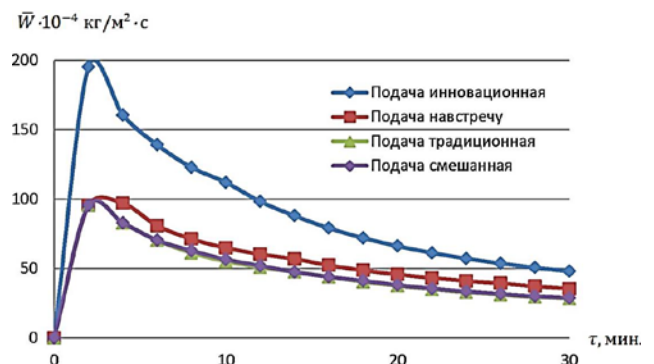


Рис. 18 – Графік середнього значення інтенсивності випару бензинів А-92/95

Результати розрахунків та отримані експериментальні значення середньої рухливості повітря при різних способах подачі припливних струменів у внутрішньому просторі резервуарів наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Середня рухливість повітря всередині резервуарів

Схема подачі струменя припливного повітря	Експериментальний резервуар		Експериментальний напівпромисловий стенд	
	ω розрахунки	ω експеримент	ω розрахунки	ω експеримент
інноваційна	0,55	2,9	0,23	0,88
назустріч	0,60	3,5	0,21	0,70
традиційна	0,50	2,7	0,11	0,42
змішана	0,57	3	0,22	0,74

З отриманих результатів випливає, що при вентильованні резервуарів із залишками однокомпонентних рідин, значення інтенсивності випару в часі прагнуть до стаціонарності. При вентиляції резервуарів з залишками багатокомпонентних рідин для всіх схем подачі повітря експериментальні інтенсивності випарів змі-

нюються в часі залежно від зміни властивостей цих рідин, тобто процес масообміну не є стаціонарним.

Результати досліджень показали, що визначені в ході експерименту швидкості повітря значно вищі, ніж швидкості повітря, що розраховані по формулі (18). Це вимагає коректування розрахункових формул.

Складність компонентного состава нафтопродуктів визначає складність протікання процесів конвективного масообміну. В процесі випару нафтопродуктів відбувається безперервна зміна властивостей газової (парової) та рідкої фаз, зміна тиску насичених парів, молекулярної маси, в'язкості, фракційного состава, інших властивостей. Постійна зміна в часі властивостей нафтопродуктів обумовлює нестационарність процесу конвективного масообміну. Результати досліджень по зміні властивостей нафтопродуктів у процесі випару досить докладно описані в роботах [19–25]. При розрахунках втрат нафтопродуктів від випарів тиск насиченої пари зазвичай визначають по виведеній ним же формулі [20]:

$$P_s = P_{s0} e^{-KG}, \quad (26)$$

де P_{s0} – вихідний тиск насичених парів; K – коефіцієнт, що залежить від властивостей рідини. K для бензинів становить:

$$K \approx 0,188(t_{20} - t_{нк}) \approx 0,376(t_{10} - t_{нк}). \quad (27)$$

Молекулярна маса нафтопродуктів збільшується в процесі його випару. Для бензинів молекулярну масу можна визначити за допомогою емпіричних формул [20]:

$$\mu = 45 + 0,6t_{нк}, \quad (28)$$

$$\mu = 50 + \frac{6000}{P_{20}}, \quad (29)$$

де $t_{нк}$ – температура початку кипіння бензину; P_{20} – тиск насичених парів при температурі 20 °С.

В роботі [20] встановлено, що формула (26) цілком прийнятна для розрахунків процесу повного випару нафтопродуктів. Результати його досліджень [19, 20] дозволяють зробити висновок про можливість використання емпіричних формул для розрахунків молекулярної маси й тиску насичених парів. Шляхом підстановки значень температури википання тієї або іншої частки бензину розраховуємо необхідні данні щодо втрат нафтопродуктів:

$$P_s = a \cdot e^{b(t-t_{нк})}. \quad (30)$$

Порівняння даних розрахунків молекулярної маси по формулі (28) для бензину, з даними експерименту по визначенню зміни молекулярної маси в процесі випару, які представлені в роботі [19], показали, що дані дослідів і розрахунків узгоджуються. Спираючись на проведені дослідження [20], можна зробити висновок про коректність використання при обробці дослідних даних по конвективному масообміну μ формули (28), а по втратам нафтопродуктів P_s – формули (26).

Безперервна зміна властивостей бензину в процесі випарювання обумовлює зменшення коефіцієнта масопереносу, рушійної сили масопереносу та дифузійних чисел Pr_d , Nu_d , π_d , π_r .

Спираючись на роботи [19, 20] в ході дослідження встановлено, що найбільш різко в процесі випару бензину змінюються рушійна сила масоперепіддачі й чисел подоби π_d та π_r . Досить незначно змінюються відношення $\frac{\phi_{пл}}{\phi_s}$ й дифузійне число Pr_d . Зміна рушійної

сили масопереносу й чисел π_d та π_r підкоряються експонентному закону.

У процесі випару нафтопродуктів збільшується щільність, в'язкість, і поверхневий натяг. У дослідженні [24] встановлено, що при випарі 90 % об'єму бензину його кінематична в'язкість підвищується на 15 %, а поверхневий натяг на 10 %. А щільність бензину в процесі його випару збільшується не більше ніж на 10 % [20].

Отже, результати теоретичних і експериментальних досліджень довели, що найбільше суттєво в процесі випару змінюється тиск насичених парів і молекулярна маса нафтопродукту.

Обговорення й узагальнення результатів досліджень процесу конвективного масообміну та коректування розрахункових формул для визначення швидкості випарів нафтопродуктів при вентиляції. Обробка й узагальнення дослідних даних по масообміну нами проводилась по найбільш значущим величинам – температурам газового простору та поверхні рідини. За температуру газового простору приймали середньооб'ємну температуру, яку вимірювали на стоці з резервуара. Для визначення температури поверхні проводились окремі дослідження в кожній із серій дослідів. Встановлено, що температуру поверхні випару можна прийняти за константу, за винятком тієї частини поверхні, яка розташована в області струменів. У точках 1.7. та 1.3. (рис. 7) при подачі припливного повітря «інноваційним», «назустріч» або «змішаним» способом температура відрізнялась від точок, розташованих поза областю струменя на 2–2,6 °С. У точках, близьких до області струменів 1.8. та 1.4. при способі подачі повітря «інноваційний», точках 2.7. і 2.3. при способі подачі повітря «назустріч», точці 2.7. при способі подачі повітря «традиційний» – на 1–1,4 °С.

У роботі [19] В. П. Назаров встановив залежність зміни температури рідини в процесі вентиляції. При зміні кратності повітрообміну в n раз, температура стаціонарного процесу змінюється в $n^{0,25}$ разів.

Для розрахунків концентрації у газовому просторі й часу вентиляції резервуара необхідно знати максимальну інтенсивність випарів нафтопродуктів в процесі вентиляції. При розв'язанні завдання про масообмін більшість дослідників робили узагальнення дослідних даних у вигляді залежності числа $Nu_d (St_d)$ від інших чисел подоби. Цей спосіб обробки дослідних даних для розв'язання поставленого завдання представляється не зовсім зручним, тому що при розрахунках інтенсивності випару необхідно знати концентрацію газового простору резервуара. Тому обробка дослідних даних проведена у вигляді залежності числа π_r від чисел подоби, що враховують гідродинамічні, температурні умови вентиляції, а також властивості рідини, що випаровується.

Також в процесі дослідження було встановлено, що найбільш різко в процесі випару змінюється число π_r , тому дане число необхідно враховувати при обробці дослідних даних. Враховуючи, що зміна концентрації газового простору й насичених парів підкоряється одному закону, а відношення $\frac{\phi_{гп}}{\phi_s}$ в процесі випару

змінюється незначно, то для характеристики властивостей і температурних умов можна використовувати відношення $\frac{P_s}{P_0}$.

З урахуванням аналізу літературних джерел, при обробці дослідних даних ухвалюємо наступну залежність:

$$\pi_p = f(\tilde{R}_e, Pr_0, \pi_0, \mu, \theta), \quad (31)$$

Число подоби \tilde{R}_e являє собою своєрідну модифікацію числа Рейнольдса й визначається по енергетичних характеристиках на припливі з урахуванням основних розмірів резервуара.

При такому способі узагальнення емпіричних даних, концентрація газового простору враховується при визначенні числа π_r .

Узагальнення дослідних даних проводилося при наступних визначальних температурах: по середньо-об'ємній температурі газового простору визначали D , v ; по середній поверхневій температурі випару рідини визначали P_s . За характерну лінійну залежність прийняли відношення об'єму резервуара до площі поверхні його конструкції.

У роботі [19] В. П. Назаров установив, що зі збільшенням числа π_d , число π_r також збільшується. У ряді робіт, присвячених дослідженням тепло- і масообміну [25–27], вказується, що фізичні властивості рідини, що випаровується, описуються числом Pr .

При порівнянні отриманих залежностей для визначення максимальної маси випарів (M_{max}) були використані формули інших дослідників, що теж вивчали випари з вільної поверхні в аеродинамічних трубах [22, 28], середня температура поверхні рідин у процесі вентиляції приймалась за даними [29], концентрація газового простору ($C_{гп}$) визначалась по формулі, що описана в роботі [19].

Підсумок проведених експериментів полягає в тому, що досліджувані схеми вентилявання газового простору резервуарів мають значні відмінності по своїй ефективності та впливу на екологічний стан довкілля. Найбільш ефективною у застосуванні виявилася схема 1. Схеми подачі струменів припливного повітря 2 і 4 відрізняються від традиційної схеми 3 не кардинально. Тому в роботі експериментальні значення змін середніх концентрацій вуглеводнів у процесі вентиляції резервуарів презентовано по новій ежекторно-вихровій схемі в порівнянні із традиційною схемою.

На рис. 19 представлений графік зміни середнього значення поточної відносної концентрації вуглеводнів при вентиляванні внутрішнього простору резервуара із залишком багатоконпонентної рідини (бензин). На рис. 20 – графік зміни середнього значення поточної відносної концентрації вуглеводнів при вентиляванні внутрішнього простору резервуара з однокомпонентною рідиною (ксилол).

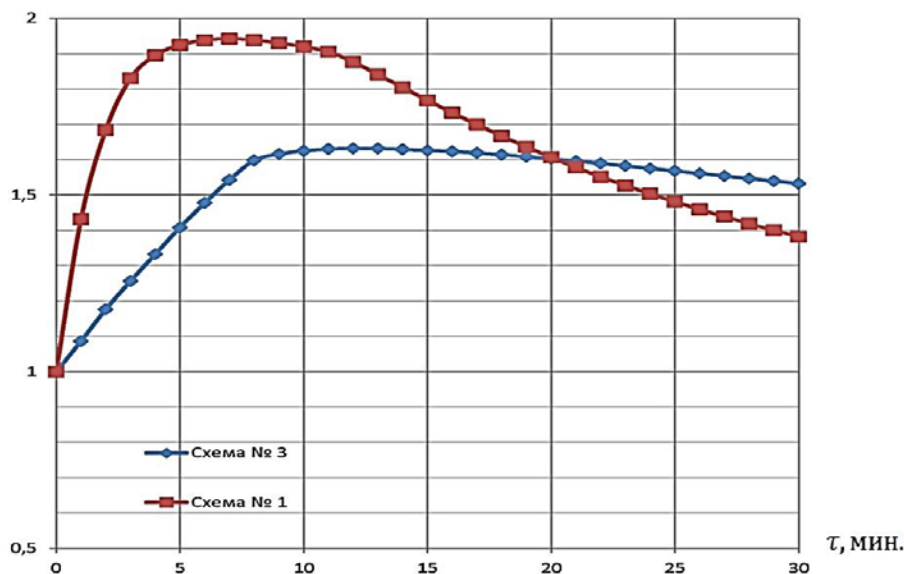


Рис. 19 – Графік зміни концентрації вуглеводнів при вентиляції резервуара із залишками багатоконпонентної рідини

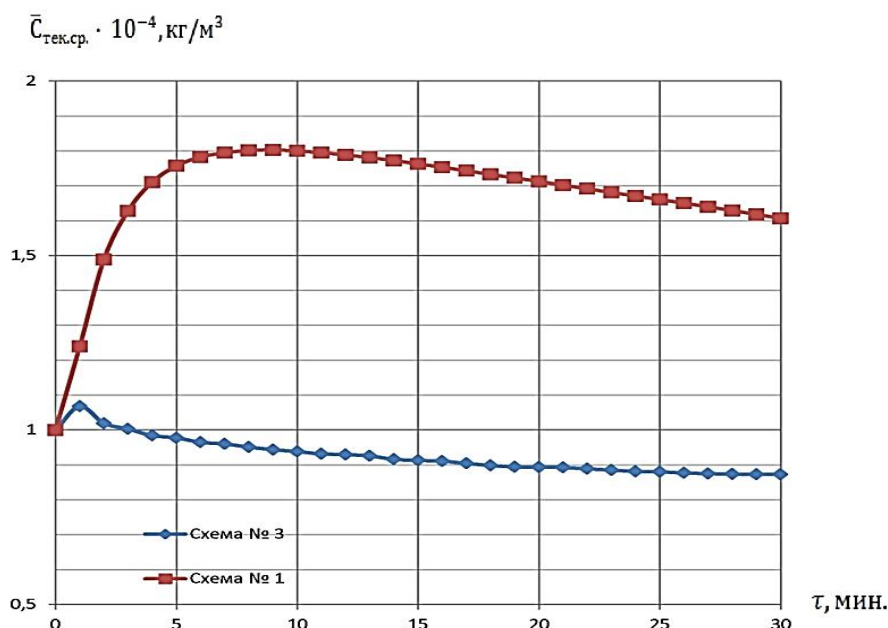


Рис. 20 – Графік зміни концентрації вуглеводнів при вентиляції резервуара із залишками однокомпонентної рідини

З отриманих даних вбачається, що на інтенсивність випарів нафтопродуктів впливає не стільки середня рухливість подаваного в резервуар повітря, скільки схема його подачі. Ежекторно-вихрова схема подачі припливного повітря дозволяє максимально перемішувати подаване повітря з газом у резервуарі. Перемішування площин зіткнення рідини й подаваного повітря витісняє з резервуара більш збагачену суміш.

Дані розрахунків були віднесені до M_{max} , що визначалась по формулі, отриманій у ході експерименту. Розрахунки показали, що при зазначених вище допущеннях, усі дані по M_{max} корелюються незалежно від того, по якій методиці були визначені.

Основним критерієм ефективності запропонованого методу підготовки резервуарів до вогневих (ремонтних) робіт є час вентиляції та мінімальний вплив випарів на навколишнє середовище. Тривалість вентиляції залежить від продуктивності вентилятора, температури припливного повітря, площі поверхні

випару, виду нафтопродукту й схеми подачі повітря у внутрішній простір резервуара.

Продуктивність вентиляторів та властивості нафтопродуктів, вплив температурних умов і залежність від площі поверхні випарів докладно розглянуті в роботі [19]. Ми в дослідженні сконцентрувались на вивченні питання про вплив способу подачі припливного повітря в резервуар. Кількісною величиною для порівняння різних схем подачі повітря був прийнятий коефіцієнт ефективності, який для «традиційної» схеми подачі повітря дорівнює 1. При зменшенні часу випару залишків нафтовмістних рідин при застосуванні будь-якої схеми коефіцієнт ефективності збільшується. Результати досліджень ефективності способів подачі повітря у внутрішній простір резервуара щодо швидкостей подачі припливного повітря наведені в табл. 3.

Результати дослідження ефективності способів подачі повітря у внутрішній простір резервуара відносно часток рідини, що випарувалися, при рівних витратах припливного повітря наведено в табл. 4.

Таблиця 3 – Результати дослідження ефективності способів подачі повітря щодо швидкості подачі припливного повітря

Схема подачі струменя припливного повітря	інноваційна	назустріч	традиційна	змішана
Коефіцієнт ефективності	2,4	1,8	1	1,9

Таблиця 4 – Результати дослідження ефективності способів подачі повітря відносно часток рідини, що випарувалися

Схема подачі струменя припливного повітря	Ефективність вентиляції відносно часток рідини, що випарувалися			
	вода	дизпаливо	бензини А-92/95	толуол
інноваційна	0,08	0,08	0,63	0,7
назустріч	0,01	0,01	0,35	0,32
традиційна	0,02	0,02	0,25	0,11
змішана	0,01	0,01	0,34	0,15

В ході дослідження встановлено, що зміна схеми подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуара при практично однакових значеннях середньої рухливості повітря в ньому, за винятком запро-

понованої нами схеми, не значно впливає на інтенсивність випару нафтовмістних рідин.

