

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК

ЧЕРКАСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Технічні науки

Заснований у грудні 1996 р.

2/2020

Редакційна колегія:

Фауре Е. В., д.т.н., доцент

(головний редактор)

Антонюк В. С., д.т.н., професор

Базіло К. В., к.т.н., доцент

Батраченко О. В., к.т.н., доцент

Бондаренко М. О., д.т.н., доцент

Бондаренко Ю. Ю., к.т.н., доцент

Вамболь В. В., д.т.н., професор

Вашенко В. А., д.т.н., професор

Вязовик В. М., д.т.н., доцент

Гальченко В. Я., д.т.н., професор

Заболотній С. В., д.т.н., доцент

Кажіс Р., д.т.н., професор (Литва)

Котов В. М., д.фіз.-мат.н., професор (Білорусь)

Лукашенко В. М., д.т.н., професор

Мусієнко М. П., д.т.н., професор

Нерода М. В., к.т.н., доцент (Білорусь)

Палагін В. В., д.т.н., професор

Петрищев О. М., д.т.н., професор

Півоваров О. А., д.т.н., професор

Прокопенко Т. О., д.т.н., доцент

Ситник О. О., д.т.н., професор

Столяренко Г. С., д.т.н., професор

Уткіна Т. Ю., к.т.н., доцент

Федоров Є. Є., д.т.н., доцент

ЗАСНОВНИК І ВИДАВЕЦЬ – Черкаський
державний технологічний університет

Свідectво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації
КВ № 6061 від 16.04.2002 р.

Виходить 4 рази на рік

У ВИПУСКУ:

**АВТОМАТИЗАЦІЯ
І ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

**ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРІЯ,
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА**

**МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО,
ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ
СУЧАСНИХ МАШИНОБУДІВНИХ
І ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

Відповідальний за випуск:
д.т.н., доцент Е. В. Фауре

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:
ЧДТУ, к. 604/1, бульвар Шевченка, 460,
м. Черкаси, 18006,
тел. (0472) 51-15-89
vtn.chdtu.edu.ua (подання статей)

Сисоєнко С. В. *(технічний секретар)*
Мельник І. В. *(відповідальний секретар)*
тел. (0472) 51-36-39; e-mail: mal_04@ukr.net

2-2020

ВІСНИК

**Черкаського державного
технологічного університету**

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

VISNYK

**Cherkaskogo derzhavnogo
tehnologichnogo universitetu**

TECHNICAL SCIENCE

2 • 2020

**Видання включене до Переліку
наукових фахових видань України
як фахове видання з технічних наук
(категорія «В»)**

**Видання зареєстровано
у міжнародних наукометричних базах,
каталогах і системах пошуку:**
Index Copernicus Journals Master List,
Crossref,
CiteFactor,
Google Scholar,
ResearchBib – Academic Resource Index,
Ulrich's Periodicals Directory,
WorldCat,
Наукова періодика України,
Open Ukrainian Citation Index

**Електронна версія:
visnyk.chdtu.edu.ua
vtn.chdtu.edu.ua
<https://chdtu.edu.ua>**

Затверджено науково-технічною
радою Черкаського державного
технологічного університету,
протокол № 2 від 24.02.2020 р.

При повному або частковому
передрукуванні матеріалів
посилання на «Вісник Черкаського
державного технологічного
університету» є обов'язковим.

© Черкаський державний
технологічний університет, 2020
© Автори, 2020

ЗМІСТ

АВТОМАТИЗАЦІЯ І ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

<i>Бондаренко Ю. Ю., Топтун А. В.</i> Розробка комплексного методу визначення санітарного стану деревних насаджень	5
<i>Миронюк Т. В., Римар Є. П.</i> Автоматизація управління водними мікроекосистемами.....	14
<i>Філімонов С. О., Яценко С. С., Батраченко О. В., Філімонова Н. В.</i> Розрахунок сил, що виникають при створенні вібрацій за допомогою smart piezoceramics, та дослідження їх розподілу у плужному відвалі	21
<i>Палагін В. В., Чорний А. М., Івченко О. В., Євтушенко І. О.</i> Моделювання та аналіз роботи внутрішньої телефонної мережі на базі IP-станції з використанням протоколу SIP	29

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Нескорородева Т. В.</i> Постановка задач подсистемы аудита предпосылки среднего уровня ИТ СППР	38
<i>Колесніков К. В., Замосенчук Д. В., Федонюк В. В.</i> Підвищення ефективності управління проектом на основі використання on-line комплексу Wrike	49
<i>Миронець І. В., Луценко Б. О.</i> Функціональні можливості та оптимізація роботи автоматизованої системи управління тату-обладнанням	60
<i>Мисник Б. В., Капітан Р. Б., Мисник Л. Д., Манзюра О. В.</i> Проблеми інформаційно-аналітичного супроводу функціонування і розвитку підприємств поліграфічної галузі в умовах конкуренції	68
<i>Палагін В. В., Ведерников Д. А.</i> Нелинейные методы оценивания параметров сигнала на фоне асимметрично-экспоненциальных негауссовских коррелированных помех	77

ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЯ,
ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

<i>Столяренко Г. С., Вязовик В. Н.</i> Метод «мягкого облучения» при избирательном растворении злокачественных опухолей в предварительно озонированных растворах	87
<i>Дзідора Ю. В., Столяренко Г. С.</i> Методи регенерації мембран у сфері очищення стічної води	97
<i>Вязовик В. М.</i> Дослідження процесу синтезу формальдегіду і метанолу електронним каталізом	105
<i>Ромась А. А., Гуцол М. А., Нагірняк С. В., Донцова Т. А.</i> Перспективи використання сенсорного методу для визначення якості ґрунтів	114
<i>Діброва О. С., Кириченко О. В., Мотрічук Р. Б., Ващенко В. А., Колінько С. О., Бутенко Т. І., Цибулін В. В.</i> Визначення критичних режимів розвитку процесів горіння піротехнічних нітратно-металевих сумішей в умовах зовнішніх термічних дій.....	123

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО, ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ
СУЧАСНИХ МАШИНОБУДІВНИХ І ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

<i>Хандюк М. В.</i> Очищення зерна зеленого горошку від сторонніх домішок	134
<i>Крейда Р. М., Мацена С. М., Гордієнко В. І., Голуб М. В.</i> Особливості виготовлення ротора для поплавкового гіроскопа в умовах виробництва	143

CONTENTS

AUTOMATION AND CONSTRUCTION OF DEVICES

Bondarenko Yu. Yu., Toptun A. V. Development of the complex method for determination of sanitary condition of wood plantations	5
Myroniuk T. V., Rymar E. P. Automation of management of water micro ecosystems	14
Filimonov S. O., Yashchenko S. S., Batrachenko O. V., Filimonova N. V. Calculation of the forces appearing at the creation of vibrations by smart piezoceramics, and research of their distribution in plough dump.....	21
Palahin V. V., Chorniy A. M., Ivchenko O. V., Yevtushenko I. O. Modeling and analysis of internal telephone network operation on the basis of IP station using SIP protocol.....	29

INFORMATION TECHNOLOGIES

Neskorodieva T. V. Statement of tasks of the prerequisite audit subsystem at IT DSS middle level	38
Kolesnikov K. V., Zamosenchuk D. V., Fedoniuk V. V. Increase of project management efficiency based on the use of on-line Wrike complex	49
Myronets I. V., Lutsenko L. B. Functional possibilities and optimization of work of automated tattoo-equipment control system	60
Mysnyk B. V., Kapitan R. B., Mysnyk L. D., Manziura O. V. Problems of information and analytical support of functioning and development of enterprises of printing industry in the conditions of competition.....	68
Palahin V. V., Viediarnikov D. A. Nonlinear methods for signal parameters estimation in asymmetric-excess non-Gaussian correlated noise	77

CHEMICAL TECHNOLOGIES AND ENGINEERING,
ECOLOGICAL SECURITY

Stolyarenko H. S., Viazoviyk V. M. The «soft irradiation» method in selective dissolution of malignant tumors in pre-ozonated solutions	87
Dzihora Yu. V., Stolyarenko H. S. Membrane regeneration methods in wastewater treatment	97
Viazoviyk V. M. Research of the process of formaldehyde and methanol synthesis by electronic catalysis	105
Romas A. A., Gutsol M. A., Nahirniak S. V., Dontsova T. A. Prospects of sensor method usage for determination of soil quality.....	114
Dibrova O. S., Kirichenko O. V., Motrichuk R. B., Vaschenko V. A., Kolinko S. O., Butenko T. I., Tsybulin V. V. Determination of critical modes for the development of combustion processes of pyrotechnical nitrate-metal mixtures under conditions of external thermal actions	123

MATERIALS SCIENCE, TECHNOLOGIES AND EQUIPMENT
OF MODERN MACHINE-BUILDING AND FOOD PLANTS

Khandiuk M. V. Purification of green pea grains from impurities	134
Kreida R. M., Matsepa S. M., Gordienko V. I., Golub M. V. Peculiarities of manufacture of a rotor for float hyroscope in the production conditions	143

УДК 620.179.162

[0000-0002-5179-8329] **Ю. Ю. Бондаренко**, к.т.н., доцент,
e-mail: julybo110976@gmail.com

[0000-0001-9318-4301] **А. В. Топтун**, аспірант
e-mail: anna_lapochka@bigmir.net

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ САНІТАРНОГО СТАНУ ДЕРЕВНИХ НАСАДЖЕНЬ

Робота присвячена дослідженню та аналізу методів визначення санітарного стану деревних насаджень. Визначено основні вимоги до методів та засобів визначення санітарного стану деревних насаджень. Встановлено, що серед методів з найвищим рівнем інформативності є метод ультразвукової томографії. Проте такі недоліки цього методу, як висока вартість, складність в експлуатації та необхідність обслуговування оператором високої кваліфікації, а також велика вага технічного оснащення не дають змоги використовувати цей метод на практиці проведення мобільного моніторингу санітарного стану дерев у польових умовах.

У роботі запропоновано якісно новий підхід до вирішення проблемного питання проведення високоефективного та оперативного визначення санітарного стану деревних насаджень шляхом розроблення нового комплексного методу, що базується на методично-математичному й технічному забезпеченні іонометричного методу і враховує такі негативні фактори навколишнього середовища, як солоність та рН ґрунту, температура повітря, а також встановлення закономірностей між цими факторами та якісними показниками деревного соку (рН, сахаристість та в'язкість). Складено алгоритм проведення високоефективного та оперативного дослідження, а також описано й проаналізовано методики визначення зовнішніх та внутрішніх показників, від яких залежить якість деревного соку та, відповідно, санітарний стан деревних насаджень.

Ключові слова: неруйнівний контроль, санітарний стан, деревні насадження, кліматичні фактори.

Актуальність. Проблема засихання та падіння дерев є вкрай актуальною для сучасної інфраструктури. Інтерес до цієї проблеми зумовлений тим, що падіння дерев може призвести не лише до пошкодження та руйнування споруд промислового і побутового призначення, ліній електропередач, транспортних засобів, але й до травмування, а інколи навіть загибелі людей. Основною причиною засихання та падіння дерев є внутрішні пошкодження їх крони, коріння та стовбура шкідливими комахами, а також утворення стовбурової тріщини та пустот всередині дерев.

В результаті руйнування внутрішньої структури дерево стає крихким, що впливає на його стійкість до зовнішніх збурень (пориву вітру, урагану та ін.). Останнім часом збільшилась кількість випадків падіння деревних насаджень (наприклад, в Одесі у 2020 р. ураган повалив близько двох сотень дерев) [1].

На стійкість насаджень до падіння дерев опосередковано впливає середньомісячна

температура. Так, висока температура сприяє збільшенню кількості осередків розмноження шкідників. Останнім часом спостерігається збільшення температури навколишнього середовища. Така ситуація призводить до збільшення площ всихання лісових насаджень. Крім того, зростає кількість повідомлень про катастрофічне всихання лісів (в першу чергу, соснових) у багатьох регіонах України [2].

Аналіз публікацій та джерел досліджень. Постановою Кабінету Міністрів України передбачено проведення державного нагляду. Документом також виділяються шість категорій санітарного стану лісових насаджень (рисунок 1, додаток А) [3, 4].

Як показує практика, державний нагляд є недосконалою системою проведення діагностики санітарного стану деревних насаджень. Використання цього методу є малоінформативним, що зумовлено аналізом лише зовнішніх ознак, тому існує необхідність проведення аналізу інших існуючих методів.



Рисунок 1 – Зовнішні ознаки неналежного санітарного стану соснових насаджень

Мета роботи – розробка комплексного методу визначення санітарного стану деревних насаджень шляхом обґрунтованого та детального аналізу існуючих методів дослідження, підвищення їх ефективності та оперативності за рахунок встановлення закономірностей між такими негативними факторами навколишнього середовища, як солоність і pH ґрунту, температура повітря, та якісними показниками деревного соку (pH , сахаристість та в'язкість).

Основна частина. Для визначення категорії санітарного стану арбористами використовуються різні методи. Загалом їх можна класифікувати на такі дві основні групи [3]:

- *Візуальний метод.* Визначення санітарного стану відбувається відповідно до регламентованого опису кожної з категорій.

- *Інструментальні методи.* Визначення проводиться з використанням різноманітних приладів та інформаційно-вимірювальних систем. Це зумовлено необхідністю точного оцінювання стану внутрішньої структури дерева, зокрема, надають інформацію про наявність внутрішніх тріщин, пустот та гнилей.

Візуальний метод (державний нагляд) визначення категорії стану деревних насаджень є найпоширенішим. Зокрема, найчастіше його на практиці використовують державні комунальні служби.

До основних інструментальних методів визначення категорії санітарного стану (СС) відносяться наступні:

- Резистографічний метод, що визначає СС за зміною опору дерева в процесі свердління його кори.

- Бороскопічний метод, за яким робиться висновок про категорію СС в результаті аналізу отриманих зображень внутрішньої структури деревних насаджень.

- Теплометричний метод, що дає змогу проаналізувати СС дерева за швидкістю сокоруху.

- Іонометричний метод, який передбачає визначення СС за результатами аналізу зміни водневого показника (pH) ґрунту та деревного соку.

- Метод ультразвукової томографії, що визначає дефекти в деревині за зображенням, отриманим в одній площині проходження УЗ-хвиль.

Загальні переваги та недоліки методів визначення категорій СС наведено в таблиці 1.

З таблиці 1 випливає, що найбільш інформативним методом визначення СС деревних насаджень є метод ультразвукової томографії. Проте цей метод має велику кількість недоліків: вимагає від працівників високої кваліфікації та є надзвичайно складним у використанні. Важливою проблемою його використання також є вага та великі розміри обладнання.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки методів визначення категорії санітарного стану [3-5]

Метод	Прилад, за допомогою якого реалізується метод	Переваги	Недоліки
Візуальний метод (державний нагляд)	—	- Простий у застосуванні - Не потребує високої кваліфікації працівників	- Низький рівень інформативності - Не дає інформації про внутрішній стан дерев
Резистографічний метод	Резистограф 	- Середній рівень інформативності - Дає змогу дослідити внутрішню структуру дерева	- Складний у застосуванні - Потребує високої кваліфікації працівників - Дорогий - Аналіз в одному напрямі
Бороскопічний метод	Бороскоп 	- Високий рівень інформативності - Є можливість дослідити внутрішню структуру дерева та отримати фотозображення внутрішньої будови	- Складний у застосуванні - Потребує високої кваліфікації працівників - Дорогий - Пошкоджує внутрішню структуру дерева
Теплометричний метод		- Високий рівень інформативності - Є можливість дослідити внутрішню структуру дерева та отримати фотозображення внутрішньої будови	- Складний у застосуванні - Потребує високої кваліфікації працівників - Дорогий - Пошкоджує внутрішню структуру дерева
Іонометричний метод	Іонометр 	- Можливість дослідити зміни в фізіологічних процесах дерева - Не потребує високої кваліфікації працівників - Невисока вартість - Має відносно малу вагу	- Необхідне використання кількох пристроїв одночасно - Частково пошкоджує внутрішню структуру - Низький рівень інформативності
Метод ультразвукової томографії		- Високий рівень інформативності - Можливість дослідити всю внутрішню структуру дерева в площині дослідження - Отримуємо повноцінну картину СС дерева	- Дуже складний у застосуванні - Потребує високої кваліфікації працівників - Дорогий - Шкодить структурі дерева - Процес дослідження є досить тривалим

Тому найбільш перспективним для удосконалення методом вважаємо іонометричний метод. Вибір методу обґрунтований наступними перевагами перед методом ультразвукової томографії, що детально проаналізовані в таблиці 2 [5].

Проте іонометричний метод, незважаючи на наявні переваги, має один важливий недолік – відносно низький рівень інформативності. Тому в подальшому проведемо удосконалення цього методу для підвищення якості та інформативності процесу моніторингу.

Для покращення інформативності визначення СС колективом авторів проводилося розроблення нової інформаційно-виміральної системи. Як досліджувані параметри було обрані, зокрема, такі:

- кислотність ґрунту – впливає на процес засвоєння деревними насадженнями поживних речовин [6];

- солоність ґрунту – при збільшенні цього параметра ґрунт стає токсичним для більшості рослин, зокрема дерев [7];

- температура навколишнього середовища – збільшення середньомісячної темпера-

тури призводить до утворення гнилей, збільшення осередків шкідливих комах [8] тощо;
- кислотність соку – впливає на швидкість перебігу іонообмінних процесів у деревних тканинах [9];

- сахаристість соку – впливає на процес рослинного дихання [10];
- в'язкість деревного соку – впливає на швидкість постачання поживних речовин у деревині [11].

Таблиця 2 – Порівняльний аналіз іонометричного методу та методу ультразвукової томографії

Перевага	Іонометричний метод	Метод ультразвукової томографії
Аналіз фізіологічних процесів дерева	Ареал поширення соснових насаджень деякою мірою залежить від зміни водневого показника (pH) ґрунту. Це зумовлено відносною залежністю рівня pH деревного соку від pH ґрунту, який визначається цим методом. Це дає змогу визначати зміни санітарного стану дерева на ранніх стадіях.	Проводить аналіз вже існуючих суттєвих змін внутрішньої структури. Зокрема за структурними зображеннями можна зробити висновок щодо площі та місць розташування руйнувань (гнилей, пустот та тріщин), але лише в межах досліджуваної площини.
Кваліфікація працівників	Робота пристроїв на основі іонометричного методу є досить простою, адже базується на зануренні в досліджуване середовище електродів приладу та фіксації їх показників.	Робота з пристроями ультразвукової томографії передбачає необхідність високої кваліфікації обслуговуючого персоналу та придбання складного спеціалізованого програмного забезпечення методу.
Вага	Вага приладів в загальному варіюється в діапазоні від 50 г до 1 кг, залежно від моделі та функціональних можливостей.	Комплектація приладу включає багатофункціональні сенсори (від 2 до 24 штук); кейс з акумуляторним модулем та іншим технічним оснащенням загальною вагою до 25 кг.
Ціна	Варіюється в діапазоні від 300 до 2000 грн.	Варіюється в діапазоні від 10 до 28 тис. євро.

В загальному випадку усі параметри можна умовно розділити на зовнішні та внутрішні. Таким чином, до зовнішніх відносяться ті, які характеризують зовнішні негативні фактори, зокрема: водневий показник pH ґрунту, солоність, температура навколишнього середовища. До внутрішніх відносяться ті, які

характеризують зміни якісних показників деревного соку, зокрема: водневий показник pH , сахаристість і в'язкість деревного соку.

Порівняльна характеристика зміни інформативності отриманих результатів до і після збільшення досліджуваних параметрів представлена в таблиці 3.

Таблиця 3 – Порівняльна характеристика зміни інформативності результатів дослідження до та після збільшення кількості досліджуваних параметрів

Оцінювані характеристики процесу вимірювань	До збільшення кількості досліджуваних параметрів (класичне вимірювання)	Після збільшення кількості досліджуваних параметрів (запропонована методика)
Рівень інформативності та якість визначення СС	Визначення категорії СС насаджень відбувається лише за показниками залежності зміни водневих показників pH ґрунту та деревного соку, що є малоінформативним і забезпечує порівняно низький рівень достовірності визначення правильної категорії СС	Визначено якісні зовнішні та внутрішні параметри, що впливають на СС деревних насаджень, та виведено багатфакторну залежність між взаємодією цих параметрів та їх впливом на зміну категорії СС, що дозволяє встановлювати зазначену категорію з високою точністю
Складність вимірювання	Низький рівень складності	Середній рівень складності (підвищення складності зумовлене необхідністю використання кількох приладів, а саме: для вимірювання температури, в'язкості, солоності та сахаристості, проте процедура не вимагає підвищення вимог до кваліфікації дослідника)

Проведення експериментального дослідження в запропонованому авторами випадку передбачає наступну послідовність дій:

1. Обирається ділянка деревних насаджень, на якій будуть проводитися дослідження.

2. На обраній ділянці обираються дерева, які підпадають під різні категорії санітарного стану відповідно до зовнішніх ознак.

3. Кожному обраному дереву присвоюється код для ідентифікації (наприклад ДЗ-1-3, де: ДЗ – досліджуваний зразок, 1 – номер по порядку, 3 – відповідна категорія СС).

4. Створюється карта розташування обраних дерев із зазначенням їх категорії.

5. Проводиться вимірювання всіх параметрів окремо для кожного дерева в один проміжок часу.

6. Проводиться вимірювання зовнішніх та внутрішніх показників.

7. Проводиться математичне оброблення отриманих результатів та отримуються залежності якісних (внутрішніх) параметрів деревного соку від негативних зовнішніх факторів.

Порядок проведення вимірювання зовнішніх та внутрішніх показників представлено в таблиці 4.

З таблиці 4 видно, що оновлена процедура та вимірювання додаткових параметрів не є складними і не вимагають від дослідника високої кваліфікації. Проте використання більшої кількості вимірювального обладнання дає можливість збільшити рівень інформативності, що, в свою чергу, приведе до підвищення якості та безпомилковості визначення категорії СС дерев.

Таблиця 4 – Порядок проведення вимірювань зовнішніх та внутрішніх показників

Параметри	Особливості	Порядок виконання вимірювання
<i>pH</i> ґрунту	Відстань від об'єкта – 100 мм Глибина – 100 мм	1. Очищені сенсори занурюються на необхідну глибину. 2. Очікується завершення періоду адаптації (близько 1 хв), поки значення не перестануть змінюватися. 3. Фіксуються результати вимірювання.
Солоність	Відстань від об'єкта – 100 мм	1. На зазначеній відстані обирається зразок ґрунту. 2. Готується водний розчин ґрунту у відношенні 1:1 в попередньо очищеній ємності, куди опускаються електроди пристрою. 3. Очікується завершення періоду адаптації (близько 1 хв.), поки значення не перестануть змінюватися. 4. Фіксуються результати вимірювання.
Температура	—	1. Вмикається пристрій для вимірювання температури. 2. Очікується завершення періоду адаптації (близько 1 хв.), поки значення не перестануть змінюватися. 3. Фіксуються результати вимірювання.
Для визначення параметрів деревного соку:		
1. На висоті 1,3 м над рівнем ґрунтового покриву у стовбурі висвердлюється отвір глибиною до 100 мм.		
2. Збираються проби деревного соку.		
<i>pH</i> соку		3. В отриману пробу занурюються електроди пристрою для вимірювання показника. 4. Очікується завершення періоду адаптації (близько 1 хв.), поки значення не перестануть змінюватися. 5. Фіксуються результати вимірювання.
В'язкість		3. В отриману пробу занурюються електроди пристрою. 4. Очікується завершення періоду адаптації (близько 1 хв.), поки значення не перестануть змінюватися. 5. Фіксуються результати вимірювання.
Сахаристість		3. Готується водний розчин ґрунту у відношенні 1:1 в попередньо очищеній ємності. 4. Розчин розміщується на об'єктному столику рефлектометра, який налаштовується доти, поки значення в об'єктиві не перестануть змінюватися. 5. Фіксуються результати вимірювання.

Таким чином, за результатами проведених досліджень складено загальний алгоритм дій із визначення СС деревних насаджень (рисунок 2).

Алгоритм складається з двох блоків:

I – блок налаштування інформаційно-вимірювальної системи моніторингу. Блок призначений для формування бази знань та правил, а також залежностей впливу негативних факторів на показники якості деревного соку. Цей блок складається з трьох підблоків, що передбачають три етапи дій. На першому етапі обираються негативні фактори та встановлюються діапазони їх граничних значень, на основі яких проводиться накопичення масиву даних для подальшої математично-статистичної обробки. На другому етапі, шляхом застосування методу планування експерименту (повний план), проводиться математична обробка даних, отриманих на першому етапі, в результаті чого будуть отримані рівняння регресії, що після успішної перевірки на адекватність та коректність дозволять перехід на наступний етап. На третьому етапі для більш якісного визначення категорії санітарного стану деревних насаджень застосовується метод нечіткої логіки (алгоритм Мандамі), що дає змогу скоригувати залежність вимірюваних параметрів від негативних факторів зовнішнього середовища, чим збільшує точність розрахунків на 10-15 %.

II – блок експериментальних досліджень. Блок застосовується для проведення польових випробувань розробленої системи моніторингу. До складу блоку входять три підблоки, що реалізують наступні етапи: четвертий етап – призначений для початкового збирання експериментальних даних про вплив негативних факторів на якісні показники деревного соку на обраній ділянці та подальшої математично-статистичної обробки цих даних за запропонованими на другому етапі моделями; на п'ятому етапі відбувається неймережеве картування обраної ділянки, що дає змогу проводити візуалізацію зон розподілу окремих груп деревних масивів за категоріями санітарного стану, а також здійснювати короткочасове прогнозування (на строк 1-3 роки) зміни зонування санітарних ділянок деревних насаджень; на останньому – шостому – етапі розробленого алгоритму проводиться підготовка та складання узагальненого акта за результатами зроблених досліджень та моделювання, що дасть можливість прийняти рішення щодо проведення профілактичних

заходів, а також санітарного вирубання дерев, які не підлягають профілактиці і лікуванню та слугують джерелами розповсюдження хвороб та шкідників.

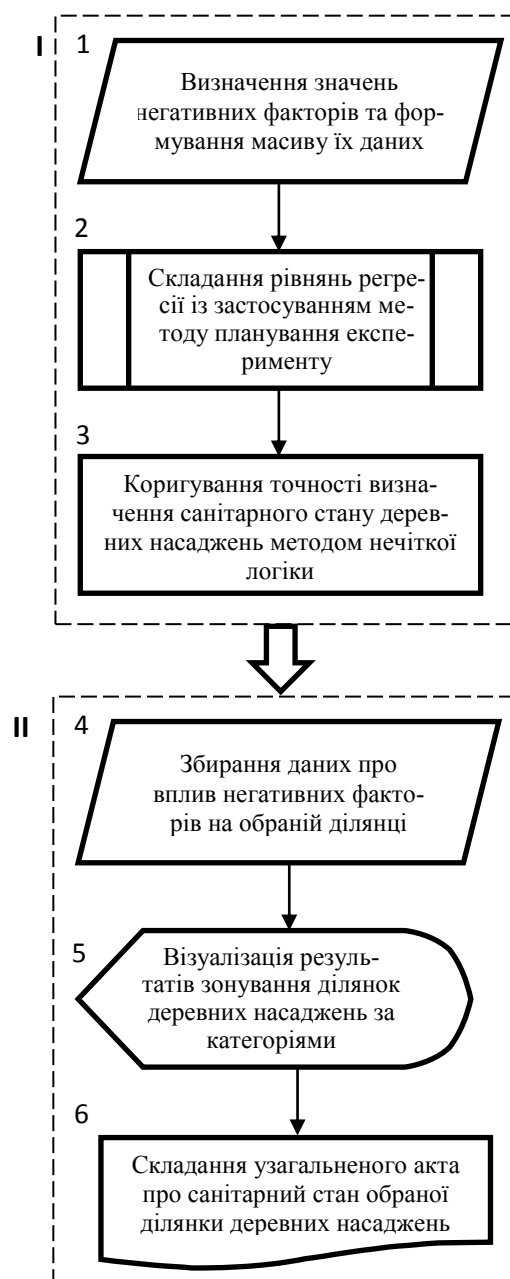


Рисунок 2 – Алгоритм розробленого в роботі методу визначення санітарного стану деревних насаджень

Висновки. В роботі проаналізовано основні методи визначення санітарного стану деревних насаджень. Серед них виділено такі найбільш застосовувані у практиці методи: візуальний, резистографічний, бороскопічний, метод ультразвукової томографії, теплот-

ричний та іонометричний. Визначено та порівняно переваги і недоліки цих методів.

Встановлено, що серед методів з найвищим рівнем інформативності є метод ультразвукової томографії. Проте такі недоліки цього методу, як висока вартість, складність в експлуатації та необхідність обслуговування оператором високої кваліфікації, а також велика вага технічного оснащення не дають змоги використовувати цей метод на практиці для проведення мобільного моніторингу санітарного стану дерев у польових умовах.

Для подальших експериментальних досліджень та застосування як базовий було обрано іонометричний метод, що вигідно відрізняється своїми дешевизною, малою вагою технічного оснащення і простотою реалізації. Проте обраний іонометричний метод потребує удосконалення через низький рівень інформативності.

В роботі запропоновано якісно новий підхід для вирішення проблемного питання проведення високоефективного та оперативного визначення санітарного стану деревних насаджень шляхом розроблення нового комплексного методу, що базується на методично-математичному і технічному забезпеченні іонометричного методу. Основними переважними відмінностями розроблюваного методу є урахування таких негативних факторів навколишнього середовища, як солоність та pH ґрунту, температура повітря, а також встановлення закономірностей між цими факторами та якісними показниками деревного соку (pH , сахаристість та в'язкість).

Розроблено загальний алгоритм проведення дослідження, а також описано та проаналізовано методики визначення зовнішніх і внутрішніх показників, від яких залежить якість деревного соку та, відповідно, санітарний стан деревних насаджень.

Додаток А

КАТЕГОРІЇ САНІТАРНОГО СТАНУ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ

I – без ознак аварійності – густа крона, хвоя зеленого кольору, швидкість річного росту відповідає сезону, віку, місцю росту, породі, віку;

II – ослаблені – середньої густоти крона; річний приріст зменшений не більше ніж на $1/3$; наявність незначних механічних пошкоджень (кореневих лап та стовбура); на $1/4$ площі стовбура напливи та рани. У пристиглих, середньовікових та молодих рослинах спостерігається об'їдання

хвої на 30 %, та 20 % – у перестиглих та стиглих деревах;

III – дуже ослаблені – крона має ажурну форму; колір хвої зелений; ріст наполовину менший за нормальний; наявні поодинокі сухі скелетні гілки в середній частині крони; на гілках спостерігаються кущі омели та нахил стовбура від вертикального до 30° ; від $1/3$ до $2/3$ всього периметра мають механічні пошкодження; $2/3$ периметра стовбура вкрито раковими утвореннями; не більше ніж на $2/3$ злам вершини; $3/4$ площі обпал окоренка до стадії відмирання кадмію. Об'їдання шкідниками від 21 до 70 % площі стовбура у перестиглих та стиглих насаджень, у пристиглих, середньовікових та молодих – від 31 до 90 %;

IV – відмираючі – хвоя має жовтувато-зелений або світло-зелений колір; а форма крони дуже ажурна. Річний приріст дерева повністю відсутній; відмирання більше ніж $1/2$ скелетних гілок по всій висоті дерева. Спостерігається ушкодження раковими утвореннями до $2/3$ площі стовбурів. Більше ніж до $2/3$ периметра механічні пошкодження стовбура або кореневих лап. Обпал кореневої шийки з відмиранням кадмію $1/2$ периметра або нагар стовбура, який досягає до нижньої частини крони. Більше ніж $1/2$ довжини всієї крони спостерігається злам верхівки або 100 % обламаних живих гілок. Наявні дула, плодове тіло або ж заселені стовбуровими шкідливими комахами (локальне відшарування кори). В деяких випадках трапляється осипання листя (дефоліація) для перестиглих, стиглих та пристиглих – понад 70 %, у середньовікових та молодих – понад 90 %. Омелою заселено більше 30 % крони. Нахил середньої та нижньої частини стовбура дерева від вертикальної осі – понад 30° , а також дерева з дугоподібно зігнутими стовбурами;

V – свіжий сухостій – хвоя рудого кольору. Частково на стовбурах спостерігається опадання кори. Відпрацьовані або заселені стовбуровими шкідливими комахами. До цієї групи відносяться й дерева зі зламаними стовбурами;

VI – старий сухостій – хвоя та гілки другого та третього порядків повністю відсутні. Масове опадання кори, а під залишками кори наявна грибниця грибів, що руйнують дерево.

Список використаних джерел

- [1] Рубати чи не рубати? Визначення аварійності дерев. Блог арборист. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://blog.arborist.com.ua/4.html> Дата звернення: Черв. 21, 2018.
- [2] Чому всихають соснові. Державне агентство лісових ресурсів. [Електронний ре-

- сурс]. Режим доступу: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=195324&cat_id=32888 Дата звернення: Лют. 29, 2020.
- [3] Санітарні правила в лісах України. Постанова Кабінету Міністрів України від 27 липня 1995 р. № 555. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/756-2016-%D0%BF/paran11#n11>. Дата звернення: Верес. 23, 2019.
- [4] Е. А. Аносов, "Аварийные деревья зеленых насаждений городов. Методы визуальной и инструментальной диагностики аварийности, оценка состояния насаждений", *Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ»*, т. 6, № 4, с. 637-648, 2015.
- [5] И. А. Мельничук, Й. М. Йассин Солиман, и О. А. Черданцева, "Диагностика внутреннего состояния деревьев тilia cordata mill, с использованием комплекса аппаратуры акустической ультразвуковой томографии «АРБОТОМ®»", *Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство*, № 5, с. 25-32, 2012.
- [6] Кислотність ґрунтів та її вплив на живлення рослин. *Журнал Агроном.* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.agronom.com.ua/kyslotnist-gruntiv-ta-yiyi-vplyv-na-zhyv/>.
- [7] Влияние засоления на растения. Myzooplanet.ru. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://myzooplanet.ru/rasteniya_765/vliyanie-zasoleniya-rasteniya-11411.html. Дата обращения: Февр. 06, 2020.
- [8] Загибель лісових насаджень за причинами (2010-2018). Держстат України, 1998-2019. Остання модифікація: 15.04.2019. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/sg/lis/zld/zld_u/zag_lis_za_prych_u.htm. Дата звернення: Верес. 20, 2019.
- [9] "Влияние минерального питания на физико-химические свойства клеточного сока листьев артишока колючего", *Научное обозрение. Биологические науки*, № 3, с. 10-13, 2017.
- [10] Т. Юсипіва, та О. Борисова, "Вплив техногенного навантаження на динаміку вмісту розчинних форм вуглеводів у листках представників роду acer L.", *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*, вип. 69, с. 174-182, 2015.
- [11] Цитоплазма, вязкость. *Экология: справочник*. Последняя модификация: 15.04.2019. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru-ecology.info/term/68190/>.

References

- [1] To cut or not to cut? Determination of the emergency of trees. Blog arborist. [Online]. Available: <http://blog.arborist.com.ua/4.html>. Accessed on: June 21, 2018.
- [2] Why do pine trees dry? State Forest Resources Agency. [Online]. Available: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=195324&cat_id=32888. Accessed on: Febr. 29, 2020.
- [3] Sanitary rules in the forests of Ukraine. Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine of July 27, 1995, no. 555. [Online]. Available: <https://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/756-2016-%D0%BF/paran11#n11>. Accessed on: Sept. 23, 2019.
- [4] E. A. Anosov, "Emergency trees of green urban areas. Methods of visual and instrumental diagnostics of emergencies, assessment of the state of plantations", *Electronic scientific publication "Uchenye zametki TOGU"*, vol. 6, no. 4, pp. 637-648, 2015 [in Russian].
- [5] I. A. Melnichuk, Y. M. Yassin Soliman, and O. A. Cherdantseva, "Diagnostics of the internal state of tilia cordata mill trees, using the ARBOTOM® complex of acoustic ultrasound tomography equipment", *Vestnik RUDN. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo*, no. 5, pp. 25-32, 2012 [in Russian].
- [6] Soil acidity and its effect on plant nutrition. *Agronom.* [Online]. Available: <https://www.agronom.com.ua/kyslotnist-gruntiv-ta-yiyi-vplyv-na-zhyv/>.
- [7] The effect of salinization on plants. Myzooplanet.ru. [Online]. Available: https://myzooplanet.ru/rasteniya_765/vliyanie-zasoleniya-rasteniya-11411.html. Accessed on: Febr. 06, 2020.
- [8] The loss of forest plantations by reasons (2010-2018). State Statistics Committee of Ukraine, 1998-2019. Last modified: 04/15/2019. [Online]. Available: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2017/sg/lis/zld/zld_u/zag_lis_za_prych_u.htm. Accessed on: Sept. 20, 2019.
- [9] "The effect of mineral nutrition on the physico-chemical properties of the cellular juice of prickly artichoke leaves", *Nauchnoe obo-*

- zrenie. *Biologicheskie nauki*, no. 3, pp. 10-13, 2017 [in Russian].
- [10] T. Yussyova, and O. Borysova, "The influence of technogenic loading on the dynamics of the content of soluble forms of carbohydrates in leaves of representatives of the genus acer L.", *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya biologichna*, iss. 69, pp. 174-182, 2015 [in Ukrainian].
- [11] Cytoplasm, viscosity. *Ecology: a reference book*. Last modification: 04/15/2019. [Online]. Available: <https://ru-ecology.info/term/68190/>.

Yu. Yu. Bondarenko, Ph. D., associate professor,
e-mail: julybo110976@gmail.com

A. V. Toptun, postgraduate
e-mail: anna_lapochka@bigmir.net
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

DEVELOPMENT OF THE COMPLEX METHOD FOR DETERMINATION OF SANITARY CONDITION OF WOOD PLANTATIONS

The work is devoted to the research and analysis of methods for determining the sanitary condition of wood plantations. Among these methods the most methods, used in practice, such as: visual, resistographic, boroscopic, ultrasonic tomography, thermometric and ionometric ones are selected. The advantages and disadvantages of these methods are identified and compared. The basic requirements to the methods and means for determining the sanitary condition of wood plantations are determined. It is established that among the methods with the highest level of information content, the method of ultrasound tomography is promising. However, such disadvantages of this method as the high cost, the complexity of operation and the need for service by high qualified operator, as well as the heavy weight of technical equipment do not allow to use this method in practice of conducting the mobile monitoring of the sanitary condition of wood plantations in the field conditions. The work proposes a qualitatively new approach to solving the problem of conducting a highly effective and efficient determination of the sanitary condition of wood plantations by developing a new integrated method based on methodological, mathematical and technical support of the ionometric method and taking into account such negative environmental factors as salinity and soil pH, air temperature, as well as the establishment of patterns between these factors and quality indicators of wood sap (pH, sugar content and viscosity). An algorithm for conducting a highly effective and operational research is compiled, and methods for determining external and internal indicators that determine the quality of wood sap and, accordingly, the sanitary condition of tree plantations are described and analyzed.

Keywords: non-destructive control, sanitary status, tree plantations, climatic factors.

[0000-0002-7588-1055] **Т. В. Миронюк**, к.т.н.,

e-mail: tanjamiron85@gmail.com

Є. П. Римар, магістрант

e-mail: eughene87@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

АВТОМАТИЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ МІКРОЕКОСИСТЕМАМИ

Робота покликана стимулювати інтерес до галузі автоматизації господарств тваринництва, підвищення якості управління водними екосистемами шляхом автоматизації процесів, які відбуваються в середовищі їх існування, зокрема у водному середовищі життєдіяльності екзотичних риб – акваріумі. Дослідження наявних розробок і готових систем показало, що в своїй основі існуючі пристрої являють собою громіздкі системи, які вузько спеціалізовано пристосовані під кожну водну мікросистему. Виходячи з результатів дослідження, було вирішено створити уніфікований пристрій із простим інтерфейсом, який би підходив для усіх звичайних видів акваріумів, без спеціального попереднього налаштування системи під окремо взятє штучне водне середовище.

Ключові слова: мікроконтролерні системи, водні екосистеми, автоматизація процесів, вимірювання, Arduino.

Вступ. При управлінні тими чи іншими процесами у різних галузях господарства і при виконанні великого обсягу повторюваних дій раз за разом ефективність роботи людини зменшується, з'являються втома, затримка реакції тощо. Під дією різних зовнішніх чинників може зростати схильність людини до прийняття хибних (помилкових) рішень, що тісно пов'язане з таким явищем, як людський фактор [1]. Тому розвиток високих технологій, робототехніки і автоматизації у різних сферах діяльності людини спрямований в тому числі й на те, щоб зменшити обсяги важкої монотонної роботи та уникнути низки спричинених нею помилок, що, в свою чергу, знизить вплив людського фактора на автоматизовані системи.

В сфері управління мікроекосистемами на господарських підприємствах (лісові та тваринні господарства, ферми тощо) чи у побуті (при догляді за домашніми улюбленцями) вплив людського фактора також має місце та являється суттєвим. Адже тут людина несе відповідальність за живі організми. І рівень відповідальності не залежить від того, чи то є тварини, яких людина вирощує, щоб у перспективі перетворити на їжу (як це відбувається на фермах), чи то є домашні тваринки, яких людина тримає виключно для задоволення своїх естетичних потреб (як це відбувається у випадку, наприклад, з домашнім акваріумом).

Об'єктом даного дослідження став такий вид діяльності, як акваріумістика, що пов'язаний із моделюванням екосистеми у замкнутому штучному водоймищі [2]. Більшість мешканців водного середовища є досить вибагливими до складових гідросфери, в якій існують. Навіть невелика зміна стану окремої компоненти водної системи може призвести до незворотних змін у штучній гідросфері. Тому уважне спостереження за водоймищем і вчасна реакція на зміну різних чинників, являється важливою проблемою в сфері, що досліджується. Нині при швидкому розвитку технологій автоматизації залучення інноваційних мікропроцесорних систем знаходить широке застосування в таких сферах діяльності, як управління водними мікроекосистемами [3].

Мікропроцесорні і мікроконтролерні системи набули значного поширення в промисловості. Саме там такі системи починають застосовувати швидкими темпами, удосконалюючи методи догляду за тваринами. На великих підприємствах-фермах, де кількісна характеристика тварин досягає максимуму, автоматизація процесів потрібна в обов'язковому порядку, адже вона зводить до мінімуму людський фактор [4].

У межах акваріумістики такі системи є досить специфічними і мають невелику поширеність у зв'язку зі складністю налашту-

вання під окремо взятий акваріум і необхідністю з корисним ефектом від імплементації таких автоматичних систем. Тому робота по розробці автоматизованої системи управління водними мікроекосистемами була спрямована на дослідження наявних зразків систем автоматизації підтримки гідросфери акваріума. Було проведено порівняння існуючих зразків та спроектовано уніфіковану мікроконтролерну систему для широкого спектра штучних гідросфер.

Метою дослідження є підвищення ефективності управління мікроекосистемою побутових акваріумів на основі мікроконтролерної системи.

Ця система має виконувати такі функції:

- фіксація стану компонентів середовища життєдіяльності живих організмів;
- запуск відповідних окремих пристроїв системи у відповідь на реакцію датчиків, що вимірюють параметри водної мікроекосистеми (водоймища, акваріума тощо).

Для реалізації поставленої мети сформовано та вирішено наступні **завдання**:

- провести дослідження актуальності проектування та розробки пристрою, шляхом визначення переваг та недоліків готових рішень;
- розглянути методи проектування та розробки автоматизованих систем на основі мікроконтролерів;
- використовуючи результати досліджень та експериментів, спроектувати і розробити ефективну автономну мікроконтролерну систему для управління штучним середовищем життєдіяльності тварин

Опис об'єкта та методу дослідження. Об'єктом дослідження цієї роботи є процес управління водною мікроекосистемою на прикладі побутових акваріумів.

Для підтримання правильного режиму існування тварин у закритих штучних середовищах необхідно уважно спостерігати за різними компонентами штучного середовища і вчасно реагувати на найменші зміни їх показників. При автоматизації таких дій обов'язковою є вимога досконалого відпрацювання усіх частин системи і вчасного інформування користувача про несправності окремих модулів.

Виходячи з цього в підходах до проектування та розробки автоматизованих систем необхідно чітко дотримуватись потрібних ме-

тодів і практик, прийнятих до проектування і конструювання подібних пристроїв. Результатом синтезу автономних мікроконтролерних систем управління при дотриманні таких методик є надійні і відмовостійкі пристрої, які можуть служити довго.

Досліджуючи наявні зразки систем автоматизованого керування середовищем існування водних мешканців, можна зробити висновки, що всі наявні моделі спроектовані з урахуванням особливих специфікацій того чи іншого типу акваріума, а тому серійний випуск таких пристроїв є дещо складним. Наприклад, система AquaDigitalLife виробництва компанії АкваКоралл являється потужною системою з великою кількістю налаштувань, пристроїв спостерігання за водними мешканцями і системами аварійного перемикання дублюючих пристроїв [5]. Однак така громізка система створюється на замовлення зоопарків і океанаріумів, де кількість мешканців великих за площею акваріумів може досягати тисяч організмів. Користувачі звичайних домашніх акваріумів зазвичай змушені використовувати кустарно виготовлені, також на замовлення, або сконструйовані вручну автоматизовані системи, що заточені під окремо взятую гідросферу акваріума. Звичайні користувачі таких систем будуть стикатися з проблемами спеціального налаштування і підтримки. Тому проектування уніфікованого, простого, але в той же час ефективного пристрою є актуальною проблемою.

Одним із основних підходів до проектування таких автономних систем є повне задоволення складеного технічного завдання з можливістю покрокового додавання і тестування потрібного функціоналу, за допомогою програмування та приєднання додаткових модулів та датчиків до головного мікроконтролера [6].

Розробка високотехнологічного пристрою, так само, як і розробка програмного забезпечення та й, взагалі, будь-якого автоматизованого винаходу за загальноприйнятою практикою проходить через декілька важливих етапів:

1. Ідея являється етапом визначення необхідного функціоналу пристрою.
2. Умови реалізації, що включає в себе етап підрахунку необхідної кількості часу та ресурсів, які розробник може витратити на конструювання пристрою.

3. Вибір інструментів і компонентів, що являє собою вибір потрібних компонентів та інструментів для реалізації ідеї створення пристрою з урахуванням умов для реалізації.

4. Моделювання. Етап, що представляє собою створення віртуальної моделі у відповідному програмному забезпеченні.

5. Програмування. Етап власне створення скетчу роботи мікроконтролера і його тестування.

6. Складання, тобто процес під'єднання всіх компонентів, фіксування їх у корпусі (для платформ проектування типу Arduino), або створення за схемою друкованої плати і прошивка мікроконтролера.

Перед проектуванням пристрою було проведено дослідження роботи існуючих мікропроцесорних систем для обрання основи платформи для реалізації. На сьогоднішній день є вибір із трьох популярних мініатюрних мікропроцесорних систем: Arduino, Raspberry Pi та BeagleBoard. Останні дві є скоріше мікрокомп'ютерами, тому що мають потужніші процесори і більший об'єм оперативної пам'яті, ніж Arduino. Також ці дві системи мають майже всі основні інтерфейси, що має звичайний комп'ютер, і можуть завантажуватись і працювати під керуванням операційних систем Linux, Android чи Windows CE. Для побудови простого уніфікованого пристрою, що буде реалізовано в досліджуваній роботі, найкращим вибором буде апаратно-програмна платформа Arduino.

Основними аргументами для вибору цієї платформи як основи для майбутньої автоматизованої системи є те, що Arduino спроектовано спеціально як просту і мініатюрну платформу для прототипування пристроїв робототехніки чи пристроїв типу «розумний дім». Виходячи з цього, сама плата не має зайвих і не потрібних для таких задач інтерфейсів та модулів, що, в свою чергу, зменшує її ціну та розміри. В серії Arduino існує, як мінімум, 15 видів мікроконтролерів, які відрізняються розмірами, наявністю тих чи інших інтерфейсів тощо [6].

В ході ознайомлення з кожним типом існуючих моделей платформи Arduino було обрано одну з них, яка є найпопулярнішою на сьогодні та забезпечена необхідним для розробки інтерфейсом і потужністю. Такою платформою є Arduino UNO.

Вигляд цієї платформи зображено на рисунку 1 [6].

Основними датчиками системи є прості модульні пристрої, спеціально спроектовані та розроблені для використання їх при розробці автоматизованих систем керування на базі мікроконтролера ATmega328P у складі мікроконтролерної системи Arduino.

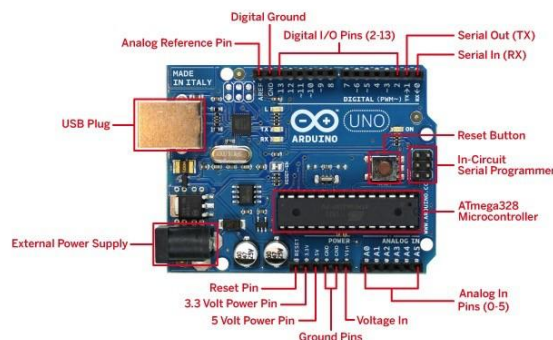


Рисунок 1 – Платформа Arduino UNO

При дослідженні функціональних вимог до майбутньої системи управління було вирішено, що система повинна задовольняти низку вимог, таких як: вимірювання температури води, вимірювання рівня води та вимірювання інтенсивності світла в акваріумі. У відповідь на отримані й оброблені дані від датчиків система має вмикати відповідні пристрої (подавати напругу через замикання кола цих пристроїв, подаючи керуючий сигнал на реле), а саме, обігрівач, аератор, світлодіодні лампи. Ще однією задачею системи є можливість керуватися віддалено за допомогою пульта. Для вирішення цих задач було використано перелік відповідних датчиків, які зображено на рисунку 2 [7].

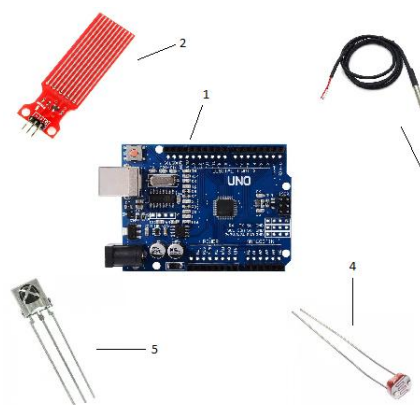


Рисунок 2 – Платформа Arduino UNO [7]

Датчик температури. Датчиком такого типу є звичайний терморезистор, простий

пристрій, опір якого змінюється зі зміною його температури. Ці датчики поширені всюди, від систем протипожежної безпеки до систем вимірювання метеорологічних станцій разом з датчиками вологості та тиску. В системі, що проектується, для підтримання водної екосистеми використовується датчик з маркуванням DS18B20 у вологозахищеному корпусі, що дає йому змогу працювати навіть у рідині [7].

Датчик освітлення. Побудований на основі такого поширеного в електроніці елемента, як фоторезистор. Як і звичайний резистор, фоторезистор основною своєю характеристикою має опір провідника. Однак фоторезистор динамічно змінює свій питомий опір залежно від освітлення [8]. У пристрої, що проектується, датчик освітлення на базі фоторезистора буде подавати сигнал у випадку, коли світло лампи буде тускніти до певного рівня, що не буде прийнятним для мешканців водоймища.

ІЧ-приймач. Являє собою фотодіод, в якому під дією інфрачервоного випромінювання, що надходить від пульта керування, починає йти струм. Цей струм у вигляді сигналу надходить в основну плату, де й обробляється закладеною в мікроконтролер програмою.

Датчик рівня води. Цей датчик складається з витравлених на підкладці провідників,

які при зануренні в рідину замикаються і відповідно до рівня занурення видають відповідний сигнал. У пристрої, що проектується, цей датчик надсилає сигнал на головну плату при виникненні протікань в акваріумі чи випаровувань недопустимого рівня води. Сигнал передається на плату Arduino і обробляється згідно з завантаженою прошивкою.

Окремі підсистеми сконструйованого пристрою можна налаштовувати під потрібні значення за допомогою пульта віддаленого керування. Налаштовуватися можуть такі значення системи:

- ввімкнення/вимкнення світла у визначений час доби;
- ввімкнення/вимкнення аератора у визначений час доби;
- граничний рівень температури води, при якому потрібно вмикати обігрівач;
- подача корму у визначений час доби.

Задля зручності налаштування цих підсистем у системі передбачений модуль рідкокристалічного дисплею I2C 1602, на якому буде відображатися запрограмоване меню налаштувань пристрою.

Вигляд пристрою, що проектується та буде реалізовано, наведено на рисунку 3.

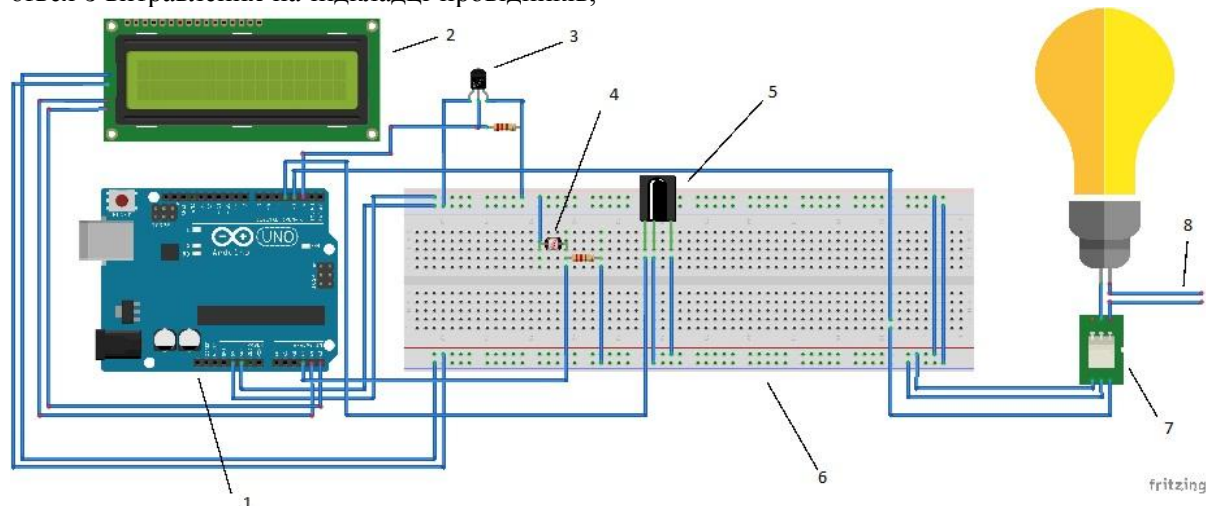


Рисунок 3 – Спрощена схема пристрою автоматизації керування акваріумом

1 – Платформа Arduino UNO, 2 – рідкокристалічний дисплей, 3 – датчик температури (терморезистор), 4 – датчик освітленості (фоторезистор), 5 – ІЧ-приймач, 6 – плата макетування (бредборд), 7 – електромеханічне реле, 8 – контакти живлення лампи

Алгоритм роботи системи. У рамках цієї роботи проводилося дослідження стану штучного водоймища в процесі керування

ним розробленою мікропроцесорною системою і порівняння його з попереднім станом,

де більший вплив на середовище мав людський фактор.

Після першого ввімкнення спроектованої системи на екрані з'явиться напис привітання, після якого одразу з'явиться меню налаштування підсистем. За допомогою цього меню користувач зможе налаштувати необхідні параметри для керування своїм акваріумом, якщо вказані за замовчуванням значення, закладені одразу в прошивці, його не влаштовують. Одразу після подачі живлення на пристрій він починає працювати за складеним алгоритмом і вказаними налаштуваннями. Окремі датчики підсистем починають періодично (кожні 15 секунд) вимірювати температуру, освітленість, рівень води, а також час, і посилають отримані дані на головний мікроконтролер ATmega328P, який за складеним скетчем вирішує, яку підсистему слід увімкнути або який сигнал подати користувачу.

Основним методом визначення працездатності спроектованого пристрою і його правильного функціонування було спостереження і фіксація стану водного середовища акваріума до застосування спроектованого приладу (тобто, виконуючи процеси догляду за штучним водоймищем в ручному режимі) та після його введення в експлуатацію. Вимірювалися і досліджувалися такі компоненти:

- температура води;
- жорсткість та хімічний склад води;
- інтенсивність світла протягом доби;
- загальний стан водного середовища,

визначений наочно.

Проведений дослід з порівняння стану водної мікроекосистеми на прикладі акваріума включав вимірювання жорсткості води, рівня температури у рівні проміжки часу, складу води та зовнішні спостереження за виглядом водоймища у процесі ручного управління та при управлінні розробленою мікроконтролерною системою [9].

Загалом у ході проведення експерименту було виявлено, що температура води завдяки датчикам і алгоритму роботи пристрою завжди залишалася на прийнятному для живих організмів акваріума рівні, на противагу тому, що було до використання розробленої автоматизованої системи (через вплив людського фактора обігрівач інколи не встигали вмикати, тому що не звертали увагу на температуру води в резервуарі). Таким чином, світло не завжди вмикалося в потрібний час, а при тривалій відсутності людини біля акварі-

ума і, відповідно, без її контролю відчувалася нестача освітлення для риб і рослин.

Вищезазначені чинники та деякі інші, наприклад недостатня аерація води, призводили нехай не до критичної, але до суттєвої зміни рівня рН, що негативно впливало на живі організми акваріума. Вплив кислот і лугів на акваріумну воду є одним із найважливіших компонентів, за якими потрібно уважно стежити і оперативно реагувати на їх навіть найменшу зміну [10]. При зменшенні або збільшенні рівня рН у мешканців водоймища можуть розвиватися хвороби, вони можуть втратити змогу до репродукції, і загальний стан риб буде незадовільним. При проведенні експерименту з порівняння стану води використовувалися спеціальні пристрої для тестування води на рівень рН.

Також однією з переваг при використанні автоматизованої системи є зміна зовнішнього вигляду штучного водного середовища.

Як результат було виявлено, що автоматизована система в змозі звести до мінімуму людський фактор помилок у процесі керування важливими компонентами штучного водного середовища існування живих організмів, і тим самим покращити загальний стан акваріума автономно, без участі в цьому процесі людини.

Висновки. В зв'язку з тим, що розробка автоматизованих систем керування штучними середовищами існування живих організмів є досить вузькою темою в дослідженнях, тому готових рішень і серійного виробництва таких пристроїв не спостерігається, навіть незважаючи на швидке поширення новітніх технологій і розробок у сфері робототехніки. Тож це дослідження також покликане підвищити інтерес суспільства та науки до досліджень у цій галузі технологій автоматизації.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в підвищенні ефективності управління мікроекосистемою побутових акваріумів на основі мікроконтролерної системи.

Практичне значення досліджуваної роботи полягає в розробці експериментального прототипу пристрою для підвищення якості управління водними екосистемами за сформованим алгоритмом проектування.

Отже, синтезована за допомогою розглянутих методів мікроконтролерна система дає можливість автономно, без затрат часу і мінімізуючи людський фактор, виконувати поставлені задачі, а саме:

- вимірювати температуру водного середовища і вмикати/вимикати обігрівач, коли це потрібно;

- вимірювати рівень води в акваріумі і, коли він опуститься нижче визначеного рівня (вода випаровується з часом, і її рівень в акваріумі падає), подавати відповідний сигнал;

- вимірювати кількість світла, яке дає лампа і, в разі зниження потужності лампи, подавати відповідний сигнал про недостатній рівень світла;

- керувати віддалено за допомогою пульта керування, посилаючи команди на модуль ІЧ-порту.

У процесі вирішення поставлених у роботі завдань було одержано такі результати:

- проведено дослідження наявних рішень автоматизованих систем та обґрунтовано актуальність теми;

- розглянуто і досліджено методи синтезу автоматизованих систем;

- на основі проведених експериментів та досліджень створено мікроконтролерну систему управління водним середовищем існування мікроекосистем.

Отже, аналізуючи отримані в результаті дослідження результати на прикладі акваріуму, було доведено доцільність подальшого розвитку і популяризації розробленого способу та алгоритму проектування для впровадження у автоматичних засобах керування.

Список використаних джерел

- [1] Н. В. Загуменна, "Людський фактор та специфіка його активізації у соціально-філософських дослідженнях", *Альманах. Філософські проблеми гуманітарних наук*, № 16, с. 68-72, 2010.
- [2] М. Бейли, и П. Бергресс, *Золотая книга аквариумиста*. Аквариум ЛТД, 2004.
- [3] О. В. Барало, П. Г. Самойленко, С. Є. Гранат, та В. О. Ковальов, *Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування*. Київ: Аграрна освіта, 2010.
- [4] А. В. Нелєпова, Р. О. Трибрат, та Л. В. Бондаренко, *Програмне управління процесами у галузі*. Київ: Кафедра, 2018.
- [5] aquacoral.livejournal.com – Блог компанії AquaCoral. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://aquacoral.livejournal.com>.

- [6] B. Massimo, *Getting Started with Arduino*, 2nd Edition. MakerMedia, 2011.
- [7] DS18B20 DATASHEET. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/2812.pdf>.
- [8] Э. О. Богданов, *Фоторезисторы и их применение*. Энергия, 1978.
- [9] В. І. Мальцев, Г. О. Карпова, та Л. М. Зуб, *Визначення якості води методами біоіндикації: наук.-метод. посіб.* Київ: ІНЕКО, 2011.
- [10] Р. Бейтс, *Определение pH. Теория и практика*. Изд. 2-е, испр. Ленинград: Химия, 1972.

References

- [1] N. V. Zagumennaya, "Human factor and specifics of its activation in social-philosophical researches", *Almanakh. Filosofski problemy humanitarnykh nauk*, no. 16, pp. 68-72, 2010 [in Ukrainian].
- [2] M. Bailey, and P. Bergress, *The aquarist's golden book*. Aquarium LTD, 2004 [in Russian].
- [3] O. V. Baralo, P. G. Samoilenko, S. E. Hranat, and V. O. Kovalyov, *Automation of technological processes and automatic control system*. Kyiv: Ahrarna osvita, 2010 [in Ukrainian].
- [4] A. V. Nelepova, R. O. Tribat, and L. V. Bondarenko, *Software process management in the industry*. Kyiv: Kafedra, 2018 [in Ukrainian].
- [5] aquacoral.livejournal.com – Blog of AquaCoral company. [Online]. Available: <https://aquacoral.livejournal.com>.
- [6] B. Massimo, *Getting Started with Arduino*, 2nd Edition. MakerMedia, 2011.
- [7] DS18B20 DATASHEET. [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/2812.pdf>.
- [8] E. O. Bogdanov, *Photoresistors and their using*. Energy, 1978 [in Russian].
- [9] V. I. Maltsev, G. O. Karpova, and L. M. Zub, *Determination of water quality by bioindication methods: sci.-method. manual*. Kyiv: INEKO, 2011 [in Ukrainian].
- [10] R. G. Bates, *Determination of pH. Theory and practice*. 2nd Edition, John Wiley & Sons, New York, London, Sydney, Toronto, 1973.

T. V. Myroniuk, Ph. D.,
e-mail: tanjamiron85@gmail.com
E. P. Rymar, graduate student
e-mail: eughene87@ukr.net
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

AUTOMATION OF MANAGEMENT OF WATER MICRO ECOSYSTEMS

The work is intended to stimulate the interest in the field of automation of livestock farms, improve the quality of management of aquatic ecosystems by automating the processes that occur in their habitat, in particular in the aquatic environment of exotic fish – aquariums. Before creating such an automated system, a number of ready-made solutions have been investigated, as well as methods for their design and synthesis have been studied. The research of existing developments and finished systems has shown that at the heart of such devices there are bulky systems sharpened under each individual aquarium. Based on the results of the study, it is decided to create a unified device, with a simple interface that would be suitable for all ordinary types of aquariums, without special pre-adjusting of the system under a separate artificial aquatic environment. Comparing the available and popular tools for rapid prototyping of microcontrollers, it is decided to focus on the Arduino platform. The great attention and interest in the platform of radio amateurs and professionals, and, based on the previous statement, the high prevalence of prefabricated modules and components for the platform have helped to make the right choice of the basis of an automated system for managing artificial aquatic ecosystems habitat. In the process of reviewing ready-made solutions in the market, systematization of the received data and studying the relevant specialized literature, the algorithm of work of the future device has been drawn up, the necessary elements for the system construction have been selected, the schematic diagram of the device has been modeled and the device has been assembled and tested on available aquarium. Testing of the synthesized system on a real reservoir with organisms proves the urgency of creating such an autonomous control device, because the state of the environment has been maintained exactly as programmed by the system. Responding to changing the state of the components of the aquatic environment with a number of sensors, the system manages the system devices themselves, thereby maintaining the desired balance of the aquarium with minimizing the human factor.

Keywords: microcontroller systems, aquatic ecosystems, process automation, measurement, Arduino.

УДК62-868.8

[0000-0003-1727-3286] **С. О. Філімонов**, к.т.н., доцент,
e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua

С. С. Ященко,
[0000-0001-8920-0743] **О. В. Батраченко**, к.т.н., доцент,
e-mail: avbatrachenko1980@gmail.com

[0000-0001-9241-1760] **Н. В. Філімонова**, к.т.н., старший викладач
e-mail: nv.filimonova2015@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

РОЗРАХУНОК СИЛ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ПРИ СТВОРЕННІ ВІБРАЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ SMART PIEZOCERAMICS, ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇХ РОЗПОДІЛУ У ПЛУЖНОМУ ВІДВАЛІ

Однією з головних проблем сільського господарства є складність та ефективність обробки землі. У статті на основі аналізу літературних джерел і наукових публікацій визначено недоліки класичних плугів та віброплугів, зокрема основні недоліки конструкції віброплуга на основі smart piezoceramics. Основною метою статті є розрахунок та визначення необхідної сили smart piezoceramics для створення вібрацій у плужному відвалі, а також проведення моделювання на основі проведених розрахунків.

Ключові слова: сільське господарство, вібраційні технології, моделювання, smart piezoceramics, розрахунки, принцип роботи, аналіз, продовольча безпека, проблеми, рішення.

Сільське господарство є однією з найважливіших галузей, що забезпечує населення продовольчими товарами і сировиною для ряду галузей промисловості. Від стану сільського господарства залежить продовольча безпека держави та її громадян.

Однією з головних проблем сільського господарства є складність та ефективність обробки землі. Процес розпушення ґрунтового середовища клином є одним із найбільш поширених способів поліпшення його властивостей [1]. Оранка, або полицевий спосіб оброблення ґрунту, полягає у підрізанні оброблюваної скиби, її підніманні з розпушенням і обертанням на 130–180 % та укладанні на дно попередньо відкритої борозни. Цей спосіб характеризується повним очищенням поверхні поля від післяжнивних решток (на 95–100 %), загортанням у ґрунт органічних, мінеральних добрив, бур'янів, значним зменшенням щільності орного шару та збільшенням його поруватості [2].

У зв'язку з тим, що оранка супроводжується деформацією, руйнуванням і переміщенням ґрунтового шару, витрати енергії на виконання операції є порівняно великими. За енергетичними витратами оранка є найбільш енергоємною операцією у технологічному процесі вирощування сільськогосподарських

культур [3]. Розпушування землі відбувається зазвичай за рахунок використання звичайних плугів.

Тому вдосконалення саме головних пристроїв культиватії ґрунту є надійним способом покращення ефективності обробки землі.

У відомих начіпних плугах загального призначення до рами болтовим з'єднанням кріпляться стояки корпусів плуга з корпусом. Під час роботи орного агрегату тяговий опір плуга здійснює коливання, які збільшують динамічні навантаження вузлів та деталей, що призводять до передчасного їх руйнування. Крім цього, під час коливальних рухів орного агрегату збільшується зусилля трактора на його переміщення, що призводить до підвищення тягового опору.

Одним із різновидів плуга є віброплуг [4]. На рисунку 1 зображено функціональну схему вібраційного плуга. Вібраційний плуг складається з корпусу 1, стояка корпусу 2, який з'єднаний з рамою 3 за допомогою шарніра 4. На рамі плуга 3 під змінним кутом α закріплений вібратор 5, що штоком 6 з'єднаний зі стояком корпусу 2. Вібратор 5 складається з поршня 7, виготовленого разом зі штоком 6, і золотника 8. Порожнина вібратора 5 під'єднана до гідросистеми трактора.

Дроселем 9 забезпечується регулювання частоти коливань вібратора 5 [4].

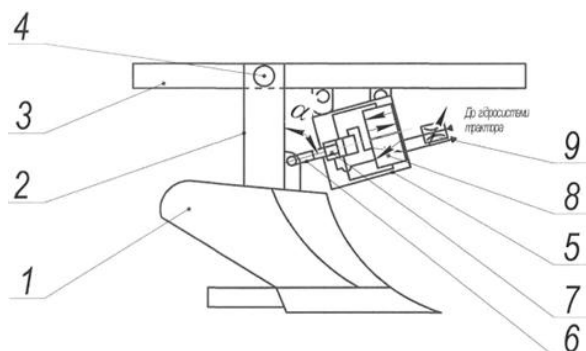


Рисунок 1 – Функціональна схема вібраційного плуга

Ці вдосконалення мають ряд недоліків: збільшення ваги робочого органу, зменшення часу експлуатації вібраційного вузла, підвищення складності обслуговування та виготовлення виробу тощо.

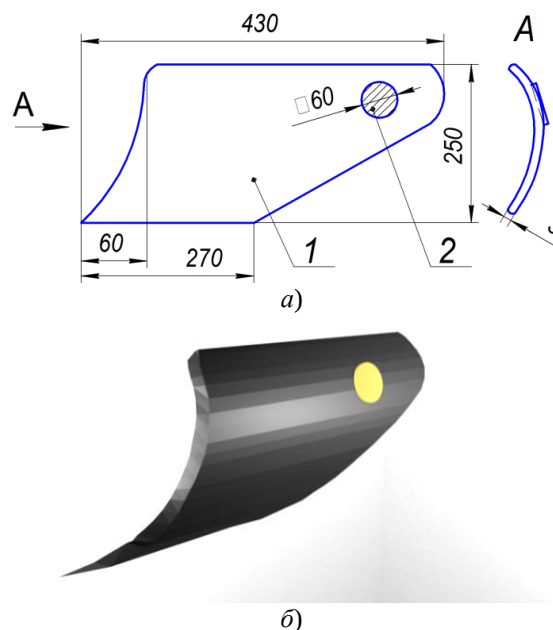
При додаванні додаткових механічних пристроїв їх характеристики та недоліки накладаються на сам орган обробки ґрунту (плуг).

На практиці найчастіше виходять із ладу саме механічні частини пристроїв, і чим їх більше, тим більший ризик виходу з ладу однієї з цих частин. Тим паче, коли пристрій або орган, який бере участь у цьому випадку в обробці землі, повинен витримувати великі фізичні навантаження, – цей фактор збільшує ризики зменшення зносостійкості матеріалів.

В іншій роботі [5] наведений приклад вібраційного плуга, в основі якого лежить використання smart piezoceramics як актуатора (вібратора), принцип роботи якого полягає в наступному: при подачі змінної електричної напруги за рахунок зворотного п'єзоефекту в п'єзоелементі виникають коливання, які передаються плужному відвалу. Таким чином, у плузі виникає вібрація, яка сприяє зменшенню сили тертя плуга з ґрунтом. При відключенні змінної електричної напруги за рахунок прямого п'єзоефекту п'єзоелемент виступає як датчик, отримані значення якого використовуються для корекції амплітуди коливань вібрації.

На рисунку 2 представлена конструкція плугового відвалу зі smart piezoceramics [5].

Однак при розробці вібраційного плуга на основі smart piezoceramics автори не наводять розрахунків для визначення необхідних параметрів їх силових складових.



а) складальне креслення; б) вид 3D;
1 – відвал; 2 – елемент smart piezoceramics

Рисунок 2 – Плужний відвал із smart piezoceramics

Метою роботи є визначення необхідної створюваної сили smart piezoceramics для створення коливань у віброплузі, а також власних коливань плуга.

Для визначення необхідної генерації створюваної сили smart piezoceramics необхідно знати величину сили, яка діє на плуг, а також резонансні частоти коливань плуга під час оранки. Ця сила буде рівнозначна силі, необхідній для тяги плуга.

Визначення необхідної створюваної сили smart piezoceramics. Для визначення сили, необхідної для тяги плуга, засновник землеробної механіки академік Василь Прохорович Горячкін запропонував формулу, що розкриває закономірності і фізичний зв'язок між основними факторами робочого процесу плуга і загальним опором, що виникає при його роботі. Ці залежності записані в раціональному вигляді, тому й сама формула названа раціональною [6, 7]. Вона має вигляд (1)

$$P_x = f \cdot G + (k \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot u^2) \cdot n, \quad (1)$$

де f – коефіцієнт, аналогічний коефіцієнту тертя; G – сила тяжіння плуга, Н; k – коефіцієнт питомого опору ґрунту, Па; a та b – розміри перетину пласта, м; ε – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від форми відвалу і властивостей ґрунту; u – швидкість, м/с; n – кількість корпусів плуга. Коефіцієнт корисної дії плуга визначається за формулою

$$\eta = \frac{(k \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot v^2)n}{fG + (k \cdot a \cdot b + \varepsilon \cdot a \cdot b \cdot v^2)n}. \quad (2)$$

Визначення коефіцієнтів f , k і ε раціональної формули В. П. Горячкіна проводиться за формулами (3)-(5) [6, 7]:

$$f = \frac{P_1}{G}, \quad (3)$$

$$k = \frac{q \cdot l - m \cdot r}{n \cdot l - m^2}, \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{n \cdot r - q \cdot m}{n \cdot l - m^2}. \quad (5)$$

Розрахункове зусилля на плуг визначається за формулою

$$P_{\text{росч}} = v \cdot P_x. \quad (6)$$

Розрахункове зусилля на один корпус рекомендується визначати за виразом

$$P_{\text{расч}}^0 = \frac{P_x}{n} [n(v-1) + 1],$$

де n – кількість корпусів плуга.

Виходячи з формул (1)-(5) В. П. Горячкіна, було визначено складові сили, необхідні для тяги однокорпусного плуга $n=1$.

Для розрахунків використовувалися такі дані: сила тяжіння плуга $G = 47$ Н; розміри перерізу пласта $a=0,2$ м, $b=0,35$ м; швидкість $v=1,5$ м/с; $m=4,7$ кг, $P_1=235$ Н, $l=0,43$, $n=1$.

Таблиця 1 – Коефіцієнт питомого опору ґрунту [8]

Характеристика ґрунту	Питомий опір при оранці, кН/м ²	Вологість ґрунту, %
Дуже легкі, піщані і супіщані, м'які	20	18...22
Легкі, супіщані, злежані, хрящуваті	30	18...22
Легкі, супіщані, суглинні, підвищеної вологості	40	30...25
Суглинні, хрящуваті, кам'яністі, злежані	45-50	35
Важко суглинисті і глинисті, що не злежані	50-60	18...22

За формулою (3) було розраховано коефіцієнт тертя $f=0,5$; коефіцієнт питомого опору

ґрунту було взято з таблиці 1 [8] $k=41000$ Н/м² (легкий, супіщаний, злежаний, хрящуватий ґрунт); за формулою (1) було розраховано силу, необхідну для тяги плуга $P_x = 3,2$ кН.

На основі розрахункових даних у пакеті програм Solid Works було проведено візуальне моделювання розподілення зовнішніх сил на плуг.

Застосування пакета SolidWorks для візуального моделювання було обумовлено можливостями цієї системи гібридного параметричного моделювання здійснювати проектування деталей у тривимірному просторі з подальшим проведенням різних видів експрес-аналізу, а також оформлення конструкторської документації [10].

Також перевагою застосування цього програмного пакета була можливість реалізувати моделювання фізико-механічних процесів за рахунок модуля Simulation, оскільки SolidWorks Simulation є універсальним інструментом для аналізу методом кінцевих елементів.

Як вихідні дані для моделювання було враховано, що в процесі оранки на плуг діють сили за всіма координатними осями, а саме: в напрямку переміщення корпусу плуга – R_x , у горизонтальній площині, перпендикулярній переміщенню плуга, – R_y і у вертикальній площині – R_z [9].

Сили R_x , R_y і R_z залежать від властивостей ґрунту, глибини оранки, швидкості руху, геометричної форми поверхні корпусу, гостроти леза лемеша та ін.

Ці залежності складні і поки що не всі вивчені.

У більшості випадків бічна сила R_y становить приблизно 1/3 від сили R_x , а вертикальна сила R_z є змінною та може набувати як додатних, так і від'ємних значень. Середнє її значення приймають рівним $\pm 0,2R_x$.

На рисунках 3–5 зображено проекції рівнодіючих елементарних опорів ґрунту на площині проекції XOZ (рисунок 3), XOY (рисунок 4) і YOZ (рисунок 5) відповідно [9].

Значення сили (розрахованої вище, P_x), що прикладене до плуга в напрямку переміщення корпусу плуга – R_x , становить 3,2 кН, а бічна сила R_y становить 1 кН.

Було проведено визначення розподілення напружень на плуг при оранці (рисунок 6).

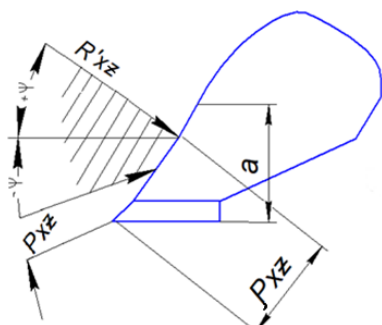


Рисунок 3 – Сили, що діють на корпус плуга, в поздовжньо-вертикальній площині

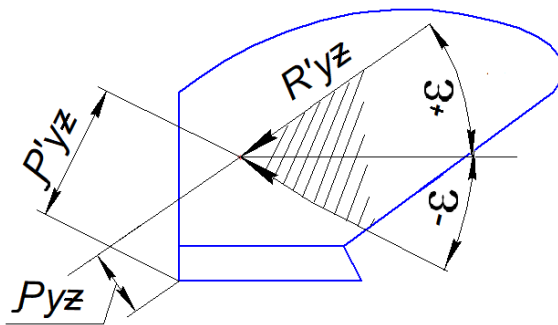


Рисунок 5 – Сили, що діють на корпус плуга, в поперечно-вертикальній площині

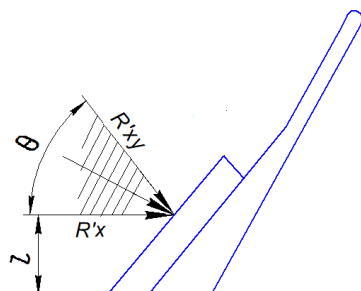


Рисунок 4 – Сили, що діють на корпус плуга, в горизонтальній площині

На рисунку 7 показано амплітудні переміщення частин плуга при оранці.

З рисунка 7 видно, що максимальні коливання плуга при оранці становлять 1,97 мм.

Окрім цього, було визначено перші п'ять резонансних частот плуга при оранці.

Результати моделювання зображено на рисунку 8.

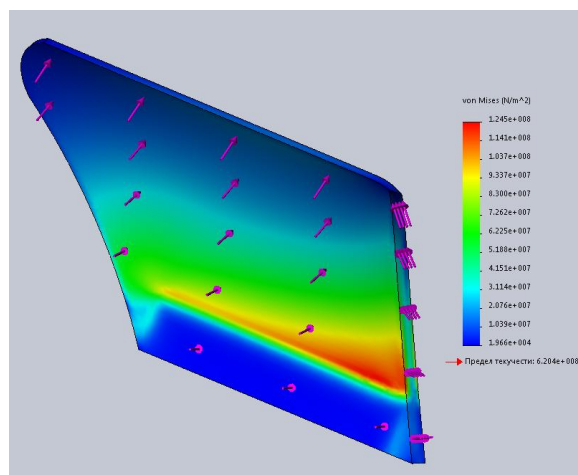


Рисунок 6 – Напружено-деформований стан плуга при оранці (значення коефіцієнта запасу міцності)

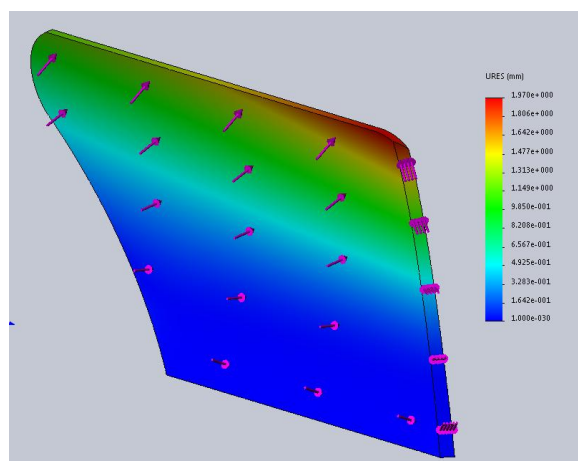
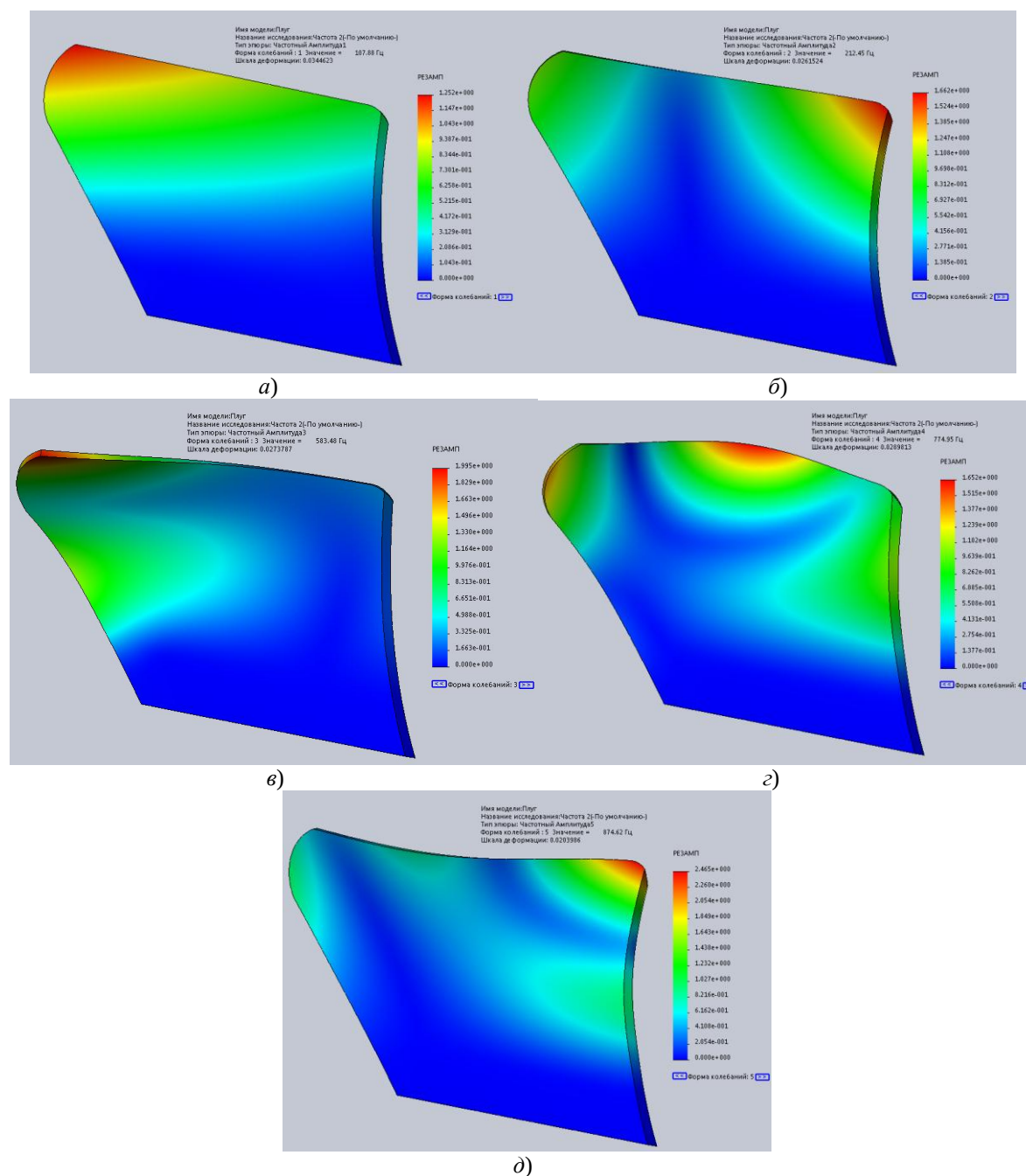


Рисунок 7 – Амплітудні переміщення частин плуга при оранці



а) 107,88 Гц, б) 212,45 Гц, в) 583,48 Гц, г) 774,94 Гц, д) 874,62 Гц

Рисунок 8 – Результати моделювання коливання плуга під час оранки в пакеті програм SolidWorks на різних частотах

Для найбільш наочного аналізу амплітуди коливань плуга під час оранки побудуємо графік залежності амплітуди коливань (безрозмірна величина) від частоти (рисунок 9).

З рисунка 9 видно, що максимальній амплітуді коливань відповідає частота 874,6 Гц.

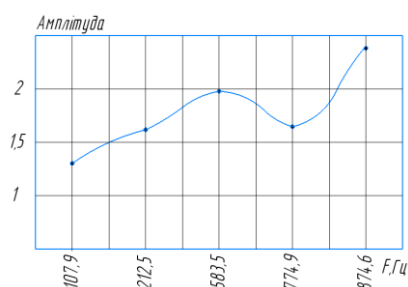


Рисунок 9 – Графік залежності амплітуди коливань плуга при оранці від частоти

Висновки. Таким чином, у роботі проведено розрахунки на визначення необхідної створюваної сили smart piezoceramics для створення коливань у віброплузі, яка становить 3,2 кН. Також проведено моделювання за допомогою пакета програм SolidWorks у модулі Simulation. Визначено частоту, за умови якої можливо спостерігати максимальні коливання (вібрації) плужного відвала, при оранці плугом, що становить 107,88 Гц. Крім цього, знайдено амплітуду коливань та напружено-деформований стан плуга при оранці, тобто значення коефіцієнта запасу міцності, що дасть можливість в подальшому оптимально визначати місце розташування smart piezoceramics для отримання максимального ефекту вібрації.

Список використаних джерел

- [1] Я. С. Гуков, *Обработка грунта. Технология и техника. Механико-технологичное обустройство энергосберегающих средств для механизации обработки грунта в условиях Украины*. Київ: Нора-прінт, 1999.
- [2] Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, та Т. Д. Іщенко, *Сільськогосподарські та меліоративні машини*. Київ: Вища освіта, 2004.
- [3] А. Б. Лурье, и А. А. Громбчевский, *Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин*. Ленинград: Машиностроение, 1977.
- [4] В. С. Ловейкін, Ю. В. Човнюк та Л. А. Дяченко, "Вібраційний плуг", *Пат. 57793 Україна, МПК2011.01 A01B 63/111. № U201010563*; заявл. 31.08.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 5.
- [5] С. О. Филимонов, С. С. Яценко, А. В. Батраченко, и Н. В. Филимонова, "Использование SMART PIEZOCERAMICS для обработки почвы в сельском хозяйстве", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 2, с. 30-36, 2019.
- [6] И. И. Максимов, "Рациональная формула В. П. Горячкина для определения тягового сопротивления плуга", в *Практикум по сельскохозяйственным машинам и орудиям*. Чебоксары, 2011. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://studfile.net/preview/5719257/page:33>. Дата обращения: Февр. 02, 2020.
- [7] В. Б. Самородов, и А. Ю. Ребров, "Развитие классических методов тягового рас-

чета трактора с учетом основных технико-экономических показателей МТА", *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*: зб. наук. праць. Тем. вип.: *Автомобіле- і тракторобудування*, № 58, с. 11-20, Харків: НТУ «ХПІ», 2008.

- [8] А. П. Дорохов, Э. Г. Мухамадиев, и Н. А. Печерцев (сост.), *Методические указания к выполнению контрольной работы по курсу «Эксплуатация машинно-тракторного парка» (для студентов факультета заочного образования)*. Челябинск: ЧГАА, 2010.
- [9] А. Ю. Попов, *Машины и оборудование в растениеводстве: учеб. пособие*. Зерноград: Азово-Черноморский инженер. ин-т ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2016.
- [10] Н. А. Языков, А. А. Топоров, Л. И. Рублева, и В. Ю. Левандовский, "Моделирование гидродинамических процессов в реакторе для интенсификации химической очистки сточных вод от фенолов с помощью программного модуля SolidWorks Flow Simulation", *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Хімія і хімічна технологія»*, вип. 14, 2012.

References

- [1] Ya. S. Gukov, *Soil cultivation. Technology and machinery. Mechanical and technological substantiation of energy saving tools for mechanization of soil tillage in the conditions of Ukraine*, Kyiv: Nora-print, 1999 [in Ukrainian].
- [2] D. G. Voituk, V. O. Dubrovin, and T. D. Ishchenko, *Agricultural and reclamation machines*. Kyiv: Vyshcha osvita, 2004 [in Ukrainian].
- [3] A. B. Lurie, and A. A. Grombchevsky, *Calculation and design of agricultural machinery*. Leningrad: Mashinostroyenie, 1977 [in Russian].
- [4] V. S. Loveykin, Yu. V. Chovnyuk, and L. A. Dyachenko, "Vibrating plough", *Pat. 57793 Ukraine, IPC2011.01 A01B 63/111. № U201010563*; claimed 31.08.2010; publ. 10.03.2011, Bul. № 5 [in Ukrainian].
- [5] S. O. Filimonov, S. S. Yaschenko, A. V. Batrachenko, and N. V. Filimonova, "The use of SMART PIEZOCERAMICS for tillage in agriculture", *Visnyk Cherkaskogo*

- derzhavnogo tehnologichnogo universytetu*, no. 2, pp. 30-36, 2019 [in Russian].
- [6] I. I. Maksimov, "V. P. Goryachkin's rational formula for determination of traction resistance of the plough", in *Workshop on Agricultural Machines and Tools*. Cheboksary, 2011. [Online]. Available: <https://studfile.net/preview/5719257/page:33>. Accessed on: Febr. 02, 2020.
- [7] V. B. Samorodov, and A. Yu. Rebrov, "The development of classical methods of tractor traction calculation, taking into account the main technical and economic indicators of MTA", *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnogo universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi institut»*: zb. nauk. prats. *Тем. вун.: Авто-мобіле- і тракторобудування, Тем. вур.: Avtomobile- i tractorobuduvannya*, no. 58, pp. 11-20, Kharkiv: NTU «KhPI», 2008 [in Russian].
- [8] A. P. Dorokhov, E. G. Mukhamadiev, and N. A. Pecherczev (comp.), *Guidelines for the implementation of the test work on the course "Operation of the machine-tractor park" (for students of the faculty of correspondence education)*. Chelyabinsk: ChGAA, 2010 [in Russian].
- [9] A. Yu. Popov, *Machines and equipment in crop production: textbook*. Zernograd: Azovo-Chernomorskij inzh. in-t FGBOU VO Donskoj GAU, 2016 [in Russian].
- [10] N. A. Yazykov, A. A. Toporov, L. I. Rubleva, and V. Yu. Levandovskij, "Modeling of hydrodynamic processes in a reactor to intensify the chemical treatment of wastewater from phenols using the SolidWorks Flow Simulation software module", *Naukovi praczi Donecz'kogo naczional'nogo tekhnichnogo universitetu*. *Seriya «Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya»*, iss. 14, 2012 [in Russian].

S. O. Filimonov, Ph. D., associate professor,
e-mail: s.filimonov@chdtu.edu.ua

S. S. Yashchenko,

O. V. Batrachenko, Ph. D., associate professor,
e-mail: avbatrachenko1980@gmail.com

N. V. Filimonova, Ph. D., senior lecturer
e-mail: nv.filimonova2015@gmail.com

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

CALCULATION OF THE FORCES APPEARING AT THE CREATION OF VIBRATIONS BY SMART PIEZOCERAMICS, AND RESEARCH OF THEIR DISTRIBUTION IN PLOUGH DUMP

The main purpose of this article is to calculate and determine the necessary force of smart piezoceramics to create vibrations in the plough dump and to perform simulations on the basis of the calculations.

Agriculture is providing the population with food and raw materials for a number of industries. That is why this industry is one of the most important economic spheres present in almost all countries. One of the major problems of agriculture consists in the complexity and efficiency of land cultivation. By energy costs, ploughing is the most energy-intensive operation in technological process of growing crops.

In known general purpose hinged ploughs, bolts are attached to the frame by the risers of the plow housings with the housing. During operation of the tiller unit, the traction resistance of the plough produces vibrations that increase the dynamic loads of the components and parts, which lead to their premature destruction. In addition, during oscillatory movements of the tiller unit, the tractor's efforts to move it increase, which leads to increased traction resistance. Improvement of some characteristics aggravates others, in this case when adding additional mechanical devices, their characteristics and disadvantages are placed on the soil tillage plough itself.

Determination of the required force to create vibrations in the plough, as well as its own plough oscillations is considered. To determine the force generated, it is necessary to know the magnitude of the force, the oscillation frequencies that appear and act on the plough during ploughing.

Thus, in the work, calculations have been carried out to determine the necessary generated force of smart piezoceramics to create vibrations in vibroplough, which is 3.2 kN.

Based on the calculated data, we simulate the loading process in the SolidWorks software package. Results of the simulation of plough blade oscillation in SolidWorks software package at different frequencies to 107.88, 212.45, 583.48, 774.94, 874.62 Hz are shown. The maximum oscillation amplitude of the plough blade corresponds to a frequency of 36 Hz.

Keywords: *research, agriculture, vibration technologies, modeling, smart piezoceramics, calculations, working principle, analysis, food security, problems, solutions.*

[0000-0003-1903-6022] **В. В. Палагін¹**, д.т.н., професор,

[0000-0002-0989-7112] **А. М. Чорній²**, к.т.н., доцент,

[0000-0002-6716-1939] **О. В. Івченко³**, к.т.н., доцент,

[0000-0001-5013-9869] **І. О. Євтушенко⁴**, аспірант

e-mail: ¹palahin@ukr.net, ²chorniy134@gmail.com, ³sanja_ivchenko@ukr.net,

⁴terald.armstrong@gmail.com

Черкаський державний технологічний університет,

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ВНУТРІШНЬОЇ ТЕЛЕФОННОЇ МЕРЕЖІ НА БАЗІ IP-СТАНЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОТОКОЛУ SIP

Розвиток Інтернет технологій характеризується широкими можливостями впровадження різноманітних телекомунікаційних послуг, зокрема IP-телефонії, що надає користувачам нову технологію передачі мультимедійного трафіку з використанням Інтернет мереж. Для застосування цієї технології активно проваджуються спеціальні протоколи передачі даних – SIP та H.323, що надає можливість організовувати приватні та корпоративні мережі передачі даних. У статті проведений аналіз застосування даних протоколів на базі IP-станції Panasonic KX-NS500, що дало змогу надати рекомендації щодо підвищення ефективності функціонування внутрішньої телефонної мережі для передачі голосового трафіку при різних типах кодеків.

Авторами розглядається задача підвищення ефективності функціонування мережі голосового зв'язку на базі IP-станції із застосуванням протоколів SIP та H.323. Запропоновано модель зв'язку, у якій використовуються три аналогові телефонні апарати та три IP-телефони, обслуговуванням яких займається IP-станція. Телефонна лінія використовує протокол SIP. Для дослідження характеристик роботи запропонованої моделі мережі використовується програмне середовище OPNET Modeler. Визначено оптимальний тип голосового кодеку для протоколу SIP та можливості використання застосовуваного протоколу в організації внутрішньої телефонної мережі з використанням IP-станції.

Проведено моделювання сегменту телекомунікаційної мережі із застосуванням протоколу SIP та проведено аналіз характеристик двох кодеків зв'язку, що найчастіше використовуються у технології VoIP. На основі проведеного моделювання здійснено оцінку якості мовного сигналу за рейтингом MOS, діапазону затримки мовного сигналу та вибір кодеку для відтворення голосового сигналу для запропонованої моделі мережі.

Ключові слова: IP-телефонія, VoIP, протоколи SIP та H.323, моделювання навантажень.

Вступ. IP-телефонія вже давно користується великим попитом при організації телефонних розмов та передачі даних з використанням мережі Інтернет [1, 2]. Під IP-телефонією розуміють технологію, котра дозволяє використовувати будь-яку мережу з пакетною комутацією на базі протоколу IP (наприклад мережа Інтернет) в якості засобу організації і ведення міжнародних, міжміських і місцевих телефонних розмов і передачі факсів в режимі реального часу. Впровадження IP-телефонії дозволяє ефективно управляти системою зв'язку, швидко інтегрувати нові додатки, в короткі терміни розширювати можливості

системи в залежності від потреб, не вкладаючи значних фінансових витрат.

Основним стримуючим фактором для широкомасштабного впровадження IP-телефонії є відсутність на сьогоднішній день механізмів забезпечення гарантованої якості послуг, що робить її не достатньо надійним транспортом для передачі голосового трафіку [5]. З впровадженням нових Інтернет технологій намагаються вирішити дані проблеми завдяки розробці нових протоколів, що спонукає виробників телекомунікаційного обладнання дотримуватися стандартів та сумісності [6, 8].

Якість функціонування IP-телефонії залежить від середовища її розгортання і навантаження, що потребує додаткових досліджень і аналізу при застосуванні конкретного апаратного забезпечення, наприклад, при розгортанні корпоративних мереж [3, 4].

Разом з тим слід зазначити, що якість передачі голосового трафіку в мережах з комутацією пакетів за останні роки було значно покращено за рахунок створення ефективних кодеків, які забезпечують високу розбірливість мовного сигналу та швидкість передачі даних [10]. Разом з тим, для обрання найефективнішого кодеку необхідно провести аналіз та моделювання телефонної мережі з використанням протоколів IP, що надасть можливість дослідити отримані результати та надати рекомендації щодо побудови сучасних та якісних телефонних мереж на базі IP-станцій.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування внутрішньої телефонної мережі на базі IP-станції при застосуванні протоколів SIP та H.323 для передачі голосового трафіку при різних видах навантажень.

Виклад основного матеріалу. Однією з позитивних властивостей IP-телефонії є наявність загальних протоколів: SIP, H.323, MGCP [6], завдяки яким забезпечується реєстрація клієнтського пристрою (шлюз, термінал або IP-телефон) на сервері або так званому «воротарю» провайдера. Основними складовими якості IP-телефонії є якість мови, розбірливість, чистота і тональність мови, відлуння, рівень гучності мови, якість сигналізації, час встановлення виклику, час завершення. З точки зору дослідження характеристик мовних кодеків слід зазначити, що на сьогоднішній день існує досить великий набір ефективних кодеків з різними характеристиками (табл. 1-3) [7, 8, 9].

Таблиця 1 – Характеристики кодеків, що відповідають стандартам МСЕ-Т

Кодек	Тип кодека	Швидкість кодування	Затримка при кодуванні
G.711	ІКМ	64 кбіт/с	0,75 мс
G.726	АДІКМ	32 кбіт/с	1 мс
G.728	LD – CELP	16 кбіт/с	від 3 до 5 мс
G.729	CS – ACELP	8 кбіт/с	10 мс
G.726 а	CS – ACELP	8 кбіт/с	10 мс
G.723.1	MP – MLQ	6,3 кбіт/с	30 мс
G.723.1	ACELP	5,3 кбіт/с	30 мс

Таблиця 2 – Рейтинг вимірів MOS

MO S	Якість	Рівень сприйняття мовної інформації
5	Відмінно	Мова сприймається повністю і без зусиль
4	Добре	Мова сприймається вільно, без відчутних зусиль
3	Задовільно	Мова сприймається з помірними зусиллями, наявні дефекти
2	Погано	Мова сприймається зусиллями та увагою
1	Дуже погано	Мова не сприймається повністю або частково

Таблиця 3 – Рекомендації стандарту МСЕ для затримок

Діапазон, мс	Опис
0 - 150	Прийнятно для більшості користувацьких додатків
150 - 400	Прийнятно за умови, що адміністратори знають про час передачі та його вплив на якість передачі призначеної для користувача додатків
Вище 400	Непринятно для планування мережі

Історично перший тип кодека, відомий як G.711 (версії G.711a і G.711u, швидкість вихідного сигналу 64 кбіт/с), перетворює аналоговий сигнал в цифровий з високою якістю без застосування операції стиснення. Проте, для його нормальної роботи необхідно забезпечити значну пропускну здатність каналу зв'язку в порівнянні з кодеками, в яких здійснюється стиснення інформації.

Існує кілька конфігурацій IP-телефонії, під кожен з яких існує спеціалізоване програмне або апаратне рішення. Для проведення дослідження було використано універсальну змішану структурну схему зв'язку на основі функціонування IP-станції Panasonic KX-NS500 (рис. 1). Аналогові телефони, які використовувалися в системі, під'єднані витою парою до IP-станції. Виклик йде зі звичайного телефонного апарату до станції, на один з виходів якої підключений шлюз IP-телефонії. Шлюз перетворює мову в цифрову форму і упаковує її в пакети для передачі по IP.

Комутатор забезпечує фізичне з'єднання в локальній мережі IP-станції з телефонами. Завдяки комутатору IP-телефони мають можливість підключатися до IP-станції по мережі Wi-Fi. Також одною з головних деталей є те, що IP-станція роздає IP-адреси. В якості IP-телефонів можуть бути як звичайні SIP-телефони, так і SIP-телефони з підтримкою відеозв'язку.

Завдяки такій схемі зв'язку є можливість організувати внутрішню

корпоративну мережу на певному підприємстві або в певній організації. Це дозволить відмовитися від під'єднання кожного абонентського пристрою (телефонного апарату, модему, факсу) організації до телефонної мережі загального користування. Слід також зазначити, що при певній зміні підключення і налаштування з'являється можливість виходу на загальну телефонну мережу.

Протокол ініціювання сеансів – SIP (Session Initiation Protocol) є одним з основних протоколів IP-телефонії, він описує процес встановлення і завершення мультимедійних сеансів зв'язку. Під мультимедійними сеансами зв'язку розуміються сеанси зв'язку, які дозволяють абонентам обмінюватися між собою аудіо-, відео- та текстовою інформацією, і встановлювати режим конференції. Протокол описує, яким чином клієнтська програма може запросити початок з'єднання в іншого, можливо, фізично віддаленого клієнта, що знаходиться в тій же мережі, використовуючи його унікальне ім'я. Протокол визначає спосіб узгодження між клієнтами про відкриття каналів обміну на основі інших протоколів, які можуть використовуватися для безпосередньої передачі інформації. Допускається додавання або видалення таких каналів протягом встановленого сеансу, а також підключення та відключення додаткових клієнтів. Протокол також визначає порядок завершення сеансу.

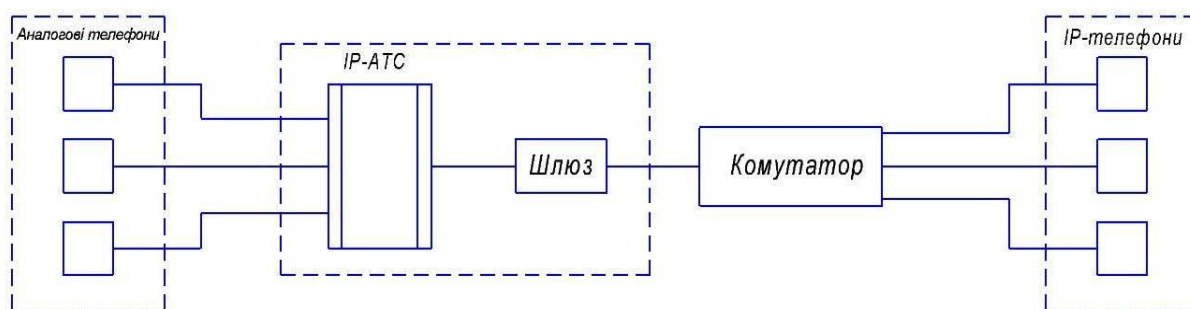


Рисунок 1 – Змішана структурна схема зв'язку «телефон–IP-станція–телефон»

В основу протоколу закладені такі принципи, як *мобільність, масштабованість, розширюваність*. Приклад побудови мережі SIP представлений на рис. 2.

Протокол SIP має клієнт-серверну архітектуру. Клієнт видає запити із зазначенням того, що він хоче отримати від

сервера. Сервер приймає і обробляє запити, видає відповіді, які містять повідомлення про успішність виконання запиту, повідомлення про помилку або інформацію, яку запитував клієнт. Обслуговування виклику розподілено між різними елементами мережі SIP.

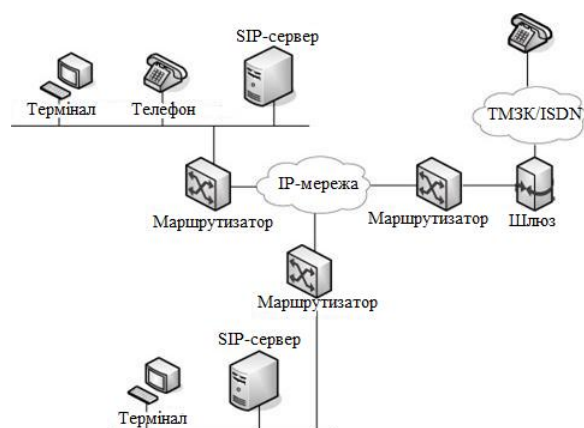


Рисунок 2 – Приклад побудови SIP-мережі

Стандартними елементами в SIP-мережі є:

- User Agent (термінал);
- Проксі-сервер;
- Сервер визначення місця розташування або сервер реєстрації (Register);
- Сервер переадресації.

В терміналі за протоколом SIP встановлюються з'єднання «клієнт-сервер» (рис. 3).

Проксі-сервери в SIP-мережі також можуть вносити зміни до повідомлень, котрі передаються – це дозволяє без перешкод проходити NAT у випадку, якщо проксі-сервер стоїть на NAT-маршрутизаторі.

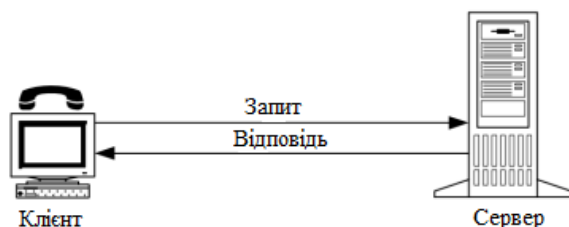


Рисунок 3 – Архітектура «клієнт-сервер»

В роботі проаналізовані протоколи SIP та H.323 для організації телефонної мережі. Визначено, що вони представляють різні підходи до вирішення однакових завдань. Якщо H.323 близький до традиційних систем сигналізації (з комутацією каналів на основі протоколу Q.931 або більш ранніх рекомендацій серії H), то SIP реалізує більш простий підхід на основі HTTP. У порівнянні з H.323 протокол SIP базується на текстовому форматі, більш простий для реалізації і додавання нових функцій. Протокол SIP забезпечує реалізацію важливих для систем Інтернет-телефонії функцій, включаючи шифрування і аутентифікацію. Те, що SIP

базується на архітектурі клієнт-сервер, дозволяє забезпечити управління викликами на рівні сервера. В даний час запропоновані специфікації, які розширюють протокол SIP засобами управління безпекою виклику, запиту якості обслуговування, сигналізації зміни стану мережі.

В цілому SIP і H.323 не розглядають як конкуруючі технології, тому що вони є різними підходами, призначеними для різних сегментів ринку.

Результати моделювання. Для дослідження інформаційних мереж всіх рівнів широко використовуються комп'ютерні технології, що дає можливість провести імітаційне моделювання та надати рекомендації щодо підвищення ефективності їх функціонування.

Стало пріоритетом мати мережеві симулятори, які надають потужні інструменти для розробки моделей, моделювання та аналізу даних по мережі. Подібні програми, як правило, поєднують в собі аналітичні методи і засоби імітаційного моделювання, дозволяючи всебічно розглянути і проаналізувати об'єкт дослідження. Створенням таких програм займається безліч компаній, лідерами серед яких була і OPNET Inc. (Riverbed Technology) [6].

OPNET Modeler призначений для моделювання мереж і окремих пристроїв з подальшим аналізом їх функціонування. Потік повідомлень даних, втрачених пакетів, управління пакетом повідомлень, зв'язку - ось кілька прикладів, що дозволяє вивчати цей симулятор.

Для дослідження голосового трафіку при різних характеристиках побудовано модель мережі з використанням протоколу SIP. Побудова моделі відбувалася в оновленому середовищі моделювання Riverbed Modeler (OPNET Modeler). На рис. 4 показано зовнішній вигляд моделі мережі з IP-станцією та 6-ма клієнтами. В якості IP-станції виступає сервер, який підключений до мережевого концентратора, за допомогою якого йде з'єднання клієнтів, атрибутом голосового зв'язку вибрано протокол SIP. Підключення відбувається за допомогою витієї пари, порт LAN – 100Base-T.

При моделюванні було обрано для порівняння кодеки G.711 та G.729A. Перший модулює мовні сигнали в каналах з швидкістю передачі даних 64 кбіт/с, а другий

зі швидкістю 8 кбіт/с. Слід також відмітити, що кодек G.711 є основним стандартом для РСМ (імпульсно-кодова модуляція) цифрової телефонії, а кодек G.729A є основним в умовах, коли існують жорсткі обмеження за рівнем трафіку.

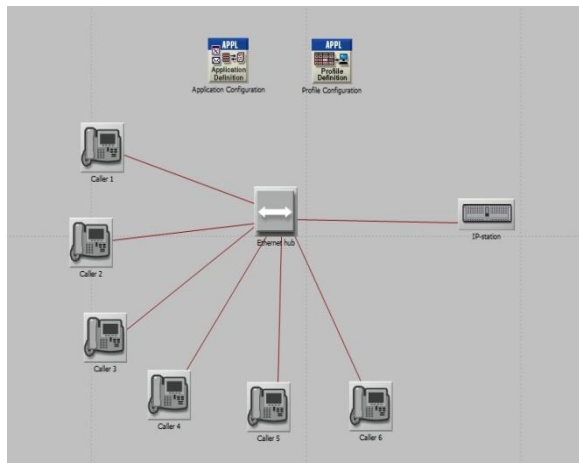


Рисунок 4 – Модель телефонної мережі з використанням протоколу SIP

В результаті моделювання телефонної мережі з використанням протоколу SIP отримано ряд графіків, таких як: час встановлення виклику, джитер, MOS, наскрізна затримки пакетів, переданий трафік та активні виклики.

На рис. 5 показано залежність часу встановлення виклику від загального часу телефонної мережі, тобто це час від початку запиту на виклик до початку повідомлення виклику.

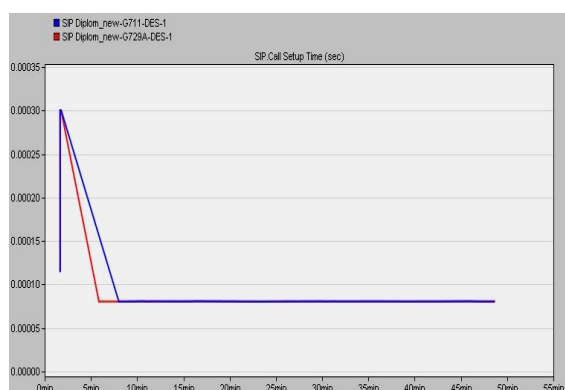


Рисунок 5 – Графік часу встановлення виклику

Як видно з графіку для обох кодеків максимальне значення часу встановлення виклику 0,3 мс. Також можна побачити, що для кодеку G.729A час встановлення виклику мінімізується швидше, чим для кодеку G.711.

Графік різниці часу затримок передачі від пакета до пакету (графік джитера) відображено на рис. 6. Джитером є різниця між очікуваним і фактичним часом приходу чергового пакета. VoIP-пристрої

чергового пакета. VoIP-пристрої використовують спеціальний буфер для встановлення постійного темпу обробки пакетів, таким чином досягається плавність звучання голосу. Джитер відіграє дуже важливу роль у голосовому зв'язку, тому що якщо затримка передачі змінюється занадто широко під час VoIP зв'язку, то якість голосу буде погіршуватися. Для успішного VoIP зв'язку значення джитера не повинно перевищувати 20-50 мілісекунд.

За результатами моделювання всі значення джитера варіюються приблизно на значенні 0 с., тобто значення дуже мінімальні, приблизно 0,148 фс. (фемтосекунд – 10^{-15} с). Для кодеку G.711 значення джитера в певні проміжки часу буде більшим, відповідно час затримок відрізнятиметься один від одного значно більше в цей момент, в порівнянні з кодеком G.729A.

Не залежно від того який з цих двох кодексів обрано, значення джитера буде значно меншим від граничного, тому якісь зв'язку буде на високому рівні.

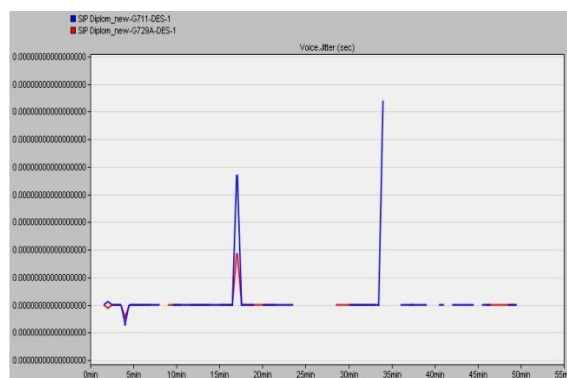


Рисунок 6 – Графік різниці часу затримок передачі від пакета до пакету (джитер)

Для оцінки якості голосового зв'язку оперують характеристикою MOS, тобто усередненою оцінкою розбірливості мови.

Тести MOS роздають групі слухачів. Оскільки якість голосу і звуку для слухача – поняття суб'єктивні, при проведенні тесту MOS дуже важливо забезпечити участь якомога більшої кількості слухачів, а також різноманітність матеріалу. Слухачі присвоюють кожній вибірці голосового матеріалу оцінку від 1 (погано) до 5

(відмінно). Потім бали підраховують і отримують усереднену оцінку розбірливості мови.

Окрім того, перевірка MOS використовується для оцінки якості роботи кодека при змінюваних параметрах прийому сигналу, включаючи різні рівні фоновому шуму, багаторазове кодування, декодування і т.д.

Графік даної характеристики показано на рис. 7. Як бачимо, при кодеку G.711 значення MOS буде рівне 4,36, а при кодеку G.729A – 4,02. Маючи ці значення, за допомогою таблиці 2 зробимо висновок, що якісь розбірливості мови при обох кодексах буде високою, сприйматиметься вільно, без відчутних зусиль, але при кодеку G.711, як видно з графіку, все ж таки якісь краща.

На рис. 8 показано графік так званої наскрізної затримки пакетів. Наскрізна затримка – це час, який потрібен для передачі пакета від передавального на приймаючий пристрій. Затримка складається з постійної і змінної складових. Постійна складова може бути оцінена при проектуванні мережі.

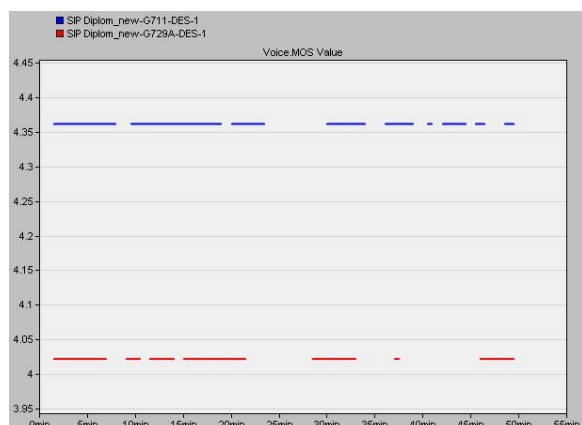


Рисунок 7 – Графік усередненої оцінки розбірливості мови (MOS)

Перевантажені черги на інтерфейсах і час викладання даних на фізичне середовище передачі даних породжують змінні затримки. Час викладання даних на фізичне середовище є функцією від швидкості каналу і розміру пакета – чим більше пакет і менше швидкість каналу, тим більше цей час. Незважаючи на те, що це відношення відоме, час викладання даних на фізичне середовище віднесено до змінних затримок, тому що більший пакет може увійти в чергу на інтерфейсі в будь-який момент перед голосовим пакетом.

На відміну від багатьох додатків передачі даних, передача голосу не можлива з високими рівнями затримок. Голос із якісним рівнем звучання вимагає, щоб звуки займали 100 мс затримки, або менше. Затримки, які перевищують 150 мс, можуть почати дратувати абонентів. Коли затримки наближаються до 500 мс, голосовий зв'язок стає неможливим. З графіка на рис. 9 видно, що найменше значення затримки має кодек G.729A і воно становить 99,7 мс, а максимальне значення затримки було досягнуто для кодеку G.711 і трішки перевищило 100 мс. Голосова затримка в 100 мілісекунд є прийнятною величиною в стандарті МСЕ, як показано в табл. 3.

На рис. 9 зображено графік переданого трафіку. З першого погляду можна побачити, що при кодеку G.711 швидкість передачі трафіку набагато перевищує швидкість передачі при кодеку G.729A. Максимальним значення швидкості передачі трафіку є 48000 байт в секунду, це означає, що трафік по каналу зв'язку передається зі швидкістю 48 кб/с.



Рисунок 8 – Графік наскрізної затримки пакетів

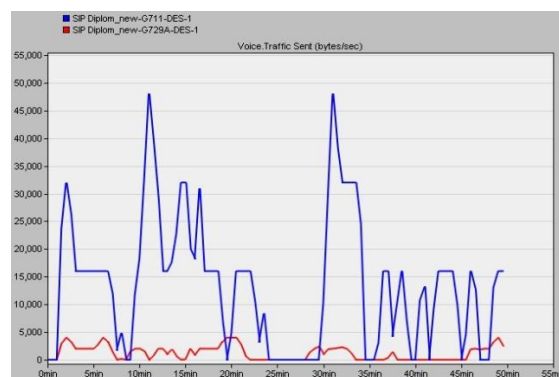


Рисунок 9 – Графік переданого трафіку (байт/с)

Кількість активних викликів можна побачити на рис. 10. На даному рисунку відображено графік активних дзвінків першого клієнта, дзвінки виконуються випадково у будь-який момент часу і не сильно залежать від вибору кодека. При обох типах кодеків перший клієнт мав одночасно по 1-му активному виклику протягом всього часу симуляції моделювання. Єдиною різницею є те, що при кодеку G.711 загальних викликів було на 2 більше.

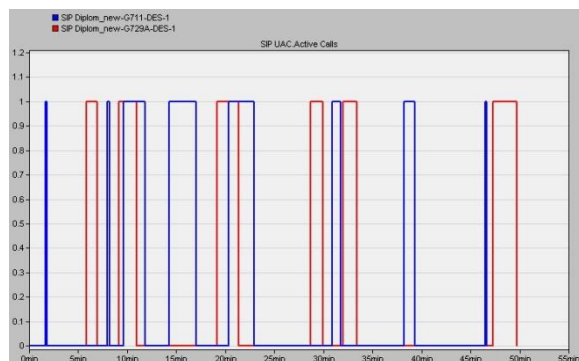


Рисунок 10 – Графік активних викликів першим клієнтом

Таким чином, як видно з графіка (рис. 10), окремі характеристики по протоколу SIP кожного з клієнтів не залежать від вибору кодека, так як вхідні і вихідні виклики відбуваються випадковим чином протягом загального часу симуляції. Тому, підводячи підсумки моделювання мережі з використанням протоколу SIP можна сказати, що вибір типу кодека впливає тільки на якість мови, затримки та швидкість при передачі трафіку.

Розглянувши всі характеристики і графічно дослідивши їх, можна без сумніву сказати, що кодек G.711 має кращу якість і його доцільно використовувати для зв'язку в IP-телефонії, а побудова мережі на базі протоколу SIP забезпечує найкраще рішення при побудові внутрішньої корпоративної телефонної мережі.

Висновки. На основі проведеного аналізу особливостей та переваг IP-телефонії можна зробити висновок, що нові телекомунікаційні технології найближчим часом займуть гідне місце в забезпеченні абонентів мультимедійним трафіком з використанням Інтернет мереж.

Аналіз функціонування протоколу SIP та його функціональних можливостей показав його конкурентоздатність і перевагу над

іншими протоколами при організації внутрішніх корпоративних мереж, що дає можливість забезпечити управління викликами на рівні сервера. Разом з тим доведено, що на основі даного протоколу є доцільним застосування кодеку G.711 для організації якісного зв'язку в IP-телефонії.

На основі запропонованої структури організації системи зв'язку з'являється можливість побудови внутрішньої корпоративної мережі, що дозволяє відмовитися від телефонної мережі загального користування, забезпечити абонентів багатофункціональним сервісом і заощадити кошти.

Список використаних джерел

- [1] А. М. Кенин, *Практическое руководство системного администратора*. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010.
- [2] Andrew S. Tanenbaum, "Computer networks fifth edition", *Pearson Education, Inc.* Prentice Hall, 2011.
- [3] Jahangir Ahmad, and Muhammad Usman Nasir, "Performance Evolution of QoS in VoIP Using SIP for Ad hoc Routing Protocols", *IJCSIS*, vol. 15, no. 3, pp. 333-337, 2017.
- [4] Tariq M. Imran et al., "Performance analysis of VoIP codecs over BE WiMAX network", *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 84, no. 5, 2013.
- [5] Mohan Krishna Ranganathan, and Liam Kilmartin, "Performance evaluation and securing Session Initiation Protocol (SIP) based VoIP networks", *Riverbed Support Center*, pp.1-23, 2018. [Online]. Available: <https://community.riverbed.com/helpcenter/s/article/DOC-2366>
- [6] J. Rosenberg et al., "RFC3261: SIP: session initiation protocol", *IETF RFC3261*, 2002.
- [7] OPNET Modeler: MIL3, 1996. [Online]. Available: <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html>
- [8] Рекомендация МСЭ-T G.114, Время односторонней передачи. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114/en>
- [9] Recommendation ITU-T P.800.1, Mean opinion score (MOS) terminology. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.800.1/en>

- [10] Sureshkumar V. Subramanian, and Rudra Dutta, "Comparative study of secure vs. Non-secure transport protocols on the SIP proxy server performance: An experimental approach", in *International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing*, IEEE, 2010.