Крім того, у ході експерименту виявлені причини підвищення (або зниження) ефективності вентиляції

при зміні способу подачі повітря. З дослідів випливає, що на процес масообміну при вентиляції резервуара швидкість і рухливість повітря впливає не значно. При практично однаковій рухливості повітря в резервуарі значний вплив на масообмін має спосіб подачі повітря й ступінь перемішування його з рідинами.

Процес дегазації можна прискорити не стільки збільшенням кількості подаваного повітря, скільки вдосконаленням способу подачі повітря. Застосування запропонованого ежекторно-вихрового способу перемішування повітря дозволяє скоротити шкідливий вплив на довкілля за рахунок зменшення часу дегазації, а також за цей же рахунок скоротити час підготовки резервуарів до ремонту. Одночасно скорочуються енергетичні витрати, тому що для одержання еквівалентного ефекту, в порівнянні із прототипами, потрібно нагнати меншій об'єм повітря. Підвищується коефіцієнт корисної дії (ККД) вентиляції. Підвищення ККД означає зниження енергетичних (отже, матеріальних) витрат на підготовку резервуара до ремонту.

Коефіцієнт ефективності (A_0), що вводиться у формулу інтенсивності випару (8), як ефективність

вентиляції досліджуваних схем подачі припливного повітря, може характеризуватися відношенням експериментальної інтенсивності випару при досліджуваному способі до інтенсивності випару традиційним способом.

Досліди показали, що найбільш інтенсивно процеси випару протікають при організації повітрообміну за запропонованою нами схемою. Для розв'язання поставленого завдання достатнім є вивчення кількісної характеристики способу подачі повітря, що характеризується коефіцієнтом ефективності (A_0). Створюючи «інноваційну» подачу потоків повітря у внутрішній простір резервуара, збільшують турбулізацію руху повітря. Перемішування повітря з газом у резервуарі при «інноваційному» способі подачі повітря відбувається у всіх зонах резервуара. При такому способі подачі повітря від двох вісесиметричних потоків результатом стає найбільше перемішування рідини з повітрям. Досліджувана рідина при такому способі подачі припливного повітря починає закручуватися у бік напрямку струменя, що збільшує ступінь перемішування повітря з газом і рідиною та прискорює процес випаровуваності при рівній кратності повітрообміну.

Таблиця 5 – Значення коефіцієнта ефективності випару

Схема подачі струменя припливного повітря	Коефіцієнт ефективності A_0			
	вода	дизпаливо	бензини А-92/95	толуол
інноваційна	4	4	2,52	6,36
назустріч	0,5	0,5	1,4	2,9
традиційна	1	1	1	1
змішана	0,5	0,5	1,36	1,36

У табл. 5 представлені розрахунки коефіцієнта ефективності у формулу інтенсивності випару (8), для кожної із досліджуваних схем подачі припливного повітря.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено:

1. На підставі експериментального дослідження підтверджені теоретичні закономірності процесу вентиляції резервуарів із залишками нафтопродуктів.

2. Експериментально підтверджена методика моделювання процесів вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатокомпонентних рідин, а також процесів дегазації. При цьому доведено, що при моделюванні процесів вентиляції резервуарів із залишками однокомпонентних і багатокомпонентних рідин припустиме використання однакових методик.

3. Експериментально підтверджено впливи способів подачі припливного повітря на інтенсивність масообміну й визначений найбільш екологічно ефективний спосіб вентиляції. Експериментально доведено, що екологічна ефективність вентиляції залежить від способу подачі повітря й досягається за рахунок інтенсивного перемішування подаваного повітря з парами нафтопродуктів у резервуарі.

4. На базі експериментальних досліджень отримано коефіцієнт ефективності у формулах для розрахунків швидкості випару.

5. Після порівняння теоретичних та експериментальних досліджень відкоректована методика розрахунків процесу найбільш екологічно безпечної дега-

зації при досліджуваних способах подачі припливного повітря у внутрішній простір резервуарів.

Список літератури:

1. Куруленка, С. С. Матеріали впровадження нового механізму регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря [Текст] / С. С. Куруленка. – Київ: ДЕІ Мінприроди України, 2007. – 216 с.
2. Стольберга, Ф. В. Екологія міста [Текст]: учеб. / Ф. В. Стольберга. – Київ: Либра, 2000. – 464 с.
3. Захаренко, О. В. Підвищення безпеки життєдіяльності об'єктів хімічної промисловості шляхом моделювання заходів по локалізації надзвичайних ситуацій [Текст] / О. В. Захаренко, М. І. Адаменко, О. А. Клименко // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – № 2. – С. 145–147.
4. Селіванов, С. Є. Проблеми забезпечення екологічної безпеки функціонування потенційно небезпечних об'єктів [Текст] / С. Є. Селіванов, М. І. Адаменко // Збірник наукових праць ХНУ ім. Каразіна. – 2010. – С. 187–194.
5. Адаменко, М. І. Зниження масштабів екологічного впливу аварій на потенційно небезпечних об'єктах шляхом їх своєчасного виявлення [Текст]: зб. наук. пр. / М. І. Адаменко // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2010. – №. 4. – С. 240–242.
6. Адаменко, М. І. Дослідження меж екологічного впливу хімічно небезпечних об'єктів на навколишнє середовище [Текст] / М. І. Адаменко // Науковий вісник будівництва. – 2010. – № 35. – С. 6–8.
7. Адаменко, М. І. Класифікація надзвичайних ситуацій за видами ресурсів, що застосовуються для їх ліквідації [Текст] / Н. І. Адаменко // Науковий вісник будівництва. – 2002. – № 18. – С. 11–13.
8. Берлянд, М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы [Текст] / М. Е. Берлянд. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1975. – 448 с.
9. Берлянд, М. Е. Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха [Текст] / М. Е. Берлянд. – Ленинград: Гидрометеоздат, 1987. – 163 с.

10. Гинзбург, Л. И. Моделирование принудительной вентиляции при теплоотдаче в помещениях [Текст] / Л. И. Гинзбург // Известия АН СССР. – 1951. – № 4. – С. 36–38.
11. Санников, П. А. Модернизирование воздухообмена в помещениях с выделением газов [Текст] / П. А. Санников // Вопросы вентиляции. – № 2. – 1955. – С. 53–106.
12. Эльтерман, В. М. Вентиляция химических производств [Текст] / В. М. Эльтерман. – Москва: Химия, 1971. – 238 с.
13. Батурич, В. В. Аэрация промышленных зданий [Текст] / В. В. Батурич, В. М. Эльтерман. – Москва: Госстройиздат, 1963. – 320 с.
14. Кун, М. Ю. Исследование воздухообмена на модели в помещении газов тяжелее воздуха [Текст] / М. Ю. Кун // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. – 1967. – № 47. – С. 21–26.
15. Сучков, В. П. Методы оценки пожарной опасности технологических процессов [Текст] / В. П. Сучков. – Москва: Академия ШПС МЧС России, 2010. – 63 с.
16. Гарбуз, С. В. Повышение экологической безопасности принудительной вентиляции резервуаров хранения светлых нефтепродуктов [Текст] / С. В. Гарбуз // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 6 (4). – С. 67–72. doi: [10.15587/2312-8372.2015.53477](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.53477)
17. Гарбуз, С. В. Разработка новой технологии дегазации резервуаров хранения светлых нефтепродуктов [Текст] / С. В. Гарбуз, А. А. Ковалев // Наука и образование Новое измерение. Естественные и технические науки. – 2015. – Т. 3 (8), № 73. – С. 98–102.
18. Варгафтик, Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н. Б. Варгафтик. – Москва: Наука, 1972. – 721 с.
19. Назаров, В. П. Очистка резервуаров от остатков светлых нефтепродуктов перед проведением огневых ремонтных работ [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В. П. Назаров. – Москва, 1980. – 250 с.
20. Назаров, В. П. Пожаровзрывобезопасность предремонтной подготовки и проведения огневых работ на резервуарах [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / В. П. Назаров. – Москва, 1995. – 444 с.
21. Рубцов, В. В. Обеспечение пожарной безопасности резервуара с понтоном принудительной вентиляции при подготовке к огневым работам [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В. В. Рубцов. – Москва, 1983. – 158 с.
22. Сорокоумов, В. П. Обеспечение пожарной безопасности резервуаров с локальными остатками нефтепродуктов при проведении аварийно-ремонтных работ [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В. П. Сорокоумов. – Москва, 2002. – 160 с.
23. Горячев, С. А. Пожарная профилактика технологических процессов [Текст]: учеб. пос. / С. А. Горячев, В. С. Клубань. – Москва: ВИПТШ МВД РФ, 1996. – 121 с.
24. Ирисов, А. С. Испаряемость топлив для поршневых двигателей и методы его исследования [Текст] / А. С. Ирисов. – Москва: Гостоптехиздат, 1955. – 308 с.
25. Греков, С. П. Газодинамика инертных сред и разгазирование горных выработок при авариях [Текст] / С. П. Греков, А. Е. Калюсский. – Москва: Недра, 1975. – 121 с.
26. Кошмаров, Ю. А. Уравнение развития пожара в помещении [Текст] / Ю. А. Кошмаров // Труды ВИПТШ МВД СССР. – 1978. – № 3. – С. 27–33.
27. Кошмаров, Ю. А. К определению составляющих радиационно-конвективного теплообмена [Текст] / Ю. А. Кошмаров, М. М. Арсов // Труды ВИПТШ МВД СССР. – 1978. – № 3. – С. 34–42.
28. Арсов, М. М. Исследование тепло- и массообмена при испарении взрывопожароопасных растворителей [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / М. М. Арсов. – Москва, 1979. – 204 с.
29. Галеев, В. Б. Магистральные нефтепродуктоводы [Текст] / В. Б. Галеев, М. З. Карпачев, В. И. Харламенко. – Москва: Недра, 1988. – 296 с.
30. Zaxarenko, O. V., Adamenko, M. I., Kly`menko, O. A. (2009). Pidvy`shhennya bezpeky` zhy`t`yediya`losti ob`yektiv khimichnoyi promy`slovosti shlyaxom modelyuvannya zaxodiv po lokalizaciyi nadzvy`chajny`x sy`tuacij. Sy`stemy` ozbrojennya i vijs`kova texnika, 2, 145–147.
31. Syelivanov, S. Ye., Adamenko, M. I. (2010). Problemy` zabezpechennya ekologichnoyi bezpeky` funkcionuvannya potencijno nebezpechny`x ob`yektiv. Zbirny`k naukovy`x prac` XNU im. Karazina, 187–194.
32. Adamenko, M. I. (2010). Zny`zhennya mashtabiv ekologichnogo vply`vu avarij na potencijno nebezpechny`x ob`yektiv shlyaxom yix svojepochasnoho vy`yavleniya. Sy`stemy` upravlinnya, navigaciyi ta zv`yazku, 4, 240–242.
33. Adamenko, M. I. (2010). Doslidzhennya mezh ekologichnogo seredovy`shhe. Naukovy`j visny`k budivny`cztva, 35, 6–8.
34. Adamenko, M. I. (2002). Klasyfikacija nadzvy`chajny`x sy`tuacij za vy`damy` resursiv, shho zastosovuyut`sya dlya yix likvidaciyi. Naukovy`j visny`k budivny`cztva, 18, 11–13.
35. Berljand, M. E. (1975). Sovremennye problemy atmosfernoj dif-fuzii i zagrijaznenija atmosfery. Leningrad: Gidrometeoizdat, 448.
36. Berljand, M. E. (1987). Atmosfernaja diffuzija i zagrijaznenie vozduha. Leningrad: Gidrometeoizdat, 163.
37. Ginzburg, L. I. (1951). Modelirovanie prinuditel'noj ventiljacii pri teplootdache v pomeshhenijah. Izvestija AN SSSR, 4., 36–38.
38. Sannikov, P. A. (1955). Modernizirovanie vozduhoobmena v pomeshhenijah s vydeleniem gazov. Voprosy ventiljacii, 2, 53–106.
39. Jel'terman, V. M. (1971). Ventiljacija himicheskikh proizvodstv. Moscow: Himija, 238.
40. Baturin, V. V., Jel'terman, V. M. (1963). Ajeracija promyshlennyh zdanij. Moscow: Gosstrojizdat, 320.
41. Kun, M. Ju. (1967). Issledovanie vozduhoobmena na modeli v pomeshhenii gazov tjazhelee vozduha. Nauchnye raboty institutov ohrany truda VCSPS, 47, 21–26.
42. Suchkov, V. P. (2010). Metody ocenki pozharnoj opasnosti tehnologicheskikh proces sov. Moscow: Akademija ShPS MChS Rossii, 63.
43. Garbuz, S. V. (2015). Increase the level of environmental safety for mechanical ventilation of light-oil storage tanks. Technology Audit and Production Reserves, 6(4(26)), 67. doi: [10.15587/2312-8372.2015.53477](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2015.53477)
44. Garbuz, S. V., Kovalev, A. A. (2015). Razrabotka novoj tehnologii degazacii rezervuarov hranenija svetlyh nefteproduktov. Nauka i obrazovanie Novoe izmerenie. Estestvennye i tehniczeskie nauki, 3 (8(73)), 98–102.
45. Vargaftik, N. B. (1972). Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkostej. Moscow: Nauka, 721.
46. Nazarov, V. P. (1980). Ochistka rezervuarov ot ostatkov svetlyh nefteproduktov pered provedeniem ognevnyh remontnyh rabot. Moscow, 250.
47. Nazarov, V. P. (1995). Pozharovzryvobezopasnost' predremontnoj podgotovki i provedenija ognevnyh rabot na rezervuarah. Moscow, 444.
48. Rubcov, V. V. (1983). Obespechenie pozharnoj bezopasnosti rezervuara s pontonom prinuditel'noj ventiljacii pri podgotovke k ognevym rabotam. Moscow, 158.
49. Sorokoumov, V. P. (2002). Obespechenie pozharnoj bezopasnosti rezervuarov s lokal'nymi ostatkami nefteproduktov pri provedenii avarijno-remontnyh rabot. Moscow, 160.
50. Gorjachev, S. A., Kluban', V. S. (1996). Pozharnaja profilaktika tehnologicheskikh processov. Moscow: VIPTSh MVD RF, 121.
51. Irisov, A. S. (1955). Isparjaemost' topliv dlja porshnevnyh dvigatelej i metody ego issledovanija. Moscow: Gostoptehizdat, 308.
52. Grekov, S. P., Kaljusskij, A. E. (1975). Gazodinamika inertnyh sred i razgazirovanie gornyh vyrobotok pri avarijah. Moscow: Nedra, 121.
53. Koshmarov, Ju. A. (1978). Uravnenie razvitija pozhara v pomeshhenii. Trudy VIPTSh MVD SSSR, 3, 27–33.
54. Koshmarov, Ju. A., Arsov, M. M. (1978). K opredeleniju sostavljajushih radiacionno-konvektivnogo teploobmena. Trudy VIPTSh MVD SSSR, 3, 34–42.
55. Arsov, M. M. (1979). Issledovanie teplo- i massoobmena pri isparenii vzryvopozharoопасnyh rastvoritelej. Moscow, 204.
56. Galeev, V. B., Karpachev, M. Z., Harlamenko, V. I. (1988). Magistral'nye nefteproduktovody. Moskva: Nedra, 296.

Bibliography (transliterated):

1. Kurulnka, S. S. (2007). Materialy` vprovadzhennya novogo mexanizmu regulyuvannya vy`ky`div zabrudnyuyuchy`x rechovy`n v atmosferne povitrya. Kiev: DEI Minpryrody Ukrayiny, 216.
2. Stol'berga, F. V. (2000). Jekologija goroda. Kiev: Libra, 464.

Надійшла (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Системний підхід до зниження екологічної небезпеки вентиляції резервуарів з нафтопродуктами/ С. В. Гарбуз// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 106–118.– Бібліогр.: 29 назв. – ISSN 2079-5459.

Системный подход к снижению экологической опасности вентиляции резервуаров с нефтепродуктами/ С. В. Гарбуз// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 106–118.– Бібліогр.: 29 назв. – ISSN 2079-5459.