References

- [1] A. M. Kenin, "System administrator practice guide". StPeterburg: BHV-Peterburg, 2010 [in Russian].
- [2] Andrew S. Tanenbaum, "Computer networks fifth edition", *Pearson Education, Inc.* Prentice Hall, 2011.
- [3] Jahangir Ahmad, and Muhammad Usman Nasir, "Performance Evolution of QoS in VoIP Using SIP for Ad hoc Routing Protocols", *IJCSIS*, vol. 15, no. 3, pp. 333-337, 2017.
- [4] Tariq M. Imran et al., "Performance analysis of VoIP codecs over BE WiMAX network", *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 84, no. 5, 2013.
- [5] Mohan Krishna Ranganathan, and Liam Kilmartin, "Performance evaluation and securing Session Initiation Protocol (SIP) based VoIP networks", *Riverbed Support Center*, pp.1-23, 2018. [Online]. Available: <https://community.riverbed.com/helpcenter/s/article/DOC-2366>
- [6] J. Rosenberg et al., "RFC3261: SIP: session initiation protocol", *IETF RFC3261*, 2002.
- [7] OPNET Modeler: MIL3, 1996. [Online]. Available: <https://www.riverbed.com/gb/products/steelcentral/steelcentral-riverbed-modeler.html>
- [8] Recommendation ITU-T G.114, One-way transmission time. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114/en>
- [9] Recommendation ITU-T P.800.1, Mean opinion score (MOS) terminology. [Online]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.800.1/en>
- [10] Sureshkumar V. Subramanian, and Rudra Dutta, "Comparative study of secure vs. Non-secure transport protocols on the SIP proxy server performance: An experimental approach", in *International Conference on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing*, IEEE, 2010.

V. V. Palahin, Dr.Sc., Prof.

A. M. Chorniy, Ph.D., Associate Professor

O. V. Ivchenko, Ph.D., Associate Professor

I. O. Yevtushenko, Ph. D. student

e-mail: palahin@ukr.net

Cherkasy State Technological University,
Shevchenko blvd., 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

MODELING AND ANALYSIS OF INTERNAL TELEPHONE NETWORK OPERATION ON THE BASIS OF IP STATION USING SIP PROTOCOL

The development of Internet technologies is characterized by wide possibilities for introducing various telecommunication services, in particular IP telephony, which provides users with a new technology for multimedia traffic transmission using Internet networks. Special data transfer protocols (SIP and H.323) are being actively developed to apply this technology, which enables the organization of private and corporate data networks. The paper analyzes the use of these protocols based on the Panasonic KX-NS500 IP station, which has made it possible to give recommendations on improving the operation of internal telephone network for the transmission of voice traffic for various types of codecs.

The article discusses the problem of improving the efficiency of IP based voice communications using SIP and H.323 protocols. A communication model, that uses three analog phones and three IP phones serviced by an IP station, is proposed. The telephone line uses SIP protocol. The OPNET Modeler software environment is used to investigate the performance of the proposed network model. The optimal type of voice codec for SIP protocol and the possibilities of using the protocol in the organization of internal telephone network using the IP station are determined.

The telecommunication network segment using SIP protocol has been simulated and the characteristics of two communication codecs most commonly used in VoIP technology have been analyzed. Based on the simulation, the assessment of the quality of the speech signal by the MOS rating, the range of delay of the speech signal and the choice of a codec to play a voice signal for the proposed network model have been made.

Keywords: IP-telephony, VoIP, SIP & H.323 SIP protocols, load simulation.

[0000-0003-2474-7697] **Т. В. Нескорородева**, к.т.н., доцент, зав. кафедри
e-mail: t.neskorodieva@donnu.edu.ua
Донецкий национальный университет имени Василя Стуса
ул. 600-летия, 21, г. Винница, 21027, Украина

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПОДСИСТЕМЫ АУДИТА ПРЕДПОСЫЛКИ СРЕДНЕГО УРОВНЯ ИТ СППР

В статье рассматривается проблема постановки задач подсистем аудита предпосылки Положений (стандартов) бухгалтерского учета в ИТ СППР как составляющих методики обобщенно-множественного отображения информации. Выделены два типа структурных элементов аудита среднего уровня, инвариантных относительно особенностей предприятия: множество объектов и операций. Это позволило определить структурные элементы информационной модели предметной области: данные, характеризующие множество объектов, и данные, характеризующие множество операций. Сформирована функциональная структура преобразований множеств данных в виде последовательности отображений, подчиненных правилам предпосылки «Полнота». Выделены два типа отображений по их функциональному назначению, первое из которых характеризует преобразование в подсистеме учета множества объектов, второе - характеризует преобразование данных при их передаче между подсистемами. Выделены два типа элементарных подзадач аудита предпосылки. Это позволяет декомпозировать задачу автоматизации проверки предпосылки «Полнота» на задачи проверки эквивалентности двух типов отображений.

Ключевые слова: постановка задачи аудита, информационная технология, СППР аудита, отображение множеств, средний уровень.

Введение. В настоящее время актуальной научно-технической проблемой информационных технологий финансово-экономической сферы является автоматизация анализа больших объемов данных финансово-экономической информации предприятий, хранящихся и поступающих в режиме онлайн в базы данных локальных и глобальных компьютерных систем с целью формирования рекомендаций принятия решений при аудите [1-5].

Например, эффективность ИТ-бизнеса в снижении коррупции обоснована в [1]. В [2] обсуждаются теоретические и практические вопросы использования ИТ в аудиторской сфере. Определены изменения, которые вносит в методологии аудита его комплексная компьютеризация.

Применение современных систем бухгалтерского учета и управления на предприятии, интегрированных в глобальные, многоуровневые системы информационных компьютерных сетей, предоставляет потенциальные возможности обработки больших объемов данных, которые используются не в полном объеме [3]. В [4] представлены архитектуры подсистем внешней и внутренней системы аудита Аудит 4.0, функционирование и экс-

плуатация которых сталкиваются с проблемой обработки больших объемов данных. Также сегодня в практических и научных источниках, которые изучают проблемы и перспективы развития аудита, рассматривается возможность принятия законодательных актов, которые позволят использовать аналитические доказательства (в том числе противоречивости данных), полученные при анализе больших объемов данных, в качестве основы для судебных решений без документального изучения первичных документов [5]. Это свидетельствует о том, что тематика исследования, которая касается проектирования ИТ-аудита, является актуальной.

Анализ последних исследований. При проектировании ИТ-аудита необходимо предполагать возможность их применения к финансово-экономическим данным предприятий различных отраслей, видов производства различной организационной структуры и ИТ учета. Экономико-производственная деятельность и ИТ предприятия образуют сложную социально-экономическую и техническую систему. Эта система как объект аудита характеризуется глобальной многоуровневой иерархической структурой гетерогенных, многофакторных, многофункциональных

взаимосвязей, взаимозависимостей и взаимодействий ее подсистем с ИТ контроля, учета, управления, ведения бизнеса, с другими ИТ и системами в структуре информационной системы национальной экономики. В то же время данные на каждом уровне имеют сетевую структуру. Современная методология прикладного системного анализа не соответствует этим требованиям [10]. Поэтому проблема разработки методологических основ ИТ-аудита является актуальной.

В [11] обосновывается необходимость атрибутивной выборочной проверки документов даже при полной автоматизации учета на основании статистического подхода к формированию аудиторской выборки. Представленная методика атрибутивного выборочного исследования позволяет определить объем выборки и верхнюю границу точности. Однако остается открытым вопрос о методике тестирования по каждой группе документов и взаимосвязанным группам документов (последовательных операций). Также указывается, что в силу того, что хозяйственные операции и первичные документы формируются с помощью программ, поэтому ошибки, связанные с расчетом сумм, практически исключены. В то же время тестирование необходимо применять с целью выяснения, имели ли действительно место факты хозяйственной деятельности, учтены ли они в БД компьютерной программы учета. Однако не выполнена формальная постановка данной задачи, а также задачи выявления признаков существования фактов хозяйственной деятельности, которые имели место и не учтены в БД.

В работе [12] представлена методика обобщенно-множественного отображения информации в подсистеме экспресс-аудита предпосылки «Соответствие расходов и доходов» на среднем уровне. В случае выявления неэквивалентных подмножеств данных система переключается (через ЛПП) на подсистему аудита предпосылки «Полнота», которая предполагает, что все операции, которые были реально выполнены, учтены в отчётности.

Говоря об автоматизации процедур анализа, следует отметить, что в литературе представлены методы обнаружения мошенничества, основанные на применении моделей нейронных (вероятностных) сетей, логистических регрессий, деревьев решений, экспертных оценок, статистических методов анализа данных [6-9]. Применение данных методов позволяет анализировать отдельные пока-

затели или выявлять аномальные значения. Их применение дает результат, если выполняются определенные условия, которые зависят от свойств показателя, т. е. они не являются универсальными, что затрудняет автоматизацию анализа на их основании и их использование при решении задач автоматизации на всех этапах аудита. Следовательно, актуальной является задача создания методики извлечения и подготовки данных, которая позволит реализовывать их автоматический анализ для задач аудита.

Проектирование ИТ СППР согласно методике обобщенно-множественного отображения информации, предложенной в [12], требует выделения отображений множеств для декомпозиции задачи проверки предпосылки на элементарные задачи.

Цель статьи – выполнить постановку задач аудита предпосылки на среднем уровне для автоматизированного их решения в информационной технологии системы поддержки принятия решений (ИТ СППР), инвариантную относительно особенностей предприятия как составляющих методики обобщенно-множественного отображения информации при проектировании ИТ.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- 1) сформировать структуру предметной области проверки среднего учета, инвариантную относительно особенностей предприятия;
- 2) определить виды взаимосвязей между элементами предметной области среднего учета, подчиненные правилам предпосылки;
- 3) выделить особенности учета данных элементов и взаимосвязей между ними в подсистемах среднего уровня учета;
- 4) выполнить постановку задач аудита предпосылки на среднем уровне для автоматизированного их решения в подсистеме аудита предпосылки.

Проиллюстрируем методику среднего уровня на примере данных предметной области аудита предпосылки «Полнота» материальных расходов. Рассмотрим случай преобразования сырья в полупродукт, а затем в продукт при последовательной обработке в цехах в случае безвозвратных отходов.

Изложение основного материала. Учет характеристик материальных расходов в подсистеме среднего уровня осуществляется по каждому цеху (последовательности цехов) за плановые периоды (месяц, квартал, год). Экономико-производственные объекты учета,

сопровождающие материальные расходы: сырье, полупродукт, брак, отходы, готовая продукция, незавершенное производство. Операции, которые характеризуют преобразование данных объектов учета, - производственные операции.

Данные среднего уровня, которые характеризуют предметную область аудита материальных расходов, зависят от:

1) обобщенных характеристик множеств объектов, преобразование которых сопровождается производственными операциями;

2) обобщенных характеристик множеств производственных операций;

3) взаимосвязей между обобщенными характеристиками множеств объектов и производственных операций, характеризующих правила предпосылки;

4) функциональных особенностей системы среднего уровня.

Следовательно, для постановки задач аудита, инвариантной относительно особенностей предприятия, необходимо формализовать:

1) множества объектов учета, преобразование которых сопровождается производственными операциями;

2) множества производственных операций;

3) взаимосвязи между множествами объектов учета и производственных операций;

4) функциональные особенности учета обобщенных характеристик множеств данных и взаимосвязей между ними в системе среднего уровня;

5) сформировать функциональную структуру отображений множеств, проверка эквивалентности которых составляет задачу аудита Предпосылки (стандарта) бухгалтерского учета (П(с)БУ).

В соответствии с предложенными правилами обозначим:

E – множество объектов учета, преобразование которых сопровождается производственными операциями за период T ,

X – множество производственных операций за период T .

На основании анализа структуры системы учета материальных расходов выделим множества объектов учета (таблица 1) и множества операций материальных расходов (таблица 2). При учете материальных расходов в течение периода T между объектами учета и операций выделенных множеств (таблицы 1, 2) формируются множества взаимосвязей, эле-

менты которых формализованы на первом уровне в виде отношений соответствия r^+ и r^- операций увеличения и уменьшения объекта учета соответственно [13].

Таблица 1 – Множества объектов материальных расходов (за период T) (последовательная схема цехов)

Множество объектов учета	
Обозначение	Название
E_2	Сырье
E_3	Производство (цех 1)
A_1	Полупродукт (цех 1)
B_1	Невозвратные отходы (цех 1)
C_1	Брак (цех 1)
D_1	Незавершенное производство (цех 1)
E_4	Производство (цех 2)
A_2	Готовая продукция (цех 2)
B_2	Отходы (цех 2)
C_2	Брак (цех 2)
D_2	Незавершенное производство (цех 2)
E_5	Готовая продукция

Формализуем отношения соответствия множеств параллельно-последовательных операций в виде графа $G_1^{(c)}$ (рисунок 1):

$$G_1^{(c)} = (V_1^{(c)}, R_1^{(c)}), \quad V_1^{(c)} = (X, Y, E), \\ R_1^{(c)} = (r^{+(c)}, r^{-(c)}), \quad (1)$$

где $G_1^{(c)}$ – граф множеств параллельно-последовательных операций,

$V_1^{(c)}$ – множество вершин графа $G_1^{(c)}$,

$R_1^{(c)}$ – множество ребер графа $G_1^{(c)}$,

E – вершина, характеризующая множество объектов,

X и Y – вершины, характеризующие множества операций,

$r^{+(c)}$ и $r^{-(c)}$ – ребра, характеризующие отношения соответствия к увеличению и уменьшению множества объектов учета соответственно.

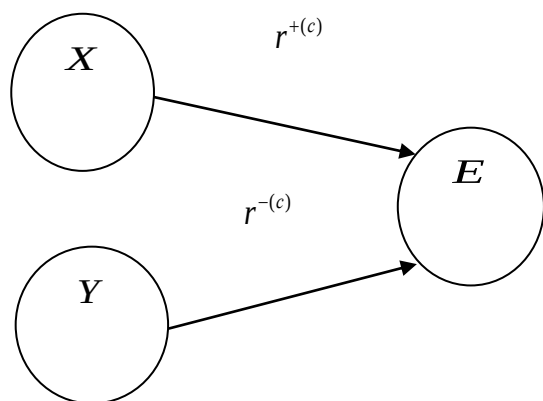


Рисунок 1 – Граф $G_1^{(c)}$ отношения соответствия множеств операций и множества объектов учета

Для множества объектов и операций материальных расходов данные отношения представлены в таблице 3.

Отношение соответствия $G_1^{(c)}$ порождает отображение соответствующих множеств данных $X \rightarrow Y$. Проверка эквивалентности множеств при данном отображении составляет задачу первого типа.

Для формализации множеств объектов учета, взаимосвязанных с множеством операций, выделим два объекта, первый из которых уменьшается при операции X , а второй увеличивается. Согласно экономическому смыслу операции данные объекты должны быть разных видов. Формализуем данные соотношения.

Два множества объектов учета E_s и E_{s+1} определяются как взаимосвязанные с множеством параллельно-последовательных операций X , если они удовлетворяют условию:

$$\forall x \in X \left(\exists e_s \in E_s : x r^- e_s \right) \wedge \left(\exists e_{s+1} \in E_{s+1} : x r^+ e_{s+1} \right), \quad (2)$$

где E – множество объектов учета,

s и $s+1$ – переменные, характеризующие виды множеств объектов учета,

X – множество операций,

r^+ – отношение соответствия операции к увеличению объекта учета,

r^- – отношение соответствия операции к уменьшению объекта учета.

Формализуем соотношения (2) в виде графа $G_2^{(c)}$ (рисунок 2):

$$G_2^{(c)} = (V_2^{(c)}, R_2^{(c)}), \quad V_2^{(c)} = (X, E_s, E_{s+1}), \\ R_2^{(c)} = (r^{-(c)}, r^{+(c)}), \quad (3)$$

где $G_2^{(c)}$ – граф отношения соответствия множества операций и объектов учета,

$V_2^{(c)}$ – множество вершин графа $G_2^{(c)}$,

$R_2^{(c)}$ – множество ребер графа $G_2^{(c)}$,

E – вершина, характеризующая множество объектов учета,

s и $s+1$ – номера, характеризующие виды множеств объектов учета,

X – вершина, характеризующая множество операций,

$r^{+(c)}$ – ребро, характеризующее отношение соответствия к увеличению множества объектов учета,

$r^{-(c)}$ – ребро, характеризующее отношение соответствия к уменьшению множества объектов учета.

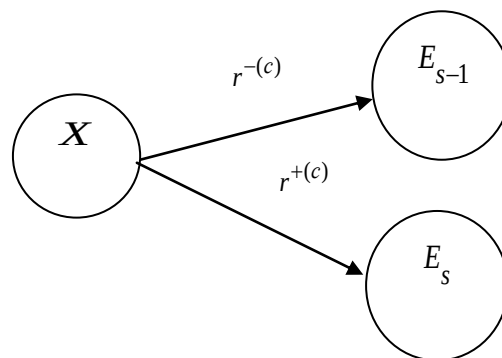


Рисунок 2 – Граф $G_2^{(c)}$ отношений соответствия множества операций и объектов учета

Отношение соответствия $G_2^{(c)}$ порождает отображение соответствующих множеств данных. Проверка эквивалентности множеств при данном отображении составляет задачу второго типа.

Таблица 2 – Данные множеств операций материальных расходов (за период T) (последовательная схема цехов)

Множество операций		Характеристика данных множества операций
Обозначение	Название	
X_3	Получение и списание (бухгалтерия) сырья на производство	Обобщенные показатели получения сырья на производство по накладным-требованиям (НТ)
X_4	Выпуск полупродукта (отходы 1, брак 1, незавершенное производство 1)	Обобщенные показатели выпуска полупродукта из цеха 1, отходов, брака, незавершенного производства
$X_{4(1)}$	Производство полупродукта (цех 1)	Обобщенные показатели выпуска полупродукта из цеха 1
$X_{4(2)}$	Списание отходов (цех 1)	Обобщенные показатели списания отходов из цеха 1
$X_{4(3)}$	Списание брака (цех 1)	Обобщенные показатели списания брака из цеха 1
$X_{4(4)}$	Инвентаризация незавершенного производства (цех 1)	Обобщенные показатели незавершенного производства из цеха 1
X_5	Выпуск (оприходование) готовой продукции (отходов, брака, незавершенного производства)	Обобщенные показатели выпуска готовой продукции (ГП), отходов, брака, незавершенного производства на складе и бухгалтерии
$X_{5(1)}$	Производство готовой продукции (цех 2)	Обобщенные показатели выпуска полупродукта из цеха 2
$X_{5(2)}$	Списание отходов (цех 2)	Обобщенные показатели списания отходов из цеха 2
$X_{5(3)}$	Списание брака (цех 2)	Обобщенные показатели списания брака из цеха 2
$X_{5(4)}$	Незавершенное производство (цех 2)	Обобщенные показатели незавершенного производства из цеха 2

Отношения соответствия взаимосвязанных множеств объектов учета на примере материальных расходов (таблица 1) по отношению к множеству операций (таблица 2),

формализованные в виде графа $G_2^{(c)}$, представлены в таблице 4. Последовательность двух видов отношений соответствия схематически представлена на рисунке 3.

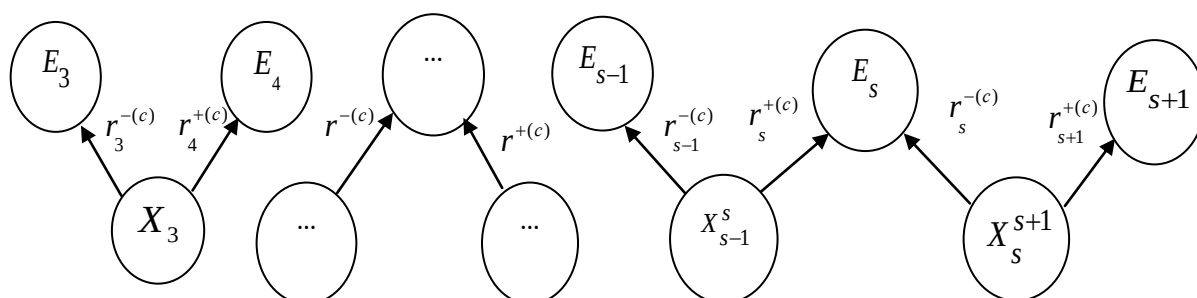


Рисунок 3 – Граф $G_3^{(c)}$ отношений соответствия обобщенных множеств параллельно-последовательных операций и объектов учета, которые преобразуются за период T

Таблица 3 – Отношения соответствия множеств операций и объектов учета за период T (последовательная схема цехов, безвозвратные отходы)

Множество объектов учета E	Отношения соответствия множеств данных операций к множеству объектов E	
	соответствия увеличения $r^{+(c)}$	соответствия уменьшения $r^{-(c)}$
E_3 Производство (цех 1)	X_3 Отпуск сырья в производство	X_4 Общий выпуск полупродукта, отходов, брака и незавершенного производства
A_3 Полупродукт (цех 1)	X_3 Отпуск сырья в производство за период T	$X_{4(1)}$ Выпуск полупродукта (цех 1)
B_3 Отходы (цех 1)		$X_{4(2)}$ Списание сырья на отходы (цех 1)
C_3 Брак (цех 1)		$X_{4(3)}$ Списание сырья на брак (цех 1)
D_3 Незавершенное производство (цех 1)		$X_{4(4)}$ Инвентаризация незавершенного производства (цех 1)
E_4 Производство (цех 2)	$X_{4(1)}$ Оприходование полупродукта (цех 1)	X_5 Выпуск готовой продукции
...	...	...
E_5 Готовая продукция	X_5 Оприходование готовой продукции	Доход от реализации готовой продукции

Обозначим:

N_s – множество номеров документов первого уровня, в которых учтены данные множества операций X_{s-1}^s ,

$x(n_s^{(c)})$ – данные среднего уровня множества операций $X_{s-1}^s(N_s)$,

$e(n_s^{(c)})$ – данные среднего уровня множества объектов учета $E(N_s)$.

Тогда последовательность отношений множеств операций и объектов учета $G_3^{(c)}$ порождает последовательность отображений множеств данных объектов учета и операций: $e(n_1^{(c)}) \rightarrow e(n_2^{(c)}) \rightarrow \dots \rightarrow e(n_s^{(c)}) \rightarrow e(n_{s+1}^{(c)})$,

$$x(n_1^{(c)}) \rightarrow x(n_2^{(c)}) \rightarrow \dots \rightarrow x(n_s^{(c)}) \rightarrow x(n_{s+1}^{(c)}).$$

На основании методики обобщенно-множественного отображения информации при формировании методики проектирования подсистемы аудита предпосылки «Полнота» выделим следующие две локальные подзадачи.

Первая задача – определение эквивалентных и неэквивалентных подмножеств при отображении обобщенных показателей среднего уровня учета $e(n_s^{(c)})$ и $e(n_{s+1}^{(c)})$ множеств объектов E_s и E_{s+1} двух видов (или подвидов, рисунок 4), взаимосвязанных множеством параллельных операций $X_s^{s+1}(N_s)$ за период проверки T .

Таблица 4 – Отношения соответствия множеств объектов учета и операций за период T (последовательная схема цехов, безвозвратные отходы)

Множество операций	Отношения соответствия множеств объектов E_{s-1} и E_s к множеству операций	
	соответствие уменьшения $r^{-(c)}$	соответствие увеличения $r^{+(c)}$
X_3 Получение сырья на производство	E_2 Сырье, отпущенное на производство за период T	E_3 Производство (цех 1)
$X_{4(1)}$ Выпуск полупродукта (цех 1)	E_2 Сырье, отпущенное на производство за период T	A_3 Полупродукт (цех 1)
$X_{4(2)}$ Списание сырья на отходы (цех 1)		B_3 Безвозвратные отходы (цех 1)
$X_{4(3)}$ Списание сырья на брак (цех 1)		C_3 Брак (цех 1)
$X_{4(4)}$ Инвентаризация сырья в незавершенном производстве (цех 1)		C_3 Незавершенное производство (цех 1)
X_4 Выпуск (оприходование) полупродукта	E_3 Производство (цех 1)	E_4 Производство (цех 2)
...	...	...
X_5 Выпуск готовой продукции	E_4 Производство (цех 2)	E_5 Готовая продукция

Вторая задача – определение эквивалентных и неэквивалентных подмножеств при отображении данных среднего уровня $x(n_s^{(c)})$ и $x(n_{s+1}^{(c)})$ множеств параллельно-последовательных операций $X_{s-1}^s(N_s)$ и $X_s^{s+1}(N_{s+1})$ двух видов (или подвидов, рисунок 5), между которыми существуют отношения соответствия к множеству объектов учета $E_s(N_s)$ за период проверки T .

Выводы:

1. Определены структурные элементы информационной модели предметной области: данные, характеризующие множества объектов и операций.

2. По функциональному назначению выделены два вида взаимосвязей между элементами предметной области среднего уровня, подчиненные правилам предпосылки, ко-

торые формализованы в виде графов отношений соответствия.

3. Сформированы функциональные структуры преобразований данных в виде последовательностей (многослойных графов) двух видов отображений. Первый – между множествами значений характеристик параллельно-последовательных операций, второй – между множествами значений характеристик взаимосвязанных объектов. Это позволило определить, что проверку предпосылки «Полнота» можно декомпозировать на проверку эквивалентности двух видов отображений, выделенных выше.

4. Выполнены постановки задач подсистемы аудита предпосылки среднего уровня ИТ СППР в виде задач определения эквивалентных и неэквивалентных подмножеств при двух видах отображений обобщенных показателей среднего уровня.

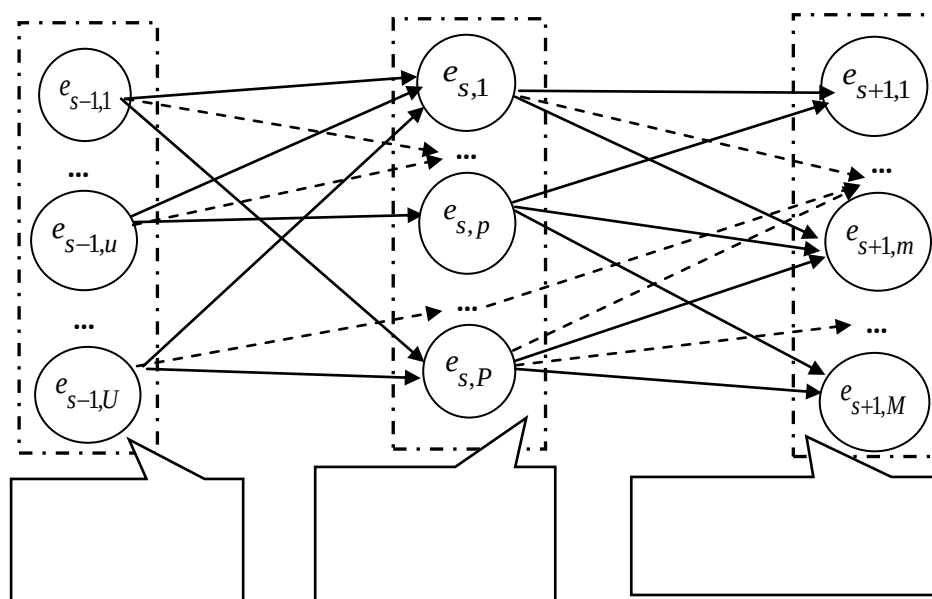


Рисунок 4 – Граф $G_4^{(c)}$ отображений данных множеств объектов учета по подвидам

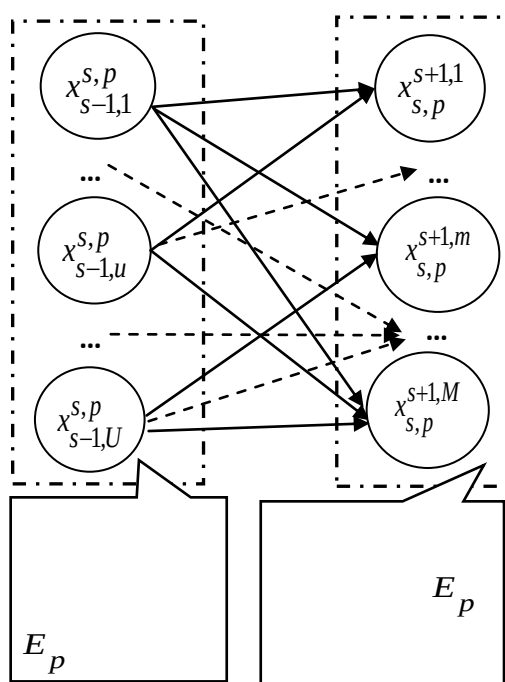


Рисунок 5 – Граф $G_5^{(c)}$ отображений данных множеств последовательно-параллельных операций за период T по подвидам (средний уровень)

Перспективы дальнейших исследований. Дальнейшие исследования предполагают разработку методик выявления эквивалентных и неэквивалентных множеств при отображениях. Это позволит решать задачи выявления проверки правил предпосылки «Полнота» данных множеств при отображе-

ниях 1-го типа: получено сырье – выпущен полупродукт, получен полупродукт – выпущена готовая продукция и 2-го типа: выпущен полупродукт – получен полупродукт, выпущена продукция – оприходована продукция.

Список использованных источников

- [1] Xinli Hu, "Effectiveness of information technology in reducing corruption in China", *Electronic Library*, vol. 33, iss. 1, pp. 52-64, 2015, doi: 10.1108 / el-11-2012-0148.
- [2] С. В. Ивахненко, *Информационные технологии аудита и внутрихозяйственного контроля в контексте мировой интеграции: монография*. Житомир: Рута, 2010.
- [3] E. Kirkos, C. Spathis, and Y. Manolopoulos, "Data mining techniques for the detection of fraudulent financial statement", *Expert Syst. Appl.*, vol. 32, iss. 4, pp. 995-1003.9, 2007.
- [4] J. Dai, and M. A. Vasarhelyi, "Imagineering Audit 4.0", *Journal of Emerging Technologies in Accounting*, no. 13 (1), pp. 1-15, 2016.
- [5] С. А. Яремко, та В. В. Коваленко, "Дослідження проблем впровадження сучасних інформаційних систем аудиту в контрольно-ревізійній діяльності", *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*, № 14, с. 179-182, Луцьк, 2014.
- [6] Jarrod West, M. Bhattacharya, and R. Islam, "Intelligent financial fraud detection practices: a comprehensive review", *Computers & Security*, vol. 57, pp. 47-66, 2016, doi: 10.1007 / 978-3-319-23802-9_16

- [7] Chi-Chen Lin, An-An Chiu, Shaio Yan Huang, and David C. Yen., "Detecting the financial statement fraud: the analysis of the differences between data mining techniques and experts' judgments", *Knowledge-Based Systems*, no. 89, pp. 459-470, 2015, doi: 10.1016/j.knosys.2015.08.011.
- [8] A. Mohiuddin, Abdun Mahmooda, and Islam Rafiqul, "A survey of anomaly detection techniques in financial domain", *Future Generation Computer Systems*, no. 55, pp. 278-288, 2016, doi: 10.1016/j.future.2015.01.001.
- [9] А. Бююль, и П. Цёфель, *SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей*: пер. с нем. СПб: ДиаСофтЮП, 2005.
- [10] М. З. Згуровский, и Н. Д. Панкратова, *Системный анализ: Методология. Проблемы. Приложения*: монография. 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Наук. думка, 2016.
- [11] Е. А. Андренко, и С. М. Мордовцев, "Методика атрибутивного выборочного исследования в аудите", *Бизнес Информ*, № 2, с. 200-203, 2013.
- [12] Т. В. Нескорородева, "Правила и составные части методики обобщенно-множественного отображения информации в подсистеме аналитического учета СППР аудита верхнего уровня", *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології, № 55 (1276), с. 31-38, Харків: НТУ «ХПІ», 2017.
- [13] Т. В. Нескорородева, "Постановка элементарных задач аудиту передумови положень бухгалтерського обліку в інформаційній технології системи підтримки рішень", *Сучасні інформаційні системи*, т. 3, № 1, с. 48-54, 2019. ISSN 25522 9052, doi: 10.20998/2522-9052.2019.1.08.
- [3] E. Kirkos, C. Spathis, and Y. Manolopoulos, "Data mining techniques for the detection of fraudulent financial statement", *Expert Syst. Appl.*, vol. 32, iss. 4, pp. 995-1003.9, 2007.
- [4] J. Dai, and M. A. Vasarhelyi, "Imagineering Audit 4.0", *Journal of Emerging Technologies in Accounting*, no. 13 (1), pp. 1-15, 2016.
- [5] S. A. Jaremko, and V. V. Kovalenko, "Investigation of the problems of implementation of modern information audit systems in the control and audit activity", *Komp'yuterno-integhrovani tekhnologhiji: osvita, nauka, vyrobnyctvo*, no. 14, pp. 179-182, Lucjk, 2014 [in Ukrainian].
- [6] Jarrod West, M. Bhattacharya, and R. Islam, "Intelligent financial fraud detection practices: a comprehensive review", *Computers & Security*, vol. 57, pp. 47-66, 2016, doi: 10.1007 / 978-3-319-23802-9_16
- [7] Chi-Chen Lin, An-An Chiu, Shaio Yan Huang, and David C. Yen., "Detecting the financial statement fraud: the analysis of the differences between data mining techniques and experts' judgments", *Knowledge-Based Systems*, no. 89, pp. 459-470, 2015, doi: 10.1016/j.knosys.2015.08.011.
- [8] A. Mohiuddin, Abdun Mahmooda, and Islam Rafiqul, "A survey of anomaly detection techniques in financial domain", *Future Generation Computer Systems*, no. 55, pp. 278-288, 2016, doi: 10.1016/j.future.2015.01.001.
- [9] A. Bjujulj, and P. Čěfelj, *SPSS: The art of information processing. Analysis of statistical data and restoration of hidden patterns*: transl. from German. St. Petersburg: DiaSoftJuP, 2005 [in Russian].
- [10] M. Z. Zhurovs'ky, and N. D. Pankratova, *System analysis: Methodology. Problems. Applications*: monograph. 2nd ed., revised and suppl. Kiev: Nauk. dumka, 2016 [in Russian].
- [11] E. A. Andrenko, and S. M. Mordovtsev, "Methods of attributive sampling research in audit", *Biznes Inform*, no. 2, pp. 200-203, 2013 [in Russian].
- [12] T. B. Neskoroдеva, "Rules and components of the method of generalized-multiple display of information in the express analysis subsystem of the audit decision support system", *Visnyk NTU «KhPI»*. Serija: Systemnyj analiz, upravlinnja ta informacijni tekhnologhiji, no. 55 (1276), pp. 31-38, Kharkiv: NTU «KhPI», 2017 [in Russian].

References

- [1] Xinli Hu, "Effectiveness of information technology in reducing corruption in China", *Electronic Library*, vol. 33, iss. 1, pp. 52-64, 2015, doi: 10.1108 / el-11-2012-0148.
- [2] S. V. Ivakhnenkov, *Information technologies of the audit and internal control in the context of world integration*: monograph. Zhitomir: Ruta, 2010 [in Russian].

- [13] T. B. Neskorođeva, "Formulation of elementary audit tasks of accounting provisions prerequisite in information technology of decision support system", *Su-chasni informacijni systemy*, vol. 3, no. 1, pp. 48-54, 2019 [in Ukrainian]. ISSN 25522 9052, doi: 10.20998/2522-9052.2019.1.08.

T. V. Neskorođieva, Ph. D., associate professor, head of the department
e-mail: t.neskorođieva@donnu.edu.ua
Vasyl Stus Donetsk National University
600-richya str., 21, Vinnytsia, Ukraine

STATEMENT OF TASKS OF THE PREREQUISITE AUDIT SUBSYSTEM AT IT DSS MIDDLE LEVEL

Currently, an urgent scientific and technical problem of information technologies in financial and economic sphere consists in the automation of the analysis of large amounts of financial and economic information data of enterprises stored and received online in the database of local and global computer systems in order to formulate recommendations for decision-making during audits. In previous works the author formed a methodology for generalized-multiple data display in the express audit subsystem of the prerequisite "Correspondence of expenses and income" at the middle level. In the case of identifying nonequivalent subsets of data, the system switches (through the decision maker) to the audit subsystem "Completeness". To implement this technique, when checking the prerequisite "Completeness", it is necessary to present the functional structure of data transformations of the middle level in the form of sequences of mappings of sets and distinguish subtasks.

The article considers the problem of setting objectives for audit subsystems of the prerequisites of the Regulations (standards) of accounting at IT DSS as components of the generalized-multiple display of information. Two types of structural elements of mid-level audit that are invariant with respect to the characteristics of the enterprise are distinguished: sets of objects and operations. This allows to determine structural elements of the information model of the subject area: data characterizing sets of objects and data characterizing sets of operations. Two types of relationships between the elements of the subject area which subject to the rules of the prerequisite, formalized in the form of graphs of relationships, are determined. The first one is between two sets of series-parallel operations, the second one is between two sets of objects interconnected by a set of parallel operations. This makes possible to present the functional structure of data sets transformations in the form of a sequence of mappings, subject to the rules of the prerequisite.

Two types of mappings according to their functional purpose are distinguished. The first one characterizes the data transformation at the accounting subsystem for objects set. The second one characterizes the data transformation during data transfer between subsystems. The functional features of accounting for the relationships forming the display data are determined. Two types of elementary sub-tasks of the audit of the prerequisite are distinguished. This allows to decompose the task of automating the prerequisite verification into the problems of checking the equivalence of two types of mappings.

Further studies suggest the development of techniques for identifying nonequivalent data sets with appropriate mappings. This will allow to solve the problem of identifying inconsistencies in these sets in type 1 mappings: raw materials obtained – semi-finished products obtained, semi-finished products obtained – finished products produced; and in type 2 mappings: semi-finished products released – semi-finished products received, finished products released – finished goods capitalized.

Keywords: audit task statement, information technology; audit DSS; sets mapping; middle level.

Т. В. Нескородєва, к.т.н., доцент, зав. кафедри
e-mail: t.neskorodieva@donnu.edu.ua

Донецький національний університет імені Василя Стуса
вул. 600-річчя, 21, м. Вінниця, 21027, Україна

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ПІДСИСТЕМИ АУДИТУ ПЕРЕДУМОВИ СЕРЕДНЬОГО РІВНЯ ІТ СППР

Нині актуальною науково-технічною проблемою інформаційних технологій у фінансово-економічній сфері є автоматизація аналізу великих обсягів даних фінансово-економічної інформації підприємств, що зберігаються та надходять у бази даних локальних та глобальних комп'ютерних систем з метою сформулювати рекомендації щодо прийняття рішень під час аудиту. У попередніх роботах автора сформовано методику узагальнено-множинного відображення даних у підсистемі експрес-аудиту передумови «Відповідність витрат та доходів» на середньому рівні. У разі виявлення нееквівалентних підмножин даних система переходить у підсистему аудиту «Повнота». Для реалізації цієї методики при перевірці передумови «Повноти» необхідно представити функціональну структуру перетворень даних середнього рівня у вигляді послідовностей відображень множин та виділити підзадачі.

У статті розглядається проблема постановки задач підсистеми аудиту передумов Положення (стандартів) бухгалтерського обліку в ІТ СППР як складових методики узагальнено-множинного відображення інформації. Виокремлено два типи структурних елементів аудиту середнього рівня, які є інваріантними щодо характеристик підприємства: множини об'єктів та операцій. Це дозволило визначити структурні елементи інформаційної моделі предметної області: дані, що характеризують множини об'єктів, і дані, що характеризують множини операцій. Визначено два типи зв'язків, між елементами предметної області, що підпадають під дію правил передумови, які формалізуються у вигляді графіків відносин. Перший – між двома множинами паралельно-послідовних операцій, другий – між двома множинами об'єктів, що перетворюються внаслідок множини паралельних операцій. Це дало можливість представити функціональну структуру перетворень наборів даних у вигляді послідовності відображень, що підпорядковуються правилам передумови.

Виділено два типи відображень за їх функціональним призначенням. Перший із них характеризує перетворення даних у підсистемі обліку об'єктів. Другий характеризує перетворення даних під час передачі між підсистемами. Виділено два типи елементарних підзадач аудиту передумови. Це дає можливість декомпонувати задачу автоматизації перевірки передумови на задачі перевірки еквівалентності двох типів відображень.

Подальші дослідження передбачають розробку методики ідентифікації нееквівалентних множин даних при відображеннях. Це дозволить нам вирішити проблему виявлення невідповідностей цих наборів у відображеннях типу 1: отримана сировина – отримані напівфабрикати, отримані напівфабрикати – вироблена готова продукція; та відображеннях типу 2: випущені напівфабрикати – отримані напівфабрикати, готова продукція випущена – готова продукція капіталізується.

Ключові слова: постановка задачі аудиту, інформаційна технологія; СППР аудиту; відображення множин; середній рівень.

[0000-0002-2722-7964] **К. В. Колесніков**, к.т.н., доцент,
e-mail: k.kolesnikov@chdtu.edu.ua

Д. В. Замосенчук, студент,

В. В. Федонюк, студент

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТОМ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ON-LINE КОМПЛЕКСУ WRIKE

У статті проводиться аналіз сучасних умов праці працівників сфери інформаційних технологій, а саме – визначено недоліки роботи в розгалужених (віртуальних) командах. Подається варіант програмного продукту, який має на меті поліпшити співпрацю фахівців. Це програмне забезпечення завоювало безліч нагород і продовжує свій розвиток. Воно пропонує широкий набір інструментів для управління проектами, а також створює і призначає завдання співробітникам, групує завдання за проектами, контролює їх виконання і здійснює логування витраченого часу.

Ключові слова: віртуальні команди, управління проектами, програмне забезпечення, потреби бізнесу, інтерфейс, проектний комплекс, користувачі.

Вступ. З розвитком мережі Інтернет істотно змінився спосіб комунікації між людьми. Якщо раніше для роботи над якоюсь спільною справою необхідно було перебувати поруч (в одній кімнаті, будівлі тощо), то нині члени однієї групи можуть знаходитися навіть у різних точках земної кулі. Цим активно користуються багато компаній: можна не орендувати дорогі офіси, а всі співробітники працюють віддалено у себе вдома. І найголовніше – ефективність роботи анітрохи не страждає.

У глобальному світі сучасної економіки, де аутсорсинг є звичайною справою й Інтернет дає можливість працювати практично з будь-якого місця планети, для компанії є прийнятною практикою, коли більша частина її співробітників знаходиться в різних місцях за межами головного офісу.

Зокрема в галузі інформаційних технологій і розробок програмного забезпечення різні вакансії часто заповнені позаштатними працівниками – фрілансерами. Фахівці можуть перебувати в різних країнах, але при цьому працювати над одним проектом. Організація зустрічей, підсумкових нарад або просто спілкування з лідером проекту стає завданням, яке треба подолати.

Важливою особливістю віртуальних проектних організацій є зміна умов роботи персоналу. Оскільки головним активом такої організації є інтелектуальний капітал, її

фахівці можуть працювати в будь-якому зручному для них місці: в офісі, вдома, в готелі і навіть на борту літака. Для виконання роботи їм достатньо ноутбука або планшета і стільникового телефону, а нині практично з будь-якого регіону планети можна підключитися до корпоративних баз даних і до мережі «Екстранет» – системи, що включає не тільки організаційні мережеві ресурси, а й ресурси постачальників і покупців.

Команди фахівців, які входять у віртуальну організацію, можуть злагоджено працювати над проектом. У цьому випадку робота над проектом може здійснюватися безперервно, протягом 24 годин. Єдина вимога: всі мережеві з'єднання повинні бути надійними і мати достатню швидкість.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Як зазначається в [5], у віртуальних командах існує декілька проблем у роботі: психологічні, комунікаційні та проблеми контролю.

У статті [8] також зазначено одну з проблем: погана системна інтеграція у сучасному бізнесі. Для підприємств, що використовують рішення старого бізнес-процесу або, що ще гірше, взагалі не мають необхідних рішень, все це може призвести до вкрай негативних наслідків.

Також у [8] відзначається що і звичайним підприємствам для збереження бізнесу в сучасних умовах треба

трансформуватися та залучати більше цифрових технологій.

Джон Марканте, CIO Vanguard, також зазначає це: «Подивіться на S&P 500. Сьогодні компанії замінюють S&P приблизно кожні два тижні. Технологія призвела до цього зрушення, і компанії, які хочуть досягти успіху, повинні зрозуміти, як злити технологію зі стратегією» [6].

Відмічається, що працівники витрачають лише 2,8 годин робочого часу для ефективної роботи [7]. Також вони витрачають 40,1 % свого робочого часу на багатозадачність за допомогою засобів комунікації.

Ще один факт, який було виявлено під час дослідження – середній співробітник відвідує до 62 нарад за місяць. 37 % із цих нарад абсолютно не мають користі [9].

За результатами проведеного в 2018 р. опитування [10] американських фахівців, які працюють на повній ставці, 49 % респондентів заявили про проблеми з пошуком документів, необхідних їм для роботи. Інше дослідження [11] показало, що 86 % респондентів вважають причиною зриву робочих проектів відсутність взаємодії і неефективний обмін інформацією.

Метою статті є дослідження проектувального комплексу Wrike під час використання в розгалужених командах.

Виклад основного матеріалу. Одним із найкращих на сьогодні рішень для управління завданнями і організації роботи команди як в офісі, так і віддалено є сервіс Wrike. Він доступний 24 години на добу з будь-якого браузера, де б користувач не знаходився.

Система отримала безліч позитивних відгуків користувачів, а також цілий ряд нагород [2].

Якщо описати Wrike у кількох словах, то він дає можливість: створювати і призначати завдання співробітникам, групувати завдання за проектами, стежити за їх виконанням, враховувати робочий час, створювати звіти та ін. Головна мета при цьому – спростити спілкування всередині команди і між відділами, позбавити від плутанини і допомогти якісно виконати всю роботу в строк.

Wrike працює як інтернет-сервіс за моделлю щомісячної плати за користування. Невелика команда до п'яти осіб може як завгодно довго користуватися базовими

функціями сервісу безкоштовно на тарифі Basic. Найбільшим колективам пропонуються платні тарифи з додатковим функціоналом: Professional, Business, Marketing і Enterprise. Оплата відбувається раз на рік, а вартість розраховується з кількості користувачів – від \$9,80 за людину в місяць. Однак будь-який платний тариф можна безкоштовно випробувувати два тижні.

У Wrike існують три типи користувальницьких ліцензій: гостьові користувачі, зовнішні користувачі і звичайні користувачі. Користувачі кожного типу мають різні можливості. Звичайні і зовнішні користувачі: їх кількість оплачується. Можлива кількість звичайних або зовнішніх користувачів залежить від того, яку кількість користувачів включено в план підписки.

Гостьові користувачі не оплачуються, але кількість гостьових користувачів, яких можна запросити в свій акаунт, обмежена.

Можна використовувати рівні доступу до папок, щоб обмежити права звичайних або зовнішніх користувачів на рівні папки або проекту.

Звичайні користувачі можуть використовувати всі можливості робочого простору, крім адміністраторських.

Зовнішні користувачі мають права, подібні до прав звичайних користувачів, але не можуть відкривати доступ до завдань, папок і проектів; вони також не входять до групи «Моя команда». Зовнішні користувачі бачать контактну інформацію тільки тих людей, з якими вони працюють над спільними завданнями, папками та проектами.

Можливості гостьових користувачів у робочому просторі обмежені. Цей тип ліцензії зручно використовувати при наданні партнерам, клієнтам і підрядникам доступу до планів проектів. Гостьові користувачі бачать імена і зображення користувачів, з якими вони працюють над спільними завданнями, папками та проектами, але контактна інформація від них закрита.

Можливості користувачів залежно від ліцензій наведено в таблиці 1.

В системі управління проектами Wrike три найголовніші сутності: папки, проекти і завдання [1].

Завдання (не обов'язково, але заради порядку) рекомендується прикріплювати до папок або проектів, можна навіть до кількох (рисунком 1).

Таблиця 1 – Можливості користувачів

Можливості	Звичайний користувач	Зовнішній користувач	Гостьовий користувач
Доступ до звітів Wrike	+	-	-
Надання доступу до завдань, папок і проектів	+	-	-
Вхід у групу «Моя команда»	+	-	-
Запрошення нових учасників у команду	+	-	-
Зміна полів описів і дат початку / закінчення	+	+	-
Доступ до панелі завдань і графіка робочого завантаження	+	+	-
Створення та видалення нових завдань, папок і проектів	+	+	-
Облік часу за допомогою таймера	+	+	-
Створення і зміна полів, що настроюються, і їх значень	+	+	-
Призначення завдань	+	+ (тільки тим користувачам, у яких вже є доступ до задачі)	-
Отримання доступу до завдань, використовуючи списки, таблиці, діаграми Ганта і стрічки новин	+	+	+
Доступ до розділів «Моя робота» і «Вхідні»	+	+	+
Перегляд завдань, папок і проектів, до яких у користувача є доступ	+	+	+
Коментування завдань, папок і проектів	+	+	+
Прикріплення файлів до завдань, папок і проектів	+	+	+
Зміна статусу завдання	+	+	+
Здійснення запиту	+	+	+
Перегляд полів, що настроюються, і їх вмісту	+	+	+

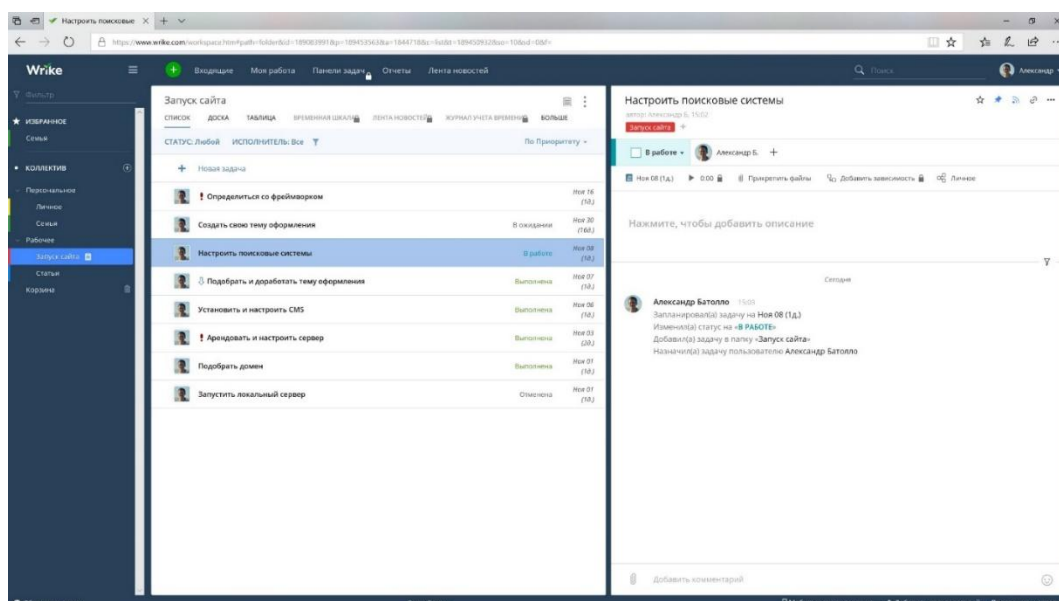


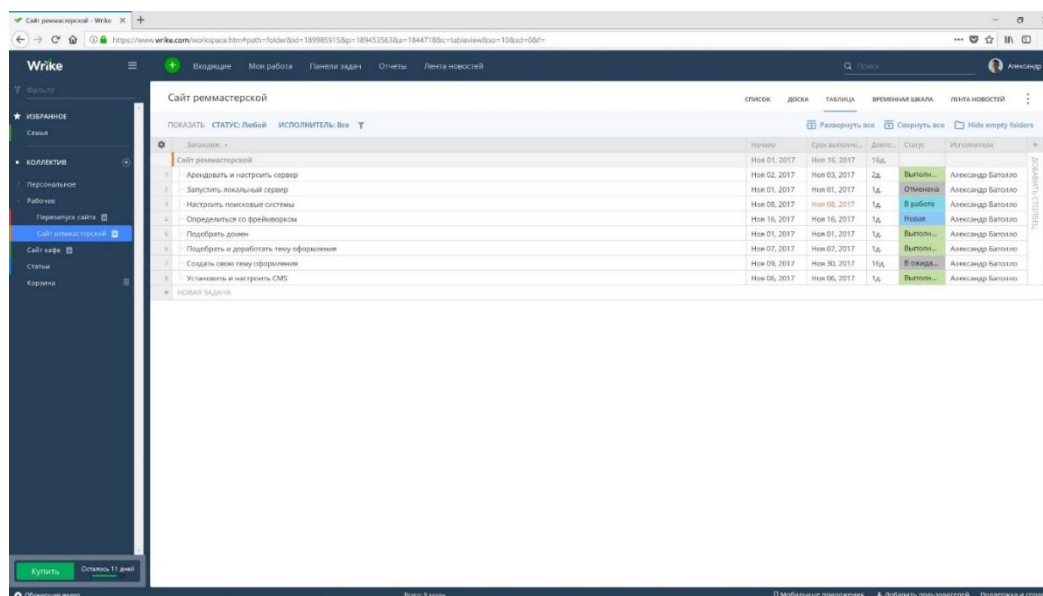
Рисунок 1 – Приклад вертикального списка завдань в інтерфейсі Wrike

Папка і проект – це практично одне і те саме. У них можна вкладати ще папки та проекти (хоча не більше одного рівня вкладеності на безкоштовному тарифі). При цьому одна і та ж папка або проект може перебувати в кількох місцях одночасно. Відмінність проекту в тому, що йому можна присвоїти власника і позначити точні терміни початку і кінця. Однак у будь-який момент проект можна перетворити в папку, і навпаки.

Доступ до проектів, папок і завдань можна залишити приватним, видати окремим користувачам, одній (або декільком) групам

користувачів або для всієї запрошеної команди.

Найважливіший атрибут завдання – це його статус: нове, в роботі, виконане, в очікуванні і скасоване. Текстові описи завдань можна редагувати одночасно з іншими людьми, в реальному часі спостерігаючи за їх правками в тому ж полі, а після редагування можна подивитися щосекундну історію змін і відкотити (скасувати) редагування (рисунок 2). Підтримуються і вкладені файли: на тарифі Basic під це відведено 2 ГБ, на платних тарифах – значно більше.



The screenshot shows the Wrike web interface for a project named 'Сайт реммастерской'. On the left is a sidebar with navigation options like 'Видеоредактор', 'Моя работа', 'Панель задач', 'Отчеты', and 'Лента новостей'. The main area displays a task list with columns for 'Зависимость', 'Статус', 'Исполнитель', 'Дата', and 'Детали'. The tasks are numbered 1 through 6, each with a description, a start date, an end date, a duration, and a status. The status column shows various icons representing task states like 'В работе' (In progress), 'В ожидании' (Waiting), 'В архиве' (Archived), and 'В отмене' (Cancelled). The 'Исполнитель' column lists the assigned user, 'Александр Батололо'.

Зависимость	Статус	Исполнитель	Дата	Детали
1. Архивировать и настроить сервер	В работе	Александр Батололо	Ноя 01, 2017	Ноя 16, 2017, 15д.
2. Запустить локальный сервер	В работе	Александр Батололо	Ноя 02, 2017	Ноя 03, 2017, 2д.
3. Настроить поисковые системы	В работе	Александр Батололо	Ноя 01, 2017	Ноя 03, 2017, 1д.
4. Определиться со фреймворком	В работе	Александр Батололо	Ноя 16, 2017	Ноя 16, 2017, 1д.
5. Подобрать дизайн	В работе	Александр Батололо	Ноя 01, 2017	Ноя 01, 2017, 1д.
6. Подобрать и доработать тему оформления	В работе	Александр Батололо	Ноя 02, 2017	Ноя 02, 2017, 1д.
7. Создать свою тему оформления	В ожидании	Александр Батололо	Ноя 09, 2017	Ноя 30, 2017, 15д.
8. Установить и настроить CMS	В ожидании	Александр Батололо	Ноя 06, 2017	Ноя 06, 2017, 1д.

Рисунок 2 – Таблица завдань за проектом у системі Wrike

За замовчуванням завдання не мають тривалості. На кожне з них можна вибрати «сьогодні», «завтра» або «на наст. тижні», а можна і вручну виділити конкретні дати в календарі. Для більшої точності можна вказати і конкретну кількість годин і хвилин. Якщо цього не зробити – система буде округляти час до доби [3].

На тарифах Business і Enterprise час виконання можна відстежувати ще й за таймером: для цього потрібно просто натиснути на відповідну кнопку на початку і в кінці роботи. Якщо однотипних завдань багато, то, засікаючи час на одне, можна грубо прикинути, скільки його піде відразу на кілька таких же завдань.

Ще одна цікава функція на платних тарифах – підзадачі. Вони нічим не відрізняються від завдань, крім того, що мають «батька»: у підзадач незалежний статус

і термін, який може навіть відрізнятися від батьківського завдання. Будь-яку з підзадач можна конвертувати в повноцінне завдання, і навпаки.

Постановник завдання – один, але виконавців йому можна призначити будь-яку кількість. Завдання можна ставити і самому собі.

Властивості проекту можна переглядати і змінювати в області інформації про проект. Якщо вибрати потрібний проект у дереві проектів 1, то автоматично з'явиться панель з інформацією 2 про цей проект.

Тут можна переглядати та змінювати наступні параметри проекту (рисунок 3). Атрибут «Власники» використовується для позначення осіб, відповідальних за проект. При додаванні користувача як власника проекту:

- адміністратор завжди має доступ до проекту, якщо він не був йому наданий до цього;
- користувач отримує повідомлення на електронну пошту, якщо у нього встановлені відповідні налаштування повідомлень;

- у проектній стрічці новин публікується відповідний запис;
- в полі Owners (Власники) з'явиться фотографія користувача, який є власником проекту (рисунок 4).

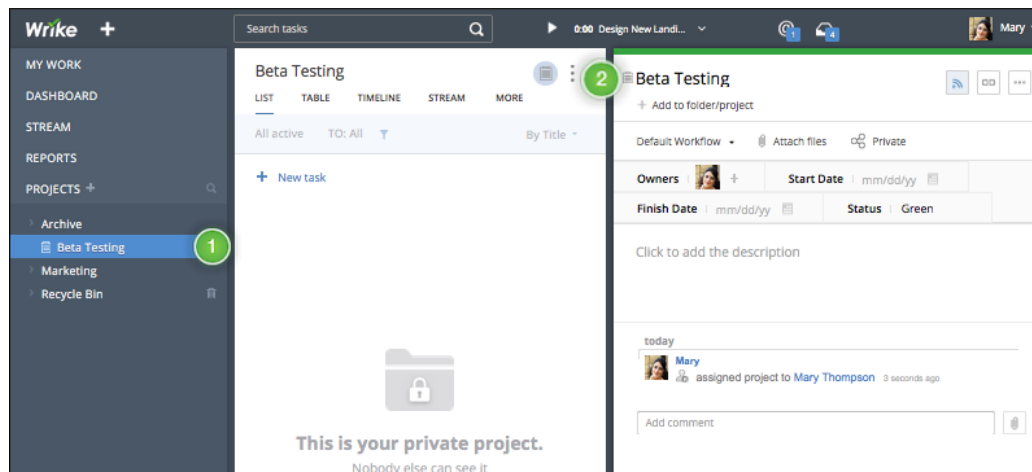


Рисунок 3 – Вибір параметрів проекту

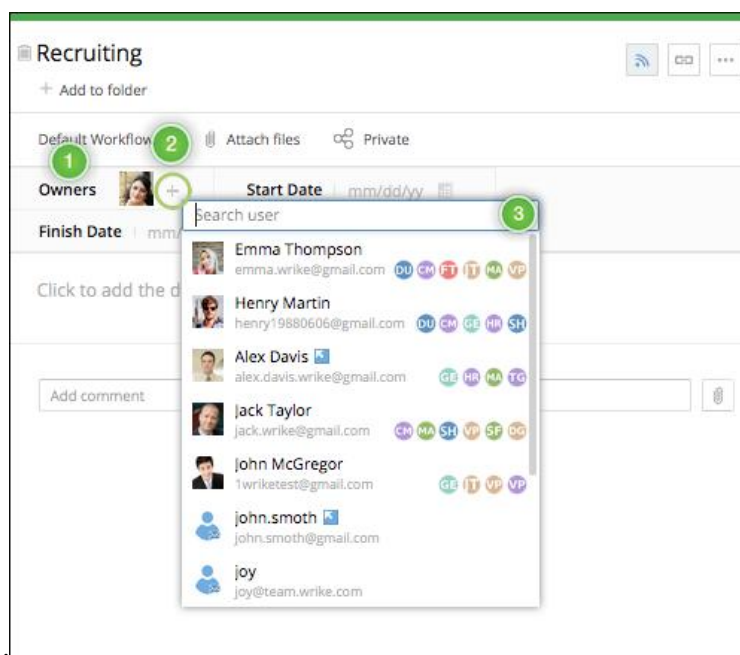


Рисунок 4 – Власник

Статуси проекту 1 використовуються для отримання інформації про хід виконання проекту. У міру виконання проекту його статус можна змінити на один із статусів за замовчуванням 2.