A systematic approach to improve the environmental safety of the ventilation of tanks with petroleum products/ S. Garbuz// Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P.106 –118. – Bibliogr.: 29. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гарбуз Сергій Вікторович – Національний університет цивільного захисту України, викладач кафедри «Пожежна та техногенна безпека об'єктів і технологій»; адреса м. Харків, вул. 23 серпня, 51, кв. 103; e-mail: garbuz_88@inbox.ru

Гарбуз Сергей Викторович – Национальный университет гражданской защиты Украины, преподаватель кафедры «Пожарная и техногенная безопасность объектов и технологий»; адрес г. Харьков, ул. 23 августа, 51, кв. 103; e-mail: garbuz_88@inbox.ru

Garbuz Sergii – National University of civil protection of Ukraine, lecturer of the Department of Fire and technogenic safety of facilities and technologies; address Kharkiv, 23 serpnya st., 51, ap. 103;; e-mail: garbuz_88@inbox.ru

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНЕ ПРОЕКТУ- ВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНИЙ ДИЗАЙН

УДК 615.849.19

В. Б. МАКСИМЕНКО, В. В. ШЛЫКОВ, В. А. ДАНИЛОВА

МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА В ТЕПЛООБМЕННИКЕ АППАРАТА ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ

Предложена 3D-модель распределения теплового потока в теплообменнике аппарата искусственного кровообращения, которая позволяет контролировать температуру крови на выходе теплообменника в условиях искусственного кровообращения. Геометрическая форма теплообменника в системе MSC Sinda представляет собой куб, который содержит греющий теплоноситель – воду и трубки с нагреваемым теплоносителем – кровью. Реализация модели распределения теплового потока в теплообменнике для аппарата искусственного кровообращения в системе MSC Sinda дает распределение температур на входе и выходе теплообменника.

Ключевые слова: модель, тепловой поток, теплообменник, распределение температуры, MSC Sinda.

Запропоновано 3D-модель розподілу теплового потоку в теплообміннику апарату штучного кровообігу, яка дозволяє контролювати температуру крові на виході теплообмінника в умовах штучного кровообігу. Геометрична форма теплообмінника в системі MSC Sinda є кубом, який містить гріючий теплоносій – воду і трубки з нагріваючим теплоносієм – кров'ю. Реалізація моделі розподілу теплового потоку в теплообміннику для апарату штучного кровообігу в системі MSC Sinda дає розподіл температур на вході і виході теплообмінника.

Ключові слова: модель, тепловий потік, теплообмінник, розподіл температури, MSC Sinda.

The 3D-model of the distribution of the heat flow for device of cardiopulmonary bypass, which allows you to control the blood temperature at the outlet of the heat exchanger for cardiopulmonary bypass are purposed. The geometric shape of the heat exchanger in the MSC Sinda system is a cube that contains a heating medium - water and heated coolant tube - blood. Implementation of the heat flow distribution in the heat exchanger model for cardiopulmonary bypass in the MSC Sinda system gives the temperature distribution at the inlet and outlet of the heat exchanger. In accordance with the physical and computational model for the once-through design of the heat exchanger in the process of warming the blood decreases the amount of heat that is given to water. This result is consistent with the heat balance equation in the absence of counter-movement of coolant - water and blood in a heat exchanger for the device of cardiopulmonary bypass.

Keywords: model, heat flow, heat exchanger, temperature distribution, MSC Sinda.

Введение. При отсутствии тепловых потерь уравнение теплового баланса для ТА имеет вид

$$Q = G_1 c_{p1} (t_1' - t_1'') = G_2 c_{p2} (t_2'' - t_2'), \text{ Вт} \quad (1)$$

где G_1, c_{p1} и G_2, c_{p2} – массовые расходы и удельные теплоемкости греющего и нагреваемого теплоносителей; t_1', t_1'' и t_2', t_2'' – температуры греющего и нагреваемого теплоносителей на входе в ТА и на выходе из него (концевые температуры). Удельная теплоемкость c_p в общем случае зависит от температуры.

Для простых схем движения теплоносителей (прямоток, противоток) средний температурный капор определяется по формуле [1]:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{\ln \frac{\Delta t'}{\Delta t''}}, \text{ К} \quad (2)$$

где для прямотока: $\Delta t' = t_1' - t_2'$; $\Delta t'' = t_1'' - t_2''$ для противотока: $\Delta t' = t_1' - t_2''$; $\Delta t'' = t_1'' - t_2'$

Один из важных параметров, характеризующий интенсивность переноса теплоты в ТА – число единиц переноса теплоты S . Чем больше значение S , тем больший тепловой поток имеет аппарат

$$S = \frac{kF}{W_{\min}}, \quad (3)$$

где k – средний для всей поверхности ТА коэффициент теплопередачи, Вт/(м²*К); F – площадь теплопередающей поверхности ТА, м², W_{\min} – наименьшее значение теплоемкостей массовых расходов теплоносителей [2].

Если принять, что коэффициент теплопередачи k слабо изменяется вдоль теплопередающей поверхности F , что в большинстве случаев является не очень грубым допущением, то уравнение теплопередачи имеет вид

$$Q = k \overline{\Delta t} F = S W \overline{\Delta t}, \text{ Вт} \quad (4)$$

где $W = Gc_p$ – полные теплоемкости массовых расходов теплоносителей, Вт/К.

Для концепции линейного изменения температуры теплоносителей вдоль поверхности ТА определяющую температуру рассчитывают как среднеарифметическую температуру на входе данного теплоносителя t_{1cp} в ТА и на выходе t_{2cp} из него:

$$t_{1cp} = \frac{t_1' + t_1''}{2}, \quad t_{2cp} = t_1cp - \overline{\Delta t}.$$

Коэффициенты теплоотдачи для греющего теплоносителя α_1 и нагреваемого теплоносителя α_2 в ТА должны согласовываться со средним температурным напором $\overline{\Delta t}$ и, соответственно, со средними температурами t_{1cp} и t_{2cp} :

$$t_{w1p} = t_1 - \frac{Q}{\alpha_1 F}; t_{w2p} = t_2 - \frac{Q}{\alpha_2 F}, \quad (5)$$

где t_{w1} , t_{w2} – температуры поверхностей теплопередающей стенки

Для цилиндрической стенки (трубы) в случае отнесения коэффициента теплопередачи к внутреннему диаметру трубы

$$t_{w1p} = t_1 - \frac{k_e \overline{\Delta t}}{\alpha_1}, t_{w2p} = t_2 + \frac{k_e \overline{\Delta t} d_e}{\alpha_2 d_n}, \quad (6)$$

где коэффициент теплопередачи k_e может быть отнесен к внутреннему (d_e), наружному (d_n) или среднему ($(d_e + d_n)/2$) диаметрам трубы:

Для цилиндрической теплопередающей стенки (трубы) коэффициент теплопередачи k_e :

$$k_e = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_e}{2\pi\lambda_w} \ln \frac{d_n}{d} + \frac{d_e}{\alpha_2 d_n}}, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{К} \quad (7)$$

где λ_w и коэффициентом теплопроводности теплопередающей стенки.

В случаях, когда $d_n/d_e < 2$ коэффициент k может быть отнесен к единице поверхности, определяемой по среднему диаметру трубы:

$$F = F_{cp} = \pi \frac{d_n + d_e}{2} l.$$

При проектировании ТА необходимо совместно решать задачу теплообмена и гидравлического сопротивления и найти оптимальные характеристики [3]. Полный перепад давления, необходимый для движения теплоносителя через ТА с заданной скоростью, определяется формулой:

$$\Delta p = \Sigma \Delta p_T + \Sigma \Delta p_M + \Sigma \Delta p_y + \Sigma \Delta p_c \quad (8)$$

где $\Sigma \Delta p_T$ – сумма сопротивлений трения на всех участках поверхности теплообмена, $\Sigma \Delta p_M$ – сумма потерь давления в местных сопротивлениях (сужение и расширение канала, обтекание препятствия и т.д.), $\Sigma \Delta p_y$ – сумма потерь давления, обусловленных ускорением потока, $\Sigma \Delta p_c$ – суммарное сопротивление самотяги, возникающей при вынужденном движении теплоносителя на нисходящих и восходящих участках каналов.

При течении несжимаемой жидкости и безотрывном обтекании:

$$\Delta p_T = \xi \frac{l}{d} \frac{\rho w^2}{2}, \quad (9)$$

где l – полная длина канала; d – диаметр труб или эквивалентный (гидравлический) диаметр канала; ξ –

коэффициент сопротивления трения; ρ и w – средние плотность и скорость.

Сумма потерь давления в местных сопротивлениях, обусловленных сужением и расширением канала, обтеканием препятствия и т.д., определяется [4]:

$$\Delta p_M = \zeta \frac{\rho w^2}{2}, \quad (10)$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления.

Сумма потерь давления, обусловленных ускорением потока, зависит от плотности и скорости теплоносителя:

$$\Delta p_y = \rho_2 w_2^2 - \rho_1 w_1^2 \quad (11)$$

где ρ_1 , w_1 и ρ_2 , w_2 – плотность и скорость теплоносителя на входе в канал и выходе из него.

Суммарное сопротивление самотяги зависит от плотности окружающей среды и теплоносителя:

$$\Delta p_c = \pm g(\rho_0 - \rho)h,$$

где g – ускорение силы тяжести; ρ_0 и ρ – средние плотности окружающей среды и теплоносителя (воды); h – расстояние по вертикали между входом и выходом теплоносителя.

Расчетная модель теплообменника. Направление относительного тока обменивающихся теплотой сред выбирают в зависимости от свойств, температуры и давления теплоносителей и от конструктивной схемы ТА [5]. Противоточное движение теплоносителей (без фазовых превращений) всегда должно быть наиболее желательным, так как при прочих равных условиях оно способствует повышению теплопроизводительности Q и уменьшению поверхности аппарата F .

В решении вопроса выбора тока теплоносителей относительно поверхности теплообмена при наружном омывании труб следует руководствоваться следующим правилом:

$Nu / Pr^{0.4} > 0.58$ – при продольном обтекании труб ТА,

$Nu / Pr^{0.4} < 0.58$ – при поперечном обтекании труб ТА,

где Nu – критерий Нуссельта, который характеризует подобие процессов теплопереноса тепла,

Pr – критерий Прандтля, который характеризует физико-химические свойства теплоносителя.

Для ламинарного режима движения теплоносителя:

$$Nu = (3.66^3 + 1.61^3 Re Pr \frac{d_e}{l})^{0.33} * \epsilon_T$$

где $Re = \frac{4G}{\pi d_e \mu}$; $Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda}$; ϵ_T – поправка на неизотермичность, l – толщина стенки трубы ТА,

где μ_{wg} – то же при температуре внутренней поверхности трубы t_{wg} , μ – динамический коэффициент вязкости при определяющей температуре теплоносителя t_{cp} .

Для жидкостей поправка на неизотермичность – $\epsilon_T = \left(\frac{\mu}{\mu_{wg}} \right)^{0.14}$.

Из уравнения неразрывности потока можно найти необходимое число труб в ТА:

$$n = \frac{z \cdot 4G_1}{\rho_1 \pi d_s^2 w_2}$$

где z - число ходов в трубах,

w_2 - среднерасходная скорость теплоносителя в межтрубном пространстве.

Коэффициент теплоотдачи от греющего теплоносителя к нагреваемому теплоносителю:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_1}{d_s}, \quad \alpha_2 = \frac{Nu_2 \lambda_2}{d_n}$$

где Nu_1 и Nu_2 - критерий Нуссельта для греющего и нагреваемого теплоносителя.

Соответственно, среднее давление в трубе:

$$P_2 = \frac{\rho_2}{R_2 T_{2cp}},$$

где ρ_2 - плотность нагреваемого теплоносителя.

Если перепад давления для проектируемого ТА задан и ограничен по величине, и если гидравлическое сопротивление по трактам греющего и нагреваемого теплоносителей превышают заданные, необходима корректировка геометрических и режимных характеристик ТА, а следовательно, и теплового и гидравлического расчетов, поскольку изменение размеров и скоростей повлечет изменение коэффициента теплопередачи и необходимой поверхности теплообмена [6].

Значение среднерасходной скорости теплоносителя в межтрубном пространстве, которая входит в уравнение теплопроводности находится из выражения:

$$w_2 = \frac{(\rho w)_l}{\rho_2},$$

где $(\rho w)_2 = \frac{G_2}{F_{cp}}$ - плотность массового потока нагреваемого теплоносителя.

Значения тепловой эффективности η могут быть определены по формулам:

$$\text{для прямотока } \eta = \frac{1 - \exp[-S(1 + \frac{W_1}{W_2})]}{1 + \frac{W_1}{W_2}}, \quad (12)$$

$$\text{для противотока } \eta = \frac{1 - \exp[-S(1 - \frac{W_1}{W_2})]}{1 - \frac{W_1}{W_2} \exp[-S(1 - \frac{W_1}{W_2})]}. \quad (13)$$

где $W_1 = G_1 c_{p1}$, $W_2 = G_2 c_{p2}$ - полные теплоемкости массовых расходов греющего и нагреваемого теплоносителей;

$$S = \frac{kF}{W_{\min}}$$

которое характеризует интенсивность переноса теплоты в теплообменнике.

Для теплообменников с фазовыми переходами теплоносителей ($W_{\min} / W_{\max} = 0$). Эффективность прямоточных теплообменников имеет вид, представленный на рис. 1.

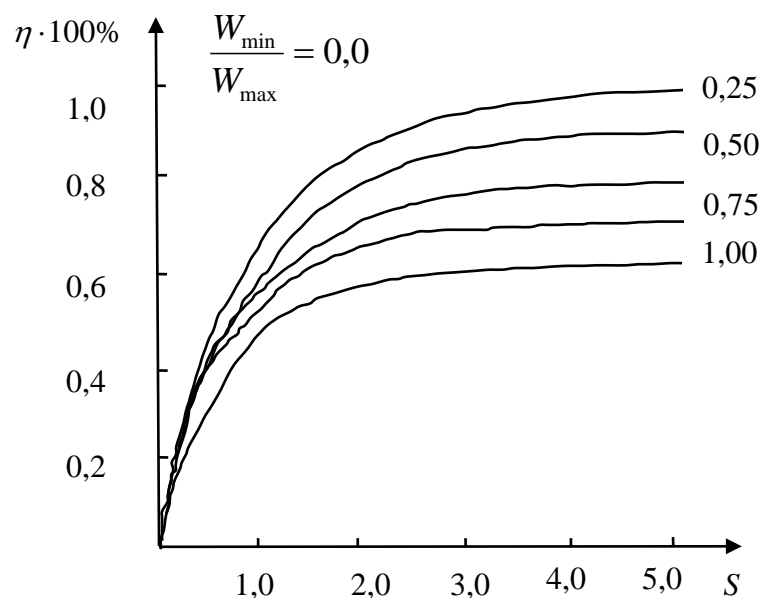


Рис. 1 - Эффективность прямоточно-противоточного теплообменника

Поскольку удельная теплоемкость крови близка к удельной теплоемкости насыщенной воды в теплообменнике, то эффективность теплообмена будет определяться массовым расходом воды и потоком крови через трубы теплообменника [7]. Эффектив-

ность прямоточного теплообменника для аппарата искусственного кровообращения должна составлять величину $\eta \approx 0,6 - 0,8$ при условии, что соотношение теплоемкостей $W_{\min} / W_{\max} = 0$.

Модель теплообменника в системе MSC Sinda

Геометрическая форма теплообменника в системе MSC Sinda представляет собой куб, который содержит греющий теплоноситель – воду и трубки с нагреваемым теплоносителем – кровью (рис. 2). Скорость потока греющего теплоносителя в теплообменнике составляет 14 л/мин. В системе MSC Sinda так-

же задаются следующие параметры модели [8]: массовые расходы и удельные теплоемкости греющего и нагреваемого теплоносителей, температуры греющего и нагреваемого теплоносителей на входе и на выходе из теплообменника, удельная теплоемкость, условия теплового баланса на поверхностях труб и куба.

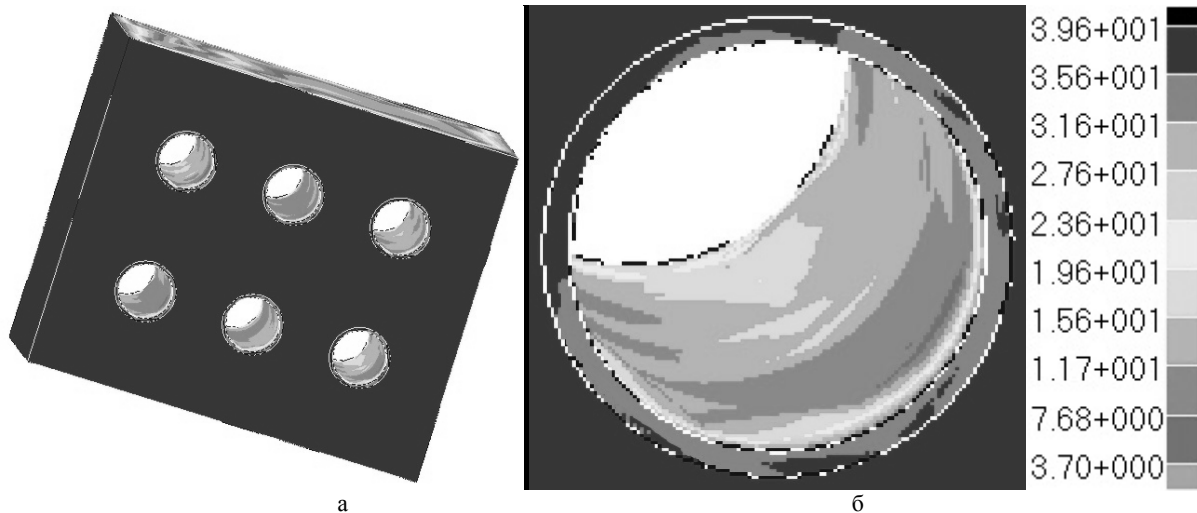


Рис. 2 – 3D-модель теплообменника в MSC Sinda: а – модель куба с трубками; б – распределение температуры в трубке

В представленной 3D-модели реализована простая схема движения теплоносителей – прамоток крови в 6 цилиндрических трубках, которые находятся внутри нагреваемого куба.