Для акаунтів, створених до початку роботи, доступні шість варіантів статусу:

- Green (Зелений): проект виконується згідно з планом і закінчиться в установленний термін;
- Yellow (Жовтий): були невеликі затримки, які можуть відбитися на терміні завершення проекту;
- Red (Червоний): проект відстає від графіка і не може бути виконаний в строк;

• On-hold (Зупинено): проект призупинено;
 • Cancelled (Скасовано): проект скасовано;
 • Completed (Завершено): проект завершено.

Для акаунтів, створених після початку роботи:

• Новий: для новостворених проектів, які власник збирається виконати, але ще не почав роботу;

• У роботі: для проектів, над якими в даний момент ведеться робота;

• Виконано: для проектів, які вже завершені;

• В очікуванні: для проектів, які відкладені або тимчасово припинені. Проектам може бути присвоєно статус «В очікуванні», навіть якщо у них є заплановані дати початку і закінчення;

• Скасовано: для проектів, які більше не важливі або не вимагають завершення.

Можна задати дату початку проекту 3, щоб забезпечити єдиний контекст і узгоджену роботу всієї команди. Для додавання початкової дати клацніть у полі поруч з написом «Дата початку» і введіть дату.

Пакет вказує, коли проект має бути завершений. Для додавання кінцевої дати 4 клацніть у полі поруч з написом «Дата закінчення» і введіть дату (рисунок 5).

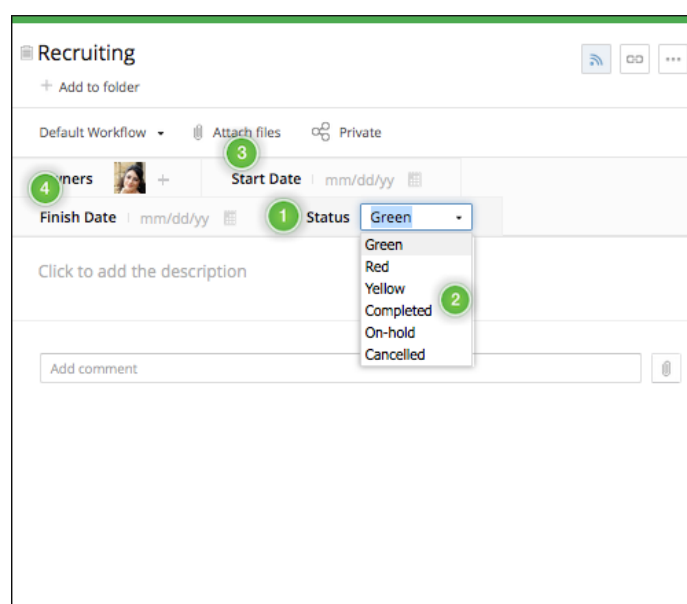


Рисунок 5 – Статуси, Дата початку, Дата закінчення

Опис і коментарі дають змогу ділитися інформацією з командою і стежити за ходом проекту. Поле опису являє собою редактор у режимі реального часу, де можна вводити і оновлювати ключові відомості про проект, а розділ коментарів відмінно підходить для того, щоб поставити запитання або привернути увагу конкретного співробітника, вказавши його тег у коментарі.

Робочий процес проекту 1 використовується як робочий процес за замовчуванням для всіх нових завдань, що створюються в проекті. Всі користувачі акаунтів Wrike Free і Wrike Professional будуть використовувати робочий процес за замовчуванням, а користувачі Wrike Business і Wrike Enterprise

можуть замінити його на будь-який із параметрів робочих процесів.

Прикріплення файлів 2 безпосередньо до проекту помітно полегшує пошук цих файлів і доступ до них. Щоб прикріпити файл, треба натиснути «Прикріпити файли» і обрати місце, звідки слід взяти файл (комп'ютер користувача або одну з підтримуваних хмарних платформ). Відкриється спливаюче вікно 3, де можна вибрати потрібний файл.

Аналогічно до папок із завданням, проекти можуть бути особистими або загальнодоступними.

Коли створено папки, підпапки та проект, наступним кроком є налаштування завдань проекту та підзадач, якщо це необхідно (рисунок 6). На головному екрані

(праворуч) натисніть кнопку «Нове завдання» (1) і введіть назву кожного завдання, яке створюється. Завдання можуть бути відсортовані за пріоритетом, і є функція натискання та перетягування, яка може використовуватися для переміщення порядку виконання завдань. Особливістю проектів

Wrike є можливість перегляду проектів як списків, таблиць (Kanban), тимчасових графіків, потоків, часових графіків, робочих навантажень і навіть перегляду аналітики проекту (коли проект розпочався та інформація доступна).

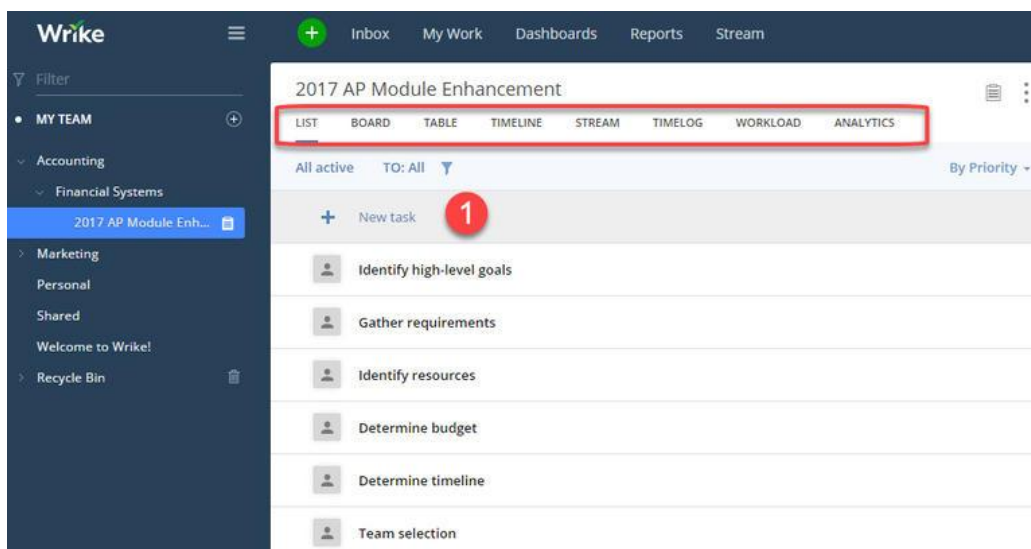


Рисунок 6 – Створення нового завдання

Наведемо короткий огляд кожного з доступних переглядів проекту. Перегляд таблиці, що використовується для команд, які працюють з фреймворком Kanban, зображено

на рисунку 7, а подання часової шкали або діаграми Ганта, де команди можуть бачити критичний шлях, – на рисунку 8.

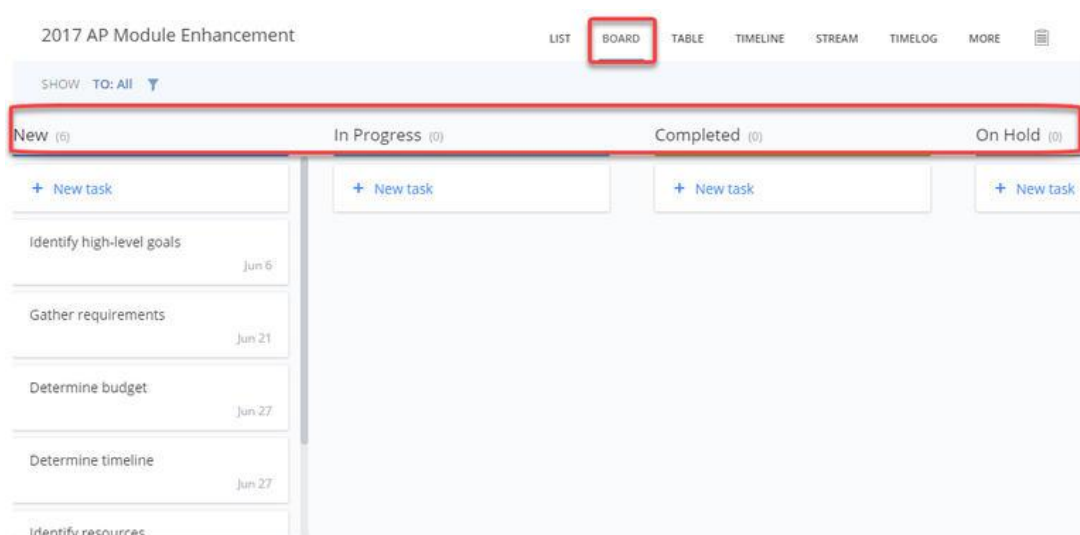


Рисунок 7 – Kanban таблиця

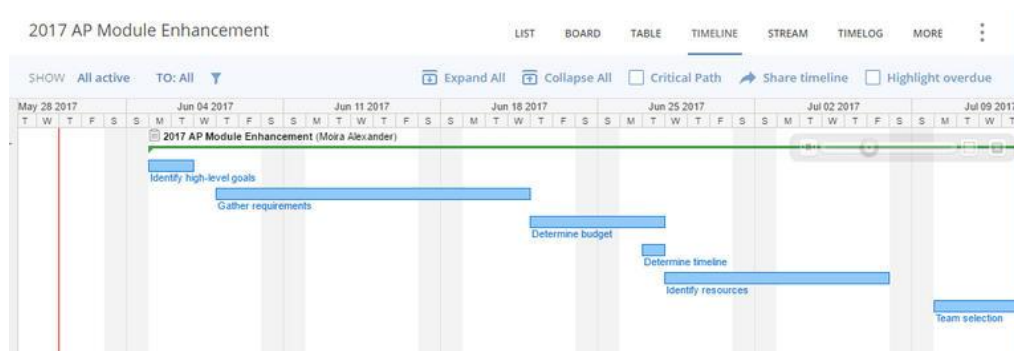


Рисунок 8 – Діаграма Ганта

Перегляд потоку дає можливість членам команди фільтрувати, що саме вони хочуть бачити і в якому об'ємі (рисунок 9).

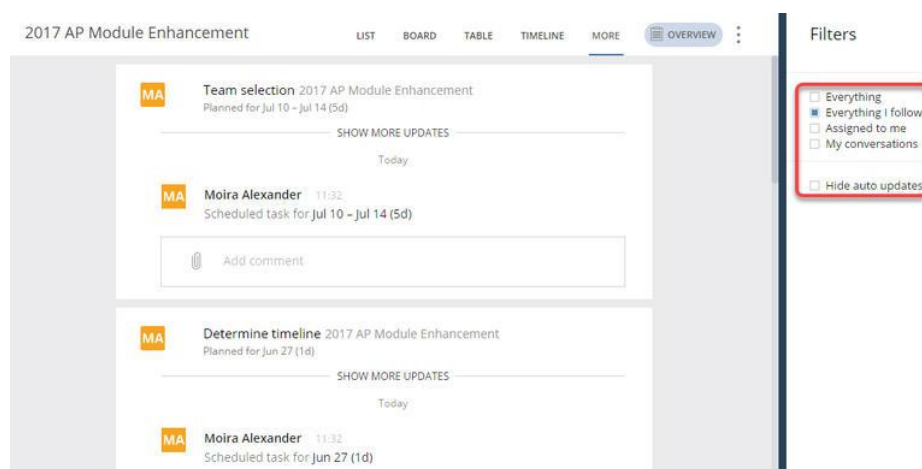


Рисунок 9 – Застосування фільтрів

Вигляд робочого навантаження дає можливість переглядати робоче навантаження проекту на основі статусу (A), використовувати спеціальні фільтри (B) або показувати повне навантаження, виділяти запізнілу роботу та показувати резервне копіювання (C) (рисунок 10) [4].

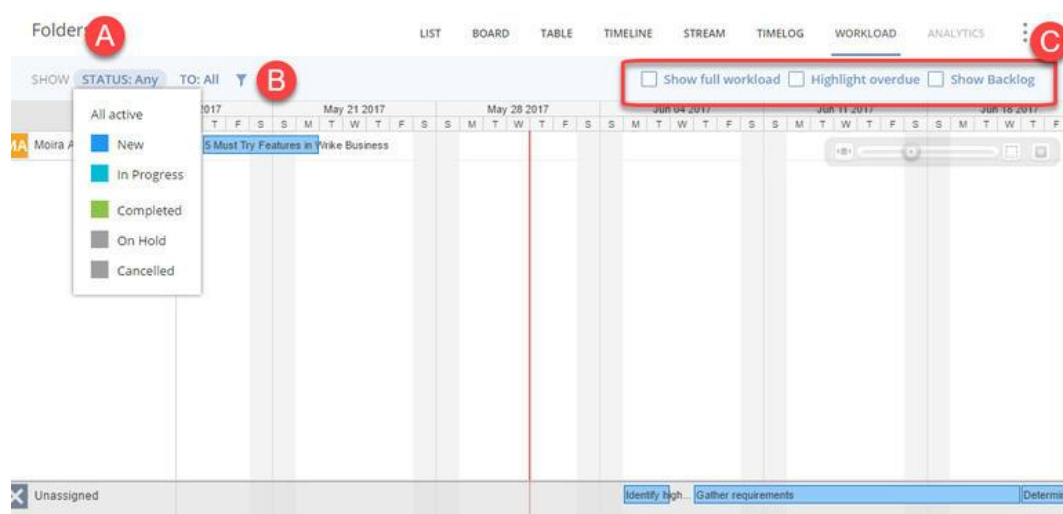


Рисунок 10 – Логування часу

Для кожного завдання можна також створювати підзадачі для великих проектів, а для будь-якого завдання або підзадачі:

- 1) додавати правонаступників;
- 2) встановити дату початку та закінчення, додати записи часу, додати

підзадачі, приєднати файли, додати залежності та поділитися інформацією про завдання з іншими;

- 3) додати докладні описи завдання;
- 4) додати файли і смайлики (рисунок 11).

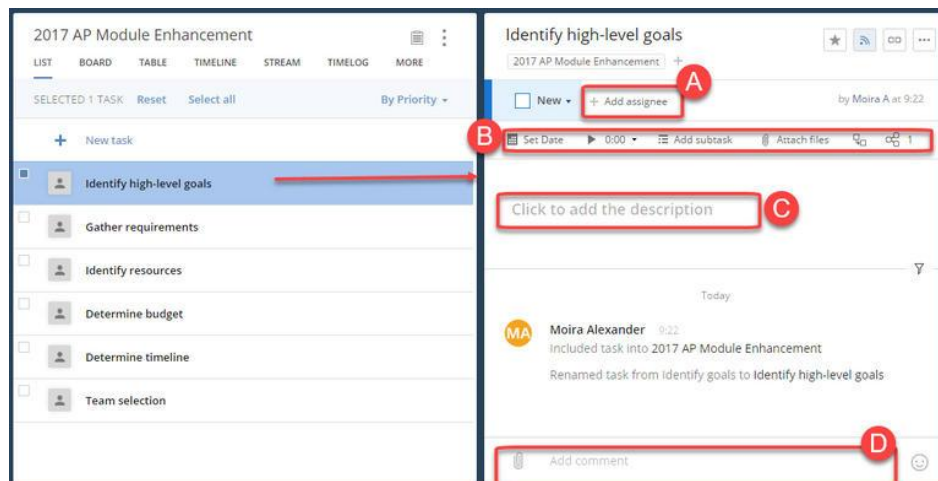


Рисунок 11 – Додаткові опції

Висновки. В роботі проаналізовано сучасні умови праці працівників сфери інформаційних технологій, зокрема наведено недоліки роботи в розгалужених (віртуальних) командах. Результатом аналізу став вибір програмного продукту, який має на меті поліпшити співпрацю співробітників, покращити контроль за виконанням завдань, а також логування витраченого часу. Пакет програмного забезпечення Wrike допомагає застосувати найефективніші методи управління проектами на рівні всієї команди, роблячи взаємодію абсолютно прозорою. Згідно з відгуками про роботу в компанії Wrike команда використовує власний сервіс, що є важливим аргументом на користь його зручності.

Переваги Wrike:

- економія часу;
- простий і зрозумілий інтерфейс, немає нічого зайвого;
- багатомовність;
- інтегрується з Android і iOS app, Github, Jira, Google Drive, Google Chrome, Email, Dropbox, Excel, Evernote, WordPress, slack, Zendesk, Linkedin і ще з купою платформ;
- є історія виконання кожного завдання;
- документування всього листування і ведення завдань;

- мобільний додаток;
- відстеження дедлайнів;
- безкоштовна версія для команд до п'яти користувачів з базовими функціями проект-менеджменту.

Недоліки Wrike:

- продукт є платним, потребує додаткових витрат;
- чиста система управління проектами, без CRM;
- відсутня система обліку фінансів.

Список використаних джерел

- [1] Сайт Wrike. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.wrike.com/>
- [2] Wrike tour: an overview of features, pricing and awards. [Online]. Available: <https://financesonline.com/wrike-tour-overview-of-features-pricing-awards/>
- [3] A beginner's guide to Wrike. [Online]. Available: <https://unito.io/blog/a-beginners-guide-to-wrike/>
- [4] Wrike time tracking. [Online]. Available: <https://www.timedoctor.com/wrike.html>
- [5] А. Т. Зуб, *Управление проектами: учебник и практикум для академ. бакалавриата*. Москва: Юрайт, 2019.
- [6] The state of Work Life Balance in 2019: what we learned from studying 185 million

- hours of working time. [Online]. Available: <https://blog.rescuetime.com/work-life-balance-study-2019/>
- [7] 5 ways your business processes could be hurting your business. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/jeffboss/2016/11/01/5-ways-your-business-processes-could-be-hurting-your-business/#68e0a01552e9>
- [8] What is digital transformation? [Online]. Available: <https://enterpriseproject.com/what-is-digital-transformation>
- [9] The curse of the one-hour meeting. [Online]. Available: <https://www.goaskcody.com/blog/infographic-a-one-hour-meeting-is-never-just-a-one-hour-meeting>
- [10] Definitive guide to America's most broken processes. [Online]. Available: <https://info.nintex.com/rs/272-JVS-996/images/Nintex%20AMBP%20Ebook%20Final.pdf>
- [11] 86 percent of employees cite lack of collaboration for workplace failures. [Online]. Available: <https://fierceinc.com/employees-cite-lack-of-collaboration-for-workplace-failures>
- [3] A beginner's guide to Wrike. [Online]. Available: <https://unito.io/blog/a-beginners-guide-to-wrike/>
- [4] Wrike time tracking. [Online]. Available: <https://www.timedoctor.com/wrike.html>
- [5] A. T. Zub, *Project management: a textbook and workshop for academic undergraduate students*. Moscow: Yurayt, 2019 [in Russian].
- [6] The state of Work Life Balance in 2019: what we learned from studying 185 million hours of working time. [Online]. Available: <https://blog.rescuetime.com/work-life-balance-study-2019/>
- [7] 5 ways your business processes could be hurting your business. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/jeffboss/2016/11/01/5-ways-your-business-processes-could-be-hurting-your-business/#68e0a01552e9>
- [8] What is digital transformation? [Online]. Available: <https://enterpriseproject.com/what-is-digital-transformation>
- [9] The curse of the one-hour meeting. [Online]. Available: <https://www.goaskcody.com/blog/infographic-a-one-hour-meeting-is-never-just-a-one-hour-meeting>
- [10] Definitive guide to America's most broken processes. [Online]. Available: <https://info.nintex.com/rs/272-JVS-996/images/Nintex%20AMBP%20Ebook%20Final.pdf>
- [11] 86 percent of employees cite lack of collaboration for workplace failures. [Online]. Available: <https://fierceinc.com/employees-cite-lack-of-collaboration-for-workplace-failures>

References

- [1] Website Wrike. [Online]. Available: <https://www.wrike.com/>
- [2] Wrike tour: an overview of features, pricing and awards. [Online]. Available: <https://financesonline.com/wrike-tour-overview-of-features-pricing-awards/>
- [3] A beginner's guide to Wrike. [Online]. Available: <https://unito.io/blog/a-beginners-guide-to-wrike/>
- [4] Wrike time tracking. [Online]. Available: <https://www.timedoctor.com/wrike.html>
- [5] A. T. Zub, *Project management: a textbook and workshop for academic undergraduate students*. Moscow: Yurayt, 2019 [in Russian].
- [6] The state of Work Life Balance in 2019: what we learned from studying 185 million hours of working time. [Online]. Available: <https://blog.rescuetime.com/work-life-balance-study-2019/>
- [7] 5 ways your business processes could be hurting your business. [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/jeffboss/2016/11/01/5-ways-your-business-processes-could-be-hurting-your-business/#68e0a01552e9>
- [8] What is digital transformation? [Online]. Available: <https://enterpriseproject.com/what-is-digital-transformation>
- [9] The curse of the one-hour meeting. [Online]. Available: <https://www.goaskcody.com/blog/infographic-a-one-hour-meeting-is-never-just-a-one-hour-meeting>
- [10] Definitive guide to America's most broken processes. [Online]. Available: <https://info.nintex.com/rs/272-JVS-996/images/Nintex%20AMBP%20Ebook%20Final.pdf>
- [11] 86 percent of employees cite lack of collaboration for workplace failures. [Online]. Available: <https://fierceinc.com/employees-cite-lack-of-collaboration-for-workplace-failures>

K. V. Kolesnikov, Ph. D., associate professor,
e-mail: k.kolesnikov@chdtu.edu.ua

D. V. Zamosenchuk, student,

V. V. Fedoniuk, student

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

INCREASE OF PROJECT MANAGEMENT EFFICIENCY BASED ON THE USE OF ON-LINE WRIKE COMPLEX

The article proposes to consider the problems of interaction of the members of virtual teams. Virtual team is a team whose members can be located in different offices, cities, countries. In modern business conditions, IT companies often choose such type of organization.

The authors have analyzed the researches and articles and made the following conclusions. There are several problems in such a team: psychological, communication and control problems.

Each issue is the topic of a separate article. Moreover, the authors have chosen to consider the issues of communication of team members. Authors have analyzed and tested various software products carried out to assist the manager in organizing the work. As a result, the Wrike online software, which solves a whole range of tasks for project management and teamwork, namely: work planning, appointment of the person responsible for the task, file storage, accounting of work resources, fast communication within the team, has been chosen.

Wrike allows to organize a multi-level hierarchy of projects and a hierarchy within projects in the form of folders and tasks, providing tools for creating folders, projects, and tasks. In addition, each component listed above may have several important attributes, namely, the contractor, status (new, in progress, completed, pending, rejected)

The issue of access to project components is solved by providing a security tool. Either an individual person, a group, or public can access each part of the project.

The availability of tools that visually depict the execution of tasks in time, namely, the classic Gantt chart and the usual table rendering, is an important moment of using the product. When working with a temporary stream, you can use various filters.

The authors have tested and analyzed the software product and revealed its strengths and weaknesses, as well as the ability to be used in business processes.

Keywords: *virtual teams, project management, software, business needs, interface, project complex, users.*

[0000-0003-2007-9943] **І. В. Миронець**, к.т.н., доцент,
e-mail: irenmir30@gmail.com

Б. О. Луценко, магістрант
e-mail: bogdan.lutsenko11081997@gmail.com
Черкаський державний технологічний університет
б-р. Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ФУНКЦІОНАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТАТУ-ОБЛАДНАННЯМ

Проведена робота знайшла своє застосування в розвитку автоматизованих систем управління тату-обладнанням. Розширення культури татуювання в багатьох країнах світу стало поштовхом для розвитку технологій у цій галузі. Почали з'являтися нові концепції та їх реалізації, а існуючі – розширювали свої функціональні характеристики і можливості. Дослідження функціональних можливостей існуючих концепцій використання автоматизованих систем управління тату-обладнанням показало, що вони не є практичними у використанні та мають необґрунтовано високу ціну. Тому метою дослідження стало реалізувати найбільш ефективний функціонал та дизайн шляхом проведення удосконалень існуючої системи управління тату-обладнанням. Було проведено опитування серед майстрів, під час якого проводилися заміри часу роботи оптимізованої системи та її аналогів, доступних широкому колу майстрів на ринку. Отримані результати повністю обґрунтували актуальність проведеного дослідження.

Ключові слова: автоматизовані системи управління, функціональні можливості, мобільний додаток, оптимізація, тату-обладнання.

Вступ. Татуювання – це перманентний малюнок, створений на тілі шляхом впровадження під шкіру спеціалізованого пігменту за допомогою голок різних розмірів і заточки.

Спочатку татуювання наносили людям, які належали до різних культур протягом століть, проте лише сьогодні технологія і безпека цієї процедури досягли дійсно вражаючого рівня [1]. На це вплинуло багато факторів, одним із яких є розвиток культури татуювання в багатьох країнах, а разом з нею – тату-обладнання.

Технології розвиваються безперервно і динамічно. З'являються нові концепції та їх реалізації, а існуючі – розширюють свої функціональні характеристики і можливості [2].

Однією з найбільш поширених концепцій, яка була впроваджена в розвиток тату-обладнання, є розробка мобільних додатків. Все це тому, що мобільні телефони (смартфони) стали невід'ємною частиною людського життя [3].

Завдяки широким функціональним можливостям цей гаджет вже давно витіснив стаціонарні телефони. Популярність смартфонів обумовлена наявністю великої кількості переваг над стаціонарними персональними комп'ютерами. Вони дають можливість виконувати

значну частину задач користувача, таких як функції календаря, калькулятора, годинника, будильника та мультимедійного пристрою, при цьому залишаючись портативними.

На сьогоднішній день існує велика проблема з вибором тату-обладнання. Хоча ринок стрімко розвивається і з кожним днем з'являється все більше і більше нових пристроїв, проте більшість із них зазвичай – це просто модифікація старих версій. Вони незручні у користуванні, тому що їх функціонал є замалим, а їхня ціна – невиправдано високою.

Провівши огляд і аналіз праць [2, 3, 4], було зроблено висновок, що дослідження функціональних можливостей та оптимізація автоматизованих систем управління тату-обладнанням на основі існуючих концепцій є актуальною науковою проблемою в цій галузі. Однією з найважливіших складових вирішення поставленої проблеми є статистичний аналіз даних усіх концепцій та визначення недоліків системи [5], необхідність розробки та покращення функціональних можливостей шляхом аналізу потреб користувачів.

Метою дослідження було реалізувати найбільш ефективний функціонал та дизайн мобільного додатка на основі проведення дослідження й удосконалення існуючої автома-

тизованої системи управління тату-обладнанням за рахунок зменшення робочого часу майстра, залишаючи незмінною продуктивність праці.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано і вирішено такі **завдання**:

- на основі досліджень функціональних можливостей існуючих аналогів обґрунтувати актуальність оптимізації роботи автоматизованої системи управління тату-обладнанням;

- розглянути загальні методики та методи проведення досліджень;

- реалізувати найбільш ефективний функціонал і дизайн мобільного додатка та провести аналіз отриманих результатів роботи.

Опис об'єкта та методу досліджень. Об'єктом дослідження є процес роботи автоматизованої системи для управління роботою тату-обладнання у вигляді мобільного додатка для операційної системи Android.

Базовий функціонал портативних пристроїв можна суттєво розширити за допомогою додатків. Вони відкривають нові канали зв'язку і можливості для ведення бізнесу, потенційно пропонуючи більш широкий доступ до інформаційних баз даних і основних послуг, удосконалюють інформаційні потоки підприємства, втримують прямий контакт із клієнтом, відстежують його поведінку і впровадження для досягнення маркетингових цілей.

Мобільні додатки мають велику кількість переваг для підприємців порівняно з веб-сайтами та програмним забезпеченням для персональних комп'ютерів. Успішний досвід таких українських компаній, як Нова Пошта, Rozetka та Prom.ua свідчить, що мобільні додатки здатні значно збільшити обсяг продажів. Відповідно до даних статистичного бюро Criteo 27 % від усіх платежів у сфері електронної комерції за 2018 р. було проведено за допомогою мобільних додатків.

За результатами досліджень аналітичного агентства eMarketer, протягом останніх п'яти років спостерігається тенденція до збільшення обсягу часу, проведеного протягом дня в додатках, причому обсяг витраченого часу на перегляд мобільних веб-сторінок через браузер практично не змінився [6].

Робота тату-майстра полягає не лише у створенні певного зображення на тілі людини за допомогою спеціальних засобів, але й у вмінні контактувати з людьми, правильно кон-

тролювати свій графік, вміти керувати своїм часом роботи та вести власну бухгалтерію.

Мобільний додаток для управління блоком живлення на відстані – це досить сучасний та інтуїтивно зрозумілий підхід до роботи. Його ціна разом з блоком живлення є достатньо малою, та все ж існує безліч можливостей для його удосконалення та оптимізації.

За допомогою огляду існуючих концепцій і після проведення спостережень за роботою майстрів, а також спеціального анкетування було визначено ряд нових функцій, яких не вистачало користувачам для повноцінної роботи.

Створення додаткових вікон у вигляді календаря, де можна буде робити помітки, яка робота буде проведена в точно визначену дату, день та що потрібно для реалізації цієї роботи, а найголовніше – скільки ця робота принесе прибутку, значно полегшить роботу майстра. В одному додатку можна легко помістити всі необхідні для користувача функції, аналогів яких не існує.

На основі дослідження функціональних можливостей існуючих концепцій було проведено оптимізацію автоматизованих систем управління тату-обладнанням.

Спочатку було проведено огляд і аналіз недоліків та переваг тих систем, які доступні нині на ринку. Було обрано напрям дослідження та проведено ознайомлення з загальними методиками та методами проведення досліджень.

Особливості розглянутих рівнів наукового знання найбільш наочно виявляються при їх порівнянні та виявленні відмінностей між ними.

При порівнянні емпіричного і теоретичного рівнів пізнання було виявлено, що вони нерозривно пов'язані між собою і взаємодоповнюють один одного.

Так, емпіричне дослідження, виявляючи нові факти, нові дані спостереження та експерименту, стимулює розвиток теоретичного рівня, ставить перед ним нові проблеми та завдання. В свою чергу, теоретичне дослідження, розглядаючи та конкретизуючи теоретичний зміст науки, відкриває нові перспективи пояснення та передбачення фактів, і цим орієнтує та спрямовує емпіричне знання.

Для дослідження функціональних можливостей та оптимізації автоматизованих систем управління тату-обладнанням на основі існуючих концепцій більшу увагу було приді-

лено саме емпіричному рівню. Це обумовлено специфікою застосовуваних методів та безпосередньою взаємодією дослідника з досліджуваним об'єктом. Оскільки в цьому дослідженні більшу увагу приділено експерименту та його результатам, тому після розгляду та вибору основної методики та методів досліджень було сформовано чіткий план дій [7].

Наукове знання і процес його здобуття характеризуються системністю і структурованістю. У структурі наукового знання виділяють емпіричний (дослідний) і теоретичний рівні. Сукупність дослідних заходів і методів забезпечує емпіричний і теоретичний етапи наукового дослідження [8].

На емпіричному рівні в цьому дослідженні було проведено збір фактів, первинне узагальнення, опис дослідних даних, систематизацію і класифікацію. Емпіричне дослідження спрямоване безпосередньо на об'єкт дослідження, відбувається на основі методів порівняння, виміру, спостереження, експерименту, аналізу та ін. [9].

Емпіричні методи дослідження є визначальними в навчально-дослідній справі, що пов'язана з практикою, і забезпечують накопичення, фіксацію та узагальнення вихідного дослідного матеріалу. Отримані за допомогою цих методів дані є основою для подальшого теоретичного осмислення пізнавальних процесів та створюють цілісну єдність наукового пізнання.

Спостереження – це систематичне, цілеспрямоване, спеціально організоване сприймання предметів і явищ об'єктивної дійсності, які виступають об'єктами дослідження. Як метод наукового пізнання спостереження дає можливість одержувати первинну інформацію у вигляді сукупності емпіричних тверджень [10].

Емпірична сукупність стає основою попередньої систематизації об'єктів реальності, роблячи їх вихідними об'єктами наукового дослідження.

У цьому дослідженні спостереження було проведено планомірно та стало одним із етапів, який допоміг інтуїтивно зрозуміти, як потрібно провести оптимізацію системи. За рахунок спостереження доповнився список функцій, яких не вистачало користувачеві. Це стало можливим після спостереження за роботою декількох майстрів з існуючими системами. В ході спостереження було сформовано логічні припущення.

Опитування дало більшу змогу отримати як фактичну інформацію, так і дані, за якими стало можливим провести оцінювання отриманих результатів.

Опитування було проведено в письмовій формі. Запитання були сформовані таким чином, що вони відповідали поставленій меті. Анкета складалася з декількох блоків запитань, пов'язаних не лише за рівнем періодичності використання певного функціоналу, а й за оцінкою об'єкта дослідження.

Головною метою анкетування було визначити, чи всі додаткові функції, які були сформовані в ході дослідження інших готових концепцій та на основі спостереження за майстрами, є необхідними і подобаються майбутнім користувачам.

Опитування було проведено двічі – на початковому етапі дослідження, щоб зібрати всю необхідну інформацію для оптимізації, та на останніх етапах дослідження, щоб отримати результати роботи. Перше опитування відбувалося серед п'ятнадцяти майстрів, а друге – серед п'яти. Останні вже мали змогу користуватися продуктом протягом одного робочого дня, а потім пройти анкетування.

При порівнянні результатів опитування було виявлено, що більшій кількості користувачів оптимізація сподобалась, і вони готові з легкістю на неї перейти. Також явною перевагою став той факт, що частина майстрів ніколи раніше не працювала з подібним обладнанням.

Порівняння – це процес зіставлення з метою визначення схожості чи відмінності, а також знаходження загального, притаманного. Цей процес використовувався протягом усього дослідження на різних етапах для чіткого розуміння результату.

Для реалізації мобільного додатка було обрано середовище розробки Android Studio. Воно має багато переваг, притому мобільний додаток було розроблено для мобільної платформи Android.

Android Studio – безкоштовне середовище розробки на основі IntelliJ IDEA, надає інтегровані інструменти для розробки й налагодження додатків для платформи Android.

Процес розробки в середовищі Android Studio є дуже гнучким. Це досягається за рахунок відображення всіх робочих файлів у структурі проекту [11].

Вкрай корисною є також можливість бачити всі візуальні зміни проекту в режимі реального часу. Причому SDK дає можливість

протестувати майбутню роботу створеного продукту на різних пристроях.

У вбудованому емуляторі Android девайсів можна встановити різноманітні технічні конфігурації і дозволи екрану для тестування. Крім того, при використанні емуляції є можливість отримати інформацію про наблизений рівень продуктивності для того чи іншого пристрою.

Перш за все, потрібно було створити архітектуру майбутнього програмного продукту – ми створили пакети, кожен із яких відповідає за певний функціонал. В пакетах були створені класи, кожен із яких мав вузький обов'язок у програмі, а також прописали відносини між об'єктами.

Після того як написаний весь програмний код, необхідно створити арк-файл, встановити його на телефон та розпочати тестування.

Тестування додатка – це його перевірка різними методами і способами на працездатність. Тестування необхідно як новому, так і вже працюючому додатку для отримання гарантії його працездатності. Це дуже важливий етап розробки мобільних додатків. Вартість помилки в релізі є дуже високою.

Мобільне тестування – складний процес: десятки різних роздільностей екрану, апаратні відмінності, кілька версій операційних систем, різні типи підключення до Інтернету, раптові обриви зв'язку тощо [12].

Після тестування додатки потрапляють в Google Play. Якщо опубліковані додатки

мають якісь помилки, вони викликають бурхливу негативну реакцію. Користувачі залишають низькі оцінки й істеричні відгуки.

Після розробки було проведено поетапне тестування, яке зафіксувало всі помилки для обов'язкового виправлення. Після тестування цього програмного продукту було встановлено, що він не має критичних або ж блокуючих помилок.

При наявності готового мобільного додатка було проведено низку експериментів.

Вимірювання – це процедура визначення числового значення певної величини за допомогою одиниці виміру. Воно допоможе точно визначити всі поставлені цілі та занести їх у таблицю. Цінність цієї процедури полягає в тому, що вона дає точні, кількісно визначені відомості.

Вимірювання було спрямовано на швидкість роботи в цілому та на окремі процеси. Щоб експеримент пройшов вдало, в ньому брало участь п'ять майстрів. Спочатку вимірювання проводилося на обладнанні, з яким майстри працювали до експерименту, а потім вже на оптимізованих автоматизованих системах управління (таблиця 1).

Основним критерієм стосовно оптимізації системи був час, а саме – зменшити робочий час і залишити продуктивність на такому ж рівні або навіть збільшити її. Майстри виконували роботу, яка займала приблизно однакову кількість часу. Для підрахунку брався середній час усіх майстрів.

Таблиця 1 – Результати вимірювань до та після оптимізації системи

Операції	Час вимірювання до оптимізації	Час вимірювання після оптимізації
Підключення обладнання	20 хв.	10 хв.
Налаштування обладнання	15 хв.	5 хв.
Кількість часу на створення роботи	3 год.	2 год. 55 хв.
Прибирання робочого місця	10 хв.	5 хв.
Консультація з новим клієнтом	30 хв.	20 хв.
Підготовка до наступного робочого дня	30 хв.	20 хв.
Разом:	4 год. 35 хв.	3 год. 55 хв.

Підключення тату-обладнання – це процес, коли майстер готує своє робоче місце перед тим, як розпочати роботу. Потрібно про-

дезінфікувати всі робочі поверхні, а найголовніше – підготувати своє обладнання до роботи. Зазвичай використовують дві робочі поверхні:

перша – де виконують саме татуювання і друга – для розміщення обладнання й одноразових матеріалів, таких як фарби, салфетки тощо. Ці поверхні повністю стерилізуються, оскільки простої стерилізації недостатньо, також використовуються одноразові елементи для підтримки цієї стерильності (бар’єрний захист для проводів і машинки, для проводів він виглядає як спеціальний рукав з поліетилену, а для машинки – як поліетиленовий бокс).

Такий елемент, як блок живлення також потребує стерильності, але не існує засобів для його стерилізації, а спеціальні поліетиленові бокси для нього не передбачені, тому він огортається харчовою плівкою, щоб завжди залишатися чистим і щоб на ньому не залишалися сліди фарби та крові, адже під час роботи майстер завжди контактує з ним. Однак харчова плівка має великий недолік – блок живлення, перебуваючи в ній, повністю втрачає можливість тепловіддачі, а це призводить до перегрівання та пошкодження.

Ідея модернізації блока живлення, насправді, дуже проста, проте вона кардинально спрощує роботу тату-майстра, починаючи від зручності користування і закінчуючи стерильністю, а стерильність, в свою чергу, зводить до мінімуму шанс занести інфекцію.

Мобільний додаток дає можливість легко керувати блоком живлення, який може бути розташованим подалі від робочого місця і не займати робочий простір. Також це буде доречно для зберігання стерильності робочого місця, що так необхідно в цій сфері роботи, адже від цього залежить якість виконаної роботи та гарантія безпеки здоров’я клієнта – не потрібно буде постійно торкатися сторонніх предметів.

Не менш важливим фактором є те, що майстер не витрачає зайвий час на бар’єрний захист, а також те, що сам блок живлення досить малий і має магнітне кріплення. Його можна закріпити де завгодно, і він не буде займати багато місця. Цей фактор дав змогу скоротити час підготовки в два рази. За допомогою вимірювання було визначено, що середній час на підготовку цього етапу займав 20 хв., а після оптимізації – 10 хв.

Налаштування тату-обладнання – це процес, коли майстер все зібрав, проте йому потрібно зробити додаткові специфічні налаштування під конкретну роботу. Це може бути швидкість, з якою рухається голка в тату-машинці. Вона регулюється за допомогою

вольтажу на блоці живлення. Майстер використовує в середньому від двох до п’яти конфігурацій голок під час роботи, тому йому потрібно налаштуватися на кожну з них перед роботою.

Інтерфейс у мобільного додатка є оптимально простим та зручним у користуванні. Він максимально наповнений усією необхідною інформацією. В ньому розташовано кілька вікон з вибором функцій, які потрібні та не будуть відволікати.

Робота такого пристрою дуже проста і не вимагає налаштування апаратної конфігурації. За допомогою додатка можна не тільки регулювати вольтаж, як це робиться в аналогах, а й мати власну базу даних. Це допомогло скоротити час в три рази – від 15 хв. у середньому перед оптимізацією до 5 хв. після її впровадження.

Час, який майстер витрачає на створення зображення на тілі, хоча і входить до етапів, які вимірювалися, проте фактично залежить від здібностей і швидкості роботи самого майстра. Для точнішого проведення експерименту майстрів було заздалегідь попереджено, щоб вибрана ними робота не займала більше трьох годин для реалізації. Тому показники на цьому етапі відрізняються лише на п’ять хвилин.

Прибирання робочого місця – це процес, коли майстер після закінчення своєї роботи має розібрати своє тату-обладнання та продезінфікувати робочі поверхні. Цей етап дуже схожий на підключення, але проводиться у зворотному напрямку. Оскільки час при підключенні був меншим через спрощення системи, аналогічно – час прибирання робочого місця став удвічі швидшим – він зменшився від 10 хв. до 5 хв.

Консультація з новим клієнтом відбувається в кінці робочого дня. Зазвичай під час цього процесу майстер проводить бесіди з приводу розмірів, стилю, розміщення майбутнього татуювання. Також головною темою є ціна та дата, коли буде проведена наступна зустріч для реалізації проекту.

За допомогою встановлених у додатку додаткових функцій у вигляді календаря цей процес пришвидшився, а найголовніше – став зручнішим. Інноваційним є те, що функціональні можливості дають змогу використовувати додаток не лише під час підготовки та нанесення татуювання, а й у звичайній робочій атмосфері.

Є можливість проглядати свій графік наперед, легко його коригувати, мати зворотний зв'язок із клієнтом. Це реалізовано за допомогою встановлення додаткового вікна в програмі, що містить календар, кожний день якого підсвічений. Зелений колір означає, що цей день вільний, червоний – що майстер має роботу. Якщо перейти до вибраного дня, там є детальна інформація про те, яку саме роботу повинен виконати майстер, скільки він на цьому може заробити, а також які одноразові матеріали йому потрібні. Це пришвидшує й підготовку майстра до наступного робочого дня.

Останні два етапи можна об'єднати, адже функціональні можливості додатка для них були сформовані одночасно, і результат вимірювань показав, що ця оптимізація робочого процесу пришвидшила час роботи на 10 хв.

Раніше майстру потрібно було в середньому 30 хв. на консультацію та стільки ж часу на підготовку до наступного робочого дня. З використанням додатка цей час зменшився до 20 хв. на обох етапах.

Результати цього експерименту показали, що робота майстрів в цілому пришвидшилася на 40 хв. Зазвичай у середньому майстру потрібно було на реалізацію невеликого проекту та підготовку до наступного робочого дня разом з консультацією 4 год. 35 хв. Цей час вдалося зменшити до 3 год. 55 хв. Отже, мета зменшити робочий час, а продуктивність залишити на тому ж рівні була повністю досягнута. Експеримент можна вважати успішним.

Висновки. Нині технології розвиваються безперервно і динамічно, разом з ними йде й активна розробка і вдосконалення тату-обладнання. Незважаючи на це, процеси стандартизації та глобалізації почалися порівняно недавно, тому існує не так багато готових рішень і вони дуже схожі за своєю реалізацією. Це обумовлено тим, що насправді серійних виробників тату-обладнання на ринку не так багато, проте завдяки великій зацікавленості людей у тату-мистецтві за останні кілька років відбувся неймовірний поштовх ринку в розвитку тату-обладнання, інтеграції в нього нових пристроїв і сервісів.

Висновки. Отже, керування блоком живлення за допомогою мобільного додатка надає користувачам такі переваги: підвищення комфорту в роботі, стерильність, яка, в свою чергу, зводить до мінімуму шанс занести інфекцію, та збереження специфічних на-

лаштувань, які пришвидшують і спрощують роботу майстра.

Інноваційним є те, що функціональні можливості дають змогу використовувати додаток не лише під час підготовки та нанесення татуювання, а й у звичайній робочій атмосфері. Є можливість проглядати свій графік наперед, легко його коригувати, мати зворотний зв'язок із клієнтом.

У процесі вирішення поставлених завдань у роботі одержано наступні результати:

- на основі досліджень функціональних можливостей існуючих аналогів автоматизованих систем управління тату-обладнанням було зроблено обґрунтування актуальності оптимізації їх роботи;

- розглянуто загальні методики та методи досліджень;

- реалізовано найбільш ефективний функціонал і дизайн мобільного додатка, а також проведено аналіз та обґрунтування отриманих результатів дослідження.

Список використаних джерел

- [1] Карл Циммар, *Науковий пігмент: татуювання одержимих наукою*. Великобританія: Келмскотт-прес, 2011.
- [2] О. В. Андрощук, Ю. В. Кондратенко, О. В. Головченко, Т. О. Ворона, та М. В. Петрушен, "Інформаційні технології та їх вплив на розвиток суспільства", *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського*, № 1 (50), 2014.
- [3] К. С. Амнелин, и О. Н. Граничин, *Введение в разработку приложений для мобильных платформ*. ВВМ, 2011.
- [4] Т. М. Корпанюк, та Я. І. Мулик, "Застосування мобільних", *Ефективна економіка: електрон. фахове вид.*, № 1 (3), 2018.
- [5] Е. В. Чеботовський, *Статистичні методи: навч. посіб.* Київ, Україна: Знання, 2016.
- [6] Global Commerce Review. [Online]. Available: <https://bit.ly/2AkZ5Re>
- [7] Jaime Levy, *UX strategy: how to device innovative digital products that people want*. O'Reilly Media, 2015.
- [8] В. І. Зацерковний, І. В. Тішаєв, та В. К. Демидов, *Методологія наукових досліджень: навч. посіб.* Ніжин, Україна, 2012.

- [9] О. О. Железняк, та І. В. Корнієнко, *Наука та наукові дослідження*: навч. посіб. Ніжин, Україна, 2007.
- [10] О. В. Колесніков, *Основи наукових досліджень*: навч. посіб., 2-ге вид., випр. та доп. Київ, Україна, 2011.
- [11] А. Л. Голощапов, *Google Android. Создание приложений для смартфонов и планшетных ПК*. Санкт-Петербург, Россия, 2012.
- [12] В. П. Котляров, *Основи тестування програмного забезпечення*. Біном, 2009.
- [4] Т. М. Korpaniuk, and Ya. I. Mulik. "Mobile application", *Efektivna ekonomika: electronic professional ed.*, no. 1 (3), 2018 [in Ukrainian].
- [5] E. V. Chekotovsky, *Statistical methods: textbook*. Kyiv, Ukraine: Znannya, 2016 [in Ukrainian].
- [6] Global Commerce Review. [Online]. Available: <https://bit.ly/2AkZ5Re>
- [7] Jaime Levy, *UX strategy: how to device innovative digital products that people want*. O'Reilly Media, 2015.
- [8] V. I. Zatserkovny, I. V. Tishaev, and V. K. Demidov, *Methodology of scientific research: textbook*. Nizhyn, Ukraine, 2012 [in Ukrainian].
- [9] O. O. Zheleznyak, and I. V. Kornienko, *Science and scientific research: textbook*. Nizhin, Ukraine, 2007 [in Ukrainian].
- [10] O. V. Kolesnikov, *Fundamentals of scientific research: textbook*, the 2nd ed., cor. and suppl., Kyiv, Ukraine, 2011 [in Ukrainian].
- [11] A. L. Goloshchapov, *Google Android. Creating applications for smartphones and tablets*. St. Petersburg, Russia, 2012 [in Russian].
- [12] V. P. Kotlyarov, *The basics of testing software protection*. Binom, 2009 [in Russian].

References

I. V. Myronets, Ph. D., associate professor,

e-mail: irenmir30@gmail.com,

L. B. Lutsenko, master

e-mail: bogdan.lutsenko11081997@gmail.com

Cherkasy State Technological University,
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

FUNCTIONAL POSSIBILITIES AND OPTIMIZATION OF WORK OF AUTOMATED TATTOO-EQUIPMENT CONTROL SYSTEM

Tattoo culture is developing rapidly in the modern world, along with its tattoo equipment. The expansion of tattoo culture in many countries of the world has been an impetus for the development of technologies in this field. New concepts and their implementations begin to emerge, and existing concepts expand their functionality and capabilities. The development of mobile phones is one of the most popular concepts that has been introduced in the development of tattoo equipment. This factor helps to integrate all workflows in a smartphone, which greatly improves the work. Since the indus-

try is fairly new, there are many prototypes, but few solutions are available. A study of the functionality of existing concepts for the use of automated tattoo-equipment control systems has shown that they are not practical to use and have an unreasonably high price. Therefore, the purpose of the study is to realize the most effective functionality and design by carrying out improvements of the existing tattoo-equipment control systems, to reduce the master's time, but leave productivity at the same level or even raise it. A survey has been conducted among the masters, during which time measurements of the work of optimized system and its analogues available to a wide range of masters in the market have been carried out. Based on the review of analogues and peculiarities of work in the tattoo sphere, the relevance of the development is substantiated. The most effective functionality and design are implemented. The data above shows that the optimization of the application has increased the level of comfort in the workplace, implemented specific settings that accelerate and simplify the master's work.

Keywords: automated control systems, functionality, mobile application, optimization, tattoo-equipment.

[0000-0002-9037-6479]

Б. В. Мисник, к.т.н.,

[0000-0003-1039-6988]

Р. Б. Капітан, к.т.н., доцент,

[0000-0002-7653-9569]

Л. Д. Мисник, к.т.н., доцент,

[0000-0001-6872-2948]

О. В. Манзюра

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

e-mails: b.mysnyk@chdtu.edu.ua, l.mysnyk@chdtu.edu.ua, kapitan_ruslan@ukr.net,

fktm-email@ukr.net

ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОГО СУПРОВОДУ ФУНКЦІОНУВАННЯ І РОЗВИТКУ ПІДПРИЄМСТВ ПОЛІГРАФІЧНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ КОНКУРЕНЦІЇ

Стаття присвячена аналізу процесів прийняття рішень на підприємствах, використанню мультиагентних систем до моделювання процесів функціонування і розвитку підприємств поліграфічної галузі, які представлені окремими агентами з однаковою архітектурою і програмами, що відрізняються побічними і додатковими функціями. Розглянуто моделювання процесів життєвого циклу підприємства з використанням інтелектуальних агентів, кожний з яких має внутрішню структуру (міжмодульні зв'язки), елементний базис (програмні модулі для розв'язання окремих задач), використовує дані (як внутрішні для підприємства, так і з загальної бази даних), робить висновки (на основі даних та, виходячи із прагнення розвитку та максимізації прибутку). Проведена формалізація задачі оптимізації діяльності підприємства галузі. Запропонована модель, що поєднує в собі принципи роботи сучасних економічних математичних моделей з внесеними змінами для інтеграції принципів концепції «штучного життя».

Ключові слова: штучне життя, оптимізація функціонування, мультиагентна система, прийняття рішень, моделі показників ефективності.

Вступ. Основними агентами сучасної економіки України є малі та середні підприємства. Процес їх виникнення, існування та зникнення в умовах конкурентного середовища є швидкоплинним та малопередбачуваним. Перед їх керівниками постійно виникають задачі розширення виробництва, перепрофілізації, модернізації, створення філій або ліквідації. Через недостатнє інформаційно-аналітичне забезпечення приймаються необгрунтовані, помилкові рішення, що призводить до значних економічних втрат або зниження динаміки економічного росту. Особливо актуальними ці задачі є для підприємств галузей, що випускають однорідну продукцію, зокрема для поліграфічних підприємств.

Проблеми прийняття рішень та оптимізації функціонування економічних систем розглядалися у роботах класиків Л. В. Канторовича, Д. М. Кейнса, М. Д. Кондратьєва, В. В. Леонтьєва, О. Моргенштерна, Д. фон Неймана та інших. У 90-х роках мину-

лого століття було помічена подібність мультиагентних та економічних систем, що дозволяє застосувати методи теорії мультиагентних систем до моделювання процесів функціонування підприємств. Процеси моделювання діяльності підприємств, технології прийняття рішень, у т.ч. і на основі еволюційної парадигми, знаходяться в основі підвищення ефективності етапів їх життєвого циклу та були відображені у роботах відомих вчених О. Ф. Волошина, Л. Ф. Гуляницького, Ю. П. Зайченка, В. Е. Снітюка [1-4] й інших.

Розвиток теорії та розробка практичних застосувань мультиагентних систем для аналізу та прогнозування підприємств поліграфічної промисловості є важливою умовою їх розвитку та ефективного функціонування. Таким чином, задача розробки моделей, методів та інструментальних засобів підтримки прийняття рішень щодо оптимізації функціонування підприємств галузі є важливою і актуальною.

Метою дослідження є аналіз процесів прийняття рішень на підприємствах поліграфічної промисловості, а також ідей, принципів, моделей, методів підтримки прийняття рішень, які застосовуються для аналізу та оптимізації функціонування підприємства.

Виклад основного матеріалу. Для стабільного економічного розвитку країни важливим є збільшення частки приватних малих та середніх підприємств. Цей факт, а також те, що діяльність кожного підприємця спрямована на одержання прибутку, і те, що, як правило, ринок галузевої продукції є обмеженим та з часом насичується, свідчать про необхідність оптимізації функціонування підприємств галузі та підвищення ефективності управлінських рішень їх керівниками.

Як відомо, прогрес у будь-якій сфері людської діяльності реалізується внаслідок ідеї або необхідності. І саме у підприємстві на початковому етапі життєвого циклу бізнесової діяльності ці два концепти тісно інтегровані один в інший. Етап функціонування має більш реалістичні аспекти, в його основі лежить саме необхідність, необхідність одержання прибутку для виплати зарплат, соціального захисту, реалізації екологічних заходів тощо. Плануючи створення нового підприємства, здійснюючи управління його функціонуванням, передбачаючи потребу модернізації чи переходу на випуск нової продукції, особа, яка приймає рішення, обов'язково стикається з проблемою прогнозування роботи цього підприємства й визначення його прибутковості, тобто «погляду на майбутнє». Такі дії означають вирішення проблеми передбачення процесів життєвого циклу виробництва. Найчастіше подібне прогнозування полягає у застосуванні ідентифікованих залежностей результуючих характеристик від вхідних факторів.

На поліграфічне підприємство впливають різноманітні фактори – як зовнішні, так і внутрішні, та їх динаміка. Врахувати всю множину таких факторів неможливо, але це і непотрібно, так як величина їх може бути вирахована хибно, і значна кількість факторів веде до збільшення похибок. Все це свідчить про потребу використання нових методів моделювання процесів функціонування поліграфічного підприємства.

Адекватне реальним процесам моделювання може бути здійснено, якщо чисельні значення характеристик діяльності підприємств можливо занести в базу даних, яка ідеалізовано вважається релевантною всім підприємствам галузі. Дискретність даних визначається часом здійснення будь-якої транзакції на будь-якому підприємстві.

Використання елементів мультиагентної парадигми є не тільки доцільним, але і необхідним. Які причини спонукають до такого висновку?

По-перше, і виробничі підприємства, і мультиагентні системи (МАС) мають архітектуру і функціонують за заданими програмами, що вказує на їх дуальність [5-8].

По-друге, і ті, й інші допускають модульну декомпозицію, що дозволяє здійснювати їх аналіз, а при необхідності і синтез, адже, як відомо, працююча складна система є результатом роботи простих систем.

І, по-третє, наявність загальної властивості системності [9-12] визначає присутність як конкуренції, так і кооперації при існуванні у відносно замкнутому середовищі і рішення однотипних завдань.

На користь застосування мультиагентних систем як деякої парадигми моделювання свідчить той факт, що кожне підприємство в економіці можна представити окремим агентом, а підприємство галузі, зокрема поліграфічної – ще й агентом з однаковою архітектурою і програмами, що відрізняються тільки побічними і додатковими функціями. Зауважимо, що теорія мультиагентних систем на сьогоднішній день досить розвинена, а математичний апарат і програмно-алгоритмічне забезпечення визначаються, зокрема, і специфікою вирішуваних завдань [13].

Керівник кожного підприємства в процесі його функціонування постійно приймає рішення щодо модернізації, зміни спектру вирішуваних завдань, структури виробництва, розподілу ресурсів на підставі знань, досвіду та інтуїції. Керівник визначає стратегію і тактику розвитку підприємства, але у більшості випадків його діяльність є оперативною реакцією на поточний стан навколишнього середовища та значення параметрів підприємства. Критичність впливу фактору часу призводить до невірних або стратегічно провальних рішень.

Негативні наслідки таких рішень можна виключити, використовуючи прогнозування і аналіз можливих сценаріїв розвитку подій. Відповідним інструментарієм можуть бути *МАС*. Агентом, в даному випадку, є деяка сутність, що призначена для автономного функціонування, а також для підтримки прийняття рішень особою, що приймає рішення (ОПР). Кожний агент має внутрішню структуру (міжмодульні зв'язки), елементний базис (програмні модулі для розв'язання окремих задач), використовує дані (як внутрішні для підприємства, так і з загальної бази даних), робить висновки (на основі даних та, виходячи із прагнення розвитку та максимізації прибутку). Зауважимо, що метою функціонування агента є отримання максимального прибутку підприємством як інтеграція розв'язків однієї з задач різними методами, так і надання рекомендацій щодо модифікації процесу функціонування підприємства [14].

Виконаємо формалізацію задачі оптимізації діяльності підприємства галузі.

Нехай $W = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ – множина підприємств галузі, $n \geq 2$. Будемо вважати, що функціонування підприємства S_i визначається трійкою елементів

$$S_i = \langle X_i, Y_i, Z_i, t \rangle, \quad (1)$$

де X_i – вхідні фактори системи, Z_i – параметри внутрішнього стану, X_i – вихідні характеристики системи S_i , t – час.

Стан системи S_i в момент часу t визначається значеннями її показників, тобто

$$S_i = \langle x_{it}^1, x_{it}^2, \dots, x_{it}^{n_x}, z_{it}^1, z_{it}^2, \dots, z_{it}^{n_z}, y_{it}^1, y_{it}^2, \dots, y_{it}^{n_y} \rangle \quad (2)$$

де x_{it}^j – значення j -го вхідного фактора в момент часу t (ціна обладнання, доставленого на підприємство), $j = \overline{1, n_x}$; z_{it}^j – значення j -го внутрішнього параметра (собівартість одиниці продукції), $j = \overline{1, n_z}$; y_{it}^j – значення j -ї вихідної характеристики (дохід від продажу одиниці продукції), $j = \overline{1, n_y}$.

Будемо вважати будь-які зміни будь-якого значення з (2) транзакціями. Моменти часу, коли відбуваються транзакції, дискретизують часовий інтервал функціонування підприємства $T = \{t_0 < t_1 < t_2 < \dots\}$.

Вихідні характеристики підприємства або їх комбінації здійснюють вплив на функ-

ціонування підприємства і їх ефективність оцінюється показником P_i^k , тобто

$$P_i^k = P_i^k(S_i) = P_i^k(Y_i) = P_i^k(y_{it}^1, y_{it}^2, \dots, y_{it}^{n_y}), \quad (3)$$

де $k = \overline{1, l}$, l – кількість показників ефективності.

Тоді інтегральний показник – інтегральний критерій ефективності підприємства – матиме вигляд:

$$E_i = E_i(P_i^1, P_i^2, \dots, P_i^l) = E_i(P_i^1(Y_i), P_i^2(Y_i), \dots, P_i^l(Y_i)).$$

У свою чергу, $Y_i = F_i(X_i, Z_i)$, тому

$$E_i = E_i(P_i^1(F_i(X_i, Z_i)), P_i^2(F_i(X_i, Z_i)), \dots, P_i^l(F_i(X_i, Z_i))). \quad (4)$$

Враховуючи те, що ринок продукції, яка виробляється підприємством галузі, має обмежену ємність, максимальний прибуток $E_{\max}$ могло б отримати єдине підприємство на ринку за відсутності конкуренції, наявності достатньої ресурсної та кадрової бази. Оскільки раніше така ситуація виключена ($n \geq 2$), то для кожного підприємства необхідно розв'язувати задачу $E_i \rightarrow E_{i\max} \forall t \in T$, де T – інтервал часу функціонування підприємства, $i = \overline{1, n}$.