Реализация модели распределения теплового потока в теплообменнике для аппарата искусственного кровообращения в системе MSC Sinda дает распределение температур на входе и выходе теплообменника [9]. При установлении теплового баланса распределения температур на нескольких участках теплообмена между водой и кровью представлены на рис. 3.

Результаты применения модели показывают, что по мере согревания нагреваемого теплоносителя –

крови, в процессе гипертермии происходит постепенное увеличение температуры крови в трубках ТА от 5,5°С до 33,0°С. Распределения температур на нескольких участках теплообмена соответствует температурным профилям в узлах тепловой сетки (Node 11895, 11890, 11860, 11850, 11835, 11800).

При выполнении условия теплового баланса между греющим и нагреваемым теплоносителем осуществляется интенсивный перенос теплоты от воды к крови. Распределения температур на входе и выходе теплообменника, которые отражают потерю тепла греющим теплоносителем представлены на рис. 4.

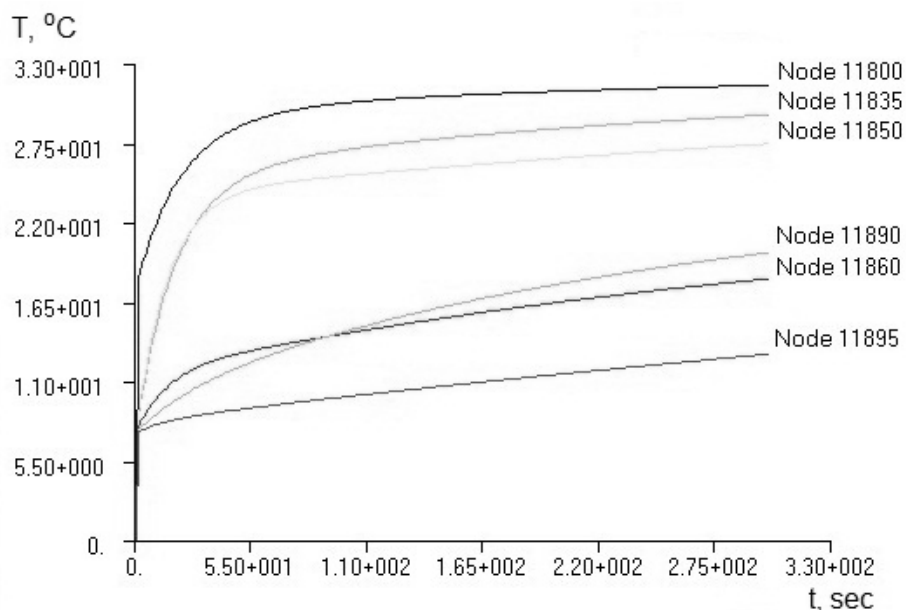


Рис. 3 – Распределения температур на нескольких участках теплообмена между водой и кровью в теплообменнике

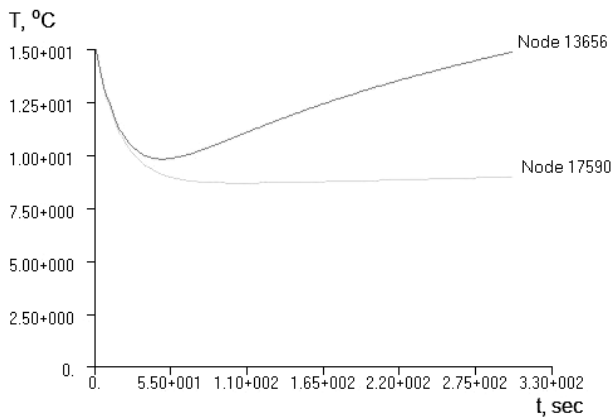


Рис. 4 – Распределения температур для греющего теплоносителя (воды) на входе и выходе теплообменника

Результаты моделирования показывают, что по мере переноса теплоты от воды к крови, в процессе согревания крови происходит постепенное увеличение температуры как нагреваемого теплоносителя (крови) в трубках ТА, так и греющего теплоносителя (воды) на выходе ТА от 10,5°C до 15,0°C. Распределения температур в кубе на нескольких участках теплоотдачи соответствует температурным профилям в узлах тепловой сетки (Node 17590 и 13656). Таким образом, в процессе согревания крови постепенно уменьшается количество теплоты, которое отдается водой.

Процесс теплоотдачи между водой и кровью в теплообменнике при условии отсутствия потерь на излучение тепла за пределы конструкции ТА описывается уравнением теплового баланса (1), а распределения температур при теплопередаче от греющего к нагреваемому теплоносителю имеет вид, который представлен на рис. 5.

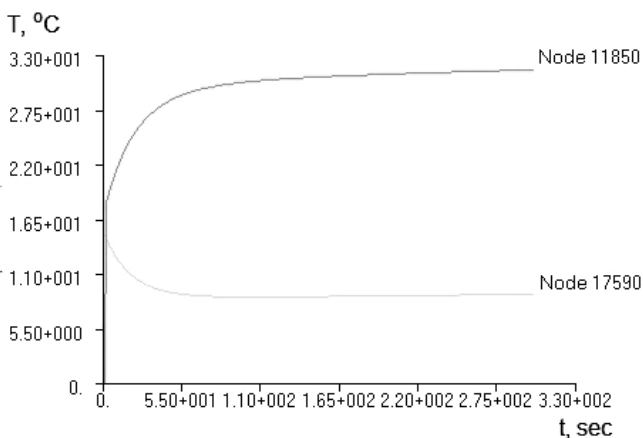


Рис. 5 – Распределения температур при теплопередаче от греющего теплоносителя (воды) к нагреваемому теплоносителю (кровь)

В соответствии с физической и расчетной моделью для проточной конструкции теплообменника в процессе согревания крови происходит уменьшение количества теплоты, которое отдается водой [10]. Этот результат хорошо согласуется с уравнением теплового баланса при отсутствии противоточного дви-

жения теплоносителей – воды и крови в теплообменнике аппарата искусственного кровообращения.

Выводы

Применение численного 3D-моделирования в системе MSC Sinda при анализе распределения теплового потока в теплообменнике для аппарата искусственного кровообращения позволяет контролировать температуру крови на выходе теплообменника путем изменения массовых расходов теплоносителей и управления скоростью потока греющего теплоносителя в теплообменнике. Использование расчетной модели теплообменника позволяет рассчитать эффективность проточного теплообменника для аппарата искусственного кровообращения.

Список літератури:

1. Бажан, П. И. Справочник по теплообменным аппаратам [Текст] / П. И. Бажан, Г. Е. Каневец, В. М. Селиверстов. – Москва: Машиностроение, 1989. – 200 с.
2. Мартыненко, О. Г. Справочник по теплообменникам. Том 1 [Текст] / О. Г. Мартыненко. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.
3. Дрейцер, Г. А. Компактные теплообменные аппараты [Текст]: учеб. пос. / Дрейцер Г. А. – Москва: МАИ, 1986. – 73 с.
4. Кейс, В. М. Компактные теплообменники [Текст] / В. М. Кейс, А. Л. Лондон. – Москва: Энергия, 1967. – 226 с.
5. Григорьев, В. А. Тепло- и массообменные аппараты криогенной техники [Текст] / В. А. Григорьев, Ю. И. Крохин. – Москва: Энергоиздат, 1982. – 312 с.
6. Байгалиев, Б. Е. Теплообменные аппараты [Текст] / Б. Е. Байгалиев, А. В. Щелчков, А. Б. Яковлев, Ю. Ф. Гортышов. – Казань: Издательство Казанского государственного технического университета, 2012. – 180 с.
7. Howell, J. R. Thermal Radiation Heat Transfer 5th Edition [Text] / J. R. Howell, M. P. Menguc, R. Siegel. – CRC Press, 2011. – 647 p.
8. Мартыненко, О. Г. Справочник по теплообменникам. Том 2 [Текст] / О. Г. Мартыненко. – Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.
9. Oppenheim, A. K. Radiation analysis by the network method [Text] / A. K. Oppenheim // Transaction of ASME. – 1956. – Vol. 4, № 4. – P. 725–736.
10. Moin, P. Fundamentals of Engineering Numerical Analysis [Text] / P. Moin. – Cambridge University Press, 2009. – 258. doi:[10.1017/cbo9780511781438](https://doi.org/10.1017/cbo9780511781438)

Bibliography (transliterated):

1. Bazhan, P. I., Kanevets, G. E., Seliverstov, V. M. (1989). Spravochnik po teploobmennym apparatam. Moscow: Mashinostroenie, 200.
2. Martynenko, O. G. (1987). Spravochnik po teploobmennikam. Tom 1. Moscow: Energoatomizdat, 560.
3. Drejcer, G. A. (1986). Kompaktnye teploobmennye apparaty. Moscow: MAI, 73.
4. Keis, V. M., London, A. L. (1967). Kompaktnye teploobmenniki. Moscow: Energiia, 226.
5. Grigor'ev, V. A., Krohin, Ju. I. (1982). Teplo- i massoobmennye apparaty kriogennoj tehniki. Moscow: Energoizdat, 312.
6. Baigaliev, B. E., Shchelchikov, A. V., Iakovlev, A. B., Gortyshov, Ju. F. (2012). Teploobmennye apparaty Kazan: Izdatel'stvo Kazanskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta, 180.
7. Howell, J. R., Menguc, M. P., Siegel, R. (2011). Thermal Radiation Heat Transfer 5th Edition, CRC Press, 647.
8. Martynenko, O. G. (1987). Spravochnik po teploobmennikam. Tom 2. Moscow: Energoatomizdat, 352.
9. Oppenheim, A. K. (1956). Radiation analysis by the network method. Transaction of ASME, 4 (4), 725–736.
10. Moin, P. (2009). Fundamentals of Engineering Numerical Analysis. Cambridge University Press, 258. doi:[10.1017/cbo9780511781438](https://doi.org/10.1017/cbo9780511781438)

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Модель розподілу теплового потоку в теплообміннику апарата штучного кровообігу/ В. Б. Максименко, В. В. Шликов, В. А. Данилова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.119–124. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Модель распределения теплового потока в теплообменнике аппарата искусственного кровообращения/ В. В. Максименко, В. В. Шлыков, В. А. Данилова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 119–124.– Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

The model of distribution heat flow in the heat exchanger for device of cardiopulmonary bypass/ V. B. Maksymenko, V. V. Shlykov, V. A. Danilova//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P. 119–124. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Максименко Віталій Борисович – доктор медичних наук, декан факультету біомедичної інженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail : maksymenko.vitaliy@gmail.com

Шликов Владислав Валентинович – кандидат технічних наук, доцент кафедри біомедичної інженерії ФБМІ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: v.shlykov@kpi.ua.

Данилова Валентина Анатоліївна – асистент кафедри біомедичної інженерії ФБМІ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056; e-mail: valnaa@ukr.net.

Максименко Віталій Борисович – доктор медицинских наук, декан факультета биомедицинской инженерии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056; e-mail: maksymenko.vitaliy@gmail.com.

Шлыков Владислав Валентинович – кандидат технических наук, доцент кафедры биомедицинской инженерии ФБМИ, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», проспект Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056, e - mail: v.shlykov@kpi.ua.

Данилова Валентина Анатольевна – ассистент кафедры биомедицинской инженерии ФБМИ, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», проспект Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056, e-mail: valnaa@ukr.net.

Maksymenko Vitaliy – MD Sciences, dean of the Department of Biomedical engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Prospect Peremogy, 37, Kiev, Ukraine, e-mail: maksymenko.vitaliy@gmail.com.

Shlykov Vladyslav – PhD. tehn. Sciences, associate Professor of Biomedical Engineering, Department of BME, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Prospect Peremogy, 37, Kiev, Ukraine, e-mail: v.shlykov@kpi.ua.

Danilova Valentyna – the assistant of Biomedical engineering, Department of BME, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Prospect Peremogy, 37, Kiev, Ukraine, e-mail: valnaa@ukr.net.

УДК 004.05

В. И. ШЕХОВЦОВА, Г. И. САЖКО

ВЫБОР ПРОГРАММНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРЕЗЕНТАЦИЙ УЧЕБНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В статье делается обзор исследований подходов к использованию презентаций в учебных целях и предложена авторская классификация типов презентаций по принципу построения. Выделены основные технологии представления материала и дана их отличительная характеристика. Рассмотрены наиболее популярные программные продукты для создания презентаций. Даны краткие описания их инструментальных возможностей в проекции создания презентаций учебного назначения. Обозначены их преимущественные и слабые стороны для различных вариантов визуализации учебного материала. Указаны приоритетные среды для презентаций разного типа.

Ключевые слова: презентация, визуализация, слайд, мультимедиа, анимация, программная среда, облачный сервис.

В статті зроблений огляд досліджень щодо підходів до застосування презентацій в навчальних цілях та запропонована авторська класифікація типів презентацій за принципом побудови. Виділені основні технології подання матеріалу та означені їх характерні особливості. Розглянуті найпопулярніші програмні продукти для створення презентацій. Поданий короткий опис їх інструментальних можливостей в проекції створення презентацій навчального призначення. Визначені їх переваги та слабкі сторони стосовно різних варіантів візуалізації навчального матеріалу. Вказані пріоритетні середовища щодо презентацій різного типу.

Ключові слова: презентація, візуалізація, слайд, мультимедіа, анімація, програмне середовище, хмарний сервіс.

The article provides an overview of researches approaches to using of presentations for training purposes and is proposed authorial classification of types of presentations on the principle of constructing. Identified the main technologies of presentation of the material, given their distinctive characteristics. The authors reviewed the most popular software for creating presentations. In the article are given a brief description of their instrumental abilities in the projection of creating presentations for educational purposes. Their advantageous and weaknesses were identified for different visualization options of educational material. There are identified priority to development environment for different types of presentations. The resulting classifier makes it possible to systematize information about the properties of cloud technologies for creating presentations for the understanding of the benefits and expediency of application specific web-service in the educational activity, and in the future professional activity of graduates. The proposed review of existing software products will allow to orient in a variety of proposals, and to find its own version of the visualization tool.

Keywords: presentation of, visualization, slide, multimedia, animation, software environment, oblacloudnyy service.

Введение. Компьютерные презентации как средство визуализации какой-либо информации широко используются во всех сферах деятельности современного человека. Наглядное представление материала с эффектами анимации и мультимедиа позволяет полно, ярко и логично продемонстрировать необходимую информацию, что способствует лучшему зрительному восприятию. Если в бизнесе грамотно построенная презентация ведет к коммерческому успеху на срок реализации проекта, то в образовании презентация, давшая новые познания, влечет долгосрочный эффект, проявляющийся в профессиональных компетенциях подготовленного специалиста. С развитием компьютерных технологий и расширением облачных сервисов появилось большое разнообразие новых программ для создания презентаций и улучшенных версий уже существующих приложений.

Целью данного исследования является рассмотрение проблемы выбора программного инструментария по созданию презентаций для обучения.

Анализ последних исследований и публикаций. Википедия дает такую трактовку понятию «презентация – (от лат. *praesento* — представление) — документ или комплект документов, предназначенный для представления чего-либо (организации, проекта, продукта и т. п.). Цель презентации — донести до аудитории полноценную информацию об объекте презентации в удобной форме» [1]. Будем рассматривать компьютерные презентации, предназначенные для обучения.

Все исследования по обучающим презентациям можно разделить на следующие группы:

1 – авторы определяют роль и место компьютера в системе других средств обучения и его разнообразные педагогические возможности;

2 – внимание акцентируется на электронных образовательных ресурсах в сфере образования;

3 – рассматриваются вопросы создания электронных средств обучения в обобщенном виде;

4 – изучаются конкретные варианты использования информационных технологий с целью наглядности предлагаемого учебного материала в виде компьютерных презентаций [2].

Но все эти исследования рассматривают презентации как метод демонстрации учебного материала с использованием компьютерных средств для зрительного восприятия информации. Никто из авторов не рассматривает преимущества и недостатки конкретных инструментальных сред для реализации различных педагогических, технологических, психологических подходов в визуализации.

Результаты сравнения существующих подходов к построению презентаций. Визуализация (от лат. *visualis*, «зрительный») — общее название приемов представления числовой информации или физического явления в виде, удобном для зрительного наблюдения и анализа [1]. Для создания какой-либо презентации необходимо иметь своего рода макет (модель) той информации, которая затем воплотится в виде компьютерных изображений со всевозможными эффектами. Учебный материал для представления необходимо структурировать, подчинить определенной логике последовательности изложения и определить моменты для концентрации внимания.

Существует несколько принципов построения презентации.

1. *Алгоритмический.* Структурная схема логики изложения материала имеет вид алгоритма: от первичных установок до намеченного результата. По ходу продвижения по схеме возможны прямые переходы, разветвления с выходом на промежуточный результат и итерационные циклы. Графически это можно изобразить так, как показано на рис. 1.

© В. И. Шеховцова, Г. И. Сажко. 2016

2. *Граф-схема.* Классическая граф-схема строится из вершин и соединяющих их дуг. Начальное и конечное событие присутствуют в единичном виде. Все промежуточные события имеют входные и выходные дуги. Граф-схема не должна заикливаться и иметь «хвосты». Относительно презентации такой подход означает, что объекты (слайды) должны содержать одну, несколько или все вершины с дугами-связями для охвата целостной информационной картины. На рис. 2 представлена условная граф-схема, где в прямоугольниках приведены возможные варианты обобщающих слайдов.

3. *Матричный.* При таком подходе слайды представляются в виде сетки объектов без приоритетов. Это означает, что переход от одной информационной ячейки к другой носит произвольный порядок с

возможностью возврата и повторения ранее показанного материала. Управление презентацией происходит вручную в зависимости от ситуации. Такие интерактивные презентации обладают системой навигации, то есть позволяют пользователю самому выбирать интересующие его разделы и просматривать их в произвольном порядке. Примером могут быть карта погоды, сетка коммуникационного покрытия Интернет-провайдера, транспортные сети, логистические подразделения и т.д.

4. *Анимационный (рисованный).* Презентации такого типа реализуют технологию поступательного добавления данных, что улучшает восприятие информации за счет имитации представления материала вживую.

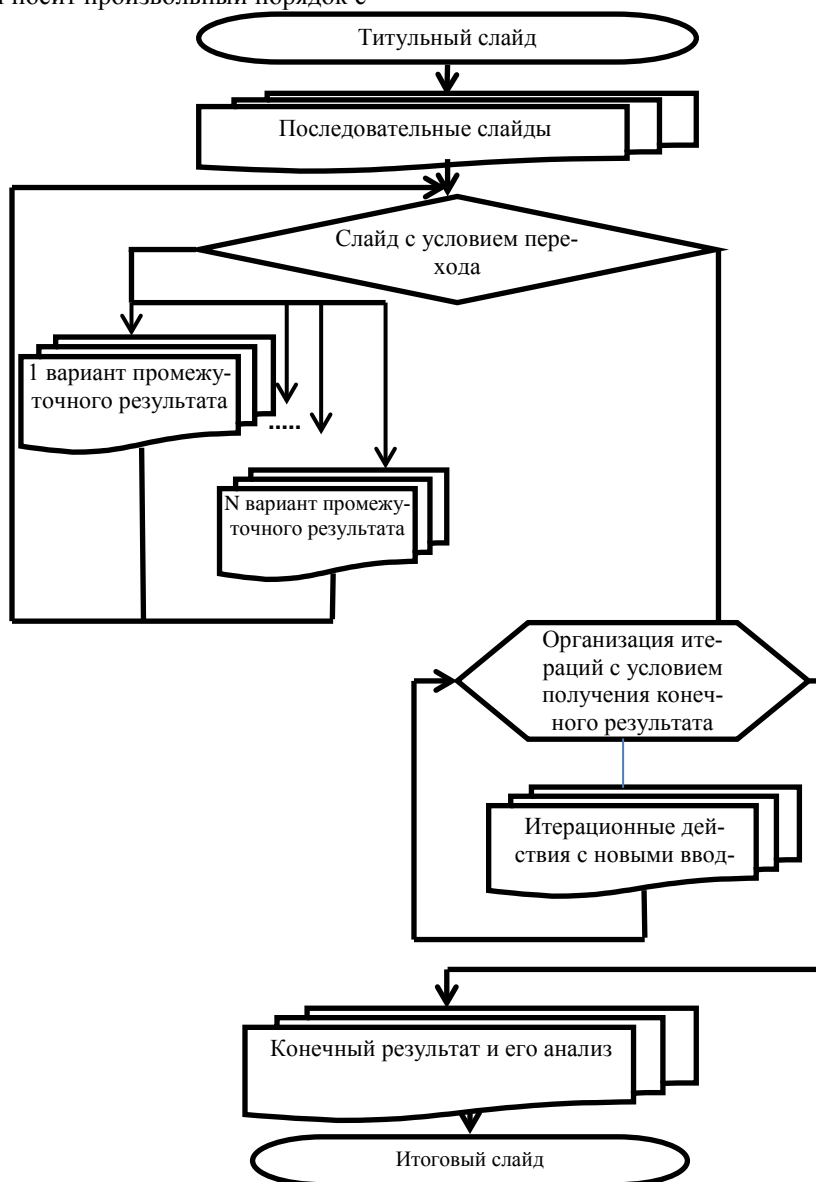


Рис. 1 – Алгоритмический подход к созданию презентации

Большой выбор современных программных пакетов для создания презентаций позволяет подобрать самый удобный и уместный инструмент визуализации,

необходимый для решения конкретных задач реализации задуманного. Рассмотрим наиболее распространенные компьютерные среды для презентаций.

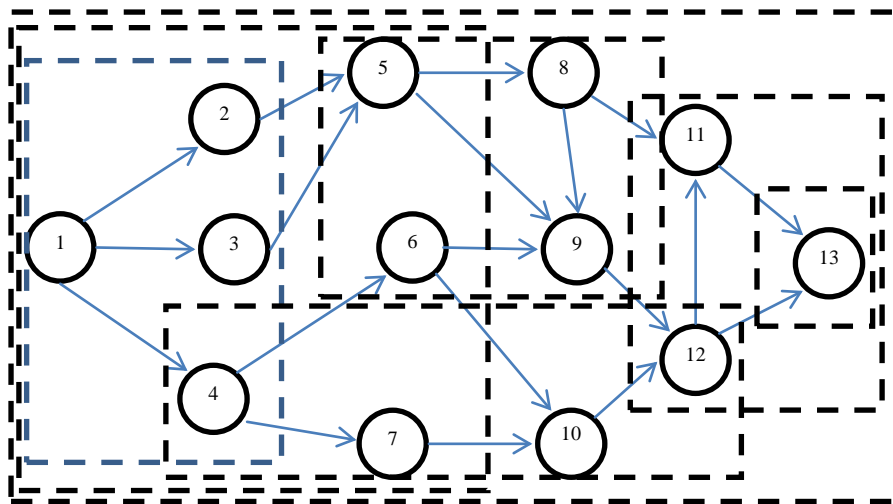


Рис. 2 – Построение презентации в виде граф-схемы

Демонстрация презентаций возможна в двух сценариях: как слайд-шоу или как видеоролик. Смену слайдов можно задать автоматически или вручную, при этом переходы осуществлять интерактивно под управлением докладчика. Классические презентации такого типа создаются с использованием следующих программных средств: Microsoft PowerPoint, StarOffice Impress, Corel Presentation, HyperStudio, DemoShield и Matchware Mediator, Prezi и др [3].

Для разработки презентаций в формате видеороликов применяются иные программные продукты, наиболее известные из которых – Macromedia Director, Camtasia Studio, TurboDemo, Demo Builder. Они позволяют создавать интерактивные файлы справки, проводить демонстрацию новых возможностей программ, записывать демонстрационные ролики и т. п.

Остановимся на некоторых программных продуктах подробнее.

Самое популярное программное приложение для создания презентаций – Microsoft PowerPoint. Широкое распространение это средство получило не только потому, что входит в состав используемого во всем мире пакета Microsoft Office, но благодаря «привычному», дружественному интерфейсу, широкому спектру возможностей графического, мультимедийного и анимационного инструментария. Презентации, подготовленные в среде Microsoft PowerPoint, представляют собой слайд шоу, красочно (при творческом подходе) иллюстрирующие излагаемый материал. Этот программный сервис позволяет создавать презентации алгоритмического типа. Возможность использования гиперссылок усложняет как процесс разработки презентации, так и демонстрации. Кроме того, возможности презентации PowerPoint ограничены. К недостаткам можно отнести ограниченное количество спецэффектов (только встроенные), трудности при синхронизации различных мультимедиа-элементов, неудобство работы с текстом, необходимость наличия оболочки Power Point на компьютере конечной аудитории (как следствие, конечный пользователь имеет доступ к содержанию презентации).

Sun. StarOffice Impress – инструмент подготовки презентаций, аналогичный Microsoft PowerPoint. В

нем предусмотрено два способа создания презентаций: первый – за основу берется "пустая презентация", вторая – используется мастер – AutoPilot. Во втором случае результатом является последовательность слайдов выбранного шаблона. Новым названием для StarOffice стало Oracle Open Office и, соответственно, презентации можно создавать в Oracle Open Office Impress. Однако они пригодны для визуализации алгоритмических принципов визуализации.

Одним из конкурентов Microsoft PowerPoint выступает программный продукт AppleKeynote. Принцип работы в этой среде звучит как “ease of use”. Функциональные возможности программы проще, креативными выглядят шаблоны и графические элементы, имеется облачная версия программы. Но создание презентаций в виде графов или матричного принципа проблематично.

Google презентации можно создавать и в бесплатном облачном офисе Google Диск. По сути, создание презентаций в Google Диске – это все равно, что в Power Point, только онлайн и с немного видоизмененным и чуть урезанным интерфейсом. Для упрощения совместной работы над документами имеются дополнительные функции с возможностью комментирования слайдов.

В настоящее время популярным становится программный продукт для создания флэш-презентаций Prezi. Особенность Prezi – это посласлайдовые переходы с масштабированием обзорного охвата. Вся презентация создается на одном едином полотне, над которым, образно говоря, кружится камера и отдаляет и приближает определенные области. Таким образом, очень хорошо видна картина с высоты птичьего полета, то есть взгляд на презентацию в целом, а так же наглядна структура повествования. В Prezi есть множество тэмплэтов с готовыми визуальными метафорами, а также можно создать визуальный скелет самостоятельно [4]. Данный облачный сервис весьма интересен и своеобразен, очень подходит для создания презентаций графового и матричного типа.

Haiku Deck – средство для упрощенного создания презентации на основе минимизации информации на слайде. Интерфейс программы максимально интуитивный, применяются качественные шаблоны для

оформления с ограниченными возможностями для редактирования. Возможно использование для создания презентаций только алгоритмического типа.

Slides – это новый современный инструмент для создания презентаций, ориентированный на окружающую нас цифровую среду. Все презентации создаются в HTML, а, значит, читаются с любых устройств. HTML-кодировка позволяет также кастомизировать презентацию каким угодно способом (можно залезать и редактировать код), а также вставлять (embed) практически любой контент из Интернета. Можно презентовать прямо из окна Вашего веб-браузера, управлять презентацией с любого устройства или скачать оффлайн-версию презентацию, синхронизировав аккаунт с Dropbox. Сам интерфейс графического редактора немного сложноват и пока еще местами не совершенен в наборе стандартных функций, но инструментарий, в целом, очень интересен. Нелинейное создание слайдов позволяет воплотить графовый или матричный тип презентации. В Slides можно пойти в какую угодно сторону (влево, направо, вверх и вниз), создавая «слои» презентации, с помощью которых создается удобная для выступления навигация по слайдам.

SlideDog – это не редактор презентаций в чистом виде, к которым привыкли в PowerPoint или Keynote. В нем невозможно создавать слайды, но с его помощью можно сделать удобный плейлист из всего контента, который вы показываете при выступлении. Презентации в PowerPoint и Keynote, PDF файлы, Prezi, видеоролики, изображения и веб-страницы можно слить в одну презентацию, расположив информацию в необходимом порядке. В результате не нужно никаких переключений между программами и нет проблем с показом каких-либо материалов. Удобен для сопровождения выступлений с ранее созданными презентациями.

Projeqt - похожий на Slides инструмент по своей адаптированности в цифровую среду и использованию всевозможного контента из Интернета. В Projeqt присутствует вставка практически любого интерактивного элемента из Web, оживляющего презентацию: вплоть до живой RSS-ленты, карты из Google, онлайн-опросы, видео из Youtube или музыки из SoundCloud. Как и Slides, программа позволяет создавать «многослойные» презентации с навигацией в какую угодно сторону, способствуя сторителлингу. Просматривать и, что самое главное, редактировать презентацию можно с любого современного устройства с выходом в интернет. Из интересных особенностей: присутствует импорт PowerPoint и PDF-файлов, что очень удобно, а также вставка презентации куда угодно в интернете. Projeqt абсолютно бесплатен и очень широко используется в образовательных целях и выступлениях на конференциях.

Flowboard программное средство для создания презентаций на планшете, используя собственные проработанные шаблоны, упрощающие работу над слайдами. Интерфейс прост в использовании, функций достаточно много. Есть интересные инструменты: работа со слоями, добавление фото и видео напрямую с Facebook, YouTube, Dropbox и пр. Но в силу новизны пока еще мало поддерживаемых шрифтов и со-

временных функций подобно тем, что есть в Projeqt или Slides. Специфика использования ограничивает сферу применения в образовательном процессе.

В сфере образования создание авторских обучающе-контролирующих приложений связано с серьезными трудностями, поскольку преподаватели могут предложить содержательную часть, методическое решение, но, как правило, не владеют никакими языками программирования. На рынке программ для разработки полноценных мультимедийных приложений в идеологии "программирование без программирования" имеется ряд программных пакетов, таких как ePublisher, HyperMetod, HM-Card, MultiVision, HyperStudio и многие другие. Несмотря на то, что все они имеют свои преимущества и недостатки, основными изъянами можно считать сложность в освоении и нехватку справочной литературы. Это делает их освоение затруднительным для преподавателей.

При демонстрации особенностей работы программного продукта чаще всего используются пакеты Macromedia Flash или Macromedia Captivate. Это связано с тем, что формат Macromedia Flash (формат SWF) является самым распространенным в Интернете, к тому же непосредственно в браузере можно просмотреть любой флэш-ролик.

Flash-презентация может включать: средства управления, все виды графических изображений, текст, аудиоинформацию в формате Mp3, видео и анимацию. Кроме традиционной демонстрации материалов на экране под управлением лектора, Flash-технология позволяет создавать презентации для самостоятельного ознакомления студентов. При этом автор может быть уверен, что независимо от компьютера, на котором будет показана презентация, приложение будет работать корректно, так, как это задумал автор. Используя возможности Flash-технологии, преподаватель может систематизировать учебный, методический, наглядно-иллюстративный материал, контрольные вопросы и создавать Flash-приложения, выполняющие разные функции: от лекционной презентации до образовательного курса для дистанционного обучения.

К числу недостатков технологии Flash относится ее невысокая производительность при воспроизведении больших объемов графики, видео и аудиоконтента (под контентом понимаются все элементы, составляющие презентацию). Кроме того, для просмотра Flash-презентаций часто необходима предварительная установка на компьютере пользователя специальной программы-плеера. Flash – программа, имеющая для создания презентаций избыточную функциональность и при этом довольно сложная для начинающих пользователей.

Таким образом, применение технологии Flash обосновано в том случае, когда презентация должна выглядеть нарядно, демонстрировать качественную анимацию, обладать разнообразной навигацией, но при этом контент презентации не очень велик; а также в том случае, если предполагается размещение презентации в Интернете[6].

Программа DemoForge Studio создает более качественные ролики в своем собственном формате, который значительно компактнее формата Flash.

Уменьшение размера презентационного ролика в случае размещения в Интернете является серьезным плюсом в пользу DemoForge Studio, но созданные данной программой ролики нельзя просматривать в браузере Opera.

Пакеты TwinPlayer и Opus Presenter используются для создания рекламных интерактивных презентаций, просматривать которые можно в любом порядке, но требуют от разработчиков больших знаний и денежных вложений.

HyperStudio – это авторская мультимедийная система разработки презентаций, спроектированная Роджером Вагнером (Roger Wagner) специально для образовательных целей. Система популярна среди преподавателей (интерактивное обучение, обучающие программы) и у пользователей домашних компьютеров (фотоальбомы, презентации). При помощи HyperStudio преподаватель может создавать мультимедийные презентации, обучающие системы, включая разного типа тесты, как для контроля знаний, так и для индивидуальной подготовки студентов. Создание презентаций не требует никаких специальных знаний в области языков программирования. HyperStudio не сложный в применении, дружелюбный в использовании, а следовательно студенты и преподаватели могут сконцентрировать свои усилия на содержании проекта [10]. Презентации в HyperStudio имеют стекловую структуру. Для получения хорошего обучающего материала разработчик манипулирует объектами, диалоговыми окнами на экране компьютера, чтобы создать качественный текст, графику, кнопки, звуки, эффекты анимации. Проекты носят название стека и состоят из кадров, которые отображаются на экране при проигрывании презентации. Кадры представляют собой комбинацию текста, графики, звуков и т.д. и связаны между собой в стеке в определенном порядке, который всегда можно изменить. Связи устанавливаются при помощи гипертекстовых ссылок.