Підкреслимо, що розв'язання такої чи таких задач здійснюється в умовах невизначеності, що пов'язано із невизначеністю цілей, умов зовнішнього середовища, обмежень як об'єктивного, так і суб'єктивного характеру. Неповнота, неоднозначність, відсутність та суперечливість даних супроводжують процеси прийняття рішень на всіх етапах життєвого циклу підприємств галузі. Не існує такого етапу, на якому прийняття рішень мало б детермінований характер. Це твердження стосується як етапу визначення доцільності створення підприємства, так і етапів безпосереднього заснування, функціонування, модернізації чи ліквідації.

Окреме поліграфічне підприємство зобразимо як систему S , поведінка якої є неперервно-дискретним процесом і задається функцією

$$F(t) = \begin{cases} f_1(t), & t \in [t_0, t_1], \\ f_2(t), & t \in [t_1, t_2], \\ \dots, & \\ f_k(t), & t \in [t_{k-1}, t_k], \\ \dots, & \end{cases} \quad (5)$$

Функції $f_i(t)$ визначають показники ефективності функціонування системи: при-

буток, собівартість продукції, енергоємність, фондоозброєність тощо. Переходи $f_i(t) \rightarrow f_{i+1}(t)$ здійснюються в результаті прийняття певних рішень в часові моменти t_i . Визначимо, які фактори впливають на появу таких значень t_i . Дослідимо систему S як елемент системи вищого ступеня ієрархії яку позначимо Ω .

Системи S і Ω впливають одна на одну, обмінюючись енергією (E), коштами (U), інформацією (I), кадрами (R), матеріалами (H) та іншими даними (рис. 1). Оскільки всі системи $S_i, i = \overline{1, n}$, здійснюють такий взаємообмін з Ω , то очевидно, що мають місце відображення $S_i \rightarrow \Omega \rightarrow S_j, S_j \rightarrow \Omega \rightarrow S_i, i \neq j$. Зауважимо, що кожне відображення $G_{ij}: S_i \rightarrow S_j$ має різні кількісні та якісні показники. При цьому взаємообмін здійснюється

на вже вказаних сімох рівнях. Має місце система відображень

$$\Omega \rightarrow S_j^{in}(H_j, E_j, I_j, U_j, R_j) \rightarrow S_j^{out}(P_j, D_j) \rightarrow \Omega, \forall j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Оскільки перетворення (6) є замкненим, то його можна представити у вигляді:

$$\Omega_{in}^i \rightarrow \Omega_{out}^i, \quad \Omega_{in}^{i+1} = V(\Omega_{out}^i) = V((P_j, D_j), \forall j = \overline{1, n}). \quad (7)$$

Вирази (6) і (7), показують взаємовплив системи вищого ступеня ієрархії Ω з кожною з S_j . В результаті відбуваються зміни у вхідних потоках наступних періодів часу систем S_j . Тому вважаємо, що настає t_i , коли $\exists S_j$, в яку надходить $H_j \vee E_j \vee I_j \vee U_j \vee R_j$, або з якої отримують $P_j \vee D_j$, і цей час $t_i > t_{i-1}$ є мінімальним для $\forall S_j, j = \overline{1, n}$.

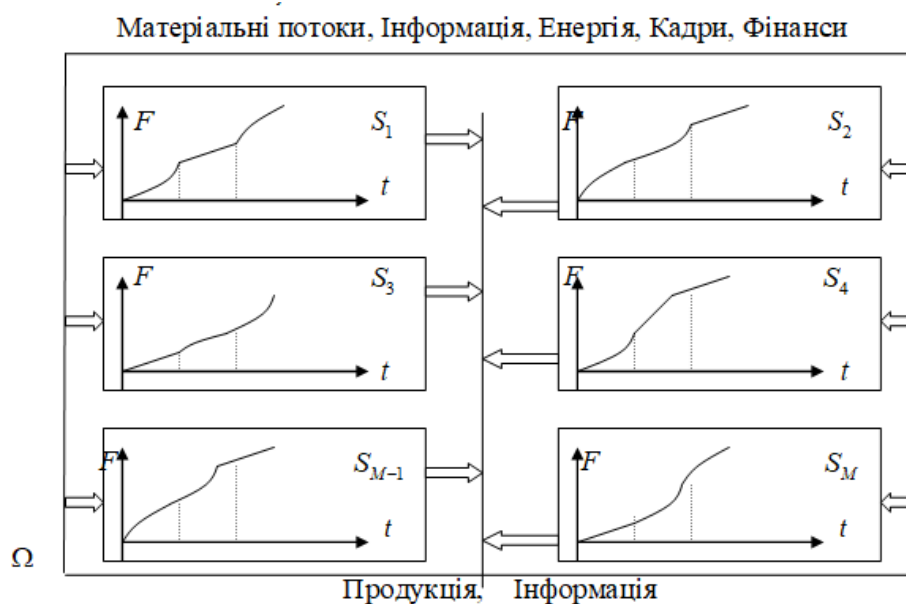


Рисунок 1 – Взаємодія підприємств як мультигентна технологія

На рис. 1 також показано, як змінюються функції $f_i(t)$ в різні моменти часу. Це може бути величина (тираж) виготовленої продукції, так як показані функції монотонні.

Таким чином, MAC буде враховувати інформацію ззовні у моменти часу $t_i, i = \overline{0, L}$, і це дасть можливість змінювати стратегію діяльності підприємства.

Підприємства функціонують в деякому середовищі, з якого вони отримують ресурси, енергію та інформацію, і в яке вони віддають

продукцію. Процеси життєвого циклу підприємства можуть бути промодельовані з використанням інтелектуальних агентів.

Інтелектуальність розуміємо як здатність вирішувати слабко структуровані задачі, тому інтелектуальне моделювання функціонування підприємства – це не тільки обчислення модельних значень, а й вироблення практичних рекомендацій у залежності від їх комбінації.

Припускаємо, що дії виконуються в інтересах одного поліграфічного підприємств-

ва S^* . Час його життєвого циклу вважаємо дискретним $T = \{t_0, t_1, \dots, t_p, \dots, t_q, \dots, t_m\}$. Моменти часу t_i , $i \in \{0, 1, \dots, m\}$ визначаються транзакціями в системі на будь-якому з підприємств галузі. Під транзакціями розуміємо будь-яку взаємодію підприємства з середовищем, наслідком чого є зміна кількісних характеристик хоча б одного з підприємств.

Особливістю процесів прийняття рішень на підприємстві галузі є невизначеність вихідної інформації про функціонування підприємств-конкурентів або підприємств-партнерів.

Вихідною інформацією для функціонування агента є дані із загальної бази транзакцій, а отримані агентом результати використовуються для прийняття рішень в оперативному, тактичному і стратегічному планах.

Відзначимо, що в основі прийняття рішень можуть лежати як чіткі, так і нечіткі продукційні правила типу

$$\text{Якщо } \bigwedge_{j=1}^J x_j \in A_j, \text{ то } \begin{cases} \bigwedge_{j=1}^J y_j \in B_j \vee \\ \bigvee_{i=1}^I \bigwedge_{j=1}^J y_{ij} \in C_{ij}, \end{cases} \quad (8)$$

де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_J\}$ – множина вхідних факторів, $Y^1 = \{y_1, y_2, \dots, y_J\}$ і $Y^2 = \{y_{11}, y_{12}, \dots, y_{IJ}\}$ – множина результуючих характеристик функціонування підприємства, A_j, B_j, C_{ij} – у загальному випадку нечіткі множини зі своїми функціями належності, $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J}$.

Правила (8) необхідні для того, щоб визначити спектр задач, які потрібно розв'язувати керівництву на підприємстві; сформулювати структуру виробництва і здійснювати певну стратегію управління. При цьому необхідні дані, які можуть з'явитися тільки у віддаленій перспективі.

Позначимо t_p – поточний момент часу, t_q – час, коли можуть з'явитися відсутні дані, $p < q$. Побудуємо модель

$$R(t_p) = H(R(t_p-), In(t_p), Out(t_p)), \quad (9)$$

де $R(t_p)$ – деяка характеристика або показник в момент часу t_p , $R(t_p-)$ – показник інтегрованої динаміки характеристики до моменту часу t_p , $In(t_p)$ і $Out(t_p)$ – значення внутрішніх і зовнішніх для підприємства S^* факторів, відповідно.

Проблема отримання залежності (9) полягає в тому, що значення зовнішніх факторів для підприємства часто невідомі і їх необхідно відновлювати, використовуючи аналітичні методи або експертні процедури.

Аналізуючи ефективність функціонування окремого підприємства і усієї галузі, необхідно розглядати множину їх характеристик. Вважаючи, що стан підприємства визначається їх значеннями, вважатимемо, що

$$S_j = \langle X_j^1, X_j^2, \dots, X_j^d \rangle, \quad (10)$$

де S_j – j -е підприємство, $(X^1, X^2, \dots, X^d)$ – характеристики підприємства, причому

$$S_j^t = (x_j^{1t}, x_j^{2t}, \dots, x_j^{dt}), \quad (11)$$

де t – час, причому $\exists k \in [1; +\infty): t \in [t_{k-1}, t_k]$,

x_j^{it} – значення характеристики X^i j -го підприємства в момент часу t .

Вирази (10) і (11) дають можливість побудови моделі траєкторії функціонування підприємств галузі, двовимірний варіант якої наведено на рис. 2. У загальному випадку така модель може бути записана як

$$F_M = \langle X_1^1, X_1^2, \dots, X_1^d, X_2^1, X_2^2, \dots, X_2^d, \dots, X_M^1, X_M^2, \dots, X_M^d \rangle$$

Таким чином, наведена модель є $(M+1)$ -вимірним прямокутним гіперпаралелепіпедом, що наочно показує напрям діяльності підприємства з врахуванням зовнішніх і внутрішніх факторів. Довжина однієї із сторін гіперпаралелепіпеда збільшується, оскільки відповідає часу. Крім того, стверджуємо, що одночасно ніякі дві траєкторії функціонування підприємств не проходять через одну комірку, що пояснюється різноманітністю підприємств та значень їх характеристик. Зауважимо, що для них існують обмеження, тобто $\forall X_j \in [X_{j\min}, X_{j\max}]$. Якщо значення хоча б однієї характеристики виходить за встановлені границі, то має місце виключний варіант функціонування. Відповідне підприємство виключається із розгляду і потребує окремих рішень.

Модель траєкторії руху підприємства поліграфічної галузі – це база для аналізу стану на ринку. Дії ОІП впливатимуть не тільки на оптимізацію діяльності підприємства, а й на зміну параметрів моделей.

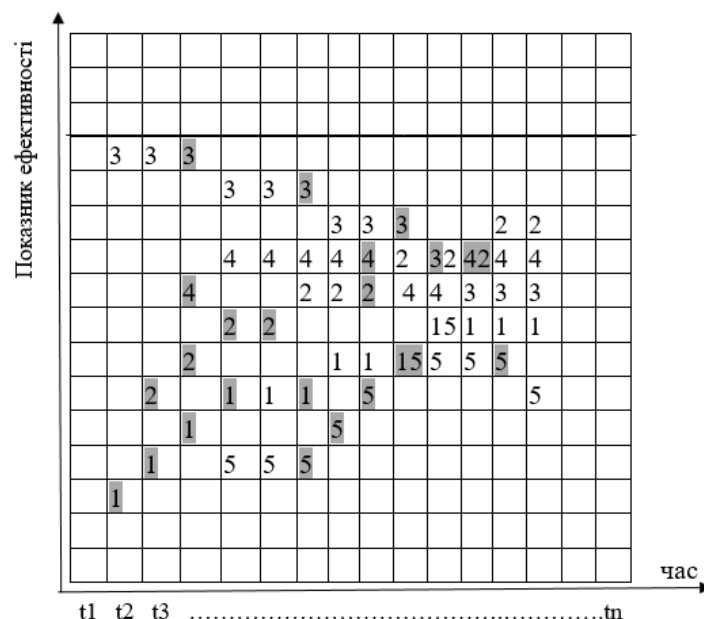


Рисунок 2 – Модель траєкторії функціонування підприємств галузі

Зокрема відомо, що життєвий цикл підприємства [15] починається з придбання обладнання, сировини і вирішення кадрового питання. Це потребує початкових коштів, які відносяться до основних початкових параметрів моделі.

Метод інформаційної підтримки процесів забезпечення запасними частинами виробничого обладнання промислового підприємства [16], який засновано на використанні технології інтелектуальних агентів, що дозволяє підвищити ефективність виробничих процесів, також може бути застосований для поліграфічних підприємств.

Як правило, матеріальні ресурси закуповуються для виготовлення однієї партії продукції (тиражу) за умови її реалізації за один період часу. Це припущення дозволяє спростити задачу моделювання.

Обладнання потрібне з самого початку функціонування підприємства та використовується протягом багатьох періодів виробництва, враховуючи його амортизацію.

Кількість працівників залежить від кількості придбаного обладнання та можливості роботодавця платити їм заробітну плату. Кількість вакансій залежить від об'ємів виробництва та величини заробітного фонду.

За алгоритмом роботи моделі, підприємство починає виробництво за умови наявності перелічених ресурсів і випускає продукцію в поточний період часу та одразу ж передає її на реалізацію, результати якої відомі

на початок наступного періоду часу. Обсяг наступної партії залежить від успішності реалізації поточної партії продукції, що впливає на кількість потрібної сировини та матеріалів на початку наступного періоду.

Якщо прибуток підприємства протягом декількох періодів є додатним, то, в залежності від стратегії підприємства, можна:

- розширити виробництво, збільшивши обсяги продукції, що виготовляється, – закупивши додаткові машини та обладнання, а також найнявши більше працівників;
- покращити асортимент продукції, яка випускається;
- викупити конкурентне поліграфічне підприємство, збільшивши за його рахунок основні фонди та кількість працівників.

Якщо прибуток низький або від'ємний, його можна покращити, змінюючи обсяги продукції, яка виробляється. В разі неефективності таких дій найчастіше підприємство є збитковим. Коли в підприємства недостатньо коштів для закупівлі навіть мінімальної кількості сировини і виплати заробітної плати працівникам, то підприємство вважається банкрутом і перестає існувати.

Висновки. Розглянута модель процесів життєвого циклу поліграфічного підприємства з використанням інтелектуальних агентів, кожний з яких має внутрішню структуру, програмні модулі для розв'язання окремих задач, використовує дані (як внутрішні для окремого підприємства, так і з загальної бази даних),

робить висновки, виходячи із прагнення розвитку та максимізації прибутку.

Науковою новизною є розробка моделі підтримки прийняття рішень щодо оптимізації функціонування підприємств поліграфічної галузі на основі інтеграції елементів еволюційної та мультиагентної парадигм.

Представлена модель є поєднанням сучасних економічних математичних моделей з налаштуваннями для можливості застосування теорії «штучного життя».

Процес моделювання триває доти, доки необхідно зацікавленій особі. Результатом функціонування моделі є набір параметрів поліграфічного підприємства, робота якого досліджувалась. Метою моделювання роботи поліграфічних підприємств в більшій мірі є прогнозування, що надає можливість прослідкувати життєвий цикл потенційно створеного підприємства та спрогнозувати його перспективи в умовах конкуренції.

Виконана ініціалізація елементної бази моделювання процесів функціонування підприємств поліграфічної галузі.

Практичну цінність має розроблена методика аналізу та прогнозування діяльності поліграфічного підприємства.

Розроблена модель дозволить побачити перспективи діяльності сукупності поліграфічних підприємств, що є конкурентами, та розробити необхідну стратегію поведінки на ринку, що задовольняє *ОПР*.

Одержані результати спрямовані на подальший розвиток технологій підтримки прийняття рішень керівниками підприємств.

Список використаних джерел

- [1] О. Ф. Волошин, та С. О. Машенко, *Теорія прийняття рішень*. Київ: Київський університет, 2006.
- [2] Л. Ф. Гуляницький, та Т. Г. Бондар, "Дослідження ефективності адаптивних методів прогнозування", *Компьютерная математика*, № 1, с. 53-60, 2018.
- [3] Ю. П. Зайченко, *Основи проектування інтелектуальних систем*. Київ: Видавничий Дім "Слово", 2004.
- [4] В. Е. Снитюк, *Эволюционные технологии принятия решений в условиях неопределенности*. Киев: МП Леся, 2015.
- [5] Highlights on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems, in *Proceedings of International Workshops of PAAMS*. Salamanca, Spain, 2013.
- [6] С. Бобровский, "Эволюция и искусственная жизнь", *PC Week/RE*, № 3, с. 26-30, 2005.
- [7] M. A. Bedau, "Artificial Life: organization, adaptation and complexity from the bottom up", *Trends in cognitive science*, vol. 7, no. 11, pp. 505-512, 2003.
- [8] H.-G. Beyer, and H.-P. Schwefel, "Evolution Strategies: A Comprehensive Introduction", *Journal Natural Computing*, № 1(1), pp. 3-52, 2002.
- [9] G. V. Cybenko, "Approximation by Superpositions of a Sigmoidal function", In van Schuppen, Jan H. *Mathematics of Control, Signals, and Systems*. Springer International, pp. 303-314.
- [10] N. Hansen, and S. Kern, "Evaluating the CMA Evolution Strategy on Multimodal Test Functions", in *Parallel Problem Solving from Nature – PPSN VIII*. Springer, 2008, pp. 282-291.
- [11] L. Panait, and S. Luke, "Cooperative Multi-Agent Learning: The State of the Art", *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, no. 11(3), pp. 387-434, 2005.
- [12] М. З. Згуровский, и Н. Д. Панкратова, *Системный анализ. Проблемы, методология, приложения*. Киев: Наук. думка, 2005.
- [13] K. Lakkaraju et al., "Research Directions for Service-Oriented Multiagent Systems", *IEEE Internet Computing*, vol. 9, pp. 65-70, 2005.
- [14] Б. В. Мисник, "Особливості моделювання процесів функціонування виробничих підприємств на основі концепції «штучного життя»", *Штучний інтелект*, № 4, с. 430-437, 2010.
- [15] А. А. Тимченко, и А. А. Родионов, *Основы информатики системного проектирования объектов новой техники*, Киев: Наук. думка, 1991.
- [16] Shostak, R. Kapitan, L. Volobuyeva and M. Danova, "Ontological Approach to the Construction of Multi-Agent Systems for the Maintenance Supporting Processes of Production Equipment", in *2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, 2018, pp. 209-214. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8631896>.

References

- [1] O. F. Voloshyn, and S. O. Mashchenko, *Decision-making theory*. Kiev: Kyivskiy universytet, 2006 [in Ukrainian].
- [2] L. F. Huliantskyi, and T. H. Bondar, "Investigation of the efficiency of adaptive forecasting methods", *Kompiuternaia matematika*, no. 1, pp. 53-60, 2018 [in Ukrainian].
- [3] Yu. P. Zaichenko, *Fundamentals of Intelligent Systems Design*. Kiev: Vydavnychi Dim "Slovo", 2004 [in Ukrainian].
- [4] V. E. Snytiuk, *Evolutionary decision-making technologies under uncertainty*. Kiev: MP Lesia, 2015 [in Russian].
- [5] Highlights on Practical Applications of Agents and Multi-Agent Systems, in *Proceedings of International Workshops of PAAMS*. Salamanca, Spain, 2013.
- [6] S. Bobrovskyi, "Evolution and artificial life", *PC Week/RE*, no. 3, pp. 26-30, 2005 [in Russian].
- [7] M. A. Bedau, "Artificial Life: organization, adaptation and complexity from the bottom up", *Trends in cognitive science*, vol. 7, no. 11, pp. 505-512, 2003.
- [8] H.-G. Beyer, H.-P. Schwefel, "Evolution Strategies: A Comprehensive Introduction", *Journal Natural Computing*, no. 1(1), pp. 3-52 2002.
- [9] G. V. Cybenko, "Approximation by Superpositions of a Sigmoidal function", In van Schuppen, Jan H. *Mathematics of Control, Signals, and Systems*. Springer International, pp. 303-314.
- [10] N. Hansen, and S. Kern, "Evaluating the CMA Evolution Strategy on Multimodal Test Functions", in *Parallel Problem Solving from Nature – PPSN VIII*. Springer, 2008, pp. 282-291.
- [11] L. Panait, and S. Luke, "Cooperative Multi-Agent Learning: The State of the Art", *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, no. 11(3), pp. 387-434, 2005.
- [12] M. Z. Zghurovskyi, and N. D. Pankratova, *System analysis. Problems, methodology, applications*. Kiev: Nauk. dumka, 2005 [in Russian].
- [13] K. Lakkaraju et al., "Research Directions for Service-Oriented Multiagent Systems", *IEEE Internet Computing*, vol. 9, pp. 65-70, 2005.
- [14] B. V. Mysnyk, "Features of modeling processes functioning of production enterprises on the basis of the concept «artificial life»", *Shtuchnyi intelekt*, no. 4, pp. 430-437, 2010 [in Ukrainian].
- [15] A. A. Tymchenko, and A. A. Rodyonov, *Fundamentals of computer science system design objects of new equipment*. Kiev: Nauk. dumka, 1991 [in Russian].
- [16] Shostak, R. Kapitan, L. Volobuyeva and M. Danova, "Ontological Approach to the Construction of Multi-Agent Systems for the Maintenance Supporting Processes of Production Equipment", in *2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkiv, Ukraine, 2018, pp. 209-214. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8631896>.

B. V. Mysnyk, *Candidate of Technical Sciences,*

R. B. Kapitan, *Candidate of Technical Sciences, docent,*

L. D. Mysnyk, *Candidate of Technical Sciences, docent,*

O. V. Manziura

Cherkasy State Technological University

bul. Shevchenko, 460, Cherkassy, 18006, Ukraine

e-mails: b.mysnyk@chdtu.edu.ua, l.mysnyk@chdtu.edu.ua, kapitan_ruslan@ukr.net, fktm-email@ukr.net

PROBLEMS OF INFORMATION AND ANALYTICAL SUPPORT OF FUNCTIONING AND DEVELOPMENT OF ENTERPRISES OF PRINTING INDUSTRY IN THE CONDITIONS OF COMPETITION

Small and medium-sized enterprises are a potential driver of Ukraine's modern economy. The large part of the market is occupied by the enterprises of printing industry. Their managers constantly come across the tasks of expanding production, re-profiling, upgrading, setting up branches or elimi-

nating them. Given the dynamic nature of the operation of such enterprises and its duality of the process of multiagent systems functioning, it is proposed to solve such a problem on the basis of evolutionary and multiagent paradigms.

As the enterprises of the industry evolve over time, it is shown that in their modeling the ideas of the concept of "artificial life" can be used, their peculiarities, advantages and disadvantages are established. The analytical review of models, methods and software-algorithmic tools, used in the processes of support of manufacturing enterprises by stages of their life cycle, is carried out. The analysis shows the benefits of using multiagent systems in decision support systems in homogeneous environments.

Models have been built to modify multiple tasks or production structures or management strategies based on predefined rules.

The features of building an intelligent decision support system and experimental verification of results are presented. The functional structure of modular interaction in the decision support system is proposed. Features of modules functioning are defined, their input and output data flows, features of functioning and critical modes are specified.

The peculiarities of forming a knowledge base, including a database of transactions, a bank of mathematical models, a variety of mathematical methods and rules for obtaining new knowledge, are shown. The analysis of the recommendations contained in the knowledge base significantly increases the chances of the manager to make informed progressive decisions.

The above results are, in aggregate, the solution to scientific and applied research problem.

Keywords: artificial life, optimization of functioning, multiagent system, decision making, models of efficiency indicators, methods of data recovery.

[0000-0003-1903-6022] **В. В. Палагин, д.т.н., профессор,**

[0000-0003-4431-2068] **Д. А. Ведерников, аспирант**

e-mail: palahin@ukr.net

Черкасский государственный технологический университет,
бульв. Шевченко, 460, Черкасы, 18005, Украина

НЕЛИНЕЙНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА НА ФОНЕ АСИММЕТРИЧНО-ЭКССЕССНЫХ НЕГАУССОВСКИХ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ПОМЕХ

В теории статистического анализа многомерных случайных величин задачи корреляционного анализа являются важными при построении и реализации многих технических систем контроля, мониторинга и диагностики. В процессе решения этих задач определение наличия и характера статистической взаимосвязи исследуемых случайных величин является приоритетным направлением. На основании результатов корреляционного анализа делаются выводы о наличии и характере функциональной зависимости случайных величин, предпочтительности используемых методов исследований и предлагаемых моделей для описания случайных многомерных процессов. Применение классического математического аппарата корреляционного анализа широко используется в предположении о принадлежности наблюдаемого случайного процесса многомерному нормальному закону распределения. На практике такие предпосылки корреляционного анализа выполняются далеко не всегда и, скорее всего, являются удобной математической идеализацией исследуемых процессов. Исследования показывают, что при описании случайных процессов, в том числе негауссовских, перспективным является подход, основанный на использовании моментных и кумулянтных функций высших порядков. Такое представление случайных процессов позволяет повысить точность их обработки при заданных ограничениях на их алгоритмическую сложность, учесть корреляционные связи исследуемых негауссовских случайных величин. В предложенной работе рассматривается построение методов оценивания параметра постоянного сигнала, принимаемого на фоне асимметрично-экссесных негауссовских коррелированных помех при использовании метода максимизации полинома (метода Кунченко) и его адаптации для реализации нелинейных алгоритмов и компьютерных средств функционирования систем обработки сигналов. Показано, что учет параметров негауссовского распределения в виде кумулянтных функций высших порядков, нелинейная обработка случайных процессов, позволяет повысить эффективность обработки сигналов в виде уменьшения дисперсии оценки полиномиальных алгоритмов по сравнению с классическими результатами.

Ключевые слова: моментно-кумулянтные функции, адаптированный метод максимизации полинома, коррелированные негауссовские стохастические процессы.

Введение. Задачи оценивания параметров сигналов, принимаемых на фоне помех, являются важными при реализации многих технических систем, имеющих отношение к статистической обработке данных. Для их решения успешно используются хорошо известные статистические методы, такие как метод максимального правдоподобия, метод моментов и др. [1–3]. Использование данных методов не накладывает принципиальных ограничений на вид распределений исследуемых случайных процессов, однако на практике широкое распространение получили гауссовские модели исследуемых случайных ве-

личин. Такое предположение не всегда адекватно отображает реальные случайные процессы, отличные от гауссовских [4–6], что в целом приводит к снижению эффективности оценивания параметров исследуемых случайных процессов.

Использование классических методов оценивания параметров сигналов, принимаемых на фоне негауссовских помех, сопровождается большими трудностями, которые связаны с априорной неопределенностью параметров негауссовских распределений, со сложностью алгоритмической реализации данных методов, что в целом не позволяет

создавать эффективные программно-алгоритмические системы обработки случайных процессов. Кроме того, при необходимости учета корреляционных связей исследуемых негауссовских процессов, проблемы применения традиционных классических подходов к оцениванию параметров сигналов существенно возрастают, что не позволяет синтезировать адекватные модели случайных процессов и соответствующие им алгоритмы обработки сигналов.

Научные исследования последних лет показывают, что перспективным направлением для решения подобных проблем является использование моментных и кумулянтных функций высших порядков [6–9]. Такой подход позволяет с допустимым приближением описать статистические свойства негауссовских случайных процессов, в том числе статистически зависимых. Применение моментно-кумулянтных моделей исследуемых случайных процессов позволяет повысить их адекватность реальным природным процессам и успешно использовать для построения новых методов оценивания параметров сигналов, принимаемых на фоне негауссовских коррелированных помех [8–12].

Применение такого подхода к решению задач оценивания параметров сигналов, принимаемых на фоне коррелированных негауссовских помех, требует теоретических и практических исследований, направленных на изучение и развитие многомерных моментно-кумулянтных функций высших порядков, построении и анализе новых методов обработки сигналов.

Целью работы является построение и анализ нелинейных методов оценивания параметра постоянного сигнала на фоне асимметрично-экссесных коррелированных негауссовских помех при использовании моментно-кумулянтных функций высших порядков для создания эффективных алгоритмов и компьютерных средств проектирования систем обработки сигналов.

Моментно-кумулянтные функции и их использование при описании коррелированных негауссовских случайных процессов. Для описания статистических свойств коррелированных негауссовских процессов используем подход, основанный на применении моментно-кумулянтных функций. Такое представление случайных величин позволяет учесть не только негауссовский характер ис-

следуемых процессов в виде моментов и кумулянтов выше третьего порядка, но и статистические зависимости при использовании совместных моментных и кумулянтных функций.

Пусть имеются две статистически зависимые случайные величины ξ и η , которые описываются плотностями распределения p_ξ и p_η и характеризуются начальными моментами i -го порядка:

$$m_i^{(\xi)} = E\xi^i = \int_{-\infty}^{+\infty} x^i p_\xi(x) dx,$$

$$m_i^{(\eta)} = E\eta^i = \int_{-\infty}^{+\infty} y^i p_\eta(y) dy.$$

Известно, что статистически зависимые случайные величины можно характеризовать совместными моментами различной размерности. С практической точки зрения достаточной характеристикой описания статистических связей является использование смешанных моментов размерности (i, j) двух случайных величин:

$$m_{i,j}^{(\xi,\eta)} = E\xi^i \eta^j = \int_{-\infty}^{+\infty} x^i y^j p(x, y) dx dy.$$

Использование начальных моментов высших порядков хорошо зарекомендовало себя при построении моделей негауссовских процессов и соответствующих им алгоритмов обработки сигналов [8–12]. Такое описание позволило оперировать такими параметрами, как коэффициенты асимметрии (γ_3), эксцесса (γ_4) и др., которые равны нулю в предположении гауссовских моделей случайных процессов.

При рассмотрении статистических связей негауссовских случайных величин удобно оперировать двумерными моментами m_{ij} и кумулянтами χ_{ij} , которые представлены в виде [6]:

$$m_{11} = \chi_{11}, \quad m_{12} = \chi_{12}, \quad m_{13} = \chi_{13} + 3\chi_2\chi_{11},$$

$$m_{22} = \chi_{22} + \chi_2^2 + 2\chi_1^2,$$

$$m_{23} = \chi_{23} + \chi_2\chi_3 + 6\chi_{11}\chi_{12} + 3\chi_2\chi_{12}, \dots$$

При отсутствии статистической зависимости двумерные моменты и кумулянты преобразуются в одномерное представление.

Отметим, что совместные моменты и кумулянты связаны между собой. Например, параметр ковариации представляется как совместный кумулянт второго порядка χ_{11} и характеризует статистическую связь случайных величин:

$$\chi_{11} = m_{11} - m_{\xi} m_{\eta},$$

где m_{ξ} и m_{η} – математическое ожидание случайной величины ξ и η соответственно.

При $\chi_{11} \neq 0$ проявляется статистическая зависимость исследуемых случайных величин. Однако, при равенстве нулю данного параметра может проявляться более сложная статистическая зависимость в виде кумулянтов высших порядков [6].

Анализ статистических двумерных связей можно представить в виде таблицы 1, которая наглядно описывает характеристики случайной величины.

Таблица 1 – Представление двумерных совместных моментов

Порядок совместных кумулянтов	Обозначение двумерных совместных моментов					
1	χ_{10}	χ_{01}				
2	χ_{20}	χ_{11}	χ_{20}			
3	χ_{30}	χ_{12}	χ_{21}	χ_{03}		
4	χ_{40}	χ_{31}	χ_{22}	χ_{13}	χ_{04}	
...	...	...	...	...	...	...

Равенство нулю всех совместных кумулянтов χ_{ij} (таблица 1) является необходимым и достаточной условием статистической независимости случайной величины.

Задаваясь кумулянтами в таблице 1, выделим определенные классы случайных величин. В частности, для двухмерного гауссовского распределения совместные моменты представлены в таблице 2. Отличающимися от нуля являются кумулянты первого и второго порядков, причем данная случайная величина характеризуется только статистической связью первого порядка или корреляцией. Задаваясь совместными кумулянтами, приходим к понятию зависимых негауссовых случайных величин.

Таблица 2 – Представление двумерных совместных моментов для гауссовского распределения

Порядок совместных кумулянтов	Обозначение двумерных совместных моментов					
1	χ_{10}	χ_{01}				
2	χ_{20}	χ_{11}	χ_{20}			
3						
4						

Определение 1. Гауссовскими статистически зависимыми случайными величинами будем называть такие, для которых отличными от нуля будут одномерный кумулянт второго порядка χ_2 и совместный кумулянт второго порядка χ_{11} , а все остальные кумулянты третьего и выше порядков, а также совместные кумулянты выше второго порядка равны нулю. В этом случае начальные моменты до шестого порядка имеют вид:

$$\alpha_1 = \chi_1, \alpha_2 = \chi_2, \alpha_3 = 0,$$

$$\alpha_4 = 3\chi_2^2, \alpha_5 = 0, \alpha_6 = 15\chi_2^3, \dots,$$

а совместные моменты имеют следующую взаимосвязь с совместными кумулянтами:

$$m_{11}^{(v,k)} = \chi_{11} = \chi_2 \cdot r^{(v,k)}, m_{12} = \chi_{12} = 0,$$

$$m_{22}^{(v,k)} = \chi_2^2 + 2\chi_{11}^2 = \chi_2^2 (1 + 2r^{(v,k)^2}), \dots,$$

где $r^{(v,k)}$ – корреляционная функция заданного вида между v -м и k -м выборочным значением. Например, корреляционная функция может иметь:

$$r_{\xi}(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|}, r_{\xi}(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|} \cos \beta \tau,$$

$$r_{\xi}(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|} \left(\cos \beta \tau + \frac{A}{\beta} \sin \beta |\tau| \right),$$

где $\tau = |t_v - t_k|$ – корреляционный интервал, который при учете статистических связей меньше интервала корреляции $\tau = |t_v - t_k| \leq \tau_{кор}$, $v, k = \overline{1, n}$; $\tau_{кор}$ – время корреляции; $\sigma^2 = r_{\xi}(0)$ – дисперсия случайного процесса; $1/A > 0$ – постоянная времени, характеризующая статистическую связь выборочных значений.

В данной работе проводится исследование по построению нелинейных методов оценивания параметра постоянного сигнала, принимаемого на фоне асимметрично-экспоненциальных коррелированных негауссовских помех. Данный класс исследуемого случайного процесса представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Представление двумерных совместных моментов для асимметрично-экспоненциальной негауссовской коррелированной случайной величины

Порядок совместных кумулянтов	Обозначение двумерных совместных моментов					
1	χ_{10}	χ_{01}				
2	χ_{20}	χ_{11}	χ_{02}			
3	χ_{30}	χ_{03}				
4	χ_{40}	χ_{04}				

Определение 2. Асимметрично-экспоненциальными статистически зависимыми случайными величинами 2-го типа 1-го вида будем называть такие, для которых отличными от нуля будут χ_2 , χ_3 и χ_4 , а также совместные кумулянты χ_{11} , χ_{12} , χ_{13} и χ_{22} , а все остальные кумулянты выше четвертого порядков, а также совместные кумулянты выше четвертого порядка равны нулю. В этом случае начальные моменты до шестого порядка имеют вид:

$$\alpha_1 = \chi_1, \alpha_2 = \chi_2, \alpha_3 = \chi_3, \alpha_4 = \chi_4 + 3\chi_2^2, \\ \alpha_5 = 10\chi_3\chi_2, \alpha_6 = 15\chi_2\chi_4 + 10\chi_3^2 + 15\chi_2^3, \dots,$$

а совместные моменты имеют следующую взаимосвязь с совместными кумулянтами:

$$m_{11}^{(v,k)} = \chi_{11} = \chi_2 \cdot r^{(v,k)}, \\ m_{12}^{(v,k)} = \chi_{12} = \chi_3 \chi_2^{3/2} r^{(v,k)^{3/2}}, \\ m_{22}^{(v,k)} = \chi_2^2 (\chi_4 r^{(v,k)^2} + 1 + 2r^{(v,k)^2}), \dots$$

Если предположить, что случайная величина имеет нулевое математическое ожидание, то начальный момент первого порядка будет равняться нулю, т.е. $\alpha_1 = 0$.

На основе предложенных моментно-кумулянтных моделей асимметрично-экспоненциальных коррелированных негауссовских процессов будут построены методы оценивания параметра постоянного сигнала при использовании адаптированного метода максимизации полинома (АММП).

Применение АММП для оценивания параметра сигналов, принимаемых на фоне асимметрично-экспоненциальных коррелированных негауссовских помех. Пусть наблюдается исследуемый сигнал $\xi(t)$, который состоит из полезного постоянного сигнала $S(\mathcal{G})$, зависящего от параметра $\mathcal{G}$, и стационарной асимметрично-экспоненциальной негауссовской коррелированной помехи $\eta(t)$:

$$\xi(t) = S(\mathcal{G}) + \eta(t).$$

Для описания исследуемого процесса используем следующие двумоментные кумулянтные функции, которые отличны от нуля:

$$\chi_2, \chi_3, \chi_4, \chi_2(0, \tau), \\ \chi_3(0, \tau, \tau), \chi_4(0, 0, 0, \tau).$$

Пусть из принятого сигнала $\xi(t)$ исследуется статистически зависимая и одинаково распределенная выборка $\vec{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ объемом n :

$$x_v = S_g + \eta_v,$$

где для краткости записи используем обозначение $S_g = S(\mathcal{G})$.

По результатам обработки $\vec{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ необходимо определить оценку параметра постоянного сигнала $\mathcal{G}$ при условии, что остальные параметры априорно известны.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать подход, основанный на полиномиальном оценивании неизвестных параметров – метод максимизации полинома (метод Кунченко) [8, 9] и его адаптацию (АММП) на случай исследования статистически зависимых случайных процессов [12].

В соответствии с АММП исследуемые процессы представляются в виде стохастических полиномов степени s [8, 9]. Тогда оценка параметра $\mathcal{G}$ постоянного сигнала нахо-

дится из решения уравнения, которое имеет вид:

$$\sum_{i=1}^s h_{i(v,k)} [\mathcal{G}] \sum_{v=1}^n (\xi_{(v)}^i - \alpha_i [\mathcal{G}]) \Big|_{\mathcal{G}=\hat{\mathcal{G}}} = 0, \quad v, k = \overline{1, n} \quad (1)$$

где $\xi_{(v)}$ – случайные одинаково распределенные и статистически зависимые величины в моменты времени v , $\alpha_i [\mathcal{G}]$ – начальные моменты i -го порядка, зависящие от параметра $\mathcal{G}$; $h_{i(v,k)} [\mathcal{G}]$ – коэффициенты, зависящие от параметра $\mathcal{G}$ и функции корреляции $r_{\xi}(\tau)$, $\tau = |v - k|$. Неизвестные коэффициенты (1) будут находиться из решения системы алгебраических уравнений:

$$\sum_{i=1}^s h_{i(v,k)} [\mathcal{G}] K_{i,j}(\tau, \mathcal{G}) = \frac{d}{d\mathcal{G}} \alpha_i(\mathcal{G}), \quad (2)$$

$i = \overline{1, s}, \quad v, k = \overline{1, n},$

$$K_{i,j}(\tau, \mathcal{G}) = E \{ \xi_v^i - \alpha_i [\xi_v^i - \alpha_j] \} = E [\xi_v^i \xi_k^j] - \alpha_i \alpha_j.$$

Коррелянты $K_{i,j}(\tau, \mathcal{G})$ зависят не только от одномерных начальных моментов α_i порядка i , но от совместных двумерных моментов $E[\xi_v^i \xi_k^j]$. При таком моментно-кумулянтном подходе для описания случайных процессов имеется возможность представить статистические связи коррелированных негауссовских процессов.

Эффективность синтезированных алгоритмов сопоставляется с количеством извлекаемой информации об оценивании параметра $\mathcal{G}$, которое в общем случае имеет вид [8, 9]:

$$I_{sn}(\mathcal{G}) = \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s h_{i(v,k)} [\mathcal{G}] \frac{d}{d\mathcal{G}} \alpha_i(\mathcal{G}) = \frac{1}{\sigma_{(\mathcal{G})s}^2}, \quad (3)$$

$k = \overline{1, n},$

и обратно пропорционально дисперсии оценки.

На основе использования моментно-кумулянтных функций высших порядков и совместных кумулянтов представления случайных процессов, использование нового метода оценки АММП, синтезированы нелинейные алгоритмы оценивания параметра $\mathcal{G}$ постоянного сигнала, принимаемого на фоне коррелированных асимметрично-эксцессных негауссовских помех.

Результаты исследования и их анализ. На основе предложенного подхода к описанию коррелированных негауссовских процессов и применения полиномиальных методов при использовании АММП, рассмотрим получение алгоритмов оценивания параметра постоянного сигнала при степени полинома $s = 1, 2$.

Приведем начальные одномерные моменты до 4-го порядка, а также совместные двумерные моменты, характеризующие корреляционные связи асимметрично-эксцессных негауссовских процессов.

Выражения для начальных одномерных моментов до 4-го порядка асимметрично-эксцессной негауссовской случайной величины имеют вид:

$$\alpha_1 = 0, \quad \alpha_2 = \chi_2, \quad \alpha_3 = \chi_2^{3/2} \gamma_3, \\ \alpha_4 = \chi_2^2 (\gamma_4 + 3),$$

а двумерные функции данного распределения запишутся как:

$$\alpha_2(0, \tau) = \chi_2(0, \tau), \quad \alpha_3(0, \tau, \tau) = \chi_3(0, \tau, \tau), \\ \alpha_4(0, \tau, \tau, \tau) = \chi_4(0, \tau, \tau, \tau) + 3\chi_2 \cdot \chi_2(0, \tau),$$

$$\alpha_4(0, 0, \tau, \tau) = \chi_4(0, 0, \tau, \tau) + \chi_2^2 + 2\chi_2^2 \cdot (0, \tau).$$

Для рассматриваемой аддитивной смеси постоянного сигнала S_g и асимметрично-эксцессной негауссовской помехи моменты одномерного распределения до 4-го порядка примут вид:

$$m_1 = S_g, \quad m_2 = \chi_2 + S_g^2, \\ m_3 = \chi_2^{1.5} \gamma_3 + 3\chi_2 S_g + S_g^3, \\ m_4 = 3\chi_2^2 + 4\chi_2^{1.5} \gamma_3 S_g + 6\chi_2 S_g^2 + S_g^4 + \gamma_4 \chi_2^2,$$

а моменты двумерного распределения запишутся как:

$$m_{11} = S_g^2 + \chi_2 r^{(v,k)}, \\ m_{12} = S_g^3 + S_g \chi_2 + 2S_g \chi_2 r^{(v,k)} + \gamma_3 \chi_2^{3/2} r^{(v,k)^{3/2}}, \\ m_{22} = S_g^4 + 2S_g^2 \chi_2 + 4S_g^2 \chi_2 r^{(v,k)} + 4S_g \gamma_3 \chi_2^{3/2} r^{(v,k)^{3/2}} + \\ + \chi_2^2 (\gamma_4 r^{(v,k)^2} + 1 + 2r^{(v,k)^2})$$

Представление коррелянтов $K_{i,j}(\tau, \mathcal{G})$ двумерного случайного процесса $\xi(t)$ примет вид:

$$K_{1,1}(0, \tau, \vartheta) = m_{11} - m_1 m_2 = \chi_2 r_\xi(\tau),$$

$$K_{1,2}(0, \tau, \tau, \vartheta) = m_{12} - m_1 m_2 = \\ = 2S_\vartheta \chi_2 r^{(v,k)} + \gamma_3 \chi_2^{3/2} r^{(v,k)^{3/2}},$$

$$K_{2,2}(0,0, \tau, \tau, \vartheta) = m_{22} - m_2 m_2 = 4S_\vartheta^2 \chi_2 r^{(v,k)} + \\ + 4S_\vartheta \gamma_3 \chi_2^{3/2} r^{(v,k)^{3/2}} + \gamma_4 \chi_2^2 r^{(v,k)^2} + 2\chi_2^2 r^{(v,k)^2}.$$

При отсутствии корреляционных связей между выборочными значениями центрированные коррелянты примут хорошо известный вид:

$$K_{1,1} = \chi_2, \quad K_{1,2} = \chi_2^{3/2} \gamma_3 + 2\chi_2 S_\vartheta,$$

$$K_{2,2} = 4S_\vartheta^2 \chi_2 + S_\vartheta \gamma_3 \chi_2^{3/2} + \chi_2^2 (\gamma_4 + 2).$$

Для определения неизвестного параметра ϑ используем предложенный новый метод АММП (1), где оптимальные коэффициенты $h_{i(v,k)}[\vartheta]$ находятся из решения системы алгебраических уравнений (2). Поскольку центральные коррелянты представляют собой матрицы размерностью $n \times n$ (объем выборочных значений), то при решении (2) воспользуемся формулами Крамера и Шура:

$$h_{i(v,k)}[\vartheta] = \frac{\Delta_{is}(\vartheta)}{\Delta_s(\vartheta)}, \quad i = \overline{1, s},$$

где $\Delta_s(\vartheta) = \det \|K_{i,j}(\tau, \vartheta)\|$ – определитель матрицы размерности s , элементами которой являются центральные коррелянты асимметрично-экспоненциального коррелированного случайного процесса; $\Delta_{is}(\vartheta)$ – определитель, получаемый из $\Delta_s(\vartheta)$ заменой i -го столбца столбцом, состоящим из свободных членов системы уравнений.

Легко показать, что при степени полинома $s=1$ оценка параметра ϑ постоянного сигнала находится из уравнения (1) и имеет вид:

$$\sum_{v=1}^n h_{1(v,k)}[\vartheta] (\xi_{(v)} - S_\vartheta) \Big|_{S_\vartheta = \hat{S}_\vartheta} = 0, \quad k = \overline{1, n}. \quad (4)$$

Используя приведенные выше выражения для начальных моментов и центральных коррелянтов, получим:

$$h_{1(v,k)}[\vartheta] = \frac{A_v(\vartheta)}{\det \|K_{1,1}(\tau, \vartheta)\|}, \quad v, k = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где $A_v(\vartheta)$ – определитель, получаемый из определителя $\det \|K_{1,1}(\tau, \vartheta)\|$ заменой v -го столбца столбцом, состоящим из свободных членов системы уравнений (2).

Центральные коррелянты $K_{1,1}(\tau, \vartheta)$ описывают статистические зависимости выборочных значений в моменты времени (v, k) и представляет собой корреляционную матрицу. Для экспоненциальной корреляционной функции $K_{1,1}(\tau, \vartheta)$ примет вид:

$$K_{1,1}(\tau, \vartheta) = \sigma^2 \begin{vmatrix} 1 & e^{-A} & \dots & e^{-A(n-1)} \\ e^{-A} & 1 & \dots & e^{-A(n-2)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e^{-A(n-1)} & e^{-A(n-2)} & \dots & 1 \end{vmatrix}.$$

Используя коэффициенты $h_{1(v,k)}[\vartheta]$ (5) уравнение максимизации полинома (4) при степени $s=1$ примет окончательный вид:

$$\hat{S}_\vartheta = \frac{\sum_{v=1}^n A_v(\vartheta) x_v}{\sum_{v=1}^n A_v(\vartheta)}. \quad (6)$$

При отсутствии статистических связей между выборочными значениями данная оценка параметра $\hat{S}_\vartheta$ (6) примет хорошо известный вид [8, 9]:

$$\hat{S}_\vartheta = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v.$$

Для получения количественного показателя эффективности полиномиального оценивания при степени полинома $s=1$ воспользуемся количеством извлекаемой информации о параметре $\hat{S}_\vartheta$ (3), который является обратной величиной дисперсии оценки и примет вид:

$$I_{1n}(\vartheta) = \sum_{v=1}^n h_{1(v,k)}[\vartheta] = \frac{A_v(\vartheta)}{\det \|K_{1,1}(\tau, \vartheta)\|}. \quad (7)$$

Полученная оценка параметра $\hat{S}_\vartheta$ (6) не учитывает параметры негауссовского распределения исследуемого процесса, т.к. в этом случае используются только первых два начальных момента.

Для учета характеристик негауссовского коррелированного процесса увеличим степень полинома до $s = 2$. Для нахождения оценки параметра $\hat{S}_g$ используем уравнение максимизации полинома (1), в котором неизвестные коэффициенты, согласно (2), примут вид:

$$h_{1(v,k)}[g] = \frac{\Delta_{12}(g)}{\Delta(g)}, \quad h_{2(v,k)}[g] = \frac{\Delta_{22}(g)}{\Delta(g)},$$

где

$$\Delta(g) = \det \begin{vmatrix} K_{1,1}(0, \tau, g) & K_{1,2}(0, \tau, \tau, g) \\ K_{2,1}(0, \tau, \tau, g) & K_{2,2}(0, 0, \tau, \tau, g) \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{12}(g) = \det \begin{vmatrix} \frac{d}{dg} m_1(g) & K_{1,2}(0, \tau, \tau, g) \\ \frac{d}{dg} m_2(g) & K_{2,2}(0, 0, \tau, \tau, g) \end{vmatrix},$$

$$\Delta_{22}(g) = \det \begin{vmatrix} K_{1,1}(0, \tau, g) & \frac{d}{dg} m_1(g) \\ K_{2,1}(0, \tau, \tau, g) & \frac{d}{dg} m_2(g) \end{vmatrix},$$

а центральные коррелянты асимметрично-эксцессного коррелированного негауссовского случайного процесса приведены выше. Из-за громоздкости выражений значения определителей не приводятся. Подставляя полученные коэффициенты в уравнение (1) получим нелинейное уравнение максимизации полинома для определения оценки параметра $\hat{S}_g$.

Для получения количественных показателей эффективности оценивания неизвестного значения постоянного сигнала методом АММП при различных степенях полинома воспользуемся количеством извлекаемой информации из выборочных значений (3), которая является обратной величиной дисперсии оценки. Тогда отношение дисперсий оценок, найденных при использовании АММП при различных степенях полинома $s = 2$ и $s = 1$, примет вид:

$$g(g) = \frac{\sigma_{(g)2n}^2}{\sigma_{(g)1n}^2} = \frac{I_{1n}(g)}{I_{2n}(g)}.$$

На рис. 1 приведен анализ полученных результатов оценивания параметра постоянного сигнала на фоне асимметрично-эксцессных негауссовских помех при различных степенях полинома.

Полученная оценка $\hat{S}_g$ (6) при степени полинома $s = 1$ не учитывает негауссовский характер исследуемого случайного процесса, и ее эффективность определялась выражением (7). С ростом степени полинома $s = 2$ (1) для нахождения оценки неизвестного параметра учитываются моментные функции высших порядков, а именно коэффициенты асимметрии γ_3 и эксцесса γ_4 , а также двумерные совместные моменты, позволяющие описать корреляционные свойства. На рис. 1 приведены сравнительные результаты отношения I_1/I_2 от значения коэффициента асимметрии γ_3 при различных значениях коэффициентов эксцесса γ_4 и корреляции $A = 5, 0.1$. Из графиков видно, что с ростом значения коэффициента γ_3 количество извлекаемой информации I_2 по сравнению с I_1 возрастает, что равносильно увеличению эффективности оценивания в виде уменьшения дисперсии оценки неизвестного параметра. При слабых корреляционных связях ($A = 5$) результат эффективности оценивания будет совпадать с хорошо изученными свойствами, представленными в [8, 9]. В тоже время необходимо отметить, что наличие сильных корреляционных связей между выборочными значениями (уменьшение коэффициента корреляции A с 5 до 0.1 для функции $r_\xi(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|}$) приводит к увеличению дисперсии оценки, что эквивалентно уменьшению эффективности оценивания. Однако, в этом случае дисперсия оценки при степени полинома $s = 2$ все равно остается меньшей по сравнению с хорошо известными результатами для гауссовских моделей исследуемых случайных процессов (оценивание при степени полинома $s = 1$).

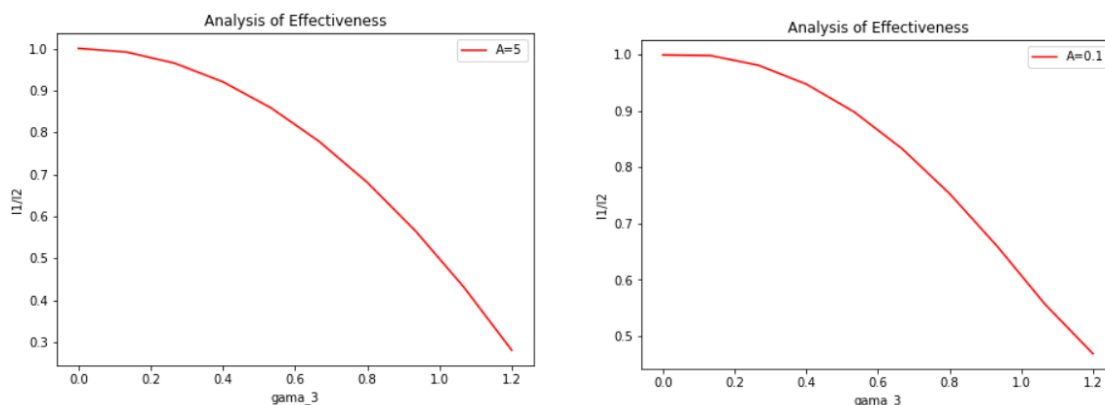


Рисунок 1 – Отношение количества извлекаемой информации об оцениваемом параметре постоянного сигнала от коэффициента асимметрии γ_3 при значении коэффициентов эксцесса $\gamma_4 = 1$ и корреляции ($A=5, 0.1$) для экспоненциальной корреляционной функции $r_\xi(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|}$

Выводы. Применение нового подхода к описанию случайных процессов в виде одномерных и двумерных моментно-кумулянтных функций позволило создать полиномиальные методы оценивания неизвестного параметра постоянного сигнала, принимаемого на фоне асимметрично-эксцессных коррелированных негауссовских помех при использовании адаптированного метода максимизации полинома. Данный подход учитывает негауссовское распределение исследуемого случайного процесса, статистические связи выборочных значений, что позволило повысить точность оценивания неизвестного параметра постоянного сигнала по сравнению с хорошо известными результатами в предположении широко распространенных гауссовских помех. Эффективность полученных результатов зависит не только от степени негауссовости исследуемого случайного процесса (коэффициента асимметрии и эксцесса), но и от параметра, характеризующего статистические связи выборочных значений.

Список використаних джерел

- [1] H. L. Van Trees, K. L. Bell, and Z. Tiany, *Detection Estimation and Modulation Theory, 2nd Edition, Part I, Detection, Estimation, and Filtering Theory*, John Wiley & Sons, New York, 2013.
- [2] V. P. Tuzlukov, *Signal Processing Noise*, CRC Press LLC, Boca Raton, 2002.
- [3] Mourad Barkat, *Signal Detection and Estimation*, Artech House, Boston, 2005.
- [4] D. Middleton, *Non-Gaussian Statistical Communication Theory*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2012.
- [5] Zhao Huihong, and Chenghui Zhang, "Non-Gaussian noise quadratic estimation for linear discrete-time time-varying systems", *Neurocomputing*, 174 (B), pp. 921-927, 2016.
- [6] А. Н. Малахов, *Кумулянтный анализ негауссовских процессов и их преобразований*. Москва: Сов. радио, 1979.
- [7] A. K. Nandi, *Blind Estimation Using Higher-Order Statistics*, Springer-Verlag, New York, 1999.
- [8] Y. P. Kunchenko, *Polynomial Parameter Estimations of Close to Gaussian Random variables*. Germany, Aachen: Shaker Verlag, 2002.
- [9] Ю. П. Кунченко, *Стохастические полиномы*. Киев: Наук. Думка, 2006.
- [10] V. Palahin, O. Palahina, V. Filipov, S. Leleko, and A. Ivchenko, "Modeling of Joint Signal Detection and Parameter Estimation on Background of Non-Gaussian Noise", *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*, 14 (3), pp. 87-94, 2015.
- [11] V. Palahin, and J. Juhár, "Joint Signal parameters estimation in non-Gaussian noise by the method of polynomial maximization", *Journal of Electrical Engineering*, vol. 67, no. 3, pp. 217-221, 2016.
- [12] L. Vokorokos, S. Marchevský, A. Ivchenko, E. Palahina, and V. Palahin, "Parameters Estimation of Correlated non-Gaussian processes by the Method of Polynomial Maximization", *Submitted to IET Signal Processing*, 313-319, 2016.

References

- [1] H. L. Van Trees, K. L. Bell, and Z. Tiany, *Detection Estimation and Modulation Theory, 2nd Edition, Part I, Detection, Estimation, and Filtering Theory*, John Wiley & Sons, New York, 2013.
- [2] V. P. Tuzlukov, *Signal Processing Noise*, CRC Press LLC, Boca Raton, 2002.
- [3] Mourad Barkat, *Signal Detection and Estimation*, Artech House, Boston, 2005.
- [4] D. Middleton, *Non-Gaussian Statistical Communication Theory*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2012.
- [5] Zhao Huihong, and Chenghui Zhang, "Non-Gaussian noise quadratic estimation for linear discrete-time time-varying systems", *Neurocomputing*, 174 (B), pp. 921-927, 2016.
- [6] A. N. Malakhov, *Cumulant analysis of non-Gaussian processes and their transformation*, Moscow: Sovetskoe Radio, 1979.
- [7] A. K. Nandi, *Blind Estimation Using Higher-Order Statistics*, Springer-Verlag, New York, 1999.
- [8] Y. P. Kunchenko, *Polynomial Parameter Estimations of Close to Gaussian Random variables*. Germany, Aachen: Shaker Verlag, 2002.
- [9] Y. Kunchenko, *Stochastic polynomials*, Kiev: Naukova Dumka, 2006.
- [10] V. Palahin, O. Palahina, V. Filipov, S. Leleko, and A. Ivchenko, "Modeling of Joint Signal Detection and Parameter Estimation on Background of Non-Gaussian Noise", *Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics*, 14 (3), pp. 87-94, 2015.
- [11] V. Palahin, and J. Juhár, "Joint Signal parameters estimation in non-Gaussian noise by the method of polynomial maximization", *Journal of Electrical Engineering*, vol. 67, no. 3, pp. 217-221, 2016.
- [12] L. Vokorokos, S. Marchevský, A. Ivchenko, E. Palahina, and V. Palahin, "Parameters Estimation of Correlated non-Gaussian processes by the Method of Polynomial Maximization", *Submitted to IET Signal Processing*, 313-319, 2016.

V. V. Palahin, Dr. Sc., professor,
e-mail: palahin@ukr.net

D. A. Viediarnikov, postgraduate student
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

NONLINEAR METHODS FOR SIGNAL PARAMETERS ESTIMATION IN ASYMMETRIC-EXCESS NON-GAUSSIAN CORRELATED NOISE

In the theory of statistical analysis of multidimensional random variables, the tasks of correlation analysis are quite important in the construction and implementation of many technical systems of control, monitoring and diagnostics. In the process of solving these tasks, the determination of the presence and nature of statistical relationship of the studied random variables is a priority.

Based on the results of correlation analysis, conclusions are drawn about the presence and nature of functional dependence of random variables, the preference of the research methods used and the proposed models for describing random multidimensional processes. The application of classical mathematical apparatus of correlation analysis is widely used in the assumption that the observed random process belongs to multidimensional normal distribution law. In practice, such prerequisites for correlation analysis are not always fulfilled and most likely are a convenient mathematical idealization of the processes under study. Studies show that in describing random processes, including non-Gaussian ones, an approach based on the use of moment and cumulative functions of higher orders is promising. Such a representation of random processes makes it possible to increase the accuracy of their processing under given restrictions on their algorithmic complexity and to take into account correlation relationships of the studied non-Gaussian random variables. In the proposed paper, we consider the construction of methods for constant signal parameter estimation in asymmetric-excess non-Gaussian correlated noise using the method of polynomial maximization (Kunchenko method)

and its adaptation to implement non-linear algorithms and computer-aided means of functioning of signal processing systems. It is shown that polynomial processing of random variables, taking into account the parameters of a non-Gaussian distribution in the form of cumulants of one-dimensional and multidimensional distributions, makes it possible to reduce the variance of the parameter estimation in comparison with the well-known results.

Keywords: moment-cumulant functions, adapted method of polynomial maximization, correlated non-Gaussian stochastic processes.