Наиболее эффективными являются специализированные инструментальные пакеты: Macromedia Director, DemoShield, используя которые, преподаватели могут самостоятельно создавать компьютерные учебники и пособия, энциклопедии и справочники и т. п., закладывая в них специальные знания, свой опыт и свои методики.

Пакеты DemoShield и Macromedia Director ориентированы на профессионалов, предоставляют практически неограниченные возможности в области обработки мультимедийных материалов и поддерживают большинство популярных форматов. Macromedia Director имеет средства публикации материалов на различных платформах, с помощью встроенного языка Lingo позволяет весьма гибко и эффективно управлять презентацией и дает возможность поставить на поток процесс подготовки презентаций. В Director-презентации с высокой скоростью одновременно могут воспроизводиться несколько разнородных мультимедийных элементов: видео-, аудио-, flash-файлы, слайд-шоу и т. п. Единственным ограничением для применения технологии Director является большой "вес" таких презентаций, что затрудняет их размещение в Интернете, хотя техническая возможность облегчить презентацию все же существует [7].

Программа DemoShield позволяет создавать виртуальный тур, что требует профессиональных навыков от разработчика презентации. Созданные в его среде проекты могут представлять собой либо структурированные туры (Quick Tours), в ходе которых пользователю будут продемонстрированы все возможности программного продукта, либо нелинейные презентации, в которых пользователь сможет сам выбрать то, что ему необходимо посмотреть. В программу встроены средства, которые существенно облегчают и ускоряют процесс создания обучающих материалов, связанных с программным обеспечением. Есть возможность автоматически снимать с экрана ролики, демонстрирующие работу с программой, а также имитировать работу приложения в самой презентации. Кроме скрин-шотов экранов можно продемонстрировать все возможности программного продукта и движение курсора с параллельным объяснением производимых действий при помощи всплывающих текстовых окошек. В презентацию можно включить управляющие элементы, которые в простейшем случае будут указывать, на какой именно слайд пользователь в данный момент желает переместиться, смогут запускать внешние программы, отправлять письма по электронной почте. Именно эти возможности программы позволяют создавать интерактивные обучающие материалы, обладающие нелинейностью поведения. Это сделать здесь легче, чем во Flash'e, поскольку от пользователя не требуется знания какого-то специфического языка программирования: все действия настраиваются сугубо визуально.

Среда DemoShield базируется на идеологии объектного и визуального проектирования, в презентацию можно включать поля для ввода информации и списки значений, а значит использовать переменные и обработку событий. Включаемые таким образом элементы программирования присутствуют исключительно в визуальной форме, и, следовательно, знаний по программированию не требуется. Каждому объекту можно назначать различные действия в ответ на разные события: например, объект-кнопка может повести себя совершенно по-разному, в зависимости от того, какой кнопкой мыши по нему щелкнут. Редактирование действий с объектами в программе осуществляется с помощью специального мастера, который будет понятен и тем пользователям, которые не имеют навыков программирования в визуальных средах разработки. Интересной особенностью DemoShield является возможность взаимодействия презентаций с базами данных – то есть, можно создавать проекты, извлекающие необходимую информацию из базы данных или добавляющие информацию в базу. Таким образом, можно создавать свои интерактивные анкеты, тесты и прочие материалы, в которых запись в базу данных необходима [8].

Пакет Mediator – это один из наиболее простых и в то же время полнофункциональных пакетов для создания презентаций. Пакет ориентирован на создание Flash-, HTML и интерактивных CD-презентаций, дополнен возможностями программирования. Mediator позволяет создавать сложные мультимедийные проекты с навигацией через гиперссылки. Программа реализует алгоритмический тип создания презентаций,

как в виде собственных проектов, так и на основе разнообразных шаблонов. В программе огромное количество различных шаблонов оформления, которые можно использовать для подготовки очень качественной и красивой демонстрации. Для перемещения между слайдами имеется большая библиотека эффектов, что позволяет делать презентации, напоминающие интерактивное видео. Простота и дружелюбный интерфейс, понятный набор меню и инструментов дают возможность быстро создавать свои презентации даже непрофессионалам.

В презентации, созданной с помощью Mediator, могут быть объединены текст, изображения, видео, звук, анимация, интерактивные элементы, переменные и вводимые значения, влияющие на ход демонстрации. Кроме того, можно добавлять Flash-объекты, изменять их размер и вращать произвольным образом и т. д. Для расширения функциональности и оригинальности презентации можно использовать язык VB и JavaScript., включена возможность добавления ActiveX. Презентация может сохраняться на диске с настройкой его автозапуска и размещаться в Интернете. Чтобы файл нельзя было изменить, предусмотрена защита паролем[9].

Широкую популярность в последнее время получили презентации в виде видеороликов. Для их создания используются следующие программные продукты.

Сервис Sparkol VideoScribe позволяет разрабатывать видеоролики с эффектом создания сюжета от руки. В программе предусмотрена большая библиотека анимационных изображений и рисунков на различную тематику и готовые шаблоны для анимации. К созданной презентации можно добавить необходимое аудио-сопровождение или записать голос за кадром. Презентацию можно экспортировать в видео-формат, а также в pdf файл.

PowToon — бесплатное онлайн приложение для создания анимационных видео-презентаций с дополнительными платными возможностями. В программе предусмотрены несколько вариантов анимации текста на слайдах: написание текста от руки, последовательное проявление букв, а также простые варианты анимации текста, как в PowerPoint. В библиотеку анимационных изображений входят: модели различных человечков в векторной графике и множество элементов инфографики. Более сложные изображения можно приобрести за дополнительную платную подписку.

Moovly - программа для создания мультимедийных презентаций является платным онлайн-сервисом и имеет урезанную бесплатную версию, позволяющую разрабатывать анимационные презентации с расширением 480, длительностью до 10 минут и ограниченным количеством стилей оформления. Бесплатная версия программы имеет достаточное количество анимационных рисунков и элементов инфографики. Для каждого элемента можно выбрать от 10 различных вариантов анимации. Созданные видео можно выставлять на Youtube или Facebook, или загрузить в формате видео или flash.

GoAnimate - онлайн-программа для разработки презентаций и анимационных видео-роликов с широкими возможностями. Программа имеет бесплатную

версию с ограниченными возможностями и различные варианты платной подписки. В GoAnimate представлены очень разнообразные шаблоны презентаций с большим количеством анимационных изображений. Часть изображений можно даже корректировать: заменять наклон или размер элементов, убирать лишние элементы. Готовую презентацию можно скачать или выложить на Youtube.

Выводы. Нами были рассмотрены самые распространенные технологии, используемые в различных направлениях деятельности (образовании, учете, коммуникации), которые были структурированы по определенным признакам. Полученный классификатор дает возможность систематизировать сведения о свойствах облачных технологий для создания презентаций для понимания преимуществ и целесообразности применения конкретного web-сервиса как в учебной деятельности, так и в дальнейшей профессиональной деятельности выпускников.

Большое разнообразие программных средств для создания презентаций дает возможность разработчику сделать выбор в зависимости от объективных/субъективных возможностей (технических, программных, финансовых, собственной квалификации т.д.) и потребностей (какой тип презентации необходимо создать, для каких целей она будет использоваться, кто конечные пользователи, в каких условиях будет демонстрироваться и т. д.). Приведенный обзор существующих программных продуктов позволит сориентироваться во множестве предложений и найти свой вариант среды визуализации.

Список литературы:

1. Презентация (способ представления информации) [Электронный ресурс] / Википедия. Свободная энциклопедия. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_\(%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_(%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8))
2. Бобровская, Л. Н. Учебная компьютерная презентация в обучении информатике как средство реализации методической системы учителя [Электронный ресурс]: дис. ... канд. пед. наук / Л. Н. Бобровская. – Волгоград, 2008. – 163 с. – Режим доступа: <http://www.dissertat.com/content/uchebnaya-compyuternaya-prezentatsiya-v-obuchenii-informatike-kak-sredstvo-realizatsii-metod>
3. Кривошапова, И. Г. Использование Интернет – сервисов в сетевом проектировании и для повышения ИКТ-компетентности обучающихся [Электронный ресурс]: 3тя интернет конф. / И. Г. Кривошапова // Социальные сервисы WEB 2.0 в образовании: опыт, проблемы, перспективы, 2012. – Режим доступа: http://internet-konfweb202011.blogspot.ru/2012/02/blog-post_1647.html
4. Аронова, Е. Летящие презентации Презi своими руками [Электронный ресурс] / Е. Аронова // Calameo. – Режим доступа: <http://ru.calameo.com/read/001913297480e04cfc00>. – 2013.
5. Галло, К. Презентации в стиле TED: 9 приемов лучших в мире выступлений [Текст] / К. Галло. – Москва: Альпина Паблишер, 2015. – 253 с.
6. Сиббет, Д. Визуализируй это! Как использовать графику, стикеры и интеллект-карты для командной работы [Текст] / Д. Сиббет. – Москва: Альпина Паблишер, 2013. – 280 с.
7. Лазарев, Д. Презентация: Лучше один раз увидеть! [Текст] / Д. Лазарев. – Москва: Альпина Паблишер, 2011. – 142 с.

8. Кушнер, М. Презентации для "чайников" [Текст] / М. Кушнер. – Москва: Вильямс, 2007. – 544 с.
9. Мухин И. А. Отображающие устройства: Что выбрать для презентации? [Текст] / И. А. Мухин // Интеллектуальное здание. Высокие технологии в строительстве. – 2005. – № 2. – С. 16–19.
10. Кантерев, А. Мастерство презентации: Как создавать презентации, которые могут изменить мир [Текст] / А. Кантерев. – Москва: ЛитРес, 2012. – 336 с.

Bibliography (transliterated):

1. Presentation of the (way of presenting information) (2016). Wikipedia. Free Encyclopedia. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F \(%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1 %D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F %D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F (%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1 %D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F %D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8))
2. Bobrovskaya, L. N. (2008). Training computer presentation in teaching computer science as a means of implementing the teacher methodical system. Volgograd, 163. Available at: <http://www.dissercat.com/content/uchebnaya-kompyuternaya-prezentatsiya-v-obuchenii-informatike-kak-sredstvo-realizatsii-metod>
3. Krivoshepova, I. G. (2012). Use of Internet – services in a network design and to improve the ICT competence of students. 3th Internet Conferences Social services WEB 2.0 in education: experience, problems and prospects. Available at: http://internet-konfweb202011.blogspot.ru/2012/02/blog-post_1647.html
4. Aronov, E. (2013). Flying presentation Rzezi own hands. Available at: <http://ru.calameo.com/read/001913297480e04cfca00>
5. Gallo, C. (2015). Presentations in TED-style 9 receptions world's best performances. Moscow: Alpina Publisher, 253.
6. Sibbet, D. (2013). Visualize it! How to use graphics, stickers and intelligence card for teamwork. Moscow: Alpina Publisher, 280.
7. Lazarev, D. (2011). Presentation: Better to see once! Moscow: Alpina Publisher, 142.
8. Kushner, M. (2007). Presentations for the "dummies". Moscow: Williams, 544.
9. Mukhin, I. A. (2005). The imaging device: What to choose for the presentation? Intelligent Building. High technology in construction, 2, 16–19.
10. Kapterev, A. (2012). Presentation Mastery: How to create presentations that can change the world. Moscow: LitRes, 336.

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Вибір програмних інструментів для комп'ютерних презентацій навчального призначення/ Г. І. Сажко, В. І. Шеховцова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 125–131.– Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Выбор программных инструментов для компьютерных презентаций учебного назначения/ Г. И. Сажко, В. И. Шеховцова// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.125–131. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Select software tool for computer presentations educational purposes/ G. Sazhko, V. Shekhovtsova//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179).– P. 125–131. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шеховцова Вікторія Іванівна – кандидат педагогічних наук, Харківський Національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри інформаційних управляючих систем; пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166; e-mail: viktoriiia.shekhovtsova@nure.ua.

Сажко Галина Іванівна – кандидат педагогічних наук, Українська інженерно-педагогічна академія, доцент кафедри інформаційних комп'ютерних та поліграфічних технологій; вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003; e-mail: gala-sazhko@rambler.ru.

Шеховцова Виктория Ивановна – кандидат педагогических наук, Харьковский Национальный университет радиоэлектроники, доцент кафедры информационных управляющих систем; пр. Науки, 14, г. Харьков, Украина, 61166; e-mail: viktoriiia.shekhovtsova@nure.ua.

Сажко Галина Ивановна – кандидат педагогических наук, Украинская инженерно-педагогическая академия, доцент кафедры информационных компьютерных и полиграфических технологий; ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003; e-mail: gala-sazhko@rambler.ru.

Shekhovtsova Viktoriya – Candidate of Pedagogical Sciences, associate professor, Department of information control systems, Kharkiv National University of Radioelectronics; Nauka ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; e-mail: viktoriiia.shekhovtsova@nure.ua

Sazhko Galina - Candidate of Pedagogical Sciences, associate professor, Department of Information, Computer and Polygraphy Technologies, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy; Universitetska str., 16, Kharkiv, Ukraine, 61003; e-mail: gala-sazhko@rambler.ru

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

УДК 657:640.432

В. А. ГРОСУЛ, Т. П. ІВАНОВА

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРИ ФОРМУВАННІ БІЗНЕС-МОДЕЛІ ПІДПРИЄМСТВА РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА

У статті досліджено сутність основних категорій управління якістю. Визначені основні критерії управління якістю послуг на підприємствах ресторанного господарства. Сформовано систему параметрів оцінки якості послуг підприємства ресторанного господарства. Розроблено інтегровану модель впливу якості послуг підприємства ресторанного господарства на критерії результативності діяльності. Обґрунтовано методичний інструментарій комплексної оцінки якості послуг підприємств ресторанного господарства. Результати досліджень можуть бути використані при побудові системи управління якістю на підприємствах ресторанного господарства.

Ключові слова: якість, виробництво, продукція, обслуговування, послуга, управління, підприємство, ресторанне господарство.

В статье исследована сущность основных категорий управления качеством. Определены основные критерии управления качеством услуг на предприятиях ресторанного хозяйства. Сформирована система параметров оценки качества услуг предприятия ресторанного хозяйства на критерии результативности деятельности. Разработана интегрированная модель влияния качества услуг предприятия ресторанного хозяйства на критерии результативности деятельности. Обоснован методический инструментальный комплексной оценки качества услуг предприятий ресторанного хозяйства. Результаты исследований могут быть использованы при построении системы управления качеством на предприятиях ресторанного хозяйства.

Ключевые слова: качество, производство, продукция, обслуживание, услуга, управление, предприятие, ресторанное хозяйство.

The article discusses the theoretical and practical aspects of service quality management at the enterprises of restaurant economy. The evolution of the concept of "quality" and defines the essence of the main categories of quality management. The features of the nature of production at the enterprises of restaurant economy. It was found that when assessing the quality of the restaurant business enterprises should take into account all four stages of the expansion of production: production, distribution, exchange and consumption.

The result of this study is to assess the parameters of the system formed at enterprise restaurant management services to meet customer requirements. Developed an integrated model of the impact of the quality of restaurant management enterprise services on the criteria of efficiency of its activity.

Practical significance has developed methodological tools integrated assessment of the quality of services of restaurant business enterprises. The proposed approach is based on building patterns, and allows you to evaluate the quality of the restaurant business, enterprise services for the main criteria, taking into account the priority needs and demands of consumers. The research results can be used in the construction of quality management system in enterprises restaurant business, as well as in management decisions to transform the existing business model.

Keywords: quality, manufacturing, production, maintenance, service, enterprises of restaurant business.

Вступ. В умовах глобалізації споживчого ринку та підвищеної конкурентоспроможності питання забезпечення якості у різних її проявах набувають особливої актуальності для вітчизняних підприємств різних галузей економіки. За останні роки «якість» стала імперативом конкурентоспроможності для всіх видів бізнесу. Сучасний споживач вимагає високого рівня якості: від якості продукції та послуг, якості роботи, якості навколишнього середовища до якості життя. Це, своєю чергою, обумовлює необхідність формування відповідно високого рівня якості бізнес-моделей суб'єктів господарювання.

Особливо гострим дане питання є для підприємств ресторанного господарства, галузева специфіка яких визначає можливість оцінки кінцевих результатів праці і доцільності зроблених витрат безпосередньо тільки після споживання, якому передують виробництво і реалізація продукції. Оскільки підприємства даної сфери поєднують всі чотири фази розширеного відтворення: виробництво, розподіл, обмін і споживання [1]. Складність оцінки якості на підприємствах ресторанного господарства обумовлена характером організації виробництва, при якому поряд з реалізацією продукції, організується її споживання та надання споживачам різних послуг [2].

Усвідомлення цих обставин призвело до активізації наукового інтересу дослідників до вирішення практичних аспектів формування якісної бізнес-моделі підприємства ресторанного господарства, реалізація якої дозволить забезпечити високі стабільні

результати, мінімізувати витрати та сприятиме формуванню його позитивного іміджу. Для аргументованої координації управлінських рішень відносно доцільності та необхідності трансформації діючої бізнес-моделі особлива увага повинна бути приділена практичним аспектам управління якістю.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Формуванню теоретичних та практичних аспектів управління якістю на підприємствах присвячені праці вітчизняних та зарубіжних вчених-економістів. Термінологічний апарат та основні категорії управління якістю представлені в діючих державних стандартах України [3], гармонізовані зі стандартами якості [4–6], міжнародними стандартами [7]. Прикладні аспекти технології виробництва, які застосовуються на підприємствах ресторанного господарства представлені в наукових дослідженнях Р. П. Никифорова, О. В. Сабірова [8]. Проблеми управління якістю продукції широко висвітлено в працях Ащепкової Н. С., Богданова В. О. [9] Давидової О. Ю. [10], питання якості обслуговування розглядаються в наукових працях [11]. Різноманітні методичні підходи оцінки якості послуг є предметом активних наукових дискусій серед дослідників: М. О. Науменко, О. І. Бляшенко [11], Т. І. Андросової [12]. Загальні питання прогнозування процесів системи управління якістю є предметом наукових досліджень С. І. Шаповалової, О. О. Мажара [13], Мазаракі А. А., Пугачеського Г. [14], Г. Т. Пятницької [1].

© В. А. Гросул, Т. П. Іванова. 2016

Разом з тим, звертає увагу відсутність понятійної чіткості стосовно основних категорій управління якістю на підприємствах ресторанного господарства. Вивчення опублікованих праць і практики господарювання господарської діяльності свідчать про недостатнє висвітлення питань, пов'язаних із застосуванням сучасного методичного інструментарію оцінки якості послуг підприємств ресторанного господарства за основними параметрами, що мають пріоритетне значення для споживача. Наявні методичні підходи оцінки якості не адаптовані до галузевої специфіки підприємств ресторанного господарства. Отже, на сучасному етапі розвитку економіки України, набуває особливої актуальності проблема подолання безсистемності в управлінні, пошуку та розроблення нових методів управління якістю послуг на підприємствах ресторанного бізнесу.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є вивчення теоретичних засад та розробка методичних та практичних рекомендацій щодо управління якістю послуг на підприємствах ресторанного господарства.

Задачею дослідження є обґрунтування методичного інструментарію локальної параметричної та комплексної оцінки якості послуг підприємств ресторанного господарства.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Вивчити еволюцію поняття «якість» та визначити сутність основних категорій управління якістю відповідно діючих державних та міжнародних стандартів, а також сучасної економічної літератури.

2. Сформуванню систему основних параметрів оцінки якості послуг підприємства ресторанного господарства, відповідно до вимоги та переваг споживачів.

3. Удосконалити методичний інструментарій оцінки якості послуг на підприємствах ресторанного господарства, який на відміну від існуючих, враховує локальні параметричні оцінки якості послуг, дозволяє оцінити ступінь відповідності якості послуг відносно еталону та характеризує загальний рівень якості послуг підприємств ресторанного бізнесу.

Основні категорії управління якістю на підприємствах ресторанного господарства. Логічне та обґрунтоване формування конкурентоспроможної бізнес-моделі підприємства ресторанного господарства неможливо без дослідження понятійного апарату в частині визначення сутності самого поняття «якість» та основних категорій управління якістю.

Проведене дослідження економічної літератури з питань управління якістю показало, що першим дослідником даної категорії вважається давньогрецький філософ і вчений Аристотель. Він визначив її як «видову відмінність» однієї сутності від іншої, що належить до того ж виду [10]. З часом розуміння сутності категорії «якість» трансформувалося набувало нових відтінків (рис. 1). Проте, акцент Аристотеля на характеристику мінливості якості як зміну стану речей, їх здатність перетворюватись у свою протилежність не втрачає своєї актуальності у сучасних умовах господарювання, оскільки забезпечення високого рівня конкурентоспроможності підприємств ресторанного господарства обумовлює необхідність здійснення постійного контролю та підвищення якості за всіма компонентами їх бізнес-моделі. Сьогодні ключовою

детермінантою формування якісної бізнес-моделі підприємств ресторанного господарства є ступінь відповідності сукупності власних характеристик кожної її компоненти вимогам споживачів в залежності від споживчого сегменту.

Діючі державні стандарти України [3], гармонізовані зі стандартами якості [4–7] зорієнтовані передусім на споживача, передбачають використання 8 принципів управління якістю, які повинні забезпечити успішну реалізацію бізнес-моделі підприємств ресторанного господарства. Це, зокрема: орієнтація на споживача; лідерство керівництва; залучення всіх працівників до справ підприємства ресторанного господарства; процесний та системний підходи до управління; взаємовигідні відносини з постачальниками; постійне поліпшення діяльності; прийняття рішень на підставі реальних фактів [14].

Якість продукції – сукупність властивостей, які засвідчують ступінь її придатності для використання за прямим призначенням з врахуванням функціональної, економічної та естетичної сторін при визначеному рівні розвитку виробничих сил [3].

Якість послуги – сукупність характеристик послуги, які надають їй здатність задовольняти обумовлені або ймовірні потреби [7].

Якість обслуговування – сукупність характеристик процесу і умов обслуговування, які забезпечують задоволення встановлених або ймовірних потреб споживача [7].

Управління якістю, відповідно погляду кола вітчизняних вчених [10] являє собою науковий напрямок, що вивчає теорію та практику управління застосовано до сфери якості.

Предмет управління якістю – сукупність теоретичних, методичних та практичних питань управління якістю продукції та послуг [10].

Критерієм оцінки якості на підприємствах ресторанного господарства є сама людина з її різноманітними потребами, індивідуальним смаком, що додає деяку суб'єктивність одержуваним результатам [11].

Визначення параметрів інтегрованої моделі оцінки якості послуг підприємства ресторанного господарства. Індустрія ресторанного бізнесу завжди орієнтується на запити клієнтів. Розуміння вимог та запитів клієнтів необхідно для управління якістю їх обслуговування на підприємствах ресторанного господарства. Досягнення високого рівня якості – важливе завдання, вирішення якого забезпечує підприємницький успіх підприємств даної сфери. Використання в обслуговуванні клієнтського підходу є основним критерієм забезпечення якості діючої бізнес-моделі підприємства ресторанного господарства. При цьому якість продукції та наданих послуг сприймається відвідувачами підприємства ресторанного господарства як єдиний інтегрований показник, а забезпечення високого значення якого залежить також від високого рівня координації на інших стадіях: виробництва, розподілу та обміну. В даному контексті слід повністю підтримати погляд вчених М. О. Науменко, О. І. Бляшенко, які досить доречно зазначають, що «...якість в закладах ресторанного господарства є складним сукупним поняттям, яке повинно відповідати певним вимогам, що формуються при реалізації продукції, ор-

ганізації її споживання та організації відпочинку формуються при реалізації продукції, організації її споживання та організації відпочинку» [11].

Проведені дослідження свідчать, що для багатьох підприємств ресторанного господарства підвищення якості обслуговування є найбільш ефективним інструментом підвищення ефективності діяльності, ніж маркетинг, просування або реклама. На практиці, в перший раз клієнта можна «заманити» рекламою, інтер'єром або різноманітним меню, проте вдруге він приходить завдяки якості страв, які пропонує підприємство ресторанного господарства та високому рівню якості обслуговування, що перевірений при попередньому відбудуванні. Процес безперервного поліпшення якості послуг, що надаються підприємствами ресторанного господарства проходить цикл функціональних стадій виготовлення продукції і організації її споживання. Відповідно до цього, безперервний характер відтворювальних процесів на підприємствах рес-

торанного господарства зумовлює необхідність реалізації комплексного підходу до побудови систем контролю та управління якістю на різних стадіях (виготовлення продукції та її споживання). Це дозволить скоординувати процеси управління якістю на віх етапах: починаючи із вибору постачальників товарних запасів, їх придбання, зберігання, виробництва та обслуговування.

Для формування інтегрованої моделі комплексної оцінки якості послуг підприємства ресторанного господарства необхідно визначити відповідні параметри. На основі дослідження існуючих в економічній літературі підходів до оцінки якості послуг ресторанного господарства [1, 10–14] виділені основні параметри, які, на наш погляд, дозволяють здійснити всебічну оцінку: якість продукції (P_1), рівень обслуговування (P_2), цінова політика (P_3), рівень гостинності підприємства ресторанного господарства (P_4), естетичність приміщень (P_5), стан матеріально-технічної бази (P_6).



Рис. 1 – Еволюція поняття «якість». Складено авторами на основі узагальнення [1, 3–7, 10, 14]

Визначені параметри дозволяють оцінити якість продукції та послуг підприємств ресторанного господарства з позицій цінності для споживача та впливають на формування інших критеріїв результативності діяльності, таких як:

лояльності споживача, привабливості підприємства ресторанного бізнесу, рівень корпоративного та соціального іміджу, стабільність доходів та рівень конкурентоспроможності (рис. 2).

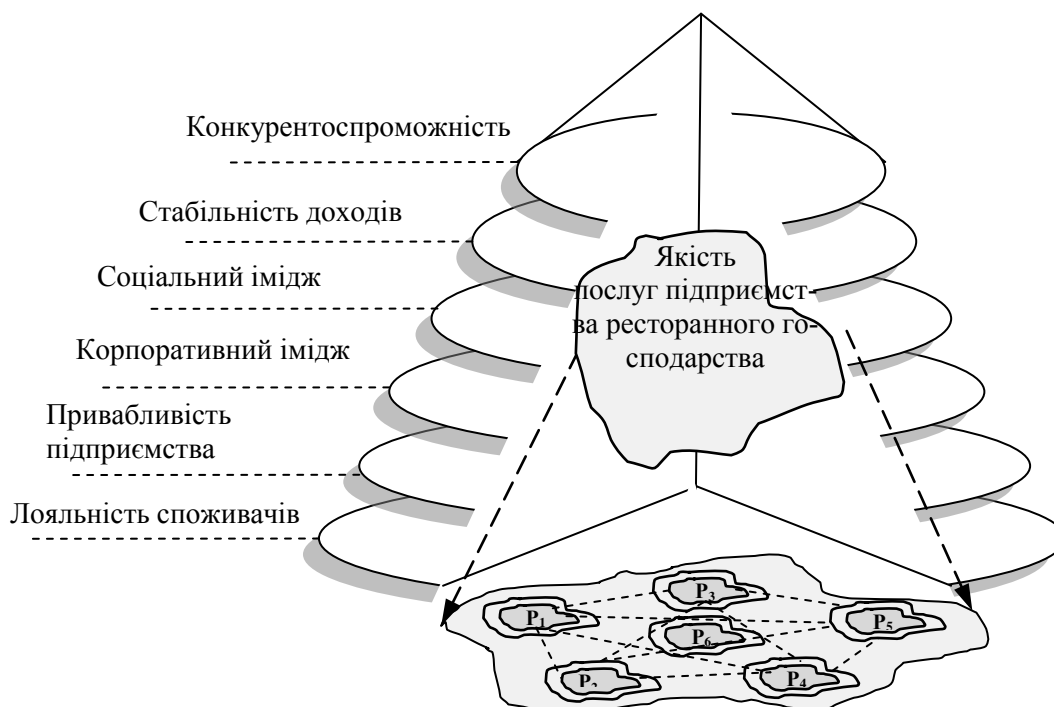


Рис. 2 – Інтегрована модель впливу якості послуг підприємства ресторанного господарства на критерії результативності діяльності, Авторська розробка

Методичний інструментарій оцінки якості послуг підприємства ресторанного господарства.

Для здійснення кількісної оцінки кожного індикатора, за і-м параметром якості послуг підприємства ресторанного господарства пропонується дотримуватися залежності «високий рівень – вищий бал». Обробку первинних даних, отриманих на основі спостереження, передбачено здійснювати за відповідною шкалою оцінювання, що представлено наступним чином [12]:

а) високий рівень характеристики j-го індикатора за і-м параметром якості послуг підприємства ресторанного господарства – 5 балів;

б) низький рівень характеристики j-го індикатора за і-м параметром якості послуг підприємства ресторанного господарства – 1 бал;

в) проміжні характеристики – 2, 3, 4 бали.

За результатами обробки анкетних даних респондентів формується інтегральна оцінка кожного параметру, за формулою:

$$I_{яj}^k = \frac{\sum_{i=1}^n B_i^z}{n}, \quad (1)$$

де $I_{яj}^k$ – інтегральний показник і-го параметру якості послуг k-го підприємства ресторанного господарства; B_i – кількість балів за одиничною характеристикою j-го індикатора оцінки k-го підприємства ресторанного господарства; n – кількість індикаторів оцінки і-го

параметру якості послуг підприємства ресторанного господарства.

Для графічного зображення результатів оцінки будуватиметься циклограма («павутини якості») [10]. Циклограма – це діаграма зіставлення показників якості, за дозволяє наочно визначити критичні параметри, за якими слід приймати коригувальні управлінські та техніко-технологічні рішення [13]. Вважаючи на це, на основі аналізу циклограми можлива оцінка відповідності фактичних оцінок кожного параметру якості послуг підприємства ресторанного господарства їх еталонним значенням, та, відповідно встановлення «вузьких місць».

Алгоритм побудови циклограми якості послуг підприємства ресторанного господарства [10]:

1) на векторах циклограми (кількість яких залежить від кількості параметрів оцінки) відкладаються базові та фактичні значення локальних інтегральних показників оцінки параметрів якості послуг підприємства ресторанного господарства, що розраховані за формулою (1);

2) на основі поєднання точок утворюють багатокутники та розраховують їх площу, на формулою:

$$S_{Pя} = \frac{1}{2} \sin \frac{360}{n} \times (I_{mi}^l \times I_{n1}^l + \sum_{m=1}^{n-1} (I_{mm}^l \times I_{(m+1)i}^l)), \quad (2)$$

де a_{mi} – локальні інтегральні показники оцінки параметрів якості послуг підприємства ресторанного господарства, переведені в сантиметри; n – кількість параметрів оцінки.

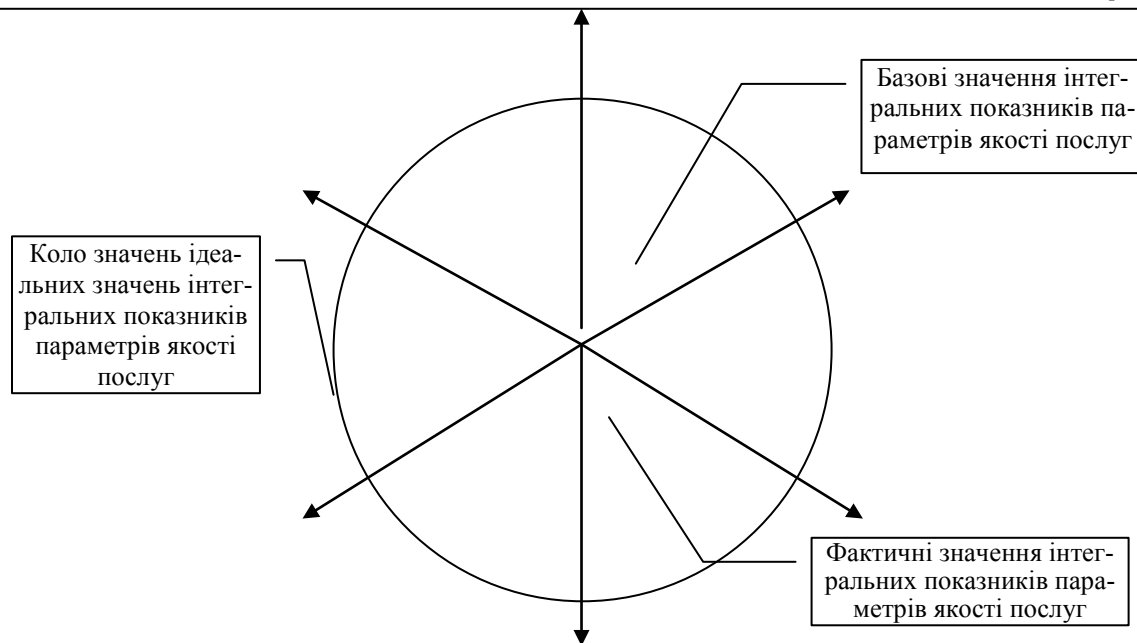


Рис. 3 – Циклограма якості послуг підприємства ресторанного господарства, Побудовано авторами на основі [10, 13]

Для визначення загального рівня якості послуг підприємства ресторанного господарства розраховується площа її багатокутника та порівнюється з площею багатокутника базового (або умовно-еталонного) рівня якості. Відповідно, чим більшою є площа багатокутника, тим вище рівень якості послуг підприємства ресторанного господарства.