В. В. Палагін, д.т.н., професор,

e-mail: palahin@ukr.net

Д. А. Ведерников, аспірант

Черкаський державний технологічний університет,
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

НЕЛІНІЙНІ МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛУ НА ФОНІ АСИМЕТРИЧНО-ЕКСЦЕСНИХ НЕГАУСОВИХ КОРЕЛЬОВАНИХ ЗАВАД

В теорії статистичного аналізу багатовимірних випадкових величин завдання кореляційного аналізу є важливими при побудові і реалізації багатьох технічних систем контролю, моніторингу та діагностики. В процесі вирішення цих завдань визначення наявності та характеру статистичного взаємозв'язку досліджуваних випадкових величин є пріоритетним напрямом. На основі результатів кореляційного аналізу робляться висновки про наявність і характер функціональної залежності випадкових величин, перевагу використовуваних методів досліджень і пропонованих моделей для опису випадкових багатовимірних процесів. Застосування класичного математичного апарату кореляційного аналізу широко використовується в припущенні про належність спостережуваного випадкового процесу багатовимірному нормальному закону розподілу. На практиці такі передумови кореляційного аналізу виконуються далеко не завжди і, швидше за все, є зручною математичною ідеалізацією досліджуваних процесів. Дослідження показують, що при описі випадкових процесів, у тому числі негаусових, перспективним є підхід, що базується на використанні моментних і кумулянтних функцій вищих порядків. Таке уявлення випадкових процесів дає можливість підвищити точність їх обробки при заданих обмеженнях на їх алгоритмічну складність, врахувати кореляційні зв'язки досліджуваних негаусових випадкових величин. У запропонованій роботі розглядається побудова методів оцінювання параметра постійного сигналу, що приймається на фоні асиметрично-ексцесних негаусових корельованих завад при використанні методу максимізації полінома (методу Кунченка) і його адаптації для реалізації нелінійних алгоритмів і комп'ютерних засобів функціонування систем обробки сигналів. Показано, що врахування параметрів негаусових розподілів у вигляді кумулянтних функцій вищих порядків та нелінійна обробка випадкових процесів дають змогу підвищити ефективність обробки сигналів у вигляді зменшення дисперсії оцінки поліноміальних алгоритмів порівняно з класичними результатами.

Ключові слова: моментно-кумулянтні функції, адаптований метод максимізації полінома, корельовані негаусові стохастичні процеси.

УДК 615.835: 616.381+ 66.094.35

[0000-0001-5287-3733] **Г. С. Столяренко**, д.т.н., профессор,
e-mail: radikal@ukr.net

[0000-0001-7113-9892] **В. Н. Вязовик**, д.т.н., доцент
e-mail: v.viazovyk@chdtu.edu.ua

Черкасский государственный технологический университет
б-р Шевченко, 460, г. Черкассы, 18006, Украина

МЕТОД «МЯГКОГО ОБЛУЧЕНИЯ» ПРИ ИЗБИРАТЕЛЬНОМ РАСТВОРЕНИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ В ПРЕДВАРИТЕЛЬНО ОЗОНИРОВАННЫХ РАСТВОРАХ

Онкологические заболевания – одна из основных проблем современности. Причины возникновения злокачественных опухолей, в принципе, определены – это такие факторы, как экология, употребление некачественных продуктов, токсичные соединения и химикаты в воздухе и воде, алкоголь, никотин, наркотические вещества, излучение, облучения и некоторые вирусы. В статье кратко описана характеристика основных методов борьбы со злокачественными опухолями на данный момент, их негативные и положительные стороны. Рассмотрены хирургические, химиотерапевтические, радиотерапевтические методы, а также фотодинамическая терапия. В работе представлен оригинальный метод – метод «мягкого облучения» при избирательном растворении злокачественных опухолей в предварительно озонированных растворах, который можно отнести к новому направлению в химиотерапии. Представлены теоретические основы метода «мягкого облучения», проведена серия исследований, цель которых – разработать методику обработки опухолевых клеток с дальнейшим созданием аппаратуры для избирательного их разрушения.

Ключевые слова: злокачественные опухоли, кислородсодержащие радикалы, гидроксидные и гидропероксидные радикалы, селективный метод озон-радикальной хирургии.

Введение. Онкологические заболевания являются одной из главных проблем современности. Причиной возникновения онкологических заболеваний могут быть различные факторы: загрязнение окружающей среды, употребление некачественных пищевых продуктов, токсичные соединения в питьевой воде, алкоголь, табачный дым, ионизирующее излучение, ультрафиолетовое облучение, некоторые вирусы [9-11].

Злокачественное новообразование – заболевание, характеризующееся появлением бесконтрольно делящихся клеток, способных к инвазии в прилежащие ткани и метастазированию в отдаленные органы. Болезнь связана с нарушением пролиферации и дифференцировки клеток вследствие генетических нарушений, что приводит к злокачественным опухолям. В результате своей жизнедеятельности злокачественное новообразование подавляет окружающие ткани, а иногда и соседние органы. Рост злокачественных новообразований невозможно контролировать [7].

Для злокачественных опухолей характерны: быстрый, чаще инфильтрирующий,

рост, метастазирование и рецидивирование, наличие общего отрицательного влияния на весь организм, а также клеточный и тканевый атипизм. Клеточный атипизм – это увеличение размеров базальной мембраны, изменение соотношения объемов цитоплазмы и ядра, изменение ядерной оболочки, увеличение объема, а иногда и числа ядрышек. Тканевый атипизм – это нарушение пространственных и количественных соотношений между компонентами ткани. Интенсивная стимуляция роста кровеносной системы («ангиогенез») в опухоли приводит к её наполнению кровеносными сосудами («васкуляризации») и кровоизлияниям в ткань опухоли. Наблюдается способность клеток опухоли к ускользанию от иммунологического контроля организма при помощи специальных механизмов обмана Т-киллерных клеток.

Для борьбы со злокачественными опухолями в настоящее время применяются следующие методы:

1. Хирургическое удаление опухоли. Хирургическое удаление опухоли может быть осуществлено как с помощью традиционного

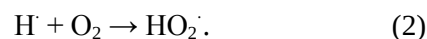
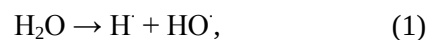
холодного инструментария, так и с применением новых хирургических методов и инструментов (лазер, радиочастотный нож, ультразвуковой скальпель и др.). Лазерный луч, например, по сравнению с обычным скальпелем, уменьшает кровотечение во время операции, уничтожает опухолевые клетки в ране, обеспечивает лучшее заживление раны в послеоперационном периоде. Поскольку опухолевые клетки могут встречаться и вне опухоли, её удаляют с запасом. Опухолевые клетки вне удалённого органа или его части после операционного удаления первичной опухоли могут образовать метастазы. Более того, после удаления первичной опухоли рост метастаз ускоряется, а в некоторых случаях является источником дальнейшего распространения клеток злокачественных новообразований по телу человека. Этот метод не всегда можно использовать, он имеет свои ограничения по формам и стадиям развития злокачественных новообразований.

2. Химиотерапевтическое лечение. Используются очень сильные лекарства, которые сами по себе очень вредны для организма. Действия их направлены против быстрого деления клеток, что дает возможность приостановить развитие злокачественных новообразований. Лекарства могут подавлять дупликацию ДНК, мешать разделению клеточной оболочки на две. Однако, кроме опухолевых клеток, в организме интенсивно и быстро делятся и многие здоровые, например, клетки эпителия желудка. Их тоже повреждает химиотерапия. Поэтому химиотерапия, помимо отравления всего организма, приводит к тяжёлым побочным эффектам. После прекращения химиотерапии здоровые клетки длительно восстанавливаются. В конце 1990-х годов были синтезированы новые лекарства, которые атакуют именно белки опухолевых клеток, почти не повреждая нормальные быстро делящиеся клетки. Однако такие лекарства используют только для ограниченного вида злокачественных опухолей. Курс лечения химиотерапии очень долгий и дорогой, очень выборочный (не на все злокачественные новообразования могут действовать лекарства), требует во многих случаях длительного и дорогостоящего курса восстановительного лечения.

3. Радиотерапия. Для облучения используют различные излучения, в том числе гамма-излучение. Облучение убивает злокаче-

ственные клетки, повреждая их генетический материал. Создаются условия, при которых минимизируется воздействие на здоровые клетки. Необходимо учитывать, что коротковолновые фотоны проникают на любую глубину, нейтроны – проникают только на ограниченную глубину. Электроны проникают на очень небольшую глубину и используются для лечения злокачественных опухолей кожи и подкожных клеток. При повышенной ионизирующей радиации (с энергией выше энергии фотонов солнечного света в 10^6 и более раз) и использовании быстрых электронов обработка молекул воды и клеток организма приводит к синтезу супероксидного ион-радикала $O_2^{\cdot-}$, гидроксидного и гидропероксидного радикалов $HO^{\cdot}$, $HO_2^{\cdot}$, пероксида водорода H_2O_2 , гипохлорид-иона ClO^- ; молекул органических соединений с электронно-возбужденными атомами. Перекисное окисление липидов приводит к образованию алкил-оксидных и алкилпероксидных радикалов $RO^{\cdot}$, $RO_2^{\cdot}$. При этом разрушаются мембраны клеток, наблюдается раскручивание и разрыв молекул ДНК и РНК, подавление образования и деятельности ферментов. Мутагенное воздействие облучения сопровождается вторичным канцерогенным воздействием.

4. Фотодинамическая терапия осуществляется препаратами, которые могут разрушать клетки злокачественной опухоли под воздействием светового потока определенной длины волны. Например, при длине волны $\lambda < 1470$ А в условиях жесткого вакуумного ультрафиолета радикалы $HO^{\cdot}$, $HO_2^{\cdot}$ образуются с высоким квантовым выходом при разложении воды:



Колебательно возбужденные радикалы $HO^{\cdot}$ и $HO_2^{\cdot}$ при любых концентрациях практически мгновенно (10^{-2} - 10^{-4} с) вступают в реакцию с мембранами и ДНК опухолевых клеток. Фотодинамическая терапия не только убивает злокачественные клетки, повреждая их генетический материал, но воздействует на здоровые клетки.

Гормональная терапия, иммунотерапия, другие методы комбинированного лечения здесь не рассматриваются, так как не относятся к ионно-радикальным методам.

Предлагаемый усовершенствованный метод можно отнести к новому направлению в использовании радикалов, которые синтезируются в жидкой фазе и минимизируют недостатки химиотерапевтического, фотодинамического лечения и радиотерапии. По аналогии с применением лазеров его целесообразно охарактеризовать как метод **озоно-радикальной хирургии (ОРХ)**.

Из механизма реакций радиотерапии следует, что хемодеструкция опухолевых клеток осуществляется за счет реакций органических соединений с кислородсодержащими ион-радикалами и радикалами (КСИР). Эффективные окислители синтезируются при воздействии радиации на молекулы воды, разрывая молекулярные связи последней. Поэтому для синтеза необходимого количества и концентрации КСИР требуется создание очень жестких условий облучения, что приводит к разрушению не только опухолевых, но и нормальных клеток. Такой подход не дает возможности ни регулировать процесс образования КСИР, ни создать избирательный метод уничтожения злокачественной опухоли.

Цель исследования. Метод ОРХ предлагает в качестве исходной субстанции для синтеза КСИР использовать предварительно озонированные растворы (ПОР), содержащие воду, озон и реагенты. Использование такого реакционноспособного соединения, как озон существенно снижает энергетические затраты на образование радикалов. Присутствие окислителя облегчает образование КСИР, что приводит к возможности не применять жестких условий синтеза и разработать избирательный метод хемодеструкции опухолевых клеток. Исследование по методу ОРХ ставит перед собой цель разработать методику обработки опухолевых клеток с дальнейшим созданием аппаратуры для избирательного их разрушения.

Научные результаты. Суть метода ОРХ заключается в подводе рабочего раствора специальным зондом до злокачественной опухоли. Активные агенты (сумма КСИР) рабочего раствора, которые синтезируются непосредственно перед подачей в зону злокачественной опухоли, вступают в реакции с органическими молекулами опухолевых клеток, а нормальные клетки остаются неповрежденными. Отработанный раствор удаляется вместе с продуктами разложения и органиче-

скими частицами злокачественного новообразования через другой зонд. Разработаны различные способы синтеза активных агентов и их подвода в зону реакции.

Для изучения указанных методов по синтезу КСИР и их использованию проведен подбор растворителей, разработаны требования к растворителям озона: жидкая фаза должна иметь высокую растворимость по озону; не подвергаться разрушению окислителем, быть индифферентной к организму человека. Растворимость озона в воде и водных растворах имеет низкие значения (коэффициент распределения $K = 0,3-0,33$), поэтому проведены исследования по определению растворимости озона для предельных хлорзамещенных ($K = 2,2-2,5$) и фторзамещенных ($K = 2,5-2,8$) углеводородов. Для различных растворителей определены: необходимое время насыщения раствора окислителем, оптимальные условия синтеза КСИР.

Процессы высокоскоростной хемодеструкции высокомолекулярных органических соединений (ВМС) с использованием озона изучались редко. Это связано с тем, что константы скорости взаимодействия озона с ВМС незначительны ($k_s < 10^{-5}$ л/моль·с), поэтому время химического разложения клеток измеряется часами. Прямое озонирование с целью разрушения мембраны, плазмы, ядра при деструкции белков, углеводов, кислот и других соединений, которые сформировали клетку, требует бесконечно большого времени контакта и высокой концентрации O_3 . Это связано не только со скоростью химических реакций, но и с дефицитом транспорта озона, который доставляется в опухолевую область в жидкой фазе. Таким образом, эффективно разрушить любую клетку с использованием только процесса озонирования практически невозможно. В этом случае термин «эффективно» относится как ко времени хемодеструкции, так и к созданию условий, когда процесс приводит к избирательному разрушению клеток злокачественной опухоли [4, 5].

Априори мы рассматривали аномальную клетку злокачественной опухоли как новообразование, возникающее при дефиците «строительного материала», которое само, являясь (из-за быстрого деления) агрессором, практически, не защищено от окислительного воздействия извне. Прощедшая обычное эволюционное развитие нормальная клетка имеет сравнительно высокие антиоксидант-

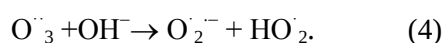
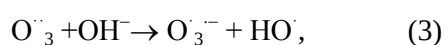
ные свойства. По данным ученых-специалистов (Институт поверхности АН Украины), мембрана аномальной клетки не всегда целостна и имеет поры размером в несколько десятков ангстрем. Этого, как показали эксперименты, достаточно для проникновения радикалов $\text{HO}^\cdot$, $\text{HO}_2^\cdot$ в аномальную клетку и высокоскоростного разложения ее ядра. На различии в строении клеток и их антиоксидантных систем защиты базируется **метод «мягкого облучения» Столяренко**, который приводит к высокоскоростному избирательному апоптозу опухоли в целом.

В качестве эффективного окислителя клеток опухоли предлагается использовать раствор, содержащий растворитель, озон, воду и реагенты. Исходная концентрация окислителя – основной показатель для получения требуемой концентрации радикалов. Озон ПОР подвергается разложению, поэтому вторым важным параметром является «время жизни» радикалов. В рабочем растворе на короткое время будут синтезированы эффективные ион-радикалы и радикалы: $\text{HO}^\cdot$, $\text{HO}_2^\cdot$, $\text{O}_2^{\cdot-}$, $\text{O}_3^{\cdot-}$, $\text{RO}_2^\cdot$, $\text{RO}^\cdot$. Окислительная способность таких растворов очень высока: константы скорости реакций КСИР с вероятными ВМС выше на пять-шесть порядков (относительно реакций с O_3). Основной задачей при проведении избирательного растворения опухоли является создание повышенных, **точно регулируемых** концентраций КСИР, для чего нами изучено и предложено несколько методов хемодеструкции озона в водных растворах органических соединений.

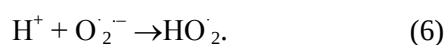
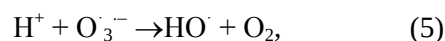
Методика синтеза КСИР:

1. Дросселирование предварительно озонированных растворов (ПОР). Повышение давления приводит к росту исходной концентрации озона в растворе, что после дросселирования повышает текущие концентрации КСИР по сравнению с атмосферным давлением; разложение озона протекает и через озонидный ион-радикал $\text{O}_3^{\cdot-}$.

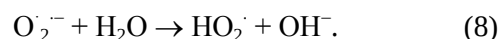
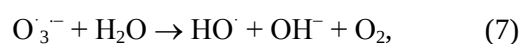
2. Регулировка pH ПОР. Первая стадия взаимодействия озона (как бирадикала) с гидроксил-ионом проходит параллельно по следующим двум каналам [2]:



Вторичные реакции при низких pH также приводят к синтезу $\text{HO}^\cdot$ и $\text{HO}_2^\cdot$:



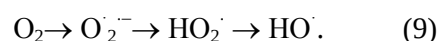
С повышением pH озонидный и супероксидный ион-радикалы вступают в известные реакции с молекулами воды:



Дальнейший процесс разложения по общепринятому механизму проходит через ассимиляцию и взаимодействие радикалов и ион-радикалов с органическими соединениями клеток опухолей.

3. Гомогенный катализ на основе ПОР. В связи с тем, что в изучаемых конденсированных и газовых средах могут находиться другие реакционные соединения (олефиновые и диеновые углеводороды), возможен синтез алкоксидных и алкилпероксидных радикалов (типа $\text{RO}^\cdot$ и $\text{RO}_2^\cdot$). Текущая концентрация последних намного выше, чем $\text{HO}^\cdot$ и $\text{HO}_2^\cdot$, поэтому их влияние необходимо изучать *in vivo* для систем с рециклом рабочего раствора.

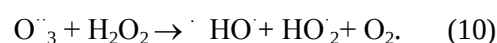
4. Электрохимическое разложение ПОР в зоне опухоли. Эффективное образование КСИР наблюдается при взаимодействии озона с продуктами разложения воды в анодной области на платиновом электроде. Процесс разложения протекает по маршруту:



Последняя стадия в присутствии озона дает повышенные регулируемые концентрации гидроксидного радикала.

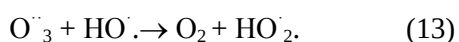
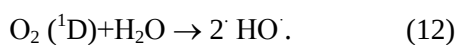
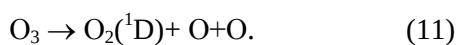
5. Гетерогенный каталитический метод наложения электрического разряда в зоне распыления ПОР дает возможность эффективно разлагать клетки злокачественных новообразований. Действие метода ограничено поверхностью кожи и подкожных клеток [6].

6. Взаимодействие ПОР с высокоэффективными окислителями. Смешение озонированных растворов и раствора антагониста озона, например пероксида водорода, приводит к образованию радикалов типа $\text{HO}^\cdot$, $\text{HO}_2^\cdot$ [1]:



Однако высокая скорость ассимиляции радикалов не дает возможности поддерживать высокие регулируемые концентрации КСИР в зоне реакции с органическими соединениями клетки, константы скорости с которыми на несколько порядков ниже.

7. Фотоліз ПОР в області опухолі. Для получения повышенных текущих концентраций радикалов $\text{HO}^\cdot$, $\text{HO}_2^\cdot$ фоторазложение озона и воды протекает с высоким квантовым выходом в условиях ультрафиолета при длине волны $\lambda = 2537 \text{ \AA}$; это намного выше жесткого ультрафиолета по методам 2, 3, 4, что приводит к минимизации разрушения нормальных клеток. Реакции разложения озона протекают в следующей последовательности [2]:



Серьезным недостатком является присутствие в реакционной смеси $\text{O}_2(^1\text{D})$ и O , что и приводит к высокой степени нормальных клеток.

Результаты изучения хемодеструкции опухолей. In vitro проведено более 500 опытов с практически живыми раковыми опухолями (рак желудка, рак шейки матки, опухоли прямой кишки, рак печени и т.д.), фрагменты которых отсекались от опухоли непосредственно после операции. Время доставки фрагментов от операционной до стендовой лабораторной установки озонирования не превышало 2-3 минут. Изучено несколько методов хемодеструкции опухолей различного происхождения, возраста и состояния. Результаты опытов представлены по прямым наблюдениям (под микроскопом и ультрамикроскопом) за поверхностью фрагментов опухолей для различных технологий разложения озона в ПОР и способов подвода озono-радикального потока к обрабатываемой опухоли во времени (цитируется по рабочему журналу лаборатории иммунологии онкологического диспансера г. Черкасы):

1. Первый метод

20 минут – Одиночные компоновки с выраженной гомогенностью ядра, сглаженный рисунок хроматина, узорчатая разрывность цитоплазмы, местами истончение обо-

лочка ядра. Клеточный лизис преимущественно неопухолевых клеток, опухолевые клетки разрознены, разрушены (аутолиз).

60 минут – Понижена биологическая активность, набухшие клетки, ядерная субстанция нитчатая, ядрышковое – в пикнозе (часто в виде вакуолизации, часто не прослеживается), клеточный распад, опухолевые клетки с базофильной цитоплазмой, клеточный пикноз, некробиоз.

2. Второй метод

20 минут – Ахроматичность, клетки теряют оксифелию, рисунок ядра гомогенный, рельефная оболочка за счет размывания ядерной субстанции, более сохранены клетки плоского эпителия, разрыхленность ядер, просветление цитоплазмы, клетки «лакированные», пикноз, опухолевые клетки оксифильны, неопухолевые – в некробиозе.

60 минут – Лизис, клеточный пикноз (неопухолевые клетки), множественное разрушение ядерной субстанции. Более базофильная окраска. Ядра опухолевых клеток неровные, зубчатые, прерывистый контур ядра, карнолизис, снижена биологическая активность опухолевых клеток, ядерный пикноз, клеточный лизис, края цитоплазмы прозрачны, тяжи разрушенных опухолевых клеток.

3. Третий метод

5 минут – У опухолевых клеток ядерная оболочка сохранена, хроматин интенсивно лизирован, клеточный лизис, аденоматозные компоновки с умеренной гиперсекрецией. Множество разрушенных клеток, ядер (лизис, рексис).

10 минут – Цитоплазматическая субстанция опухолевых клеток разрыхлена, разрушена. Ядерная субстанция слегка лизирована. Более выражен клеточный лизис, ядерная оболочка опухолевых клеток рельефна и четко видна, клеточный некробиоз, пикноз.

15 минут – Выраженная вакуолизация цитоплазмы опухолевых клеток, просветление ядра, лизированы клетки, с разрушенной ядерной оболочкой, клеточный лизис, ядрышек не более 10 %, пикноз опухолевых клеток, макрофаги и липофаги. Клеточноядерный некробиоз, единичные компоновки опухолевых клеток в состоянии некробиоза, клеточный распад.

20 минут – Клеточный апоптоз, пикноз.

40 минут – Опухолевых клеток не обнаружено; неопухолевые клетки, которые находятся в виде нитей, – в некробиозе.

4. Четвертый метод

15 минут – Опухолевые клетки с выраженными признаками цитолиза (60-80 %), лизис опухолевых клеток, много оксифильной слизи, кариорексис, кариолизис во всех полях зрения, разрушение опухолевых клеток за счет разрушенной (разбухшей) ядерной субстанции. Лизирована цитоплазма, опухолевые клетки в пикнозе, незначительно выражена ядерная полиохроация, у опухолевых клеток имеются резко атипические ядрышки, голые ядра (90-92 %), ядерная оболочка не сохранена. Ядерная деструкция до 80 %.

30 минут – Клеточный пикноз опухолевых элементов до 80 %, опухолевые клеточные элементы в состоянии глубокого некробиоза до 80 %, лизис 80-90 %, гиперплазия опухолевых клеток.

40 минут – Опухолевых клеток не обнаружено; неопухолевые клетки в некробиозе.

Из результатов экспериментов следует, что оптимальный процесс обработки опухоли целесообразно начинать вторым методом («скальпелем 2»), а заканчивать четвертым методом («скальпелем 4»), что даст возможность минимизировать разрушение нормальных клеток. Неоднократно из злокачественной опухоли за 40-60 минут (размер фрагментов 1-2 см³) в растворе получали «бульон», в котором плавали тяжи и нити нормальных клеток, которые, вероятно, были захвачены при образовании опухоли.

Было замечено во многих опытах, что на поверхности фрагмента после 10-15 минут обработки появлялись активные клетки-киллеры. Этот факт еще раз подтверждает, что метод озонирования многофункционален: его воздействие оригинально тем, что на клеточном уровне пробуждает внутренние ресурсы организма вне зависимости от заболевания.

Наблюдаемые процессы сходны с облучением, так как в зоне опухолей в жидкой фазе под воздействием радиации также синтезируется КСИР, однако при озono-радикальной хемодеструкции не наблюдается ожога, апоптоза и некроза нормальных клеток (которое имеет место при лучевой обработке по трассе облучения), а также отсутствует влияние воздействия высокочастотных колебаний. Имеется связь и с химиотерапевтическим лечением: при разложении озона образуются оксидатные радикалы – лекарства, действие которых направлено на подавление любой жизнедеятельности опухолевых клеток.

При анализе результатов исследований *in vitro* на живых клетках в лабораторных условиях определены оптимальные дозы озона и кислородсодержащих радикалов, время контакта фаз, необходимое «время жизни» КСИР для их полного избирательного разрушения, состав растворов и способы подведения окислителей. Достигнутые результаты позволяют утверждать, что полное растворение опухолей без хирургического вмешательства путем подведения озонированных растворов и реагентов в зону опухоли по естественным (сосуды лимфатической и кровеносной систем) или искусственным каналам (медицинские зонды) достигается за 20-60 минут.

Комбинированием различных факторов влияния на озонированные растворы в зоне опухолей достигается снижение разрушительного воздействия кислородсодержащих радикалов на нормальные клетки, при этом нормальные ткани практически не разрушаются. Этот метод, таким образом, дает право характеризовать его как **избирательный**. После удаления злокачественных новообразований в виде отработанной суспензии с наночастицами опухолей организм больного не испытывает большого вреда. После операции зона разложения опухолей обрабатывается физиологичным раствором и раствором с необходимыми витаминами. Для восстановления больного отпадает необходимость в сложном реабилитационном курсе лечения. Специалисты-медики назвали этот метод методом «**мягкого облучения**» злокачественных новообразований.

За участие в проведении экспериментов *in vitro*, за определение технологических и медицинских характеристик **избирательного метода озono-радикальной хирургии** приносим свою благодарность бывшему заведующему лабораторией иммунологии онкологического диспансера г. Черкасы Шапошниковой М. Т., доценту Черкасского государственного технологического университета Громыко А. В., заведующей лабораторией экологических проблем г. Черкасы Фоминой Н. М. (ЧГТУ), заведующему отделением рентгенохирургии областной больницы А. М. Почечуеву, главному врачу областного онкологического диспансера В. В. Парамонову, заведующему отделением хирургии Ю. А. Едуненко.

Преимущества избирательного метода озono-радикальной хирургии как техно-

логии удаления злокачественных опухолей без помощи традиционного холодного инструментария, являются следующими:

- данная технология не требует хирургического вмешательства, что снижает риск для здоровья человека;
- при использовании этой технологии возможно удаление злокачественных опухолей любой стадии развития и разновидности в любом органе;
- сама процедура удаления злокачественной опухоли значительно безопаснее для здоровья человека, чем существующие;
- послеоперационное восстановление значительно короче и требует значительно меньшего медикаментозного вмешательства. Для этого, в основном, нужна витаминная терапия и, в некоторых случаях, диета;
- после удаления злокачественной опухоли больной через несколько часов (по окончании действия анестезии) может находиться в общей палате, а не в реанимации, как при обычном хирургическом вмешательстве;
- время послеоперационного восстановления значительно короче, чем при существующих технологиях, что значительно снижает стоимость лечения;
- стоимость всего оборудования и необходимых материалов значительно ниже, чем при химиотерапии и хирургическом вмешательстве;
- требует значительно меньше персонала, чем при хирургическом вмешательстве.

Для проведения озono-радикального удаления злокачественных опухолей необходимы: озонатор медицинский; зонды введения и вывода рабочего раствора; перистальтические насосы для перекачки рабочего раствора; баллон с кислородом или другой источник кислорода; реактор насыщения озонном; реактор получения рабочего раствора. Необходимо создать приборы и аппараты озono-хирургического воздействия; разработать и опробовать системы зондов для подвода реагентов и отвода отработанных растворов; создать специальные хирургические устройства и систему теленаблюдения за процессом разрушения клеток – то есть, создать новый клинический метод избирательного разрушения злокачественных опухолей.

Следующие шаги – это стадия экспериментов на животных и клинические испытания на организмах людей, создание промышленного клинического образца аппаратуры.

Это необходимо для дальнейшего развития метода.

Данную технологию можно использовать в любой больнице, которая имеет операционный блок с оборудованием для проведения операций по сосудистой хирургии. Учитывая низкую стоимость комплекта оборудования и его простое использование, эта технология найдет широкий спрос среди лечебных учреждений, занимающихся лечением злокачественных новообразований. Проведение дальнейших исследований может привести к улучшению показателей данной технологии и созданию новых типов зондов, модернизации оборудования, улучшению состава рабочих растворов.

Выводы:

1. Основным достоинством исследования и разработки метода озono-радикальной хирургии является то, что найдены способы регулирования концентрации кислородсодержащих ионов и радикалов при полном подавлении жизнедеятельности клеток злокачественных опухолей и создания условий минимизации воздействия окислительного апоптоза на нормальные клетки.

2. Для восстановления больного после операции отпадает необходимость в сложном реабилитационном курсе лечения; метод озono-радикальной хирургии по праву получил название метода «мягкого облучения» организма человека.

Список использованных источников

- [1] С. Д. Разумовский, и Г. Е. Заиков, *Озон и его реакции с органическими соединениями*. Москва: Наука, 1974.
- [2] Г. С. Столяренко, "Механизм реакции хемодеструкции озона в гетерофазных окислительных процессах", *Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту*, № 2, с. 93-96, 1999.
- [3] Г. С. Столяренко, "Теоретические основы озono-радикального избирательного метода хемодеструкции клеток раковых опухолей", на *Международ. конф. по применению озона в медицине*. Харьков, 2001, с. 64-65.
- [4] Г. С. Столяренко, А. В. Громико, В. М. Вязовик, В. В. Парамонов, та М. Т. Шапошнікова, "Вибірний некроз клітин злоякісних пухлин", у *Довкілля і*

- здоров'я, Тернопіль: Укрмедкнига, 2003, с. 146.
- [5] Г. С. Столяренко, А. В. Громико, В. М. Вязовик, В. В. Парамонов, та М. Т. Шапошнікова, "Вибіркова дія озону на клітини злоякісних пухлин", *Международный медицинский журнал*, с.116-118, 2003.
- [6] Г. С. Столяренко, "Озоно-радикальные и электрокаталитические методы интенсификации горения топлива", на *30-м Всероссийском семинаре. Озон и другие экологически чистые окислители. Наука и технологии: сб. материалов*, Москва: МГУ, 2008, с. 86-96.
- [7] A. Pár, "Hepatitis B virus (HBV) infection and hepatocarcinogenesis", *Orv Hetil*, vol. 151, no. 26, pp. 1045-1053, 2010.
- [8] D. Pletcher, *Industrial electrochemistry*, London: Chapman and Hall, 1982.
- [9] A. J. Sasco, M. B. Secretan, and K. Straif, "Tobacco smoking and cancer: a brief review of recent epidemiological evidence", *Lung cancer (Amsterdam, Netherlands)*, vol. 45, suppl. 2, pp. 3-9, 2004.
- [10] H. S. Stolyarenko, V. M. Vyazovik, and A. V. Gromyko, "The selective method of necroses cancer cell with using ozone technique-method "SOFT-RADIO THERAPIES", у зб. *Актуальні питання та організаційно-правові засади співробітництва України та КНР у сфері високих технологій*", Київ: ЦНТІ, 2005, с.116-120.
- [11] S. T. Yao, and S. K. Wolfson, *Patent 3878564 USA*, 1982.
- [3] H. S. Stolyarenko, "Theoretical foundations of the ozone-radical selective method of chemo-destruction of cancer cells tumors", in *Int. Conf. on the Use of Ozone in Medicine*, Kharkov, pp. 64-65, 2001 [in Russian].
- [4] H. S. Stolyarenko, A. V. Gromyko, V. M. Vyazovik, V. V. Paramonov, and M. T. Shaposhnikova, "Selectable cell necrosis of malignant tumors", in *Dovkillia i zdorov'ia*, Ternopil': Ukrmedknyha, 2003, p. 146 [in Ukrainian].
- [5] H. S. Stolyarenko, A. V. Gromyko, V. M. Vyazovik, V. V. Paramonov, and M. T. Shaposhnikova, "Selective action of ozone on malignant tumor cells", *Mezhdunarodnyy meditsinskiy zhurnal*, pp. 116-118, 2003 [in Ukrainian].
- [6] H. S. Stolyarenko, "Ozone-radical and electrocatalytic methods of fuel combustion intensification", in *30th All-Russian Seminar, Ozone and Other Environmentally Friendly Oxidizers. Science and Technology: Proc.*, Moscow: MGU, 2008, pp. 86-96 [in Russian].
- [7] A. Pár, "Hepatitis B virus (HBV) infection and hepatocarcinogenesis", *Orv Hetil*, vol. 151, no. 26, pp. 1045-1053, 2010.
- [8] D. Pletcher, *Industrial electrochemistry*, London: Chapman and Hall, 1982.
- [9] A. J. Sasco, M. B. Secretan, and K. Straif, "Tobacco smoking and cancer: a brief review of recent epidemiological evidence", *Lung cancer (Amsterdam, Netherlands)*, vol. 45, suppl. 2, pp. 3-9, 2004.
- [10] H. S. Stolyarenko, V. M. Vyazovik, and A. V. Gromyko, "The selective method of necroses cancer cell with using ozone technique-method "SOFT-RADIO THERAPIES", in *Current Issues and Organizational and Legal Principles of Cooperation between Ukraine and the People's Republic of China in the field of high technologies*, Kyiv: TsNTI, 2005, pp.116-120.
- [11] S. T. Yao, and S. K. Wolfson, *Patent 3878564 USA*, 1982.

References

- [1] S. D. Razumovsky, and G. E. Zaikov, *Ozone and its reactions with organic compounds*. Moscow: Nauka, 1974 [in Russian]
- [2] H. S. Stolyarenko, "Mechanism of the reaction of ozone chemodestruction in heterophase oxidative processes", *Visnyk Cherkaskogo inzhenerno-tehnologichnogo institutu*, no. 2, pp. 93-96, 1999 [in Russian].

H. S. Stolyarenko, D.Tech.Sc., professor,
e-mail: radikal@ukr.net
V. M. Viazovyk, D.Tech.Sc, associate professor
e-mail: v.viazovyk@chdtu.edu.ua
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

THE "SOFT IRRADIATION" METHOD IN SELECTIVE DISSOLUTION OF MALIGNANT TUMORS IN PRE-OZONATED SOLUTIONS

In the work, the method of "soft irradiation" is presented for selective dissolution of malignant tumors in pre-ozonated solutions. Oncological diseases are one of the main problems of our time that we have encountered. Their occurrence is caused by different factors, such as ecology, the use of low-quality products, toxic compounds and chemicals in water, alcohol, nicotine, drugs, radiation and some viruses. The article describes the main methods of combating malignant tumors at the moment, their negative and positive sides. Such methods as surgical, chemotherapeutic, radiotherapeutic, photodynamic therapy are considered.

The work considers an improved method, which can be attributed to a new direction in chemotherapy. Based on the "soft irradiation" method, a series of studies has been carried out, the purpose of which is to develop a methodology for treating tumor cells with the further development of equipment for their selective destruction.

The next step is the stage of animal experiments and clinical trials on human organisms, the creation of an industrial clinical model of equipment. This technique can be used in any hospital. Considering the cost and ease of use, this technology will find wide demand among medical institutions.

To carry out ozone-radical removal of malignant tumors, medical ozonizer; probes for the introduction and withdrawal of working solution; peristaltic pumps for pumping working solution; oxygen cylinder or other oxygen source; ozone saturation reactor; reactor for working solution production are needed. It is necessary to create instruments and apparatus for ozone-surgical exposure; to develop and test the probe systems for supplying reagents and discharging spent solutions.

Keywords: malignant tumors, oxygen-containing radicals, hydroxide and hydroperoxide radicals, selective method of ozone-radical surgery.

Г. С. Столяренко, д.т.н., професор,
e-mail: radikal@ukr.net
В. М. Вязовик, д.т.н., доцент
e-mail: v.viazovyk@chdtu.edu.ua
Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

МЕТОД «М'ЯКОГО ОПРОМІНЕННЯ» ПРИ ВИБІРКОВОМУ РОЗЧИНЕННІ ЗЛОЯКІСНИХ ПУХЛИН У ПОПЕРЕДНЬО ОЗОНОВАНИХ РОЗЧИНАХ

У роботі представлено метод «м'якого опромінення» при вибіркового розчиненні злоякісних пухлин у попередньо озонованих розчинах. Онкологічні захворювання – це одна з основних проблем сучасності, з якою ми зіткнулися. Причина їх виникнення – це різні фактори, такі як екологія, вживання неякісних продуктів, токсичні сполуки і хімікати у воді, алкоголь, нікотин, наркотичні речовини, випромінювання, опромінення і деякі віруси. У статті подано характеристику основних способів боротьби із злоякісними пухлинами на даний момент, їх негативні і позитивні сторони. Розглянуто методи: хірургічні, хіміотерапевтичні, радіотерапевтичні, а також фотодинамічну терапію.

В роботі розглянуто вдосконалений метод, який можна віднести до нового напрямку в хіміотерапії. На основі методу «м'якого опромінення» проведено серію досліджень, мета яких

– розробити методику обробки пухлинних клітин з подальшим створенням апаратури для вибіркового їх руйнування.

Наступний крок – це стадія експериментів на тваринах і клінічні випробування на людських організмах, створення промислового клінічного зразка апаратури. Цю методику можна використовувати в будь-якій лікарні. Враховуючи вартість і легкість у використанні, ця технологія знайде широкий попит серед лікувальних установ.

Для проведення озono-радикального видалення злоякісних пухлин необхідні: озонатор медичний; зонди введення і виведення робочого розчину; перистальтичні насоси для перекачування робочого розчину; балон з киснем або інше джерело кисню; реактор насичення озоном; реактор отримання робочого розчину. Необхідно створити прилади та апарати озono-хірургічного впливу; розробити і випробувати системи зондів для підведення реагентів і відведення відпрацьованих розчинів.

Ключові слова: злоякісні пухлини, кисневмісні радикали, гідроксидні і гідропероксидні радикали, селективний метод озono-радикальної хірургії.

[0000-0002-4608-4276] Ю. В. Дзігора, аспірант,

[0000-0001-5287-3733] Г. С. Столяренко, д.т.н., професор, зав. кафедри ХТВ

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

МЕТОДИ РЕГЕНЕРАЦІЇ МЕМБРАН У СФЕРІ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНОЇ ВОДИ

Мембранні технології набули значного поширення впродовж останніх років і мають всі шанси з часом замінити класичну систему очищення стічної води, яка вже не задовольняє потреб сучасного світу. Метод мембранного розділення за умови комбінування з попереднім біологічним очищенням характеризується високим ступенем очищення, стійкістю системи незалежно від флуктуацій навантаження, а також низьким впливом на довкілля. Серед усіх позитивних сторін все ж є кілька недоліків, серед яких основними є висока вартість і замулюваність мембран. Ці проблеми взаємопов'язані, тому, якщо вирішити проблему із замулюванням мембран, то висока вартість з часом окупиться. Завдяки сотням наукових досліджень у цьому напрямі вдалося мінімізувати негативний вплив мембранного фоулінгу (від англ. *fouling* – замулення, обростання) та закупорення/ замулення мембрани, що впродовж довгого часу були основними лімітуючими факторами для широкого впровадження мембранних технологій. Для зниження лімітуючого впливу замулення на роботу мембрани можна регулювати ряд показників, включаючи гідродинамічний режим роботи, особливості експлуатації та очищення мембрани, якості та концентрації вихідної води, а також, звісно, характеристик і матеріалу самих мембран.

Незважаючи на те, що методи для мінімізації фоулінгу розроблялися в різних напрямках, при розробці правильного підходу можливе їх комбінування із значно кращим ефектом, наприклад, комбіноване очищення мембрани, що включає зворотне промивання, релаксацію та хімічне періодичне очищення. Впродовж останнього десятиліття мембранні технології набули значного поширення, а їх впровадження у вже існуючі очисні споруди продовжує зростати в різних країнах світу, включаючи Швецію, Китай, Сінгапур, США, Корею та ін. За умови ефективного інгібування обростання мембрани такі системи мають потенціал стати основними спорудами для очищення стічної води. Систематизовано основні методи очищення мембран – від класичних до останніх розробок сьогодення.

Ключові слова: мембранний біореактор, очищення мембран, методи очищення мембран, фоулінг, замулення мембран.

Вступ. Рівень забруднення поверхневих вод зростає в геометричній прогресії, виною тому є велика кількість стоків, які скидаються кожного дня в частково очищеному чи неочищеному стані. Термін «утилізація» переважно застосовується до банок, пластику, скла і паперу, але вода також може бути перероблена [1, 2]. Повторне використання води може поліпшити сільськогосподарське виробництво: зменшити енергоспоживання, яке використовується для води, і збільшити видалення поживних речовин [1, 3]. Крім того, щоб відновити стан екосистем, необхідно максимального зменшити вплив відходів, у тому числі й стічної води.

Проте існуюча традиційна система очищення стічної води не може впоратися з таким завданням. Сучасні проблеми потребують сучасних рішень. Мембранне розділення

є одним із можливих варіантів, здатних замінити класичні системи очищення, і для того було багато передумов (рисунк 1).

Серед переваг мембранного розділення можна відзначити [1]:

- простоту в обслуговуванні;
- стабільний вихідний потік води з високим ступенем очищення;
- невелику площу очисних споруд.

Метою дослідження було класифікувати існуючі методи для очищення мембран та зазначити особливості їх застосування.

1. Явище фоулінгу та закупорення/ замулення мембрани

Незважаючи на всі переваги мембранного розділення, одними з основних недоліків залишаються висока вартість мембран, примножена швидкістю їх обростання (*fouling*), та закупорення (*clogging*). Незважаючи на те, що

обидва фактори впливають на зниження мембранної проникності, все ж їх варто розрізняти за фізичним значенням [5]:

• *Обростання* (англ. *fouling*) – покриття (обростання) мембранної поверхні чи забивання пор мембрани розчиненими, колоїдними чи дрібнодисперсними речовинами.

• *Закупорення* (англ. *clogging*) – агрегація високодисперсних речовин всередині чи на вході до мембранних каналів. Відкладення всередині каналів ще називають *замуленням* (англ. *sludging*).



Рисунок 1 – Обмеження та рушійна сила для розвитку мембранних технологій [4]

Вчені переважно рухаються в таких напрямках для мінімізації негативних ефектів:

- вивчення властивостей та закономірностей обростання мембрани з метою пригнічення цього процесу;
- розробка мембран із нових матеріалів та покриттів для мембран;

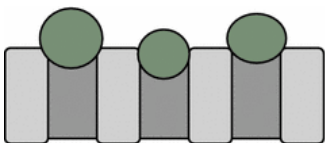
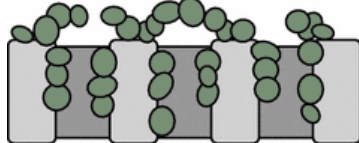
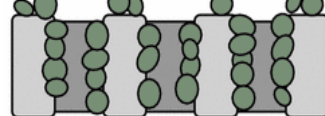
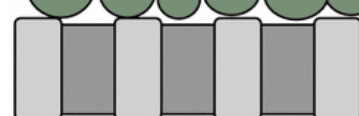
- оптимізація робочого режиму фільтрації;
- способи очищення мембран.

Для розуміння процесу фоулінгу та підбору найбільш ефективного методу очищення мембран необхідно виокремлювати наступні види фоулінгу (таблиця 1) [6].

Таблиця 1 – Види мембранного фоулінгу

1. За зворотністю процесу фоулінгу (залежно від часу утворення)			
Вид фоулінгу	Фізичне значення	Час утворення	Видалення
Зворотний (тимчасовий)	Шар органічної речовини на поверхні мембрани	10 хвилин	Може бути видалений фізичними/біологічними методами очищення
Незворотний	Утворення більш міцних структур на основі зворотного шару, утворення так званого гелевого шару, явище звуження та часткового блокування пор	1-2 тижні	Видаляється хімічними чи комбінованими методами, які використовуються з метою підтримання процесу фільтрації
Залишковий	Сильні структури, що не видаляються звичайними методами очищення	6-12 місяців	Видаляється методами хімічного інтенсивного очищення
Постійний	Перманентні відкладення в порах мембран	Роки	Неможливо видалити

Продовження таблиці 1

2. За природою замулюючої речовини (залежно від природи вхідної води)			
Вид фоулінгу	Фізичне значення		
Органічний	Відкладення органічних речовин, таких як полісахариди, білки, гумінові кислоти тощо		
Біологічний	Формується на поверхні мембрани внаслідок мікробіологічної діяльності, що включає ріст, розвиток, формування колоній та мікробіологічні відкладення на мембрані		
Неорганічний	Неорганічні відкладення в результаті хімічного чи біологічного осадження або утворення складних комплексів		
3. За механізмом закупорення пор мембрани [7, 8] (залежно від характеристик потоку та співвідношення розміру частинок до діаметра пор)			
Назва	Зображення	Назва	Зображення
1. Повне блокування		3. Проміжне блокування	
2. Стандартне блокування		4. Фільтрування через шар фоулінгу	

Незалежно від того, наскільки добре організовано та оптимізовано процес очищення стічної води, після довгострокової фільтрації на мембрані з'являється фойлінг, який необхідно відповідно чистити. Фойлінг розвивається нерівномірно і поділяється на три етапи [8]:

- умовний фойлінг;
- постійний фойлінг;
- різкий фойлінг, що супроводжується різким стрибком трансмембранного тиску (TMP) та відповідним зниженням мембранного проникнення.

Мінімізація фойлінгу є складною поліфакторною системою заходів, які базуються на:

– *розмірі пор* (найчастіше мікрофільтраційні й ультрафільтраційні мембрани), *матеріалові* (полімерні, керамічні, композитні мембрани) і *формі* (трубчасті та плоскі мембрани) мембран та їх модулів;

– *гідродинамічному режимі мембранного процесу* (трансмембранний тиск, опір мембрани, мембранна проникність, швидкість потоку);

– *природі води, що надходить, і характеристиках біомаси.*

2. Методи очищення мембран

Мембрани можуть бути очищені різними методами, але всі їх можна об'єднати у чотири основні групи за механізмом очищення: фізичні, хімічні (реагентні), біологічні методи очищення та самоочисні мембрани зі спеціальними нанопокриттями (рисунком 2) [9].

Фізичні методи дають змогу впродовж довгого часу очищати мембрану від зворотного (тимчасового) фойлінгу, проте значно поступаються ефективністю хімічним методам очищення. Найчастіше використовуються *гідравлічні методи*, що включають зворотне промивання [10], релаксацію [11], а також вилучення агрегатів і частинок з поверхні мембрани за допомогою аерування [12].

У випадку, коли трансмембранний тиск досягає критичних значень, фізичного очищення вже недостатньо і проводиться *хімічне очищення* різними реагентами, залежно від природи відкладень на поверхні мембрани. Всі реагенти можна розділити на [9, 13]: кислоти (для видалення неорганічних відкладень), основи (для видалення органічних забрудників і контролю рівня pH), оксиданти та дезінфектанти (для видалення органічних і

біологічних речовин процесом окиснення або дезінфекції), інші та комбіновані реагенти.

Біологічні методи набули ширшого використання відносно недавно, і їх значною перевагою є те, що мул в результаті біологічного осадження такими речовинами може використовуватися в агропромисловості як добриво, на відміну від хімічно осадженого мулу. Також біологічні реагенти взаємодіють лише з забрудниками, не руйнуючи самої мембрани. Для цього використовуються різного роду *ферменти*, які можна підбирати для кожного окремо взятого забрудника [14].

Інший метод – *аеробне гранулювання* – процес утворення агрегатів шляхом іммобілізації внаслідок щільного розміщення клітин [15]. Руйнування енергетичного обміну дає змогу регулювати процес утворення біоплівки та запобігти обростанню мембрани. Для цього

використовуються спеціальні інгібітори, які спричиняють від'єднання утворених агрегатів від поверхні мембрани. Також використовується так званий *метод відчуття кворуму* чи *кворум-контроль*. В основі цього методу лежить здатність певних бактерій та мікроорганізмів за рахунок секреції молекулярних сигналів координувати поведінку чи дії інших бактерій того ж підвиду [16].

Самоочисні «розумні» мембрани. Альтернативним методом очищення мембрани можна сміливо вважати покриття мембрани плівкою спеціальних речовин, що реагують на зміну зовнішнього середовища, змінюючи при цьому просторову конфігурацію сполук. Такі покриття дають можливість значно знизити рівень мембранного фоулінгу, не вдаючись при цьому до хімічних речовин (рисунок 2).

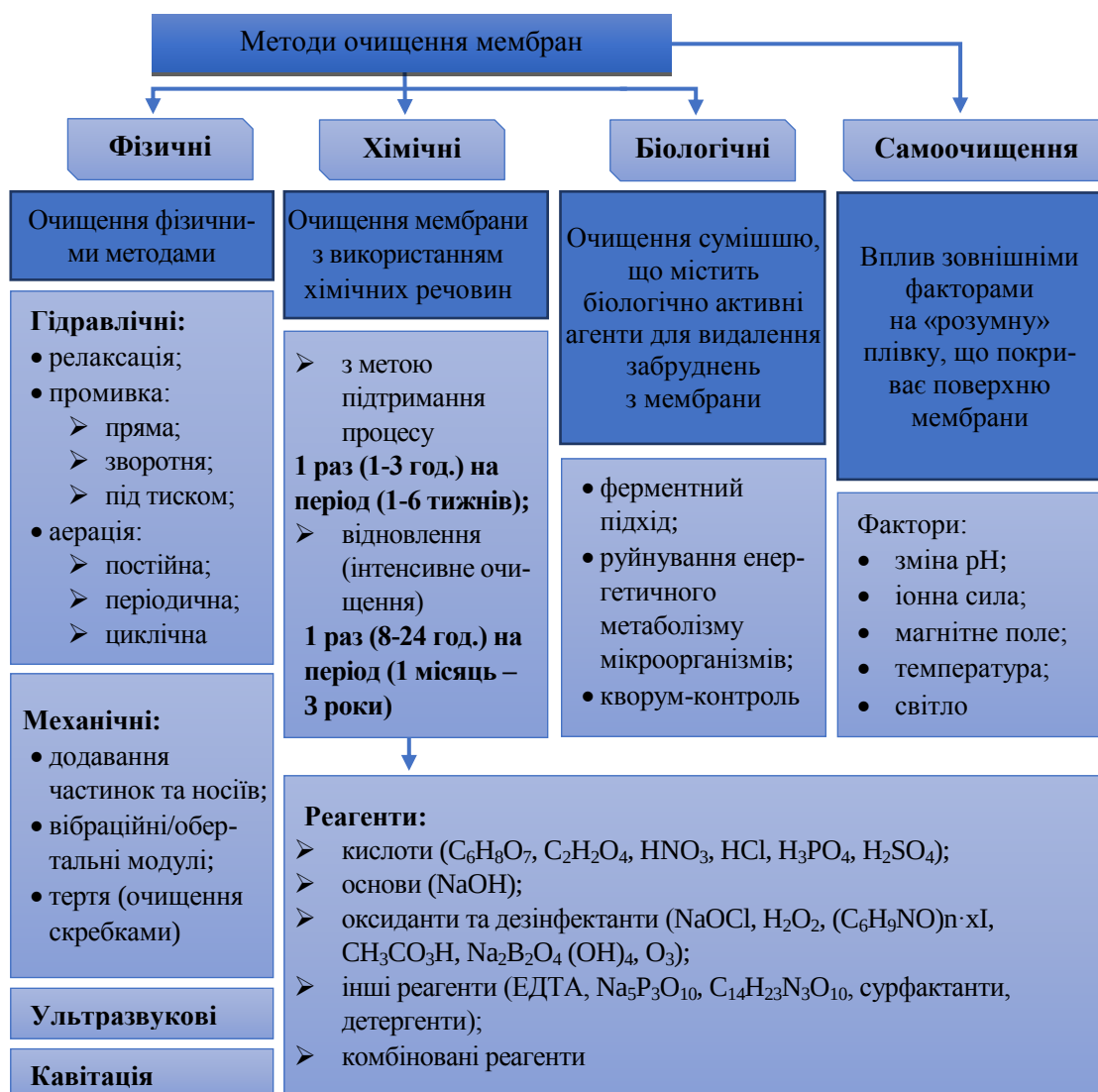


Рисунок 2 – Методи очищення мембран

Залежно від типу зовнішнього фактора «розумні» поверхні можна розділити на ті, що реагують на:

- рН;
- іонну силу;
- магнітне поле;
- температуру;
- світло (видиме світло й ультрафіолет).

Вплив цих факторів призводить до змін поверхневих характеристик мембрани і швидкості потоку води, що очищається. Тобто, наприклад, під впливом УФ світла сполуки, чутливі до нього, змінюють просторову конфігурацію, «струшуючи» всі агрегати, що приєдналися до поверхні мембрани (рисунок 3).

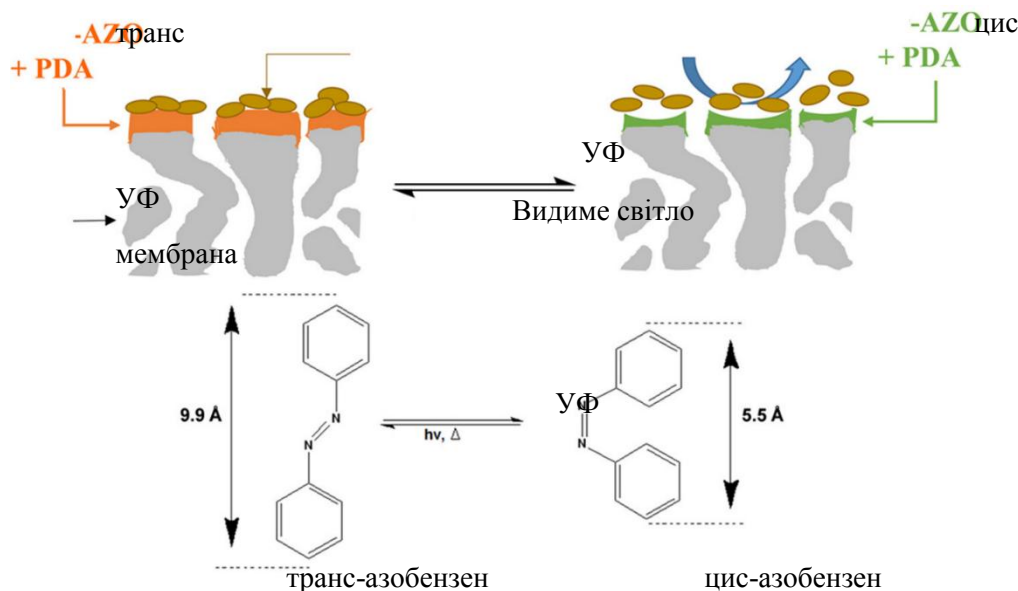


Рисунок 3 – Схематичне зображення процесу самоочищення мембрани під впливом ультрафіолету [17]

Висновки. Мембранні технології – це системи очищення зі значним потенціалом, які при правильному виборі оптимального режиму роботи здатні працювати впродовж довгого часу з максимальним рівнем ефективності. Основною проблемою цієї технології поки що є ціна та обростання/зamuлення мембран.

З метою запобігання чи мінімізації фоулінгу мембран вченими було проведено багато досліджень, на базі яких сформовано систему методів, які при раціональному комбінуванні здатні дати максимальний ефект. Класифіковано існуючі методи для очищення мембран та визначено особливості їх застосування. Показано перспективність використання процесів самоочищення мембран. Визначено, що на цьому етапі розвитку науки в сфері мембранного розділення можливе ширше впровадження цієї технології.

Список використаних джерел

- [1] Ю. В. Дзігора, "Комбіноване біомембранне очищення стічної води", на XVIII міжнар. наук.-практ. конф. Ресурси природних вод Карпатського регіону (Проблеми охорони та раціонального використання): зб. наук. статей (м. Львів, 23-24 трав. 2019 р.). Львів: Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2019, с. 117-118.
- [2] US-EPA. Water Recycling and Reuse. Region 9: Water.
- [3] US-EPA. Guidelines for Water Reuse. U.S. Agency for International Development.
- [4] S. J. Judd, *The MBR book – principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment*. Elsevier, 2006.
- [5] The MBR site. MBR operation and maintenance – fouling, clogging and cleaning.
- [6] A. Drews, "Membrane fouling in membrane bioreactors – characterisation, contradic-

- tions, cause and cures", *Journal of Membrane Science*, vol. 363 (1-2), pp. 1-28, 2010.
- [7] P. Le-Clech, V. Chen, and T. A. G. Fane, "Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment", *Journal of Membrane Science*, vol. 284 (1-2), pp. 17-53, 2006.
- [8] B. Ladewig, and M. N. Z. Al-Shaeli, "Fouling in Membrane Bioreactors", *Fundamentals of Membrane Bioreactors: Materials, Systems and Membrane Fouling*, 2017, pp. 29-85.
- [9] Zhiwei Wang, Jinxing Ma, Chuyang Y. Tang, Katsuki Kimura, Qiaoying Wang, and Xiaomeng Han, "Membrane cleaning in membrane bioreactors: A review", *Journal of Membrane Science*, vol. 468, pp. 276-307, 2014.
- [10] Yinghong Gao, Jie Qin, Zhiwei Wang, and Stein W. Østerhus, "Backpulsing technology applied in MF and UF processes for membrane fouling mitigation: A review", *Journal of Membrane Science*, vol. 587, pp. 117-136, 2019.
- [11] M. L. Christensen, T. V. Bugge, B. H. Hede, Marta Nierychlo, P. Larsen, and M. K. Jørgensen, "Effects of relaxation time on fouling propensity in membrane bioreactors", *Journal of Membrane Science*, vol. 504, pp. 176-184, 2016.
- [12] M. Dalmau, H. Monclús, S. Gabarrón, I. Rodriguez-Roda, and J. Comasa, "Towards integrated operation of membrane bioreactors: effects of aeration on biological and filtration performance", *Bioresource Technology*, vol. 171, pp. 103-112, 2014.
- [13] Yu. V. Dzihora, "Combination of moving bed biofilm reactor and membrane bioreactor for wastewater treatment", в *Международ. конф., посвящ. 145-летию УП «Минскводоканал», Современные тенденции в развитии водоснабжения и водоотведения: в 2 ч.* (г. Минск, 13-14 февр. 2019 г.). Минск: БГТУ, 2019, ч. 2, с. 147-150.
- [14] Chien-Hwa Yu, Lung-Chen Fang, Shaik Khaja Lateef, Chung-Hsin Wu, and Cheng-Fang Lin, "Enzymatic treatment for controlling irreversible membrane fouling in cross-flow humic acid-fed ultrafiltration", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 177 (1-3), pp. 1153-1158, 2010.
- [15] Majid Bagheri, and Sayed Ahmad Mirbagheri, "Critical review of fouling mitigation strategies in membrane bioreactors treating water and wastewater", *Bioresource Technology*, vol. 258, pp. 318-334, 2018.
- [16] Xiaolei Zhang, Kibaek Lee, Huarong Yu, Naresh Mamed, and Kwang-Ho Choo, "Photolytic quorum quenching: A new anti-biofouling strategy for membrane bioreactors", *Chemical Engineering Journal*, vol. 378, 2019.
- [17] Sankara Narayanan Ramanan, Nima Shahkaramipour, Thien Tran, Lingxiang Zhu, Surendar R. Venna, Chang-Keun Lim, Ajay Singh, Paras N. Prasad, and Haiqing Lin, "Self-cleaning membranes for water purification by co-deposition of photo-mobile 4,4'-azodianiline and bio-adhesive polydopamine", *Journal of Membrane Science*, vol. 554, pp. 164-174, 2018.

References

- [1] Yu. V. Dzihora, "Combined biomembrane wastewater treatment", in *18th Int. Sci.-Pract. Conf. Resources of natural waters of the Carpathian region (Problems of protection and rational use)*. Lviv: Nats. un-t «Lvivska politekhnika», 2019, pp. 117-118 [in Ukrainian].
- [2] US-EPA. Water Recycling and Reuse. Region 9: Water.
- [3] US-EPA. Guidelines for Water Reuse. U.S. Agency for International Development.
- [4] S. J. Judd, *The MBR book – principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment*. Elsevier, 2006.
- [5] The MBR site. MBR operation and maintenance – fouling, clogging and cleaning.
- [6] A. Drews, "Membrane fouling in membrane bioreactors – characterisation, contradictions, cause and cures", *Journal of Membrane Science*, vol. 363 (1-2), pp. 1-28, 2010.
- [7] P. Le-Clech, V. Chen, and T. A. G. Fane, "Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment", *Journal of*

- Membrane Science*, vol. 284 (1-2), pp. 17-53, 2006.
- [8] B. Ladewig, and M. N. Z. Al-Shaeli, "Fouling in Membrane Bioreactors", *Fundamentals of Membrane Bioreactors: Materials, Systems and Membrane Fouling*, 2017, pp. 29-85.
- [9] Zhiwei Wang, Jinxing Ma, Chuyang Y. Tang, Katsuki Kimura, Qiaoying Wang, and Xiaomeng Han, "Membrane cleaning in membrane bioreactors: A review", *Journal of Membrane Science*, vol. 468, pp. 276-307, 2014.
- [10] Yinghong Gaoa, Jie Qinb, Zhiwei Wangc, and Stein W. Østerhusa, "Backpulsing technology applied in MF and UF processes for membrane fouling mitigation: A review", *Journal of Membrane Science*, vol. 587, pp. 117-136, 2019.
- [11] M. L. Christensen, T. V. Bugge, B. H. Hede, Marta Nierychlo, P. Larsen, and M. K. Jørgensen, "Effects of relaxation time on fouling propensity in membrane bioreactors", *Journal of Membrane Science*, vol. 504, pp. 176-184, 2016.
- [12] M. Dalmau, H. Monclús, S. Gabarrón, I. Rodríguez-Roda, and J. Comasa, "Towards integrated operation of membrane bioreactors: effects of aeration on biological and filtration performance", *Bioresource Technology*, vol. 171, pp. 103-112, 2014.
- [13] Yu. V. Dzihora, "Combination of moving bed biofilm reactor and membrane bioreactor for wastewater treatment", in *Int. Conf. dedicated to the 145th anniversary of Minskvodokanal Unitary Enterprise. Current Trends in the Development of Water Supply and Sanitation: materials of the: in 2 parts*. Minsk: BG TU, 2019, part 2, pp. 147-150.
- [14] Chien-Hwa Yu, Lung-Chen Fang, Shaik Khaja Lateef, Chung-Hsin Wu, and Cheng-Fang Lin, "Enzymatic treatment for controlling irreversible membrane fouling in cross-flow humic acid-fed ultrafiltration", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 177 (1-3), pp. 1153-1158, 2010.
- [15] Majid Bagheri, and Sayed Ahmad Mirbagheri, "Critical review of fouling mitigation strategies in membrane bioreactors treating water and wastewater", *Bioresource Technology*, vol. 258, pp. 318-334, 2018,
- [16] Xiaolei Zhang, Kibaek Lee, Huarong Yu, Naresh Mamede, and Kwang-Ho Choo, "Photolytic quorum quenching: A new anti-biofouling strategy for membrane bioreactors", *Chemical Engineering Journal*, vol. 378, 2019.
- [17] Sankara Narayanan Ramanan, Nima Shahkaramipour, Thien Tran, Lingxiang Zhu, Surendar R. Venna, Chang-Keun Lim, Ajay Singh, Paras N. Prasad, and Haiqing Lin, "Self-cleaning membranes for water purification by co-deposition of photo-mobile 4,4'-azodianiline and bio-adhesive polydopamine", *Journal of Membrane Science*, vol. 554, pp. 164-174, 2018.

Yu. V. Dzihora, *Ph. D. student,*
H. S. Stolyarenko, *D. Tech. Sc., professor,*
head of the department of chemical technology and water treatment
 Cherkasy State Technological University
 Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

MEMBRANE REGENERATION METHODS IN WASTEWATER TREATMENT

Membrane technologies have become widespread in recent years and have a big chance of eventually replacing the classic wastewater treatment system that no longer meets the needs of the modern world. The method of membrane separation, combined with previous biological treatment, is characterized by a high degree of purification, stability of the system irrespective of load fluctuations, and low environmental impact. However, there are several disadvantages among all the positives, the main ones being the high cost and the membrane fouling. These problems are interrelated, so if you

solve the problem of membrane fouling, then the high cost will pay off over time. Hundreds of scientific studies in this field have succeeded in minimizing the negative effects of membrane fouling and clogging/sludging, which have long been the main limiting factors for widespread introduction of membrane technologies. To reduce the limiting effect of fouling on the membrane, a number of indicators can be adjusted, including hydrodynamic mode, peculiarities of membrane operation and purification, quality of feeding water and concentration of impurities, and characteristics and material of the membranes.

Although the techniques for minimizing fouling have been developed in different directions, when developing the right approach, they can be combined with a much better effect, for example, combined membrane purification, including backwashing, relaxation, and chemical periodic treatment. In the last decade, membrane technologies have become widespread, and their introduction into existing wastewater treatment plants continues to grow in various countries all over the world, including Sweden, China, Singapore, the United States, Korea, and others. Provided effective inhibition of membrane fouling, such systems have the potential to become the main wastewater treatment plants. In the review article the basic methods of membranes purification – from classical to the recent developments – are systematized.

Keywords: *membrane bioreactor, membrane purification, methods of membrane purification, fouling, membrane fouling.*

[0000-0001-7113-9892] **В. М. Вязовик**, д.т.н., доцент

e-mail: v.viazovyk@chdtu.edu.ua

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУ ФОРМАЛЬДЕГІДУ І МЕТАНОЛУ ЕЛЕКТРОННИМ КАТАЛІЗОМ

З кожним роком у промисловості все більше відбувається заміна неорганічних матеріалів на органічні полімери, для виготовлення яких використовуються метанол і формальдегід. Існуючі методи є досить складними й енергоємними. Тому одним із перспективних напрямів дослідження є розробка методів прямого отримання цих сполук шляхом неповного окиснення метану. Для цього пропонується використовувати низькотемпературну плазму бар'єрного розряду в зоні гетерогенного розряду. Це дає можливість підвищити ступінь окиснення метану до метанолу і формальдегіду з 10 % до майже 50 % при відносно невисоких енергетичних витратах.

Ключові слова: метан, формальдегід, метанол, електронний каталіз, окиснення.

Вступ. З кожним роком у промисловості все більше відбувається заміна неорганічних матеріалів на органічні полімери. Так, у різних галузях промисловості замість металів використовуються полімерні матеріали, замість неорганічних клеїв і в'язучих матеріалів – органічні. В зв'язку з цим значно збільшується кількість органічних речовин, що випускаються сучасною хімічною промисловістю. Одними з таких речовин є формальдегід і метанол.

Основна частина формальдегіду використовується для виробництва фенолформальдегідних, карбамідоформальдегідних і меламінформальдегідних смол, які далі йдуть на виробництво ДСП, фанери і меблів. Також із них виробляють формувальні матеріали. Отримані смоли знаходять застосування як допоміжні реагенти у текстильній та шкіряній промисловості, при виробництві гуми і цементу. Невелика частка карбамідоформальдегідних смол використовується для отримання спінених пластмас [1].

Приблизно 40 % виробленого формальдегіду витрачається на виробництво інших хімікатів. У цьому сенсі він є цінним одновуглецевим «будівельним блоком». Його застосовують у виробництві бутандіолу-1,4, триметилпропану, неопентилгліколю, пентаеритриту, уротропіну. Також формальдегід використовується для отримання нітрilotриоцтової кислоти і ЕДТА. Все більше зростає потреба в метилендифенілдіізоціанаті. Формальдегід є важливою складовою в синтезі барв-

ників, дублячих засобів, ліків, ароматизаторів, парфумерії та ін. [1].

Безпосереднє застосування знаходить лише дуже мала частина формальдегіду. Він використовується як інгібітор корозії, в поліруванні дзеркал і гальванопокрытиях, у виробництві друкованих схем і для проявлення плівок. Більша частина формальдегіду витрачається на медичні цілі: для консервації біологічних матеріалів і дезінфекції. Як антимікробний реагент формальдегід має широкий спектр застосування, хоча й виявляє деякі побічні ефекти. З другого боку, альтернативні речовини мають ще більш небезпечні побічні ефекти, і вони не так детально досліджені.

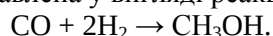
Метанол також широко використовується в промисловості. В першу чергу, це досить поширений розчинник. В органічному синтезі метанол застосовують для випуску формальдегіду, формаліну, оцтової кислоти і ряду ефірів, ізопрену та ін. Найбільша його кількість використовується для отримання формальдегіду.

Велика кількість метанолу використовується як присадка для автомобільних палив. В ряді країн Євросоюзу і в Росії метанол все більше використовується для синтезу диметилового ефіру, який потім використовується як екологічний заміник дизельного пального.

Сучасний стан виробництва формальдегіду і метанолу. Відомо кілька способів отримання метанолу: суха перегонка деревини і лігніну, термічний розклад солей мурашиної кислоти, синтез із метану через метилхлорид з подальшим омиленням, неповне

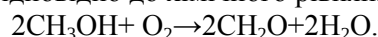
окиснення метану і отримання з синтез-газу [2]. Спочатку в промисловості було освоєно метод отримання метанолу сухою перегонкою деревини, але згодом він втратив своє промислове значення. Сучасне виробництво метанолу з монооксиду вуглецю і водню вперше було здійснено в Німеччині компанією BASF у 1923 р. Процес проводився під тиском 10-35 МПа на цинкхромовому каталізаторі ($\text{ZnO}/\text{Cr}_2\text{O}_3$) при температурі 320-450°C [2]. Згодом поширення набув синтез метанолу на мідьмісних каталізаторах, промотованих цинком, хромом та ін., при 200-300°C і тиску 5-10 МПа, розроблений в Англії. Сучасний промисловий метод отримання – синтез з оксиду вуглецю (II) і водню на мідьцинковому оксидному каталізаторі при температурі 250 °C і тиску 7 МПа.

Схема механізму каталітичного виробництва метанолу складна [2] і сумарно може бути представлена у вигляді реакції

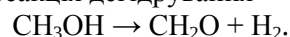


Синтез формальдегіду проводиться в промисловості каталітичним окисненням метанолу. Найбільш поширеними каталізаторами є металічне срібло (в присутності кристалів срібла) або суміш оксидів заліза і молібдену чи ванадію. Звичайно використовувані у «процесі формокса» метанол і кисень вступають у реакцію приблизно при 250-400°C у присутності оксиду заліза в поєднанні з моліб-

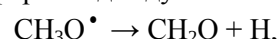
деном і/або ванадієм для отримання формальдегіду відповідно до хімічного рівняння



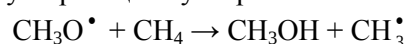
Каталізатор на основі срібла зазвичай працює при вищій температурі, близько 650°C. Дві хімічні реакції на ньому одночасно виробляють формальдегід: це реакція, показана вище, і реакція дегідрування



Відомий спосіб прямого синтезу формальдегіду з метану [2]. Так, А. А. Мантасян і Н. Р. Хачатурян [3-8], користуючись механізмом окиснення метану, за яким метанол і формальдегід утворюються за конкуруючими реакціями метоксильних радикалів, провели дослідження по перетворенню метану в метанол та формальдегід при різних температурах і співвідношенні $\text{CH}_4:\text{O}_2$. Згідно з цим механізмом пониження температури робить більш сильну гальмівну дію на елементарні реакції утворення формальдегіду



конкурує з реакцією утворення метанолу



через значно більшу енергію активації. Однак при зниженні температури процес, через важкість ініціювання, уповільнюється в цілому і стає неефективним.

У таблицях 1 і 2 наведено деякі результати їх досліджень при різних температурах.

Таблиця 1 – Вихід продуктів окиснення суміші $\text{CH}_4:\text{O}_2=1:2$ [3-8]

Температура, °C	Парціальні тиски продуктів реакції, мм рт. ст.					Ступінь використання метану, %
	CH_2O	CH_3OH	H_2	CO	CO_2	
кімнатна	0,05	0,038	0,013	2,2	0,4	7,5
350	0,05	0,04	0,013	2,03	0,38	8
400	0,051	0,05	0,014	2,9	0,4	8,75
450	0,052	0,063	0,014	3,6	0,5	10
475	0,075	0,0825	0,014	4	0,6	12,5
500	0,12	0,052	0,024	5,7	1,5	18,7

Таблиця 2 – Вихід продуктів окиснення суміші $\text{CH}_4:\text{O}_2$ при температурі 500°C [3-8]

Співвідношення $\text{CH}_4:\text{O}_2$	Парціальні тиски продуктів реакції, мм рт. ст.					Ступінь використання метану, %
	CH_2O	CH_3OH	H_2	CO	CO_2	
1:0,5	0,05	0,12	0,02	2,5	1,5	2,4
1:1	0,1	0,22	0,06	3,2	4	2,3
1:2	0,12	0,18	0,06	7,5	4,5	1,5

Усі ці результати вказують на досить низький ступінь використання метану. Тому

цей метод досі не набув значного поширення в промисловості. Отже, виникла потреба в

електронно-каталітичному синтезі формальдегіду і метанолу, збільшенні теплотворної здатності палива.

Методи дослідження. Як процес синтез формальдегіду і метанолу здійснювався на установці, що складалася з блока розрядників (одного чи декількох залежно від потреб) і трубчастой печі, в якій знаходиться каталізатор, та холодильника.

Аналіз вмісту формальдегіду і метанолу проводили хроматографічним методом. У кожному газоподібному паливі завжди присутні пари води і вуглекислого газу. Їх вміст залежить від пори року, джерела газоподібного палива (родовище, газосховище), способу його транспортування (газова магістраль, ємності) та їх поєднання. Крім того, на великій кількості котлоагрегатів використовується для зменшення токсичних викидів в атмосферу рецикл димових газів у паливну систему. Тому були проведені дослідження з рівним складом початкової суміші і способами обробки.

Обговорення результатів дослідження. Результати досліджень подано в таблиці 3. Як видно з таблиці, залежно від способу активзації, складу суміші, що обробляється, і каталізатора, вихід формальдегіду та метилового спирту є різним. Найбільший вихід формальдегіду досягається при обробці чистого метану в розряді, тобто створенні радикалів $\text{CH}_3^\bullet$ з подальшим додаванням парів води і вуглекислого газу (в результаті радикали $\text{CH}_3^\bullet$ взаємодіють з парами води) чи суміші метану з парами води в розряднику (створення суміші радикалів $\text{CH}_3^\bullet$ і $\text{HO}^\bullet$) з подальшим додаванням вуглекислого газу на залізохромовому каталізаторі. На інших каталізаторах при тому ж способі обробки вихід формальдегіду зменшується. Найменший вихід спостерігається при обробці метану і парів води в розряді, потім змішується з вуглекислим газом на хромоцинковому каталізаторі.

Таблиця 3 – Результати синтезу формальдегіду та метанолу з використанням електронного каталізу [9]

Умови (склад и спосіб обробки)	Каталізатор	Температура, °C	Вихід формальдегіду, мг	Вихід метанолу, мг
1. Суміш метану з вуглекислим газом та парами води в розряді	Залізохромовий	350	890,2	92,47
2. Метан в розряді, потім змішується з вуглекислим газом і парами	Залізохромовий	350	1112,7	132,15
3. Метан і пари води в розряді, потім змішуються з вуглекислим газом	Залізохромовий	350	1086	354,8
4. Метан і пари води в розряді, потім змішуються з вуглекислим газом	Залізохромовий	450	1516	Не проводилися
5. Суміш метану з вуглекислим газом та парами води в розряді	Хромовий	350	586	156,27
6. Суміш метану з вуглекислим газом та парами води в розряді	Хромоцинковий	350	849	390,4
7. Метан і пари води в розряді, потім змішуються з вуглекислим газом	Хромоцинковий	350	280	30,65
8. Суміш парів води і метан – в першому розряднику, суміш вуглекислого газу і парів води – в другому, потім обидва потоки змішуються	Хромоцинковий	350	916	66,35
9. Метан – в першому розряднику, суміш парів води і вуглекислий газ – в другому, потім обидва потоки змішуються	Хромоцинковий	350	696	Не проводилися
10. Метан – в першому розряднику, вуглекислий газ – в другому, потім обидва потоки змішуються	Хромоцинковий	350	301	Не проводилися

Максимальний вихід формальдегіду досягався на залізохромовому каталізаторі при паралельній обробці суміші води і метану в одному розряднику (тобто створення суміші

радикалів $\text{CH}_3^\bullet$ і $\text{HO}^\bullet$) і вуглекислого газу – в другому (створення суміші CO , CO_2 і атомарного кисню).

Аналізуючи вихід метанолу за результатами досліджень, наведених у таблиці 3, видно, що, незалежно від складу каталізатора, складу початкової суміші і способу обробки суміші, вихід метанолу значно нижчий, ніж вихід формальдегіду за тих же умов. Вихід метанолу не перевищує або не дуже відрізняється від 10 % від виходу формальдегіду. Лише при проведенні при температурі 350°C синтезу на залізо-хромовому каталізаторі і при обробці метану з парами води та вуглекислим газом в зоні розряду, метану з парами води в зоні розряду з додаванням потім вуглекислого газу і на хромовому каталізаторі при обробці суміші метану з вуглекислим газом вихід метанолу значно вищий, ніж 10 % і становить відповідно 46, 32,67 і 26,67 %. Однак в останньому випадку вихід формальдегіду також є низьким. Такий низький вихід формальдегіду підтверджується літературними даними [4; 5; 6; 7; 8] – при температурах 350°C і вище, тиску, близькому до атмосферного, синтез метанолу дуже низький і не перевищує 10 % від виходу формальдегіду. Вихід же метанолу більше 10 % у трьох випадках дослідів можна пояснити наявністю в каталізаторі хрому, який відноситься до металів з високою каталітичною активністю в реакціях дегідратації, і тим, що процес проходив при температурі 350°C .

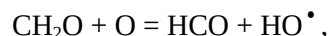
Виходячи з результатів досліджень, було продовжено дослідження утворення формальдегіду при різних умовах процесу і складі каталізаторів.

Згідно з результатами аналізів, що проводяться Київгазом [10], природний газ містить насичені вуглеводні (метан, етан, пропан тощо), азот, діоксид сірки, кисень.

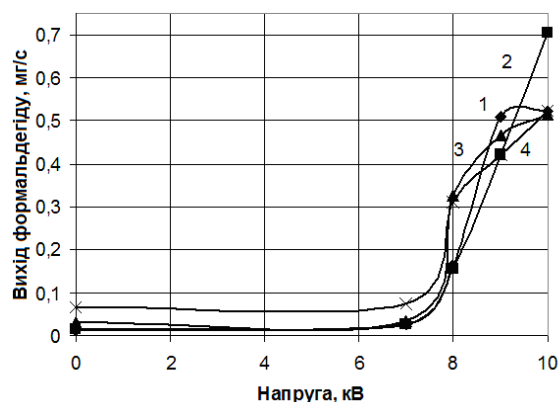
Згідно з цими даними в природному газі високий вміст вуглекислого газу (особливо взимку, коли газ постачається в газову магістраль країни не з основної магістралі поставок природного газу, а з газового сховища, де відбувається значне накопичення вуглекислого газу завдяки високим тискам у сховищі), що дає змогу додатково не вводити вуглекислий газ при синтезі формальдегіду і метанолу.

На рисунках 1-6 зображено результати досліджень виходу формальдегіду при різних складах газу, температурах і часі контакту. На рисунках 1, 2 представлені залежності виходу формальдегіду від напруги на каталізаторі X18H10T при різних температурах, різному складі газу і часі контакту 0,434 с. На рисунках 3, 4 представлено ступінь використання метану при синтезі формальдегіду при тому ж часі контакту і складах газу.

Як видно з рисунків 1, 2, на утворення формальдегіду суттєво впливає склад газової суміші. Найменший вихід формальдегіду спостерігається при використанні чистого природного газу. При додаванні до природного газу кисню відбувається збільшення виходу формальдегіду при напругах, менших 10 кВ. Але при напрузі 8 кВ концентрація формальдегіду зрівнюється з концентрацією при використанні чистого природного газу. Це пояснюється утворенням у зоні розряду надлишку атомарного кисню, що зменшує вихід формальдегіду за рахунок переважання реакції

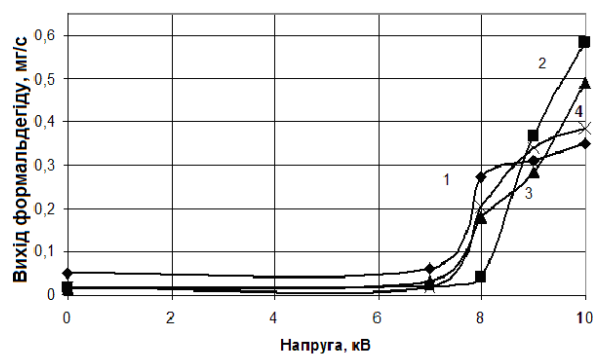


константа швидкості якої має порядок 11.



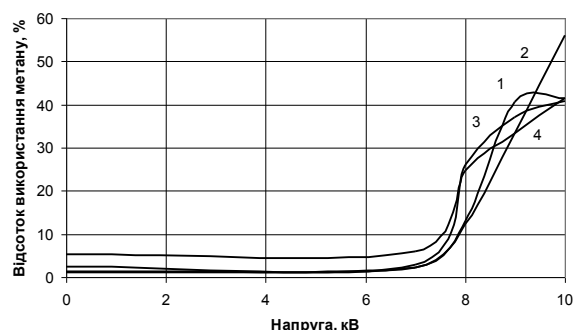
- 1 – суміш природного газу і повітря;
- 2 – суміш природного газу, парів води і повітря;
- 3 – суміш природного газу і води;
- 4 – чистий природний газ

Рисунок 1 – Залежність виходу формальдегіду при температурі 400°C і часі контакту 0,434 с



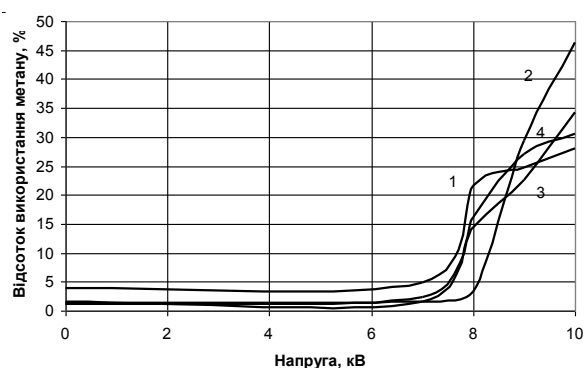
- 1 – суміш природного газу і повітря;
2 – суміш природного газу, парів води і повітря;
3 – суміш природного газу і води;
4 – чистий природний газ

Рисунок 2 – Залежність виходу формальдегіду при температурі 350 °C і часі контакту 0,434 с



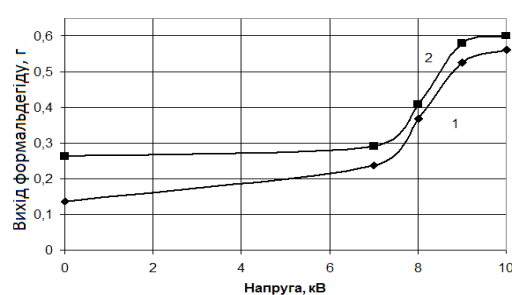
- 1 – суміш природного газу і повітря;
2 – суміш природного газу, парів води і повітря;
3 – суміш природного газу і води;
4 – чистий природний газ

Рисунок 3 – Залежність ступеня використання метану при утворенні формальдегіду при температурі 400 °C і часі контакту 0,434 с



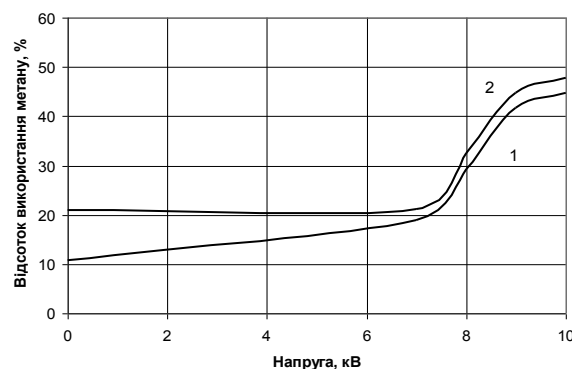
- 1 – суміш природного газу і повітря;
2 – суміш природного газу, парів води і повітря;
3 – суміш природного газу і води;
4 – чистий природний газ

Рисунок 4 – Залежність ступеня використання метану при утворенні формальдегіду при температурі 350 °C і часі контакту 0,434 с



- 1 – суміш метану і повітря;
2 – суміш метану, парів води і повітря

Рисунок 5 – Залежність виходу формальдегіду в газовій фазі від напруги при температурі 400 °C і часі контакту 0,173 с



- 1 – суміш метану і повітря;
2 – суміш метану, парів води і повітря

Рисунок 6 – Залежність ступеня використання метану при синтезі формальдегіду від напруги при температурі 400 °C і часі контакту 0,173 с

При додаванні парів води вихід формальдегіду поступово збільшується і при напрузі 10 кВ досягає таких же значень, що і при використанні чистого природного газу. Це пояснюється нестачею радикалів $\text{HO}^\bullet$ при взаємодії метану, з якими утворюється формальдегід.

Однотимчасне додавання до чистого природного газу парів води і кисню приводить до значного збільшення виходу формальдегіду, в якому ступінь використання метану найбільша і при температурі 400°C досягає майже 56 %. При інших складах газу ступінь використання значно нижчий, але при напрузі 10 кВ і температурі процесу 400°C цей ступінь використання більший 40 %, тоді як без розряду він не перевищує 5 %.

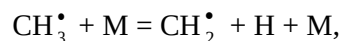
З усіх цих результатів видно, що концентрація вуглекислого газу (близько 1,7 % об), що входить до складу чистого природного газу, достатня для утворення формальдегіду.

Як вже зазначалося при описі таблиці 1, на процес суттєво впливає температура процесу. Так, при її збільшенні збільшується вихід формальдегіду, що підтверджується літературними даними [4; 5; 6; 7; 8]. На рисунку 5 зображено залежності синтезу формальдегіду від напруги на каталізаторі X18H10T при температурі 400 °C і часі контакту 0,173 с. На рисунках 4-6 показано відсотки використання метану при синтезі формальдегіду при тому ж часі контакту.

Як видно з рисунка 6, при збільшенні напруги відбувається збільшення концентрації в обох сумішах. При додаванні парів води до суміші метану і повітря відбувається збільшення виходу формальдегіду завдяки збільшенню концентрації радикалів $\text{HO}^\bullet$, який потім, реагуючи з металічним та іншими радикалами, утворює формальдегід. Аналогічна картина спостерігається і при аналізі зміни відсотка використання метану при синтезі формальдегіду.

Усі ці результати свідчать про збільшення утворення радикалів $\text{CH}_3^\bullet$ та електронно-каталітичну інтенсифікацію окиснювальних процесів.

При аналізі впливу часу перебування в зоні розряду газової суміші видно, що при часі контакту 0,173 с вихід формальдегіду менший, ніж 0,434 с. Це пояснюється тим, що при часі 0,173 с більш інтенсивно проходить у зоні розряду завдяки надлишку енергії реакція



константа реакції якої має порядок 16.

У таблиці 4 наведено значення виходу формальдегіду, ступеня використання метану та витрат електроенергії при отриманні 1 г формальдегіду при різних складах газу, які були отримані на основі результатів лабораторних досліджень. Як видно з таблиці 3, при збільшенні напруги розряду, що, в свою чергу, збільшує вихід формальдегіду і ступінь використання метану, витрати електроенергії зменшуються.

Так, найбільші витрати електроенергії на 1 г формальдегіду при напрузі 10 кВ спостерігаються для процесу отримання формальдегіду із чистого природного газу при температурі 350 °C і часі контакту 0,173 с, найменші – при температурі 400 °C із суміші природний газ+пари води+повітря.

Таблиця 4 – Витрати електроенергії при отриманні 1 г формальдегіду

Напруга, кВ	Вихід формальдегіду, мг	Ступінь використання метану, %	Витрати електроенергії на 1 г формальдегіду, кВт·год
1	2	3	4
Температура 400°C, метан+повітря			
7	0,028	2,22	68,58
8	0,163	12,95	11,78
9	0,51	40,5	3,77
10	0,521	41,4	3,69
Температура 400°C, метан+повітря+вода			
7	0,027	2,15	71,12
8	0,156	12,4	12,31
9	0,42	33,36	4,57
10	0,704	55,9	2,73
Температура 400°C, метан+вода			
7	0,035	2,78	54,86
8	0,327	25,97	5,87
9	0,467	37,1	4,11
10	0,514	40,83	3,74
Температура 400°C, метан із балону			
7	0,074	5,88	25,95
8	0,311	24,7	6,17
9	0,42	33,36	4,57
10	0,521	41,38	3,69

Закінчення таблиці 4

Температура 350°C, метан+повітря			
7	0,019	1,51	101,1
8	0,204	16,2	9,41
9	0,34	27	5,65
10	0,384	30,5	5
Температура 350°C, метан+вода+повітря			
7	0,02	1,59	96,01
8	0,043	3,42	44,46
9	0,37	29,4	5,2
10	0,584	46,39	3,3
Температура 350°C, метан+вода			
7	0,031	2,46	30,97
8	0,181	14,38	7,06
9	0,285	22,64	6,74
10	0,49	38,9	5,41
Температура 350°C, метан із балону			
7	0,062	4,93	25,95
8	0,272	21,61	6,17
9	0,311	24,7	4,57
10	0,35	27,8	3,69

Усе це пояснюється, в першу чергу, складом газу. Як видно з таблиці 3, до чистого газу входять в основному (на 96,6 % об. станом на 25.06.2014, коли проводилися дослідження) вуглеводні, тоді як вміст кисневмісних сполук дуже малий (близько 1,6 % об.) і це в основному вуглекислий газ, що значно зменшує вихід кисневмісних радикалів $\text{HO}^\bullet$ і $\text{HO}_2^\bullet$, які відіграють згідно з хімізмом реакцій окиснення метану [11] суттєву роль в утворенні формальдегіду. Тому додавання до природного газу парів води і повітря (як джерела кисню) збільшує утворення радикалів $\text{HO}^\bullet$ і $\text{HO}_2^\bullet$. Склад газу суттєво не впливає на електричні характеристики газової суміші, а впливає лише на процес утворення формальдегіду. Електричні характеристики газової суміші визначає наявність метану (понад 90 % об.). Додавання ж інших газів не може вплинути на ці характеристики.

Найбільший вихід формальдегіду і, в свою чергу, ступінь використання метану спостерігається при утворенні формальдегіду із суміші метан+повітря+пари води при температурі 400 °C і досягається при напрузі 10 кВ 0,704 мг (ступінь використання метану – 55,9 %). При зменшенні температури до 350°C вихід формальдегіду зменшується до 0,384 мг (ступінь використання метану – 46,39 %). При

утворенні формальдегіду із сумішей, які не містять пари води, вихід формальдегіду, а отже, і ступінь використання метану зменшуються – найменші для суміші метан+повітря. Чистий газ із балону має більший вихід формальдегіду, ніж із суміші метан+повітря.

Так само впливає і температура процесу. При збільшенні температури збільшується вихід формальдегіду, що, в свою чергу, зменшує питомі витрати електроенергії завдяки більшій іонізації газу.

Висновок. При дослідженні утворення формальдегіду і метанолу в зоні електронного каталізу було встановлено:

- залежно від способу активації і вмісту суміші, що обробляється, та каталізатора вихід формальдегіду є різним. Найбільший вихід формальдегіду досягається при обробці чистого метану в розряді, тобто при утворенні радикалів $\text{CH}_3^\bullet$, з подальшим додаванням парів води і вуглекислого газу (в результаті взаємодії радикала $\text{CH}_3^\bullet$ з парами води) чи суміші метану з парами води в розряднику (створення суміші радикалів $\text{CH}_3^\bullet$ і $\text{HO}^\bullet$) з подальшим додаванням вуглекислого газу на залізохромовому каталізаторі. На інших каталізаторах при тому ж способі обробки вихід формальдегіду зменшується. Найменший вихід спостерігається при обробці метану і парів води в

розряді, потім змішується з вуглекислим газом на хромоцинкавому каталізаторі;

- максимальний вихід на залізохромовому каталізаторі спостерігається при паралельній обробці суміші води і метану в одному розряднику (утворення суміші радикалів $\text{CH}_3^\bullet$ і $\text{HO}^\bullet$) і вуглекислого газу – в другому (утворення суміші CO , CO_2 і атомарного кисню);

- при підвищенні температури відбувається різке збільшення виходу метану, але при температурах, при яких проводилися дослідження, вже починається синтез формальдегіду без участі електронного каталізу, тому на цей факт не зверталось уваги;

- утворення метанолу не перевищує або суттєво не відрізняється від 10 % від утворення формальдегіду, крім випадків, коли до складу каталізатору входить хром.

Найбільші витрати електроенергії на 1 г формальдегіду при напрузі 10 кВ спостерігаються для процесу отримання формальдегіду із чистого природного газу при температурі 350 °C і часі контакту 0,173 с, найменші – при температурі 400 °C із суміші природний газ+пари води+повітря.

Список використаних джерел

- [1] С. К. Огородников, *Формальдегид*. Ленинград: Химия, 1984.
- [2] М. М. Караваев, В. Е. Леонов, И. Г. Попов, и Е. Т. Шепелев, *Технология синтетического метанола* / под ред. М. М. Караваева. Москва: Химия, 1984.
- [3] М. Ю. Синев, В. Н. Корчак, и О. В. Крылов, "Механизм парциального окисления метана", *Успехи химии*, вып. 1, т. LVIII, с. 38-57, 1989.
- [4] А. А. Мантashian, "Цепные газофазные реакции: современные проблемы", *Химический журнал Армении*, вып. 60, № 4, с. 578-601, 2007.
- [5] Э. Р. Маркарян, "Моделирование процесса окисления метана с добавками пропана: влияние параметров на соотношение метанол-формальдегид", *Химический журнал Армении*, вып. 57, № 4, с. 21-27, 2004.
- [6] А. А. Мантashian, и Э. Р. Маркарян, "Кинетические особенности инициированного добавками пропана окислительного превращения метана", *Химический журнал Армении*, вып. 57, № 4, с. 7-20, 2004.

- [7] А. А. Мантashian, и Н. Р. Хачатурян, "Окислительное превращение метана в метанол", *Химический журнал Армении*, вып. 60, № 4, с. 852-864, 2007.
- [8] Н. Р. Хачатурян, "Неизотермическое окислительное превращение метана в метанол в двухсекционном проточном реакторе: кинетические особенности", *Химический журнал Армении*, вып. 61, № 4, с. 153-158, 2008.
- [9] В. М. Вязовик, та Г. С. Столяренко, "Електроннокаталічний метод синтезу формальдегіду при неповному окисненні метану", на *IV Наук.-практ. конф. з технології неорг. речовин. Сучасні проблеми технології неорганічних речовин та ресурсозбереження*. Дніпропетровськ, 2015, с. 87.
- [10] Показатели качества природного газа – ПАТ «Киевгаз». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kyivgaz.ua/ru/klientam/pokazateli-kachestva-prirodnogo-gaza>
- [11] Alexander Konnov, "Detailed reaction mechanism for small hydrocarbons combustion". Previous version: July 14, 2000. Updated: July 16, 2003. [Online]. Available: http://homepages.vub.ac.be/~akonnov/science/mechanism/version0_5.html

References

- [1] S. K. Ogorodnikov, *Formaldehyde*. Leningrad: Khimiya, 1984 [in Russian].
- [2] M. M. Karavaev, V. E. Leonov, I. G. Popov, and E. T. Shepelev, *Synthetic methanol technology*, M. M. Karavaev, Ed. Moscow: Khimiya, 1984 [in Russian].
- [3] M. Yu. Sinev, V. N. Korchak, and O. V. Krylov, "Mechanism of partial oxidation of methane", *Uspеhi himii*, iss. 1, vol. LVIII, pp. 38-57, 1989 [in Russian].
- [4] A. A. Mantashian, "Chain gas-phase reactions: contemporary problems", *Himicheskij zhurnal Armenii*, iss. 60, no. 4, pp. 578-601, 2007 [in Russian].
- [5] E. R. Markaryan, "Modeling of methane oxidation process with propane additives: the influence of parameters on the methanol-formaldehyde ratio", *Himicheskij zhurnal Armenii*, iss. 57, no. 4, pp. 21-27, 2004 [in Russian].
- [6] A. A. Mantashian, and E. R. Markaryan, "Kinetic features of propane-induced oxida-

- tive conversion of methane initiated by additives", *Himicheskiiy zhurnal Armenii*, iss. 57, no. 4, pp. 7-20, 2004 [in Russian].
- [7] A. A. Mantashian, and N. R. Khachaturyan, "Oxidative conversion of methane to methanol", *Himicheskiiy zhurnal Armenii*, iss. 60, no. 4, pp. 852-864, 2007 [in Russian].
- [8] N. R. Khachaturyan, "Non-isothermal oxidative conversion of methane to methanol in a two-section flow reactor: kinetic features", *Himicheskiiy zhurnal Armenii*, iss. 61, no. 4, pp. 153-158, 2008 [in Russian].
- [9] V. M. Vyazovik, and G. S. Stolyarenko, "Electronic catalytic method for formaldehyde synthesis with incomplete methane oxidation", *Proc. IV Sci.-Pract. Conf. on Inorg. Substances Technology. Modern Problems of Inorganic Substances Technology and Resource Saving*. Dnipropetrovsk, 2015, p. 87 [in Ukrainian].
- [10] Natural gas quality indicators – PJSC "Kyivgas". [Online]. Available: <http://www.kyivgaz.ua/ru/klientam/pokazateli-kachestva-prirodnogo-gaza>
- [11] Alexander Konnov, "Detailed reaction mechanism for small hydrocarbons combustion". Previous version: July 14, 2000. Updated: July 16, 2003. [Online]. Available: http://homepages.vub.ac.be/~akonnov/science/mechanism/version0_5.html

V. M. Viazovik, D. Sc., assistant professor
e-mail: v.viazovik@chdtu.edu.ua
Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

RESEARCH OF THE PROCESS OF FORMALDEHYDE AND METHANOL SYNTHESIS BY ELECTRONIC CATALYSIS

Every year, the industry is replacing more and more inorganic materials with organic polymers. The main part of formaldehyde is used for the production of phenol-formaldehyde, urea-formaldehyde and melamine-formaldehyde resins, which are then used for the production of chipboard, plywood and furniture. Methanol in the first place is a fairly common solvent. In organic synthesis, methanol is used to produce formaldehyde, formalin, acetic acid and a number of esters, isoprene, etc.

Existing methods are quite complex and energy intensive. Therefore, one of the promising areas of research consists in the development of methods for the direct production of these compounds by incomplete oxidation of methane. For this purpose it is proposed to use a low-temperature plasma barrier discharge in the heterogeneous discharge zone. This increases the oxidation rate of methane to methanol and formaldehyde from 10 to almost 50 percent at relatively low energy costs. Depending on the activation method and content of the treated mixture and the catalyst, the yield of formaldehyde is different. The highest formaldehyde yield is achieved by treatment of pure methane in the discharge, with the subsequent addition of water vapor and carbon dioxide or a mixture of methane with water vapor in the arrester, with the subsequent addition of carbon dioxide on an iron-chromium catalyst.

The maximum yield on the iron-chromium catalyst is the simultaneous treatment of a mixture of water and methane in one discharge and carbon dioxide – in the other.

The methanol formation does not exceed or is substantially different from 10 % of the formaldehyde formation, except when the catalyst is chromium.

The highest electricity costs per gram of formaldehyde at 10 kV are for the process of producing formaldehyde from pure natural gas at 350 °C, and at a contact time of 0.173 seconds, the lowest – at 400 °C from the natural gas + water + air mixture.

Keywords: methane, formaldehyde, methanol, electronic catalysis, oxidation.

А. А. Ромась,

М. А. Гуцол,

[0000-0001-5252-8737]

С. В. Нагірняк, к.т.н.,

[0000-0001-8189-8665]

Т. А. Донцова, к.х.н., доцент

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СЕНСОРНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ

Дослідження складу ґрунтового повітря є надзвичайно важливою задачею, оскільки вміст компонентів газової фази ґрунту, зокрема CO_2 та O_2 , безпосереднім чином відображає показники родючості ґрунту. В роботі проведено огляд щодо компонентного складу ґрунтового повітря, розглянуто існуючі методи визначення дихання ґрунту та показано перспективність використання сенсорного методу, який базується на використанні масиву датчиків, з можливістю проведення онлайн моніторингу без використання реагентів. З метою визначення чутливості синтезованих зразків відносно CO_2 методом паро-газового транспорту синтезовано одновимірні наноструктури стануму (IV) оксиду та проведено їх модифікацію ітрієм для використання в чутливих шарах газових сенсорів. Досліджено вольт-амперні характеристики чистих та модифікованих наноструктур SnO_2 на повітрі та в атмосфері карбон (IV) оксиду.

Ключові слова: типи ґрунтів, дихання ґрунту, наноструктури стануму (IV) оксид, мультисенсорна система, e-nose, система закритого ґрунту.

Вступ. Показники родючості ґрунту безпосереднім чином пов'язані зі складом ґрунтового повітря, так званим «диханням землі», що відіграє важливу роль у живленні рослин та є індикатором біохімічних і біологічних процесів, які відбуваються в ґрунті. Склад ґрунтового повітря постійно змінюється внаслідок обміну між повітрям атмосфери та повітрям ґрунту. Газова фаза ґрунту близька до атмосферного повітря, але відрізняється більш високим відсотком карбон (IV) оксиду, меншим вмістом кисню, наявністю сірководню та метану, а у випадку передозування добривами може призвести до появи оксидів нітрогену.

З усіх газів ґрунтового повітря найбільш динамічними є кисень та карбон (IV) оксид. Оптимальний вміст кисню в газовій фазі ґрунту становить приблизно 20 %. Відомо, що вміст CO_2 в ґрунтовому повітрі завжди є вищим, ніж в атмосферному і становить від 0,2-0,5 % до 1 %. Від концентрації CO_2 залежить ріст рослин, і при досягненні його оптимальної концентрації можна прискорити зростання культури. Кисень ґрунтового повітря має важливе значення для родючості ґрунту та необхідний, перш за все, для мікробіологічних процесів. Він активно

бере участь у хімічних реакціях мінеральних і органічних речовин та інтенсивно поглинається коренями рослин і мікробами в процесі їх дихання. Відсутність вільного кисню, аналогічно до накопичення вуглекислоти, за умови надлишкового зволоження ґрунту пригнічує ріст та розвиток рослин. Негативний вплив ґрунтового повітря проявляється при вмісті кисню, меншому за 8-12 % від загального об'єму, а при вмісті кисню в ґрунті, меншому 5 %, більша частина рослин гине.

Дихання ґрунтів. Ґрунт є динамічним, багатофазним елементом біосфери і знаходиться в постійному взаємозв'язку з гірськими породами, природними та атмосферними водами. В ґрунті присутні як гази (N_2 , O_2 , H_2), так і пари рідких (H_2O , NH_4) та твердих речовин (Hg , J). У зв'язку з цим склад газової фази ґрунту є надзвичайно різноманітним і визначається внутрішніми біофізичними, біохімічними процесами та газообміном з навколишнім середовищем.

Процес виділення вуглекислого газу та споживання кисню називається «диханням ґрунту» [1], яке включає біологічні, біохімічні, ґрунтово-фізичні та геологічні характеристики ґрунту. Процес газообміну в ґрунтах поділяється на циклічну та компонентну складову.

ві. Циклічний газообмін відображає сезонну активність ґрунтової біоти і послаблюється в холодний період року. Постійна складова виникає внаслідок надходження газоподібних речовин з надр Землі та процесів дегазації осадових відкладень [2].

Ґрунтове повітря має важливе значення для росту рослин, оскільки: бере участь у хімічних та біохімічних процесах, що відбуваються у ґрунті; відіграє роль в окисно-відновних умовах у ґрунті; впливає на розчинність хімічних компонентів ґрунту. Ґрунтове повітря забезпечує киснем корені рослин і живі організми, присутні в ґрунті, та є важливим фактором у вуглецевому живленні рослин, оскільки більшість вуглекислого газу, що витрачається на ріст врожаю сільськогосподарських культур, постачається з ґрунту.

До складу ґрунтового повітря входять дві групи компонентів – основні речовини та домішки, вміст яких не перевищує 100 ppm. Основними компонентами газової фази є кисень, вуглекислий газ, азот, аргон та пари води. При надмірному зволоженні ґрунту за рахунок перебігу процесів анаеробіозису склад ґрунтового повітря може поповнюватися редуруючими газами, такими як H_2S , H_2 , CO , CH_4 , у кількостях на рівні вмісту основних компонентів. Окремі гази можуть знаходитися в ґрунті у вільному стані (в порах ґрунту та пустотах), в адсорбованому стані на поверхні ґрунтових частинок або в розчиненому стані. Найбільше значення має саме вільне ґрунтове повітря, вміст якого залежить від порозності та вологості ґрунту.

За нормальної аерації середній склад газової фази ґрунтів в основному визначається співвідношенням інтенсивності газообміну з атмосферою і процесів поглинання O_2 та виділення CO_2 . Інтенсивність поглинання кисню ґрунтом становить $\mu(10 \div 100) \text{ мг/м}^2 \cdot \text{год}$, а виділення вуглекислого газу – $\mu(10 \div 1000) \text{ мг/м}^2 \cdot \text{год}$ [1]. Ці величини інтенсивності можуть сильно варіюватися залежно від термодинамічних умов, характеру ґрунту та наявності живих організмів у ґрунті.

На відміну від атмосферного повітря, склад ґрунтового повітря характеризується вищою динамічністю, яка, в першу чергу, стосується співвідношення між киснем та вуглекислим газом (таблиця 1). Ґрунтове повітря відрізняється більшим вмістом вуглекислого газу та водяної пари і меншим вмістом кисню.

Склад ґрунтового повітря значно змінюється в часі (впродовж доби та залежно від сезону) та по профілю ґрунту залежно від біологічної активності, гідротермічних умов, адсорбції газів та інтенсивності газообміну між ґрунтом та атмосферою. В результаті біологічних процесів у ґрунті постійно відбувається поглинання кисню організмами та виділення вуглекислого газу, внаслідок чого ґрунт збіднюється киснем та збагачується вуглекислим газом. Виділення CO_2 в процесі дифузії залежить від продукування вуглекислого газу ґрунтом, фізичних та хімічних властивостей ґрунту, зміни гідротермальних умов. Вирішальну роль при цьому відіграють біологічні фактори, саме тому виділення CO_2 може слугувати характеристикою інтенсивності біологічних процесів у ґрунті. Внаслідок цього інтенсивність дихання ґрунту є одним із показників біологічної активності ґрунту.

Таблиця 1 – Вміст різних газів і летких органічних сполук в атмосферному і ґрунтовому повітрі [1]

Гази і леткі органічні сполуки	Вміст, %	
	в атмосфері	в ґрунті
N_2	79,1	68÷73
O_2	21,9	5 ÷ 21
CO_2	0,03	0,1÷20
H_2	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \div 8 \cdot 10^{-6}$
CO	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \div 8 \cdot 10^{-6}$
NO	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \div 10 \cdot 10^{-4}$
N_2O	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \div 40 \cdot 10^{-5}$
CH_4	$3 \cdot 10^{-5}$	$1 \div 8 \cdot 10^{-7}$

Вивчення газового режиму ґрунту має надзвичайно важливе значення для агрохімічних та мікробіологічних досліджень. Газовий режим ґрунту являє собою сукупність усіх взаємопов'язаних явищ: надходження газів у ґрунт та їх пересування по профілю ґрунту; зміна вмісту та складу газів у ґрунтовому повітрі в результаті поглинання чи виділення окремих газів при біологічних та біохімічних процесах, обміну між ґрунтом та атмосферою, твердою та рідкою фазами.

Загалом вивчення газової фази ґрунтів в екології та ґрунтознавстві має на меті два основні напрями [1]:

1) оцінка родючості ґрунтів як середовища існування живих організмів та рослинних культур;

2) дослідження екологічної газової функції ґрунту як джерела газоподібних речовин відносно атмосфери.

Мета. Метою дослідження є обґрунтування можливості використання сенсорного методу для визначення складу ґрунтового повітря та синтез чутливого матеріалу на основі наноструктур стануму (IV) оксиду для детектування CO₂.

Методика дослідження. *Методи визначення дихання ґрунтів.* Всі методи визначення дихання ґрунтів можна розділити на: методи збагачення CO₂ в ізолюючому пристрої; методи провітрювання; методи адсорбції. В першому методі визначають початкову та кінцеву концентрації вуглекислого газу в повітрі ізолятора, встановленого на поверхні ґрунту. Визначення дихання ґрунту другим типом методів проводять шляхом протягування повітря через ізолятор, встановлений на поверхні ґрунту. Методи адсорбції реалізуються за допомогою розміщення над поверхнею ґрунту ємності з лугом, який безперервно поглинає CO₂ [3].

При вивченні дихання ґрунту потрібно мати на увазі, що виділення CO₂ з ґрунту змінюється протягом року та протягом доби, тому визначати дихання ґрунту потрібно періодично протягом усього вегетаційного періоду в різний час доби. При порівнянні декількох дослідних ділянок вимірювання потрібно проводити одночасно на всіх ділянках у години максимального виділення CO₂ (з 9 до 13 години дня). Для отримання достовірних результатів необхідно проводити декілька повторних вимірювань. Для оцінювання сезонної мінливості треба проводити масштабний моніторинг. Важливим є також визначення точки відбору проб повітря [4].

Перспективним методом визначення складу ґрунтового повітря може бути сенсорний «e-nose», що базується на використанні масиву датчиків – мультисенсорної системи. Ця система не вимагатиме використання реактивів і дасть змогу проводити визначення вмісту компонентів ґрунтового повітря, зокрема вмісту CO₂, O₂, NO_x, в онлайн режимі.

Комерційні сенсори для визначення вмісту компонентів ґрунтового повітря

Сенсори CO₂. Карбон (IV) оксид – у нормальних умовах газ без кольору та запа-

ху, але має злегка кислуватий смак. Він є продуктом життєдіяльності усіх живих організмів на землі. Для контролю його концентрації використовуються блоки датчиків і сенсори (первинні перетворювачі) карбону (IV) оксиду, електрохімічні, оптичні та напівпровідникові сенсори.

Електрохімічні датчики карбону (IV) оксиду набули найбільшої популярності завдяки найкращому поєднанню ціни і достовірності показань. Сенсори карбону (IV) оксиду від швейцарської компанії Membraprog займають лідируючі позиції на ринку завдяки непоганій якості та великій кількості варіантів датчиків CO₂ у номенклатурі виробника. Не поступаються за якістю і популярністю сенсори карбону (IV) оксиду від японської компанії Nemoto. Оптичні датчики CO₂ мають найкращі характеристики за параметрами довговічності, надійності, селективності, але не завоювали широку популярність на ринку за рахунок високої вартості. Напівпровідникові датчики карбону (IV) оксиду мають найменшу вартість. До мінусів датчиків CO₂ цього типу можна віднести нестабільність показань і перехресну чутливість до інших газів [5].

Сенсори O₂. Кисень (O₂) не є токсичною речовиною, не має смаку, кольору і запаху. Його можна виявити за допомогою газоаналітичного обладнання, такого як блоки датчиків (вимірювальні перетворювачі) і сенсори (датчики) кисню. Найбільш популярними для визначення кисню є електрохімічні, оптичні та полімерні сенсори.

Електрохімічні сенсори кисню набули найбільшого поширення. Електрохімічні датчики кисню – це осередок з електролітом і електродами, закритий фільтром. Застосовуються ці датчики кисню в стаціонарних і переносних газоаналізаторах. Оптичні датчики кисню мають більшу надійність і строк служби. Оптичні сенсори кисню застосовують у випадках, коли необхідна тривала експлуатація приладу без обслуговування. Основний виробник цих датчиків – фірма SST, Великобританія. Полімерні датчики кисню є новинкою в газоаналітиці, але їх принцип будови схожий з електрохімічними датчиками. Порівняно з електрохімічними сенсорами кисню полімерні менші за розміром і можуть комплектуватися в невеликих корпусах [6].

Сенсори NO_x. Нітроген (IV) оксиду (NO₂) – червоно-бурий газ з характерним їдким запахом. В атмосфері нітроген (IV) оксид

є серйозною небезпекою, оскільки здатний викликати токсичні ураження організму та кислотні дощі. В основному поширені тільки електрохімічні датчики NO_2 , що пов'язано з особливостями цього газу.

Електрохімічні датчики NO_2 відрізняються високими показниками селективності, невисокою вартістю і різними варіантами номенклатури. Найбільш популярними на ринку є датчики для виявлення нітроген (IV) оксиду від компанії Membrapor. Це пов'язано з великим вибором діапазонів вимірювання, технічних характеристик і розмірів датчика. Не поступаються за якістю датчики NO_2 від компанії AlphaSense, які виявляють найкращу чутливість на різних діапазонах вимірювання. Якісні сенсори NO_2 також випускають компанії Sixth Sense і Nemoto. Полімерні датчики для детектування нітроген (IV) оксиду є новинкою в газоаналізі і на даний момент їх відрізняє низька ціна і довгий термін служби.

Проте ці сенсори NO_2 поки не змогли зарекомендувати себе як сенсори з відмінними технічними характеристиками [7].

Нітроген (II) оксид (NO) – безбарвний газ, шкідливий для організму людини. Для детектування NO на сьогоднішній день використовують тільки електрохімічні датчики [8].

Дистанційний моніторинг ґрунтового повітря. Розробка електронного носа (*e-nose*) для моніторингу повітря вже давно цікавить науковців через все більший інтерес до екології. Цей факт сприяє розробці та вдосконаленню методів і способів реалізації екологічного моніторингу. Так званий *e-nose* імітує нюхову систему людини і складається з декількох ключових елементів: системи доставки зразка повітря; системи аналізу, що складається з масиву газових датчиків; системи обробки сигналів та спеціального програмного забезпечення [9]. На рисунку 1 зображено блок-схему системи *e-nose*.

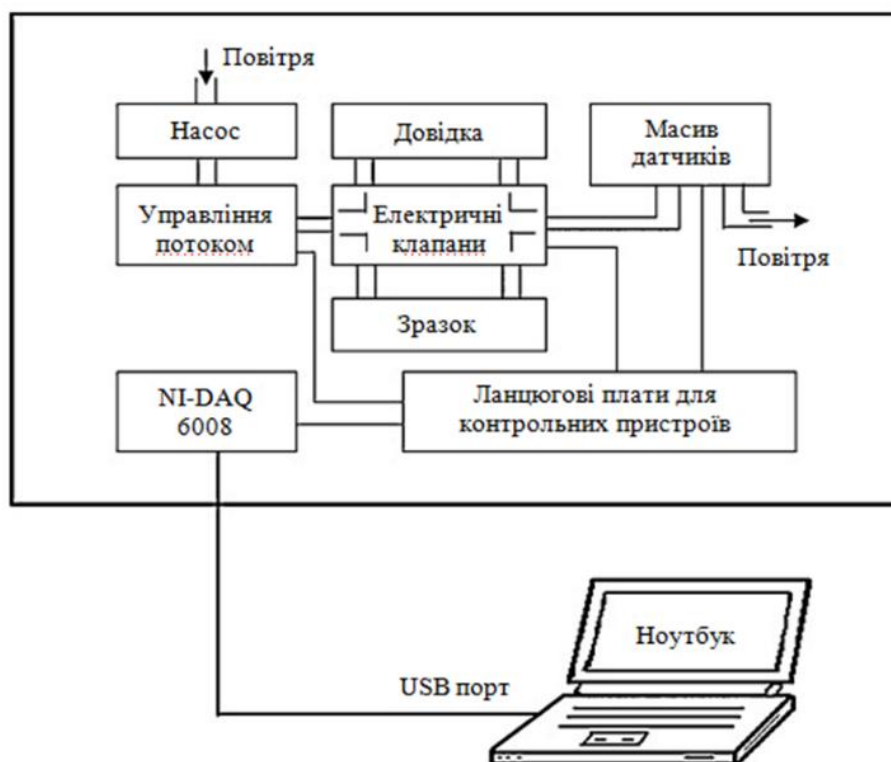


Рисунок 1 – Блок-схема системи *e-nose* [9]

Система доставки зразка повітря забезпечує відбір зразка до системи аналізу, що складається з групи датчиків або сенсорного масиву, які реагують на компоненти газового середовища. Контакт групи датчиків або сенсорного масиву з газовим середовищем різного

складу викликає зміни в електричних характеристиках цих датчиків. Таким чином, взаємодія змінює електричний сигнал, який перетворюється у цифрове значення [10].

На сьогодні розробка системи *e-nose* для моніторингу навколишнього середовища,

в тому числі для моніторингу такого нового об'єкта, як ґрунтового повітря, становить великий інтерес через здатність цього приладу розпізнавати та розрізняти різні гази, використовуючи лише невелику кількість датчиків. При контролі якості повітря електронні носи можуть використовуватися як альтернатива газової хроматографії для оцінювання якості повітря [11-13]. Зрештою, електронні носи також можуть бути використані як інструменти керування процесом у режимі реального часу, тобто дадуть змогу проводити дистанційний моніторинг упродовж тривалого часу. Однак нині головним обмеженням поширення *e-nose* як засобів моніторингу навколишнього середовища є їх складність та відсутність специфічного регулювання їх стандартизації, оскільки їх використання зумовлює необхідність великої кількості додаткових знань, наприклад щодо обробки даних. Також застосування *e-nose* є обмеженим через нестабільні та змінні умови. Незважаючи на це, системи *e-nose* вже використовуються для оцінювання забруднення повітря різних джерел, таких як сміттєзвалища, установки зі спалювання, компресорні установки та тваринницькі ферми [14].

Нині для розробки *e-nose* найперспективнішими є такі мініатюрні газові сенсори: металоксидні (напівпровідникові), електрохімічні та оптичні [15]. Хоча напівпровідникові датчики споживають більше енергії, вони найбільш широко досліджуються для створення *e-nose* через низьку вартість і різноманітний вибір, як, наприклад, Серія TGS виробництва Figaro.

Системи *e-nose* інтенсивно створюються і розвиваються, але в таких галузях, як харчова індустрія, медицина, моніторинг повітря у приміщеннях. Нами не знайдено жодного дослідження, що присвячено створенню системи *e-nose* для моніторингу ґрунтового повітря. Отже, цей науковий напрям є актуальним і в умовах нашої країни, що є аграрною державою, видається практично значущим та перспективним.

Результати дослідження. Сенсорні властивості синтезованих наноструктур SnO_2 . Наноструктури SnO_2 різної морфології були отримані методом паро-газового транспорту зі стануму (IV) оксалату [16]. В процесі синтезу досліджували вплив параметрів про-

цесу на характеристики та морфологію одержуваних порошків, зокрема вплив прекурсорів, температури, складу газового середовища та швидкості нагрівання. Було встановлено, що ріст одновимірних наноструктур відбувається при використанні стануму (II) оксалату, синтезованого з оксалату амонію [17]. Подальші дослідження привели до висновку, що швидкість нагрівання має значний вплив на морфологію структур SnO_2 . Утворення округлих частинок нульвимірного стануму (IV) оксиду (0DSnO_2) відбувалося за швидкості нагрівання 80 град/хв. Зниження швидкості нагрівання до 20 град/хв призводило до росту одновимірних витягнутих структур SnO_2 (1DSnO_2) [18].

Одновимірні наноструктури стануму (IV) оксиду були модифіковані ітрієм методом просочування. В результаті отримали зразок $1\text{DSnO}_2 + \text{Y}$ з масовим вмістом ітрію 1 %.

Вимірювання чутливості синтезованих наноструктур SnO_2 проводили шляхом зняття вольт-амперних характеристик на повітрі та в атмосфері цільового газу в діапазоні значень початкової напруги 5÷30 В за температур 296 К та 323 К. Для проведення вимірювань в атмосфері цільового газу випробувальні структури поміщали в спеціальну трубку, через яку безперервно пропускали вуглекислий газ з концентрацією 1,2 %.

Вольт-амперні характеристики чистого та модифікованого ітрієм ниткоподібного SnO_2 , записані в повітряному середовищі в діапазоні значень початкової напруги 1÷9 В за температур 296÷373 К, представлені на рисунку 2.

Як видно з представлених залежностей за температур, вищих 323 К, чисті та модифіковані ітрієм одновимірні наноструктури стануму (IV) оксиду характеризуються аналогічними, наближеними до омичних, вольт-амперними кривими. Значною лінійністю відрізняються вольт-амперні характеристики немодифікованого 1DSnO_2 , зняті за кімнатної температури 296 К.

На рисунку 3 представлено температурні залежності опору синтезованих зразків стануму (IV) оксиду, одержані з даними вольт-амперних вимірювань. Для обох зразків SnO_2 спостерігається наявність екстремуму за температури 323 К.