Запропонований методичний інструментарій оцінки якості послуг підприємства ресторанного господарства базується на застосуванні циклограми, розрахунок компонентів якої враховує локальні параметричні оцінки якості послуг, дозволяє оцінити ступінь відповідності якості послуг відносно еталону та характеризує загальний рівень якості послуг підприємств ресторанного бізнесу, що формує інформаційне підґрунтя для розробки стратегічних цільових орієнтирів розвитку з метою забезпечення адаптивності та гнучкості підприємства сфери ресторанного бізнесу відповідно пріоритетних вимог та запитів споживачів.

Висновки. Розвиток і успіх будь-якого суб'єкта господарювання визначаються широким спектром факторів як зовнішньої, так і внутрішньої середовища. Розвиток економічного потенціалу України багато в чому пов'язаний із розвитком сфери послуг, серед яких важливу роль відіграє сфера ресторанного господарства. В даний час розвиток підприємств ресторанного бізнесу залежить від попиту споживачів, який, своєю чергою, характеризується мінливістю, динамічністю, високою залежністю від об'єктивних економічних, соціально-демографічних, а також від психологічних особливостей окремих людей і носить альтернативний характер. Питання підвищення якості послуг на підприємствах ресторанного господарства є ключовими при формуванні конкурентоспроможної бізнес-моделі. Вважаючи на це, узагальнено основні положення систем управління якістю та досліджено сутність основних категорій управління якістю: «якість», «якість продукції», «якість послуги», «якість обслуговування», «управління якістю».

Ґрунтуючись на визначених галузевих особливостях організації діяльності підприємств ресторанного господарства, розроблено систему параметрів оцінки якості послуг. Спираючись на необхідність своєчасної трансформації діючої бізнес-моделі підприємства ресторанного господарства, удосконалено методичний інструментарій оцінки якості послуг підприємств ресторанного господарства, який на відміну від існуючих, надає можливість одночасно оцінити якість послуг за основними критеріями (якість продукції, рівень обслуговування, цінова політика, рівень гостинності, естетичність приміщень, стан матеріально-технічної бази), дозволяє визначити загальний рівень якості обслуговування, що створює інформаційне підґрунтя для розробки стратегічних цільових орієнтирів розвитку з метою забезпечення адаптивності та гнучкості підприємства сфери ресторанного бізнесу відповідно пріоритетних вимог та запитів споживачів.

Список літератури:

1. П'ятницька, Г. Т. Менеджмент ресторанного господарства [Текст]: навч. пос. / Г. Т. П'ятницька, Н. О. П'ятницька, Л. В. Лукашова. – Київ: КНТЕУ, 2010. – 430 с.
2. Чернова, Г. В. Особливості розвитку ресторанного господарства Вінниччини [Текст] / Г. В. Чернова // Географічні науки. – № 4. – С. 114–119.
3. ДСТУ 4281:2004. Заклади ресторанного господарства. Класифікація [Текст]. – Київ: Держстандарт України, 2004. – 24 с. – Режим доступу: \www/URL: <http://text.normativ.ua/doc2728.php>
4. ДСТУ ISO 9000-2001. Системи управління якістю. Основні положення та словник [Текст]. – Київ: Держстандарт України, 2001. – 33 с. – Режим доступу: \www/URL: <http://aer.net.ua/public/files/OSBB/zakonodavstvo/DSTU/DSTU%20ISO%209000-2001.pdf>
5. ДСТУ ISO 9000:2007. Системи управління якістю. Основні положення та словник [Текст]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2008. – 29 с. – Режим доступу: \www/URL: http://dbn.at.ua/_ld/11/1128_432_iso9000-1-.pdf
6. ДСТУ ISO 9001:2009. Системи управління якістю. Вимоги [Текст]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2009. – 26 с. – Режим доступу: \www/URL: http://www.plitka.kharkov.ua/certs/433_iso9001.pdf

7. ISO 8402:1994. Управление качеством и обеспечение качества. Словарь [Текст]. – Международная организация по стандартизации, 1994. – 15 с. – Режим доступа: <http://www/URL: http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms /isj/2.pdf>
8. *Никифоров, Р. П.* Розробка технології прісного листкового напівфабрикату на основі молочної сироватки [Текст] / *Р. П. Никифоров, О. В. Сабіров* // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 3/3 (23). – С. 37–41. doi:10.15587/2312-8372.2015.44154
9. *Онищенко, В. М.* Удосконалення технології зберігання замороженого м'яса птиці [Текст] / *В. М. Онищенко, Н. Г., Грінченко, В. А. Большакова* // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 6/10 (77). – С. 37–41. doi:10.15587/1729-4061.2015.54656
10. *Давидова, О. Ю.* Управління якістю продукції та послуг у готельно-ресторанному господарстві [Текст]: навч. пос. / *О. Ю. Давидова, І. М. Писаревський, Р. С. Ладиженська*. – Харків: ХНАМГ, 2012. – 415 с.
11. *Науменко, М. О.* Управління якістю обслуговування споживачів в підприємствах ресторанного господарства [Текст] / *М. О. Науменко, О. І. Блященко* // Вісник економіки транспорту і промисловості. – 2011. – № 33. – С. 121–123.
12. *Андросова, Т. В.* Оцінка конкурентоспроможності підприємств ресторанного господарства [Текст]: монографія / *Т. В. Андросова, Н. О. Власова, Н. В. Михайлова, О. А. Круглова*. – Харків: ХДУХТ, 2010. – 144 с.
13. *Шаповалова, С. І.* Формалізація базових алгоритмів співставлення зі зразком в продукційних системах [Текст] / *С. І. Шаповалова, О. О. Мажара* // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 4/3 (76). – С. 22–27. doi:10.15587/1729-4061.2015.46571
14. *Мазаракі, А. А.* Модель Кану в системах управління якістю [Текст] / *А. А. Мазаракі, Г. Пугачевський* // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2004. – № 3. – С. 55–58.
3. DSTU 4281:2004. Establishments of the catering trade. Classification (2004). Kiev: Derzhstandart Ukrainy, 24. Available at: <http://text.normativ.ua/doc2728.php>
4. DSTU ISO 9000-2001. Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk (2001). Kiev: Derzhstandart Ukrainy, 33. Available at: <http://aer.net.ua/public/files/OSBB/zakonodavctvo/DSTU/DSTU%20ISO%209000-2001.pdf>
5. DSTU ISO 9000-2007. Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk (2008). Kiev: Derzhstandart Ukrainy, 29. Available at: http://dbn.at.ua/ld/11/1128_432_iso9000-1-.pdf
6. DSTU ISO 9001:2009. Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy (2009). Kiev: Derzhstandart Ukrainy, 26. Available at: http://www.plitka.kharkov.ua/certs/433_iso9001.pdf
7. ISO 8402:1994. Upravlenie kachestvom i obespechenie kachestva. Slovar' (1994). Mezhdunarodnaia organizatsiia po standartizatsii, 15. Available at: <http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms /isj/2.pdf>
8. *Nykyforov, R. P., Sabirov, O. V.* (2015). Process design of unfermented puff semi-finished products based on milk whey. Technology Audit and Production Reserves, 3(3(23)), 37–41. doi:10.15587/2312-8372.2015.44154
9. *Onyshhenko, V. M., Ghrynchenko, N. Gh., Boljshakova, V. A.* (2015). Improvement of frozen poultry storage technology. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(10(77)), 37–41. doi:10.15587/1729-4061.2015.54656
10. *Davydova, O. Yu., Pisarevskii, I. M., Ladyzhenskaya, R. S.* (2012). Quality Management products and services in the hotel and restaurant sector. Kharkov: KSAME, 415.
11. *Naumenko, M. O., Blyashenko, A. I.* (2011). Quality Management customer service in restaurants and catering enterprises. Bulletin of Economics and transportation industries, 33. 121–123.
12. *Androsova, T. V., Vlasov, N. A., Mikhailov, N. V., Kruglov, O. A.* (2010). Evaluation of competitiveness of enterprises restaurant business. Kharkiv: HDUHT, 144.
13. *Shapovalova, S. I., Mazhara, O. O.* (2015). Formalization of basic pattern matching algorithms in production systems. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(3(76)), 22–27. doi:10.15587/1729-4061.2015.46571
14. *Mazaraki, A. A., Puhachesky, G.* (2004). Kan model systems of quality management. Standardization, certification, quality, 3, 55–58.

Bibliography (transliterated):

1. P'jatnycjka, Gh. T., P'jatnycjka, N. O., Lukashova, L. V. (2010). Menedzhment restorannogo gospodarstva. Kiev: KNTEU, 430.
2. Chernova, Gh. V. Osoblyvosti rozvytku restorannogo gospodarstva Vinnychyny. Gheoghrafichni nauky, 4, 114–119.

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Практичні аспекти управління якістю при формуванні бізнес-моделі підприємства ресторанного господарства / В. А. Гросул, Т. П. Іванова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 132–137. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Практические аспекты управления качеством при формировании бизнес-модели предприятия ресторанного хозяйства / В. А. Гросул, Т. П. Иванова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С. 132–137. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Practical aspects of quality when forming business model enterprise restaurant business/ V. Grosul, T. Ivanova // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2016. – № 7 (1179). – P. 132–137. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гросул Вікторія Анатоліївна – доктор економічних наук, Харківський державний університет харчування та торгівлі, професор кафедри "Економіки і управління"; вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; e-mail: vkgros@mail.ru

Іванова Тетяна Павлівна – Харківський державний університет харчування та торгівлі, старший викладач кафедри "Економіки і управління"; вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051;

Гросул Вікторія Анатоліївна – доктор економічних наук, Харьковский государственный университет питания и торговли, профессор кафедры "Экономики и управления"; ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; e-mail: vkgros@mail.ru

Іванова Тетяна Павлівна – Харьковский государственный университет питания и торговли, старший преподаватель кафедры "Экономики и управления"; ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051;

Grosul Victoria Anatolievna – Doctor of Economic Sciences, Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Professor of "Economics and Management"; Str. Klochkovsky, 333, Kharkiv, Ukraine, 61051;

Ivanova Tatyana Pavlovna – Kharkiv State University of Food Technology and Trade, a senior lecturer in "Economics and Management"; Str. Klochkovsky, 333, Kharkiv, Ukraine, 61051; e-mail: ivanova77@meta.ua

ЗМІСТ

Кашицький В. П., Садова О. Л., Люшук О. М. Особливості формування сервовитної плівки у високонаповнених прескомпозитах	3
Ахмедов Н. К., Шахвердиева Г. Н. Анализ трехмерной задачи теории упругости для неоднородной трансверсально-изотропной плиты переменной толщины	8
Незруб С. Л., Володько Е. Г. Комбинированный метод нанесения покрытий посредством электролитно-плазменной технологии	13
Кузнєцов К. А., Антоненко С. В., Данилов Т. І., Скачков А. О. Розробка та дослідження алгоритмів розв'язання задачі маршрутизації з поверненням товару	20
Онищенко С. П., Вишнева О. Д. Метод оценки отклонений результатов выполнения судном рейса под влиянием факторов риска	25
Сав'юк Л. О., Іванів Р. Б. Розробка багатопотокових мобільних додатків інформаційно-навчального призначення	32
Терлич С. В. Аналітичне дослідження вертикальних коливань плавучого доку у нелінійній постановці з урахуванням закоріння	43
Жовнір М. Ф. Математична модель первинного перетворювача лінійних переміщень з рухомим приймачем поверхневих акустичних хвиль	48
Асадов Х. Г., Зейналова Ш. Н. Метод многокритериально-вариационной оптимизации озонметрических измерений в прибрежных зонах	57
Арделян В. В., Обідін Д. М., Мусієнко А. П. Методика накопичення діагностичної інформації при виконанні діагностування в розподілених базах знань пілотажно-навігаційного комплексу повітряного судна	61
Олійник О. О., Жовнір М. Ф., Циганок Б. А. Розрахунок механічних напружень на основі вимірювань двопроменезаломлення у звукопроводах ПАХ-пристроїв	66
Собчак А. П., Попова О. И. Моделирование поведения лица принимающего решения на виртуальном предприятии. применение моделей в информационных технологиях	72
Монастирський Ю. А., Вівчарик А. С. Теоретичні дослідження розподілу температурних полів кар'єрного автосамоскиду при перевезенні гарячих сталеплавильних шлаків	78
Пенкіна Н. М., Татар Л. В. Розробка рецептури пива з додаванням хвойного екстракту	85
Лямзин А. А., Хара М. В., Украинский Е. А. Механизм обеспечения организационно-экологической устойчивости транспортной системы в среде промышленных зон	91
Коцюба І. Г., Щербатюк А. Ф., Годовська Т.Б. Прогнозування обсягів утворення твердих побутових відходів в місті Житомирі	95
Ващенко В. М., Сидоренко В. Л., Кордуба І. Б. Методика розрахунку видужання ¹³⁷ CS у чорнобильській зоні відчуження після природних пожеж	100
Гарбуз С. В. Системний підхід до зниження екологічної небезпеки вентиляції резервуарів з нафтопродуктами	106
Максименко В. Б., Шлыков В. В., Данилова В. А. Модель распределения теплового потока в теплообменнике аппарата искусственного кровообращения	119
Сажко Г. И., Шеховцова В. И. Выбор программных инструментов для компьютерных презентаций учебного назначения	125
Гросул В. А., Іванова Т. П. Практичні аспекти управління якістю при формуванні бізнес-моделі підприємства ресторанного господарства	132

CONTENTS

Kashytskyi V., Sadova O., Lyushuk O. The features of formation of serfing-film in the highly filled press composites	3
Akhmedov N. K., Shahverdiyeva G. N. Analysis of three-dimensional problem of elasticity theory for a variable thickness inhomogeneous transversally-isotropic plate	8
Nehrub S., Volodko E. Combined method of coating by electrolytic-plasma technology	13
Kuznietsov K., Antonenko S., Danylov T., Skachkov A. Design and research algorithms for vehicle routing problem with backhauls	20
Onyshchenko S., Vyshnevskaya O. Assessment method for deviation of the work's results for vessel under the influence of risk factors	25
Savyuk L., Ivaniv R. Developing multi-threaded applications of mobile information and educational purpose	32
Terlych S. V. The analytical research of the vertical oscillations of the floating dock in the nonlinear formulation based anchoring	43
Zhovnir M. A mathematical model of the linear displacements primary transducer with a movable surface acoustic waves receiver	48
Asadov H. H., Zeynalova Sh. N. The method of multicriterial-variation optimization of ozonometric measurements in coastal zones	57
Ardelian V.V., Obidin D. N., Musienko A. P. Technique accumulation of diagnostic information when performing diagnostics in distributed knowledge bases flight and navigation system of the aircraft	61
Oliinyk O. O., Zhovnir M. F., Tsyganok B. A. Calculation of mechanical stresses based on birefringence measurements in sound conductors of SAW-devices	66
Sobchak A., Popova O. Modeling the behavior of decision makers in the virtual enterprise. application of models in information technology	72
Monastirskiy Yr., Vivcharyk A. Theoretical researches of distribution of the temperature fields of open-pit dump tracks at transportation of hot steel-smelting slags	78
Penkina N., Tatar L Modeling of beer recipe with the addition of pine extract	85
Lyamzin A., Hara M., Ukrainian E. Mechanism to ensure the organizational and environmental sustainability of the transport system in an environment of industrial zones	91
Kotsiuba I., Shcherbatyuk A., Godovska T. Forecasting volumes of solid waste in the city of Zhytomyr	95
Vashchenko V. M., Sidorenko V. L., Korduba I. B. The method of calculation blowing ^{137}CS in Chernobyl alienation zone after wildfires	100
Garbuz S. A systematic approach to improve the environmental safety of the ventilation of tanks with petroleum products	106
Maksymenko V. B., Shlykov V. V., Danilova V. A. The model of distribution heat flow in the heat exchanger for device of cardiopulmonary bypass	119
Sazhko G., Shekhovtsova V. Select software tool for computer presentations educational purposes	125
Grosul V., Ivanova T. Practical aspects of quality when forming business model enterprise restaurant business	132

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"**

Збірник наукових праць

Серія:

Механіко-технологічні системи та комплекси

№ 7(1179) 2016

Наукові редактори: д-р техн. наук, проф. Д. О. Дьомін
д-р техн. наук, проф. О. В. Акімов
Технічний редактор П. С. Пензев

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. № 36-16

Підп. до друку 15.03.2016р. Формат 60x84/16. Надруковано на різнографі
Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 18,75. Облік.вид.арк. 17,44.
Наклад 100 прим. Зам. № 05-17. 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