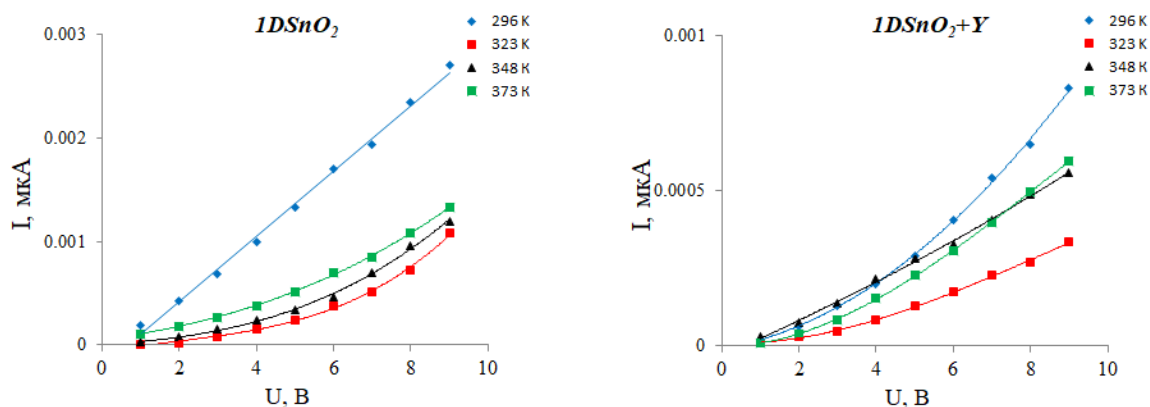


Рисунок 2 – ВАХ чистого та модифікованого зразків одновимірного стануму (IV) оксиду

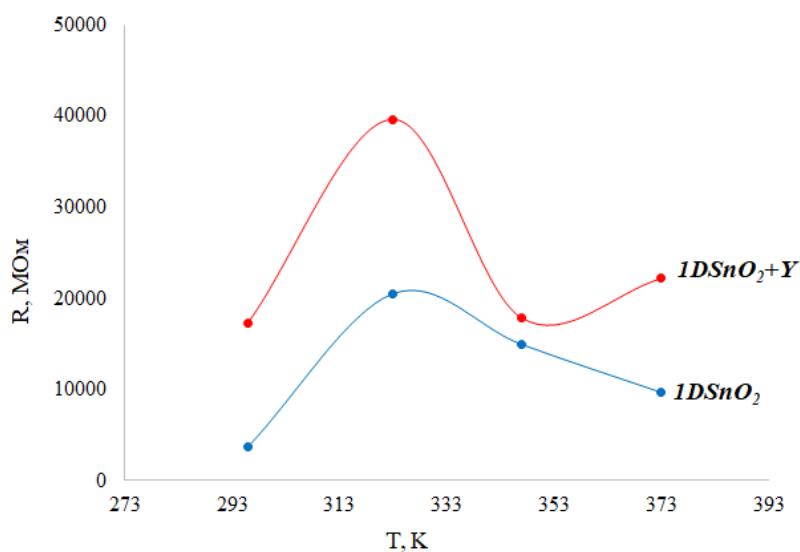


Рисунок 3 – Залежність електричного опору від температури чистого та модифікованого зразків одновимірного стануму (IV) оксиду за напруги 5 В

Чутливість визначали з урахуванням опорів чутливого шару в повітрі та в атмосфері цільового газу [19]:

$$S = (R_{\text{п}} - R_{\text{г}}) / R_{\text{г}} \times 100,$$

де $R_{\text{п}}$ – опір чутливої плівки на повітрі;
 $R_{\text{г}}$ – опір чутливої плівки в атмосфері вуглекислого газу.

Розраховані значення чутливості до вуглекислого газу чистих 1DSnO_2 модифікованих $1\text{DSnO}_2+\text{Y}$ наноструктур стануму (IV) оксиду за різних значень прикладеної напруги наведені в таблицях 2-3.

Таблиця 2 – Значення чутливості наноструктур SnO_2 до вуглекислого газу за температури 296 К

Зразок	Прикладена напруга, В								
	1 В	2 В	3 В	4 В	5 В	6 В	7 В	8 В	9 В
1DSnO_2	74,7	55,4	51,4	50,9	52,8	54,1	52,6	53,5	54,1
$1\text{DSnO}_2+\text{Y}$	95,0	85,7	85,7	90,9	89,1	88,9	89,2	87,5	88,1

Таблиця 3 – Значення чутливості наноструктур SnO_2 до вуглекислого газу за температури 323 К

Зразок	Прикладена напруга, В								
	1 В	2 В	3 В	4 В	5 В	6 В	7 В	8 В	9 В
1D SnO_2	85,1	51,4	48,1	59,2	56,6	58,8	53,7	62,6	50,1
1D SnO_2 +Y	99,0	96,7	80,0	77,8	78,6	78,9	76,0	75,0	64,9

Як видно з одержаних даних, модифікований ітрієм зразок стануму (IV) оксиду характеризується вищими значеннями сенсорного відгуку порівняно з чистим 1D SnO_2 . При цьому підвищення робочої температури зі 296 К до 323 К незначно впливає на значення чутливості тестової сенсорної структури.

Висновки. В роботі проведено огляд щодо складу ґрунтового повітря, зокрема вмісту найбільш динамічних компонентів газової фази ґрунту O_2 та CO_2 . Розглянуто існуючі методи визначення дихання ґрунтів та показано перспективність використання сенсорного методу, який дасть змогу проводити онлайн моніторинг складу ґрунтового повітря без використання реагентів та громіздкого обладнання. Для створення тестових структур напівпровідникових газових сенсорів методом паро-газового транспорту було синтезовано наноструктури стануму (IV) оксиду одновимірної морфології, проведено їх модифікацію ітрієм та дослідження електричних і сенсорних властивостей відносно CO_2 . Показано, що модифіковані ітрієм одновимірні наноструктури SnO_2 мають вищий сенсорний відгук до вуглекислого газу порівняно з немодифікованим зразком, тобто є значно перспективнішими для використання в сенсорних системах дослідження складу ґрунтового повітря.

Список використаних джерел

- [1] А. В. Смагин, *Газовая фаза почв*. Москва: Изд-во МГУ, 2005.
- [2] А. В. Наумов, *Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009.
- [3] Определение интенсивности выделения CO_2 из почвы (дыхание почвы). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://agrohimija24.ru/agrohimicheskie-metody/1860-opredelenie-intensivnosti-vydeleniya-so2-iz-pochvy-dyhanie-pochvy.html>.
- [4] M. Mariusz, Z. Bożena, M. Guardia, and J. Namieśnik, "Current air quality analytics and monitoring: A review", *Analytica chimica acta.*, 853, pp. 116-126, 2015.
- [5] Газовые датчики и сенсоры. Углекислый газ CO_2 . [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gassensor.ru/ru/gas/uglekislyi-gas-co2>.
- [6] Газовые датчики и сенсоры. Кислород O_2 . [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gassensor.ru/ru/gas/kislород-o2>.
- [7] Газовые датчики и сенсоры. Диоксид азота NO_2 . [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gassensor.ru/ru/gas/dioksid-azota-no2>.
- [8] Газовые датчики и сенсоры. Оксид азота NO . [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.gassensor.ru/ru/gas/oksid-azota-no>.
- [9] T. Agarwal, "How does an electronic nose work?", 2013. [Online]. Available: <https://www.elprocus.com/electronic-nose-work>.
- [10] P. Littarru, "Environmental odours assessment from waste treatment plants: Dynamic olfactometry in combination with sensorial analyzers "electronic noses", *Waste Manag.*, 27, pp. 302-309, 2007.
- [11] G. Korotcenkov, "Metal oxides for solid-state gas sensors: What determines our choice?", *Mater. Sci. Eng. B.*, 139, pp. 1-23, 2007.
- [12] C. L. Zhu, Y. J. Chen, R. X. Wang, L. J. Wang, M. S. Cao, and X. L. Shi, "Synthesis and enhanced ethanol sensing properties of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$ heteronanostructures", *Sensors and Actuators B*, 140, pp. 185-189, 2009.
- [13] D. Costello, R. J. Ewen, N. M. Ratcliffe, and P. S. Sivanand, "Thick film organic vapour sensors based on binary mixtures of metal

- oxides", *Sensors and Actuators B*, 92, pp. 159-166, 2003.
- [14] L. Capelli, S. Sironi, and R. Del Rosso, "Electronic noses for environmental monitoring applications", *Sensors (Basel)*, 14, pp. 19979-20007, 2014.
- [15] J. He, L. Xu, P. Wang, and Q. Wang, "A high precise e-nose for daily indoor air quality monitoring in living environment", *Integration*, 58, pp. 286-294, 2017.
- [16] S. V. Nagirnyak, V. A. Lutz, T. A. Dontsova, and I. M. Astrelin, "Synthesis and characterization of tin (IV) oxide obtained by chemical vapor deposition method", *NanoScale Research Letters*, 11:343, pp. 1-7, 2016.
- [17] T. A. Dontsova, S. V. Nagirnyak, V. V. Zhorov, and Y. V. Yasiievych, "SnO₂ nanostructures: effect of processing parameters on their structural and functional properties", *NanoScale Research Letters*, 12:332, pp. 1-7, 2017.
- [18] S. V. Nahirniak, T. A. Dontsova, and Q. Chen, "Sensing properties of SnO₂-MWCNTs nanocomposites towards H₂", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 674 (1), pp. 48-58, 2018.
- [19] S. Nahirniak, T. Dontsova, and I. Astrelin, "Directional synthesis of SnO₂-based nanostructures for use in gas sensors", *Nanotechnology, Boitechnology, Nanomaterials, and their Applications*, 214, pp. 233-245, 2018.
- [6] Gas sensors and detectors. Oxygen O₂. [Online]. Available: <http://www.gassensor.ru/ru/gas/kislorod-o2>.
- [7] Gas sensors and detectors. Nitrogen dioxide NO₂. [Online]. Available: <http://www.gassensor.ru/ru/gas/dioksid-azota-no2>.
- [8] Gas sensors and detectors.. Nitrogen oxide NO₂. [Online]. Available: <http://www.gassensor.ru/ru/gas/oksid-azota-no>.
- [9] T. Agarwal, "How does an electronic nose work?", 2013. [Online]. Available: <https://www.elprocus.com/electronic-nose-work>.
- [10] P. Littarru, "Environmental odours assessment from waste treatment plants: Dynamic olfactometry in combination with sensorial analyzers "electronic noses", *Waste Manag.*, 27, pp. 302-309, 2007.
- [11] G. Korotcenkov, "Metal oxides for solid-state gas sensors: What determines our choice?", *Mater. Sci. Eng. B.*, 139, pp. 1-23, 2007.
- [12] C. L. Zhu, Y. J. Chen, R. X. Wang, L. J. Wang, M. S. Cao, and X. L. Shi, "Synthesis and enhanced ethanol sensing properties of α -Fe₂O₃/ZnO heteronanostructures", *Sensors and Actuators B*, 140, pp. 185-189, 2009.
- [13] D. Costello, R. J. Ewen, N. M. Ratcliffe, and P. S. Sivanand, "Thick film organic vapour sensors based on binary mixtures of metal oxides", *Sensors and Actuators B*, 92, pp. 159-166, 2003.
- [14] L. Capelli, S. Sironi, and R. Del Rosso, "Electronic noses for environmental monitoring applications", *Sensors (Basel)*, 14, pp. 19979-20007, 2014.
- [15] J. He, L. Xu, P. Wang, and Q. Wang, "A high precise e-nose for daily indoor air quality monitoring in living environment", *Integration*, 58, pp. 286-294, 2017.
- [16] S. V. Nagirnyak, V. A. Lutz, T. A. Dontsova, and I. M. Astrelin, "Synthesis and characterization of tin (IV) oxide obtained by chemical vapor deposition method", *NanoScale Research Letters*, 11:343, pp. 1-7, 2016.
- [17] T. A. Dontsova, S. V. Nagirnyak, V. V. Zhorov, and Y. V. Yasiievych, "SnO₂ nanostructures: effect of processing parameters on their structural and functional properties", *NanoScale Research Letters*, 12:332, pp. 1-7, 2017.

References

- [1] A. V. Smagin, *The gas phase of soils*. Moscow: Izd-vo MGU, 2005 [in Russian].
- [2] A. V. Naumov, *Soil respiration: components, ecological functions, geographical patterns*. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2009 [in Russian].
- [3] Determining the intensity of CO₂ emission from the soil (soil respiration). [Online]. Available: <http://agrohimiya24.ru/agrohimicheskije-metody/1860-opredelenie-intensivnosti-vydeleniya-so2-iz-pochvy-dyhanie-pochvy.html>.
- [4] M. Mariusz, Z. Bożena, M. Guardia, and J. Namieśnik, "Current air quality analytics and monitoring: A review", *Analytica chimica acta.*, 853, pp. 116-126, 2015.
- [5] Gas sensors and detectors. Carbon dioxide CO₂. [Online]. Available: <http://www.gassensor.ru/ru/gas/uglekislyi-gas-co2>.

- [18] S. V. Nahirniak, T. A. Dontsova, and Q. Chen, "Sensing properties of SnO₂-MWCNTs nanocomposites towards H₂", *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 674 (1), pp. 48-58, 2018.
- [19] S. Nahirniak, T. Dontsova, and I. Astrelin, "Directional synthesis of SnO₂-based nanostructures for use in gas sensors", *Nanotechnology, Biotechnology, Nanomaterials, and their Applications*, 214, pp. 233-245, 2018.

A. A. Romas,
M. A. Gutsol,
S. V. Nahirniak, Ph. D.,
T. A. Dontsova, Ph. D., associate professor
National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
Peremogy ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine

PROSPECTS OF SENSOR METHOD USAGE FOR DETERMINATION OF SOIL QUALITY

Investigation of soil air composition is an extremely important task because the content of soil gas phase components, in particular CO₂, O₂ and NO_x, directly reflects soil fertility. The composition of soil air, the so-called "breath of the earth", plays an important role in the nutrition of plants and is an indicator of biochemical and biological processes that occur in the soil. The study of soil gas regime is extremely important for agrochemical and microbiological studies and is a set of all related phenomena: the flow of gases into the soil and their movement along the soil profile; changes in the content and composition of gases in the ground air as a result of the absorption or release of individual gases in biological and biochemical processes, the exchange between soil and atmosphere, solid and liquid phases. Carbon dioxide and oxygen are the most dynamic gases among all gases of ground air. The growth of plants depends on the concentration of CO₂, and when it reaches its optimal concentration it is possible to accelerate the growth of the crop. Oxygen of ground air is essential for soil fertility and especially necessary for microbiological processes. It actively participates in chemical reactions of mineral and organic substances and is actively absorbed by the roots of plants and microbes in the process of their breathing. This paper reviews the composition of ground air, considers existing methods of soil breathing determination and shows the prospect of sensor method with online monitoring without reagents usage. In order to determine the sensitivity of synthesized samples towards CO₂, one-dimensional nanostructures of the tin (IV) oxide have been synthesized by vapor transport method and their modification by yttrium for use in sensitive layers of gas sensor has been done. The current-voltage characteristics of pure and modified SnO₂ nanostructures at ambient and in the atmosphere of carbon (IV) oxide have been investigated. It is shown that yttrium modified one-dimensional SnO₂ nanostructures have a higher sensory response to carbon dioxide in comparison with the pure tin (IV) oxide sample, that is, they are much more promising for use in sensing systems of soil air composition study.

Keywords: soil types, breath of the soil, tin (IV) oxide nanostructures, multisensory system, e-nose, closed soil system.

УДК 614.841:536.46

[0000-0002-4496-2178] **О. С. Діброва,**

Національний університет цивільного захисту України

вул. Чернишевського, 94, м. Харків, 61023, Україна

[0000-0002-0240-1807] **О. В. Кириченко, д.т.н., професор,**[0000-0002-5670-6788] **Р. Б. Мотрічук,**

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

Національного університету цивільного захисту України

вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034, Україна

[0000-0003-0722-9353] **В. А. Ващенко, д.т.н., професор,**[0000-0002-0234-8655] **С. О. Колінько, к.ф.-м.н., доцент,**[0000-0003-3065-5772] **Т. І. Бутенко, к.т.н., доцент,**[0000-0002-2805-572X] **В. В. Цибулін**

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНИХ РЕЖИМІВ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСІВ ГОРІННЯ ПІРОТЕХНІЧНИХ НІТРАТНО-МЕТАЛЕВИХ СУМІШЕЙ В УМОВАХ ЗОВНІШНІХ ТЕРМІЧНИХ ДІЙ

Розроблено модель горіння ущільнених сумішей із порошків Ti та нітратовмісного окиснювача) для визначення критичних режимів їх горіння шляхом розрахунку залежностей швидкості розповсюдження фронту горіння по зарядах від технологічних чинників та зовнішніх умов. Сформульовано механізм та розроблено модель горіння ущільнених сумішей із порошків металевих палих і нітратів лужних та лужноземельних металів, що враховують кінетику термічного розкладання окиснювача, високотемпературного окиснення, спалахування та повного згоряння частинок металу на поверхні горіння суміші. Вперше за допомогою розробленої моделі для суміші Ti + NaNO₃ визначено критичні режими розвитку їх горіння в умовах зовнішніх термічних дій, перевищення яких призводить до пожежовибухонебезпечного руйнування піротехнічних виробів.

Ключові слова: піротехнічні суміші, нітратовмісний окиснювач, металеве палне, процеси горіння, пожежна безпека.

Вступ. При експлуатації піротехнічні вироби різного призначення (освітлювальних снарядів та патронів, трасерів для реактивних снарядів, піротехнічних ІЧ-випромінювачів та ін.) на основі зарядів ущільнених сумішей із порошків металевих палих (Ti, Mg, Al та ін.) та нітратовмісних окиснювачів (NaNO₃, Ba(NO₃)₂, Sr(NO₃)₂ та ін.) піддаються інтенсивним зовнішнім термічним впливам (наприклад, при пожежах у складських приміщеннях, де зберігаються вироби, або при їх транспортуванні, в умовах пострілу та польоту тощо) [1–14]. В результаті відбувається передчасне спалахування зарядів сумішей і прискорений розвиток процесу їх горіння, який при певних критичних режимах переходить до вибухового горіння [9, 11], обумовленого різким зростанням швидкості горіння сумішей, що, у кінцевому підсумку, призводить до пожежонебезпечних руйнувань піротехнічних

виробів (рисунки 1–3). Тому важливо знати, як і з якою швидкістю відбувається процес горіння зарядів сумішей у зазначених умовах. Останнє необхідне для визначення часів згоряння сумішей залежно від технологічних чинників (співвідношення та дисперсності компонентів, природи металевих палих та нітратовмісного окиснювача) і зовнішніх умов (температури нагріву та зовнішнього тиску), а також для виключення критичних режимів розповсюдження горіння по зарядах сумішей у цих умовах.

Це дає можливість на стадії проектування та стендових випробувань піротехнічних виробів розрахунковим шляхом вибирати критичні режими горіння зарядів сумішей, перевищення яких призводить до пожежонебезпечних руйнувань виробів в умовах їх експлуатації. Нині для розрахунку швидкостей горіння піротехнічних сумішей розроблено та

докладно досліджено моделі горіння сумішей на основі $Mg + NaNO_3$ [15–20]. Стосовно інших піротехнічних сумішей, то результати теоретичних досліджень з моделювання процесів їх горіння при різних зовнішніх умовах вельми обмежені, а у більшості випадків відсутні.

Метою роботи є розробка моделі горіння ущільнених сумішей з порошків Ti та нітратовмісного окиснювача ($NaNO_3$, $Ba(NO_3)_2$, $Sr(NO_3)_2$) для визначення критичних режимів їх горіння шляхом розрахунку залежностей швидкості розповсюдження фронту горіння по зарядах від технологічних чинників та зовнішніх умов.



1



2

1, 2 – початкова та кінцева стадії трасерів (кінозйомка здійснювалася кінокамерою «Конвас-автомат» (швидкість зйомки – 30 кадр/с))

Рисунок 1 – Кінокадри зйомки загальної картини пожежонебезпечних руйнувань серійних трасерів (білий вогонь на основі заряду нітратно-титанової суміші) для реактивних снарядів в умовах зовнішнього нагріву при різних пожежах



1



2

1, 2 – початкова та кінцева стадії дії ІЧ-випромінювачів

Рисунок 2 – Кінокадри зйомки загальної картини пожежонебезпечних руйнувань піротехнічних ІЧ-випромінювачів на основі зарядів нітратно-титанових сумішей при зовнішніх термічних діях



1



2



3

1 – суміші з надлишком металевого пального; 2 – стехіометричні суміші;
3 – суміші з надлишком окиснювача

Рисунок 3 – Різні ракурси серійних освітлювальних снарядів на основі зарядів піротехнічних нітратно-титанових сумішей після їх передчасного спрацьовування та пожежонебезпечного руйнування в умовах зовнішніх термічних впливів

Результати досліджень та їх аналіз. Проведений аналіз експериментальних відомостей про фізико-хімічні процеси, що проходять у різних зонах горіння розглядуваних сумішей (суміші з $0,3 < \alpha < 1,4$) [9, 11] дає можливість встановити механізм їх горіння, згідно з яким процес перетворення вихідної суміші в продукти згорання в першому наближенні є стаціонарним, одновимірним і проходить в наступних трьох найхарактерніших зонах (рисунок 4). Зона I – прогрітий шар у к-фазі суміші, де можна знехтувати хімічними перетвореннями. Зона II – реакційна зона к-фазі суміші, в якій тверда суміш перетворюється на газ, що містить окремі частинки металу. В межах цієї зони відбувається розкладання окиснювача у вигляді розплавленого шару зі значним поглинанням тепла і

енергійне окиснення частинок металевого пального по реакціях, для яких $E \gg RT$. Спалахування частинок металу відбувається на поверхні горіння. Поверхня горіння визначається як площина, на якій тверда суміш втрачає властивості суцільного конденсованого середовища, і характеризується середньою температурою T_n . Більша частина частинок металу повністю згоряють на цій поверхні, інші диспергуються у г-фазу. Тепло від частинок металу, що згоряють, передається вглиб к-фазі. Зона III – зона тепловиділення г-фазі. В цій зоні дисперговані частинки металу згоряють у потоці продуктів розкладання окиснювача та органічної речовини, утворюючи продукти згорання з температурою T_2 . Тепло, що виділяється, за допомогою теплопровідності і радіації передається в к-фазу.

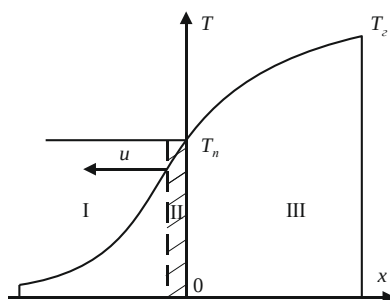


Рисунок 4 – Схема розподілу температури поблизу поверхні розділу фаз суміші

При зазначених вище основних припущеннях про механізм горіння розглядуваних сумішей, а також при припущенні відсутності тепловтрат у навколишнє середовище і зов-

нішніх сил розповсюдження фронту реакції горіння в к-фазі вихідної суміші можна описати наступною відомою в теорії горіння [9] системою рівнянь:

$$\frac{d}{dx}(\lambda_c \frac{dT}{dx}) - \rho_c c_c \frac{dT}{dx} - H_{ок} \rho_c u \zeta_{ок} \frac{d\psi_1}{dx} + H_m \rho_c \zeta_m u \frac{d\psi_2}{dx} = 0; \quad (1)$$

$$u \frac{d\psi_1}{dx} = K_1 e^{-E_1/(RT)}; \quad (2) \quad \text{з граничними умовами:}$$

$$u \frac{d\psi_2}{dx} = K_2 \cdot C_{O_2}^m \cdot \rho_c^n e^{-E_2/(RT)} \quad (3) \quad T = T_0, \psi_1 = \psi_2 = 0 \text{ при } x \rightarrow -\infty; \quad (4)$$

$$T = T_n, \psi_1 = \psi_{1n}, \psi_2 = \psi_{2n}; \lambda_c \left(\frac{dT}{dx} \right) = q_n + q_k + q_R \text{ при } x = 0. \quad (5)$$

Тут ρ_c , c_c , λ_c – густина ($\text{кг}/\text{м}^3$), питома теплоємність ($\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$) і коефіцієнт теплопровідності ($\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{К}$) суміші відповідно; $H_{ок}$ – тепловий ефект реакції розкладання окиснювача ($\text{Дж}/\text{кг}$); ψ_i , K_i та E_i ($i = \overline{1,2}$) – відносні ступені розкладання окиснювача й окиснення металевго пального (за масою) та їх кінетичні константи (с^{-1} , $\text{кДж}/\text{моль}$) відповідно; $\zeta_{ок}$, ζ_m – відносні масові вмісти окиснювача та металевго

пального в суміші відповідно; q_n – тепловий потік від частинок металу, що згоряють на поверхні горіння, $\text{Вт}/\text{м}^2$; q_k , q_R – кондуктивний та радіаційний теплові потоки з зони полум'я відповідно, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Щоб отримати вирази для визначення швидкості горіння, систему (1)–(5) зручно звести до одного рівняння.

Проінтегрувавши рівняння (2) від $-\infty$ до x , отримаємо

$\lambda_c \left(\frac{dT}{dx} \right) = \rho_c c_c u (T - T_0) - H_m \rho_c \zeta_m u \left(\psi_2 - \frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{H_m \zeta_m} \psi_1 \right)$. (6) Помножимо рівняння (2) на $\frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{H_m \zeta_m}$, потім віднімемо його від рівняння (3):

$$u \frac{d}{dx} \left(\psi_2 - \frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{H_m \zeta_m} \psi_1 \right) = K_2 \cdot C_{O_2}^m \cdot \bar{p}_2^n \cdot e^{-E_2/(RT)} - K_1 \frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{H_m \zeta_m} e^{-E_1/(RT)}. \quad (7)$$

Розділимо (7) на (6):

$$\frac{u}{\lambda_c} \cdot \frac{d}{dT} \left(\psi_2 - \frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{H_m \zeta_m} \psi_1 \right) = \frac{K_2 \cdot C_{O_2}^m \cdot \bar{p}_2^n \cdot e^{-E_2/(RT)} - K_1 \frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{H_m \zeta_m} e^{-E_1/(RT)}}{\rho_c c_c u (T - T_0) - H_m \rho_c \zeta_m u \left(\psi_2 - \frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{H_m \zeta_m} \psi_1 \right)}. \quad (8)$$

Для випадку $E_i \gg RT$ ($i = \overline{1,2}$) [6, 9] розглядувані реакції розкладання окиснювача з утворенням газоподібних продуктів та окиснення в них частинок металу проходять в основному у вузькій реакційній зоні к-фази, що прилягає до поверхні горіння суміші, тобто практично при температурі T_n . Тоді згідно з відомим «методом розкладання експоненти» [11]:

$$\frac{E_i}{RT} = \frac{E_i}{R(T_n + \Delta T)} = \frac{E_i}{RT_n} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\Delta T}{T_n}} \cong \frac{E_i}{RT_n} - \frac{E_i}{RT_n^2} \Delta T, \quad (9)$$

де $\Delta T = T - T_n$.

Тоді отримуємо, що

$$e^{-E_i/(RT)} \cong e^{E_i/(RT_n)} \cdot e^{E_i(T_n - T)/(RT_n^2)}. \quad (10)$$

Підставляючи (10) у (8), отримуємо

$$u \frac{d}{dx} \left(\psi_2 - \frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{H_m \zeta_m} \psi_1 \right) = \left[K_2 \cdot C_{O_2}^m \cdot \bar{p}_2^n \cdot e^{E_2/(RT_n)} \cdot e^{\frac{E_2(T_n - T)}{RT_n^2}} - K_1 \cdot \frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{H_m \zeta_m} \cdot e^{E_1/(RT_n)} \cdot e^{\frac{E_1(T_n - T)}{RT_n^2}} \right] \cdot \left[\rho_c c_c u (T_n - T_0) - H_m \rho_c \zeta_m u \left(\psi_2 - \frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{H_m \zeta_m} \psi_1 \right) \right]^{-1}. \quad (11)$$

Рівняння (11) повинне задовольняти граничним умовам

$$\psi_1 = \psi_2 = 0 \text{ при } T = T_0; \quad (12)$$

$$l_2 = \psi_{1n}, \psi_2 = \psi_{2n} \text{ при } T = T_n. \quad (13)$$

В результаті інтегрування рівняння (11) з граничними умовами (12) і (13) отримуємо наступний вираз:

$$u^2 \left[\rho_c c_c (T_n - T_0) \left(\psi_{2n} - \frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{H_m \zeta_m} \psi_{1n} \right) - \frac{H_m \zeta_m \rho_c}{2} \left(\psi_{2n} - \frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{H_m \zeta_m} \psi_{1n} \right)^2 \right] = \frac{\lambda_c K_2 C_{O_2}^m \bar{p}_2^n RT_n^2}{E_2} e^{-E_2/(RT_n)} \cdot \left[1 - e^{-\frac{E_2(T_n - T_0)}{RT_n^2}} \right] - \frac{\lambda_c K_1 RT_n^2 H_{OK} \zeta_{OK}}{E_1 H_m \zeta_m} \cdot e^{-E_1/(RT_n)} \cdot \left[1 - e^{-\frac{E_1(T_n - T_0)}{RT_n^2}} \right]. \quad (14)$$

Проведені оцінки [9, 11] показують, що у першому наближенні у виразі (14) можна знехтувати тепловиділенням у реакційній зоні

к-фазі суміші в результаті окиснення частинок металу. З урахуванням цього факту вираз (14) набуває вигляду

$$H_{OK} \zeta_{OK} \rho_c u^2 \cdot \left[c_c (T_n - T_0) \psi_{1n} + \frac{H_{OK} \zeta_{OK}}{2} \psi_{2n}^2 \right] = \frac{\lambda_c K_1 RT_n^2 H_{OK} \zeta_{OK}}{E_1} \cdot e^{-E_1/(RT_n)} \cdot \left[1 - e^{-\frac{E_1(T_n - T_0)}{RT_n^2}} \right]. \quad (15)$$

При $x = 0$ з рівняння (15) отримуємо, що

$$\psi_{1n} = \frac{q_n + q_k + q_R - \rho_c c_c u (T_n - T_0)}{H_{OK} \rho_c u \zeta_{OK}}. \quad (16)$$

Підставивши вираз (16) у (15), отримаємо для швидкості горіння наступне рівняння:

$$\rho_c^2 c_c^2 u^2 (T_n - T_0)^2 = (q_n + q_k + q_R)^2 + \frac{2 c_c \rho_c K_1 H_{OK} \zeta_{OK} RT_n^2}{E_1} e^{-E_1/(RT_n)} \cdot \left[1 - e^{-\frac{E_1(T_n - T_0)}{RT_n^2}} \right]. \quad (17)$$

З урахуванням того, що $\zeta_{OK} = \frac{l_c \alpha}{1 + l_c \alpha}$ (α – коефіцієнт надлишку окиснювача; l_c – стехіометричний коефіцієнт), остаточно для

швидкості горіння отримуємо наступне рівняння:

$$\rho_c^2 c_c^2 u^2 (T_n - T_0)^2 = (q_n + q_k + q_R)^2 + \frac{2c_c \rho_c K_1 H_{ок} a_{ок} RT_n^2}{E_1(1+l_c a)} e^{-E_1/(RT_n)} \cdot \left[1 - e^{-\frac{E_1(T_n - T_0)}{RT_n^2}}\right]. \quad (18)$$

Далі з отриманого спрощеного рівняння (18) випливає, що для розрахунку швидкості горіння сумішей необхідно знати параметри T_n , q_n , q_k , q_R .

Визначення T_n . Експериментальне визначення T_n існуючими методами є складним і достатньо наближеним [8, 9, 11], а дослідження, які присвячені аналітичному визначенню T_n , нині обмежені. Тому, використовуючи

систематизовані дані про кінетику термічного розкладання окиснювача [7] при температурах, властивих реакційній зоні к-фази суміші, величину T_n можна визначити, виходячи з припущення про те, що при $T = T_n$ відбувається повне розкладання окиснювача. Таким чином, з (15) при $\psi_{1n} \approx 1$ для визначення T_n отримуюмо наступне рівняння:

$$\frac{\rho_c u^2 l_c a H_{ок}}{1+l_c a} \left[c_c (T_n - T_0) + \frac{l_c a H_{ок}}{2(1+l_c a)} \right] = \frac{\lambda_c K_1 H_{ок} l_c a RT_n^2}{1+l_c a} e^{-E_1/(RT_n)} \cdot \left[1 - e^{-\frac{E_1(T_n - T_0)}{RT_n^2}}\right]. \quad (19)$$

Рівняння (13)–(19) замикають вихідну систему рівнянь для розрахунку швидкості та температури поверхні горіння сумішей.

Проведені експериментальні дослідження [11, 16, 19] показують, що для піротехнічних нітратно-металевих сумішей тепловий потік q_n перевищує теплові потоки q_k та q_R більше, ніж на порядок ($q_k, q_R \ll q_n$). Тому у рівняннях (18) та (19) потоками q_k та q_R нехтуємо порівняно з q_n .

Визначення q_n . З даних мікрозйомки [9, 11] поверхні сумішей, наприклад $Ti + NaNO_3$, випливає, що значна частина частинок металу в результаті їх послідовного оплавлення (аг-

ломерації) (рисунок 5) повністю згоряють у дифузійному режимі у газоподібних продуктах розкладання окиснювача при температурах T_n (рисунок 6). В результаті математичної обробки численних кінограм процесу горіння сумішей для аналітичних розрахунків величин q_n було отримано вираз (відносна похибка 5...7 %)

$$q_n = \frac{\rho_c d_m H_m \cdot \sum_{k=0}^6 b_k \cdot a^k}{(1+l_c a) \tau_z}, \quad (20)$$

де параметри b_k ($k = \overline{1,6}$) – емпіричні константи (таблиця 1);

$$\tau_z = B_0 + B_1 C_{O_2} + B_2 C_{O_2}^2 + B_3 \frac{d_m}{P} + B_4 P^{B_5} (C_{O_2} + B_6)^{-1}, \quad (21)$$

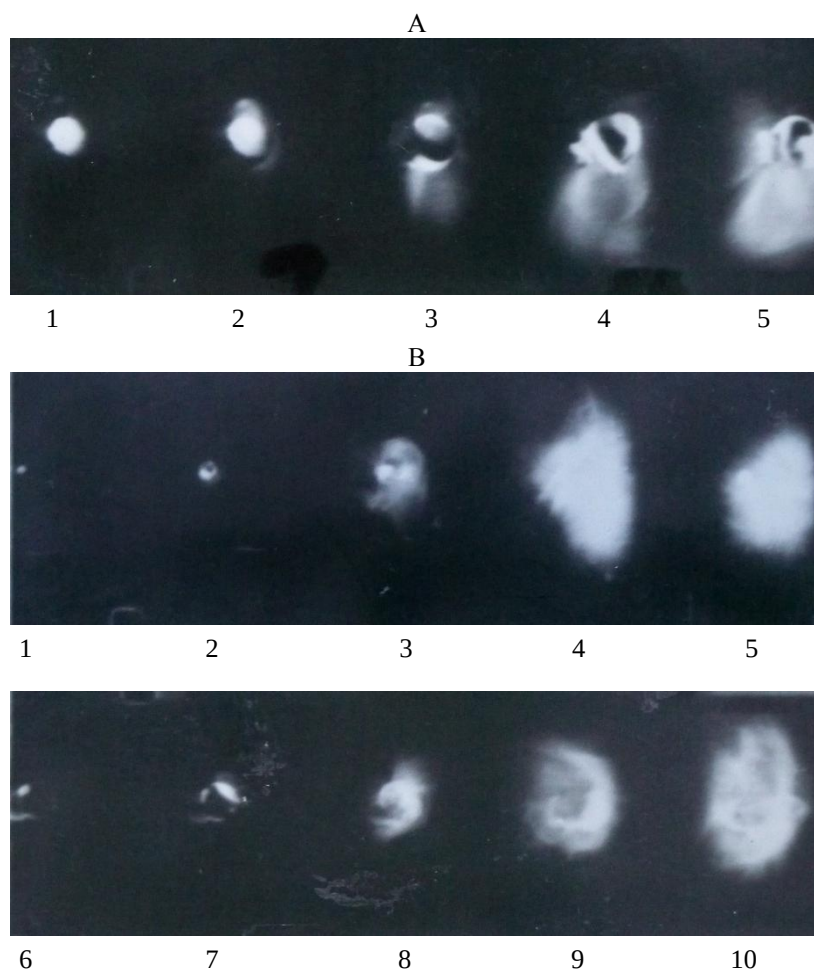
де τ_z – час згорання частинок порошка Ti у газоподібних продуктах розкладання нітрату натрію (відносна концентрація O_2 у продуктах розкладання $C_{O_2} = 0,2 \dots 1,0$; зовнішній тиск

$P = 10^5 \dots 10^7$ Па; дисперсність металу $d_m = 45 \dots 280$ мкм); $B_0, \dots, B_6$ – емпіричні константи (таблиця 2).



(мікрозйомка процесу горіння здійснювалася кінокамерою СКС-1М (швидкість зйомки – 3000...5000 кадр/с))

Рисунок 5 – Кінокадри швидкісної мікрозйомки процесу агломерації металевих частинок на поверхні горіння піротехнічних нітратно-металевих сумішей



А – знімки 1, 2, 3, 4, 5 для частинок Ті з розміром $d_m = 100$ мкм у потоці O_2 (початкова стадія розкладання окиснювача); В – знімки 1, 2, 3, 4, 5 для частинок Ті з $d_m = 45$ мкм та 6, 7, 8, 9, 10 – з $d_m = 100$ мкм у потоці $O_2 + N_2$ (повне розкладання окиснювача при температурах T_n)

Рисунок 6 – Кінокадри швидкісної мікрозйомки процесів вимушеного спалахування та подальшого розвитку горіння частинок Ті у газоподібних продуктах розкладання нітратомісного окиснювача ($NaNO_3$, $Ba(NO_3)_2$, $Sr(NO_3)_2$ та ін.) при температурах, відповідних температурі поверхні горіння сумішей T_n

Наведені вище рівняння (18)–(21) дають змогу розраховувати час згорання частинок металевого пального у потоці газоподібних продуктів розкладання окиснювача τ_z на поверхні горіння суміші, тепловий потік з цієї поверхні q_n та швидкість їх горіння u .

Результати розрахунків на комп'ютері з використанням стандартного програмного забезпечення [9] за формулою (21) з долученням усіх необхідних даних для нітратно-титанових сумішей [6–9, 11] показують (рис. 7), що: збільшення d_m призводить до помітного зростання τ_z (у 4...6 разів), а збільшення C_{O_2} та P – до зменшення τ_z у 1,8...3,2 разу (для C_{O_2}) та у 1,6...3,3 разу (для P). При цьому, в результаті проведених досліджень для використовуваних на практиці діапазонів

зміни розглядуваних параметрів ($d_m = 45...280$ мкм; $C_{O_2} = 0,2...0,4$ та $P = 10^5...10^7$ Па) процес горіння частинок титану проходить стабільно без вибухових фрагментацій.

Результати розрахунків за формулою (20) показують, що тепловий потік q_n найбільш суттєво залежить від коефіцієнта надлишку окиснювача (рис. 8): так, при зміні α в діапазонах $0,3 < \alpha < 1,4$ величина q_n різко зменшується аж до нуля, тобто, починаючи з певних значень $\alpha > 1$, частинки металу вже не затримуються на поверхні горіння, а починають інтенсивно відноситися в зону полум'я разом з частинками розплаву окиснювача, що не розклалися.

Це приводить до нестійкості та різкого згасання процесу горіння сумішей, що супроводжується викидом у навколишнє середовище великої кількості розжарених продуктів (частин суміші, що не згоріли, фрагментів металевих корпусів тощо), які є пожежонебезпечними для оточуючих об'єктів.

За отриманими вище рівняннями (18)–(21) було проведено розрахунки залежностей швидкості горіння сумішей від технологічних параметрів (коефіцієнта надлишку окиснювача, дисперсності металевого пального) і зовнішніх впливів (підвищених температур нагріву, зовнішніх тисків) (рисунок 9).

З результатів зіставлення розрахункових залежностей з експериментальними даними [9] випливає, що між ними спостерігається повний якісний збіг, що відповідає за-

пропонованому вище механізму горіння сумішей. Щодо кількісних відмінностей між розрахунком та експериментом, то вони не перевищують 8...10 %.

Крім цього, в результаті проведених розрахунків було встановлено наступні критичні діапазони зміни швидкості горіння сумішей, перевищення яких призводить до нестабільного вибухонебезпечного розвитку процесу їх горіння в умовах зовнішніх термодій:

$$u_2^{**} \leq u \leq u_1^*, \quad T_2^{**} \leq T_n \leq T_1^*, \quad (22)$$

де $u_1^* = 1,2 \cdot 10^{-2}$ м/с, $u_2^{**} = 1,2 \cdot 10^{-2}$ м/с, $T_1^* = 1050$ К, $T_2^{**} = 1160$ К – гранично допустимі значення параметрів, що визначають критичні режими розвитку горіння сумішей в умовах зовнішніх термічних дій.

Таблиця 1 – Значення емпіричних коефіцієнтів у формулі (20) для суміші Ti + NaNO₃

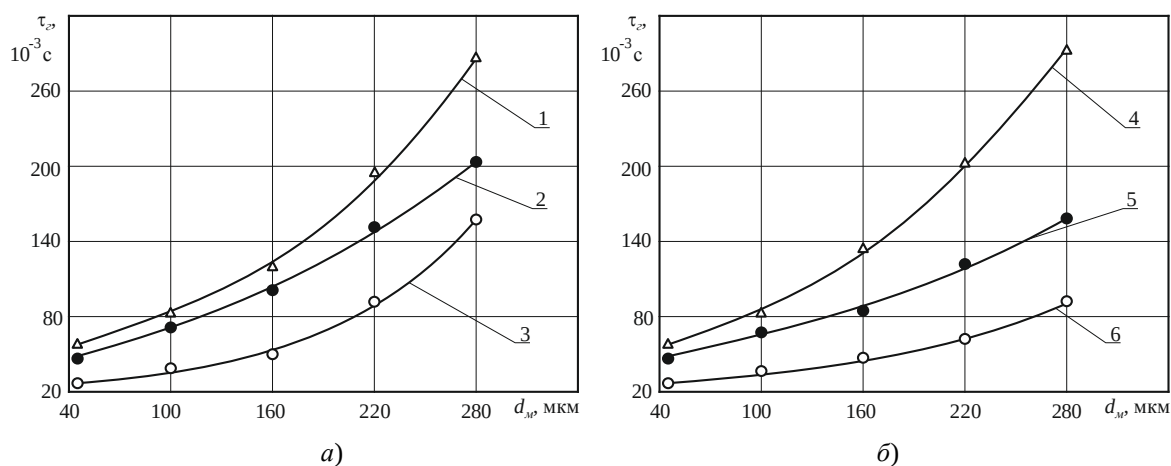
Коефіцієнт	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
Значення	0	0	0	0	73,289	- 127, 413	47,541

Таблиця 2 – Значення емпіричних коефіцієнтів у формулі (21) для суміші Ti + NaNO₃

Коефіцієнт	B_0	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
Значення	1,12	1,31	$2,61 \cdot 10^{-2}$	10^{-4}	0,19	0,6	0,3

Таким чином, розроблена математична модель горіння піротехнічних нітратно-металевих сумішей дає змогу на стадії проектування та подальших стендових випробувань піротехнічних виробів визначати з точністю 8...10 % вплив підвищених температур нагріву та зовнішніх тисків (для широкого діапазону

зміни співвідношень компонентів та дисперсності) на швидкість, а також критичні режими стійкого розповсюдження горіння в умовах термічного впливу. Це дає можливість прогнозувати різні пожежонебезпечні ситуації, що виникають в умовах зовнішніх термодій, яким піддаються вироби при їх експлуатації.



а) $T_n = 1050$ К, $P = 10^5$ Па, 1 – $C_{O_2} = 0,2$, 2 – $C_{O_2} = 0,6$, 3 – $C_{O_2} = 0,8$; б) $T_n = 1100$ К, $C_{O_2} = 0,2$, 4 – $P = 10^5$ Па, 5 – $P = 10^6$ Па, 6 – $P = 10^7$ Па; Δ , $\circ$, $\bullet$ – експериментальні дані

Рисунок 7 – Залежність часу згорання частинок титану у газовому середовищі O₂ + N₂ від їх розміру для різних відносних масових концентрацій кисню (а) та зовнішніх тисків (б)

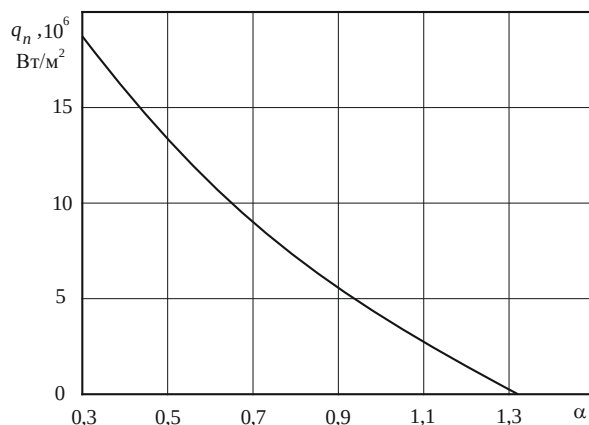
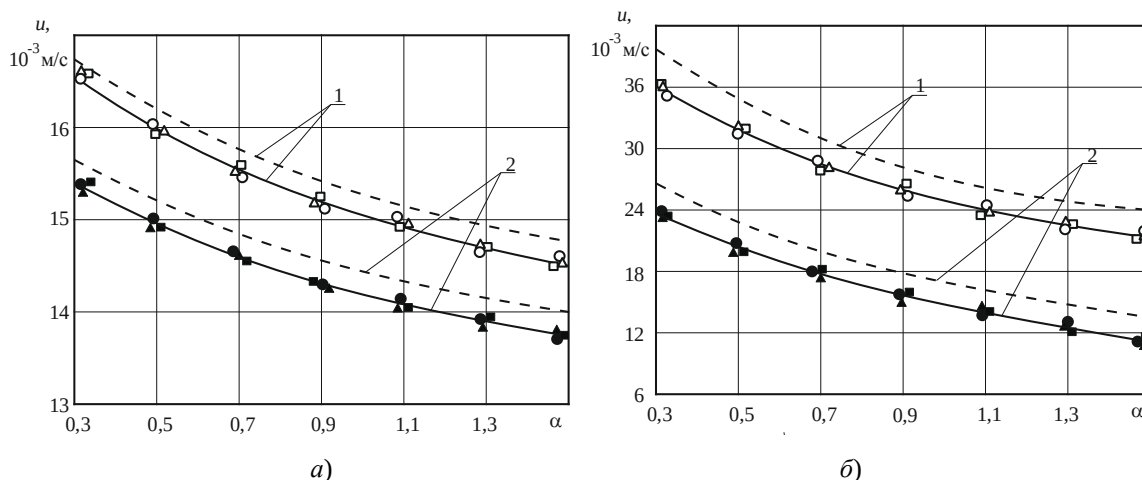


Рисунок 8 – Залежність теплового потоку q_n від коефіцієнта надлишку окиснювача для нітратно-титанової суміші



а) вплив T_0 (1 – $T_0 = 800$ К; 2 – $T_0 = 400$ К; $d_m = 45$ мкм; $P = 10^5$ Па); б) вплив P (3 – $P = 10^7$ Па; 4 – $P = 10^5$ Па; $T_0 = 300$ К; $d_m = 135$ мкм) — — — розрахункова крива; — — — експериментальна крива; ■, □, Δ, ▲, ● — експериментальні дані

Рисунок 9 – Залежності швидкості горіння суміші Ti + NaNO₃ від коефіцієнта надлишку окиснювача для різних температур нагріву T_0 та зовнішніх тисків P

Висновки:

1. Встановлено механізм та розроблено математичні моделі процесу горіння піротехнічних нітратно-металевих сумішей, в яких використовуються кінетичні характеристики процесів термічного розкладання окиснювача, високотемпературного окиснення, займання та горіння частинок металевого пального на поверхні горіння сумішей.

2. На прикладі нітратно-титанових сумішей показано, що моделі з відносною похибкою 8...10 % дають можливість визначати залежності швидкості розвитку процесу горіння сумішей від параметрів зовнішніх термічних дій (підвищені температури нагріву і зовнішні тиски) для різних значень їх технологічних параметрів (співвідношення компонентів та дисперсності), що дає можливість знаходити критичні режими горіння, переви-

щення яких призводить до вибухонебезпечного руйнування піротехнічних виробів.

Список використаних джерел

- [1] К. О. Брауэр, "Пиротехнические устройства для космических аппаратов", *Вопросы ракетной техники*, вып. 10, с. 47-61, 1969.
- [2] А. А. Шидловский, *Основы пиротехники*. Москва: Машиностроение, 1973.
- [3] А. А. Шидловский, А. И. Сидоров, и Н. А. Силин, *Пиротехника в народном хозяйстве*. Москва: Машиностроение, 1978.
- [4] В. В. Тарасов, и Ю. Г. Якушенков, *Инфракрасные системы "смотрящего" типа*. Москва: Логос, 2004.

- [5] А. Р. Глушенко, В. И. Гордиенко, А. В. Бурак, и А. Ю. Денисенко, *Танковые ночные системы и приборы наблюдения*. Черкассы: Фотоприбор, 2007.
- [6] Н. А. Силин, В. А. Ващенко, Л. Я. Кашпоров и др., *Металлические горючие гетерогенных конденсированных систем*. Москва: Машиностроение, 1976.
- [7] Н. А. Силин, В. А. Ващенко, Н. И. Зарипов и др., *Окислители гетерогенных конденсированных систем*. Москва: Машиностроение, 1978.
- [8] Н. А. Силин, В. А. Ващенко, Л. Я. Кашпоров и др., *Горение металлизированных гетерогенных конденсированных систем*. Москва: Машиностроение, 1982.
- [9] В. А. Ващенко, О. В. Кириченко, Ю. Г. Лега, П. И. Заика, И. В. Яценко, и В. В. Цыбулин, *Процессы горения металлизированных конденсированных систем*. Київ: Наукова думка, 2008.
- [10] В. А. Ващенко, О. В. Кириченко, В. Д. Акиншин, В. В. Цыбулин, и И. В. Яценко, "Комплекс испытательных установок, моделирующих реальные условия применения пиротехнических нитратосодержащих изделий", *Научный вестник УкрНДППБ*, № 1(19), с. 127-137, 2009.
- [11] О. В. Кириченко, П. С. Пашковський, В. А. Ващенко, та Ю. Г. Лега, *Основы пожарной безопасности пиротехнических нитратовместных виробів в умовах зовнішніх термовпливів*. Київ: Наукова думка, 2012.
- [12] О. В. Кириченко, "Скорость и предельные режимы горения трехкомпонентных пиротехнических смесей в условиях внешних термовоздействий", *Пожаровзрывобезопасность: междунар. науч.-практ. журн.*, № 5, с. 20-25, 2013.
- [13] О. В. Кириченко, "Влияние повышенных температур нагрева и внешних давлений на скорость и предельные режимы горения пиротехнических нитратно-алюминиевых смесей", *Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность: междунар. науч.-практ. журн.*, № 2, с. 18-23, 2013.
- [14] О. В. Кириченко, О. С. Діброва, Р. Б. Мотрічук, В. А. Ващенко, С. О. Колінько, та В. В. Цибулін, "Дослідження впливу міцності зарядів пиротехнічних нитратно-металевих сумішей на пожежну безпеку виробів на їх основі", *Вісник Черкаського державного технологічного університету*, № 3, с. 56-67, 2019.
- [15] О. В. Кириченко, "Термодинамічні методи прогнозування пожежонебезпечних властивостей пиротехнічних нитратно-магнієвих сумішей", *Пожежна безпека: теорія і практика: зб. наук. праць АПБ ім. Героїв Чорнобиля*, № 7, с. 59-67, 2011.
- [16] В. А. Ващенко, П. И. Заика, О. В. Кириченко, С. В. Щепак, и А. Д. Блашук, "Исследование интенсивности диспергирования частиц магния в зону пламени при горении нитратно-магниевого систем", *Пожежна безпека: теорія і практика: зб. наук. праць АПБ ім. Героїв Чорнобиля*, № 7, с. 27-30, 2011.
- [17] О. В. Кириченко, В. Д. Акиншин, В. А. Ващенко, та В. В. Цибулін, "Термодинамічні методи прогнозування пожежонебезпечних властивостей високометалізованих пиротехнічних нитратно-металічних сумішей в умовах зовнішніх термо-впливів", *Проблемы пожарной безопасности*, № 30, с. 104-106, 2011.
- [18] О. В. Кириченко, "Математичне моделювання процесу нагріву металевих корпусів пиротехнічних виробів в умовах пострілу та польоту", *Научный вестник УкрНДПЦЗ*, № 1 (27), с. 173-186, 2013.
- [19] О. В. Кириченко, В. А. Ващенко, В. В. Цибулін, та В. М. Тупицький, "Швидкість та межі горіння пиротехнічних нитратно-магнієвих сумішей в умовах зовнішніх термовпливів", *Проблемы пожарной безопасности*, № 34, с. 73-95, 2013.
- [20] О. В. Кириченко, "Моделирование процесса нагрева металлических оболочек пиротехнических изделий в условиях внешних термовоздействий", *Чрезвычайные ситуации: образование и наука: междунар. науч.-практ. журн.*, № 2, с. 37-45, 2013.

References

- [1] K. O. Brower, "Pyrotechnic devices for spacecraft". *Voprosy raketnoi tekhniki*, iss. 10, pp. 47-61, 1969 [in Russian].
- [2] A. A. Shidlovskii, *Bases of pyrotechnics*. Moscow: Mashinostroenie, 1973 [in Russian].
- [3] A. A. Shidlovskii, A. I. Sidorov, and N. A. Silin, *Pyrotechnics in the national*

- economy. Moscow: Mashinostroenie, 1978 [in Russian].
- [4] V. V. Tarasov, and Yu. G. Yakushenkov, "Looking" type infrared systems. Moscow: Logos, 2004 [in Russian].
- [5] A. R. Glushchenko, V. I. Gordienko, A. V. Burak, and A. Yu. Denisenko, *Tank night systems and surveillance devices*. Cherkassy: Fotopribor, 2007 [in Russian].
- [6] N. A. Silin, V. A. Vaschenko, and L. Ya. Kashporov, *Metal fuels of heterogeneous condensed systems*. Moscow: Mashinostroenie, 1976 [in Russian].
- [7] N. A. Silin, V. A. Vashchenko, N. I. Zaripov et al., *Oxidizers of heterogeneous condensed systems*. Moscow: Mashinostroenie, 1978 [in Russian].
- [8] N. A. Silin, V. A. Vaschenko, L. Ya. Kashporov et al., *Combustion of metalized heterogeneous condensed systems*. Moscow: Mashinostroenie, 1982 [in Russian].
- [9] V. A. Vashchenko, O. V. Kirichenko, Yu. G. Lega, P. I. Zaika, I. V. Yatsenko, and V. V. Tsybulin, *Combustion processes of metallized condensed systems*. Kyiv: Naukova dumka, 2008 [in Russian].
- [10] V. A. Vashchenko, O. V. Kirichenko, V. D. Akinshin, V. V. Tsybulin, and I. V. Yatsenko, "A complex of test installations simulating real conditions for the use of pyrotechnic nitrate-containing products", *Naukovyy visnyk Ukrayinskoho naukovo-doslidnoho instytutu pozhazhnoyi bezpeky*, no. 1(19), pp. 127-137, 2009 [in Russian].
- [11] O. V. Kirichenko, P. S. Pashkovsky, V. A. Vaschenko, and Yu. G. Lega, *The basis of fire safety of pyrotechnic nitrate-containing products in the conditions of external thermal influences*. Kyiv: Naukova dumka, 2012 [in Ukrainian].
- [12] O. V. Kirichenko, "Velocity and limit combustion regimes of three-component pyrotechnic mixtures under external thermal influences", *Pozharovzryvbezopasnost*, no. 5, pp. 20-25, 2013 [in Russian].
- [13] O. V. Kirichenko, "The effect of elevated heating temperatures and external pressures on the speed and limit combustion conditions of pyrotechnic nitrate-aluminum mixtures", *Chrezvychnyye situatsii: promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost*, no. 2, pp. 18-23, 2013 [in Russian].
- [14] O. V. Kirichenko, O. S. Dibrova, R. B. Motrichuk, V. A. Vaschenko, S. O. Kolinko, and V. V. Tsybulin, "Investigation of the effect of charge strength of pyrotechnic nitrate-metal mixtures on the fire safety of products based on them", *Visnyk Cherkaskogo derzhavnogo tehnologichnogo universitetu*, no. 3, pp. 56-67, 2019 [in Ukrainian].
- [15] O. V. Kirichenko, "Thermodynamic methods for predicting the fire-fighting properties of pyrotechnic nitrate-magnesium mixtures", *Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktyka*: coll. of sci. papers of Cherkasy Chernobyl Hero Fire Academy, no. 7, pp. 59-67, 2011 [in Ukrainian].
- [16] V. A. Vaschenko, P. I. Zaika, O. V. Kirichenko, S. V. Schepak, and A. D. Blaschuk, "Study of the intensity of dispersion of magnesium particles into the flame zone during combustion of nitrate-magnesium systems", *Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktyka*: coll. of sci. papers of Cherkasy Chernobyl Hero Fire Academy, no. 7, pp. 27-30, 2011 [in Russian].
- [17] O. V. Kirichenko, V. D. Akinshin, V. A. Vashchenko, and V. V. Tsybulin, "Thermodynamic methods for predicting the fire properties of highly metallized pyrotechnic nitrate-metal mixtures under conditions of external thermal influences", *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, no. 30, pp. 104-106, 2011 [in Ukrainian].
- [18] O. V. Kirichenko, "Mathematical modeling of the process of heating of metal housings of pyrotechnic articles under conditions of shot and flight", *Naukovyy visnyk Ukrayinskoho naukovo-doslidnoho instytutu tsyvilnoho zakhystu*, no. 1 (27), pp. 173-186, 2013 [in Ukrainian].
- [19] O. V. Kirichenko, V. A. Vashchenko, V. V. Tsybulin, and V. M. Tupitsky, "Speed and limits of combustion of pyrotechnic nitrate-magnesium mixtures under conditions of external thermal influences", *Problemy pozharnoy bezopasnosti*, no. 34, pp. 73-95, 2013 [in Ukrainian].
- [20] O. V. Kirichenko, "Modeling the heating process of metal shells of pyrotechnic products in conditions of external thermal effects", *Chrezvychnyye situatsii: obrazovaniye i nauka*, no. 2, pp. 37-45, 2013 [in Russian].

O. S. Dibrova,

National University of Civil Defense of Ukraine
Chernycshevskyi str., 94, Kharkiv, 61023, Ukraine

O. V. Kirichenko, Dr.Tech.Sc., professor,

R. B. Motrichuk,

Cherkasy Institute of Fire Safety,
Onoprienko str., 8, Cherkasy, 18034, Ukraine

V. A. Vaschenko, Dr.Tech.Sc., professor,

S. O. Kolinko, Ph. D., associate professor,

T. I. Butenko, Ph. D., associate professor,

V. V. Tsybulin

Cherkasy State Technological University
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

DETERMINATION OF CRITICAL MODES FOR THE DEVELOPMENT OF COMBUSTION PROCESSES OF PYROTECHNICAL NITRATE-METAL MIXTURES UNDER CONDITIONS OF EXTERNAL THERMAL ACTIONS

Currently, models of combustion of mixtures based on $Mg + NaNO_3$ have been developed and investigated in detail to calculate the combustion rates of pyrotechnic mixtures. As for other pyrotechnic mixtures, the results of theoretical studies on the modeling of their combustion processes under different external conditions are very limited, and in most cases absent. The purpose of this work is to develop a model of combustion of compacted mixtures of Ti powders and nitrate-containing oxidizing agent ($NaNO_3$, $Ba(NO_3)_2$, $Sr(NO_3)_2$) to determine the critical modes of their persecution by calculating the dependence of the propagation of the combustion front on charges and technological factors conditions. Developed mathematical model of combustion of pyrotechnic nitrate-metal mixtures allows to determine with accuracy of 8... 10 % the influence of high heating temperatures and external pressures (for a wide range of change of component ratios and dispersion) on the stage of design and subsequent bench testing of pyrotechnic articles with precision and dispersion, sustainable propagation of combustion in conditions of thermal impact. This makes it possible to predict different fire situations that occur in the external thermodynamic conditions to which the products are exposed during their operation. The mechanism is established and mathematical models of the pyrotechnic nitrate-metal combustion process are used, which use kinetic characteristics of the processes of thermal decomposition of oxidizer, high-temperature oxidation, ignition and combustion of metal fuel particles on the combustion surface of the mixtures. The example of nitrate-titanium mixtures shows that models with a relative error of 8...10 % allow to determine the dependence of the rate of development of the combustion process of the mixture on the parameters of external thermal actions (increased heating temperatures and external pressures) for different values of their technological parameters (the ratio of components and dispersion), which makes it possible to find critical modes of combustion, the excess of which leads to the explosive destruction of pyrotechnic articles.

Keywords: pyrotechnic mixtures, nitrate-containing oxidizer, metal fuel, combustion processes, fire safety.

[0000-002-94-01-4846] **М. В. Хандюк**, старший викладач

Черкаський державний технологічний університет
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна

ОЧИЩЕННЯ ЗЕРНА ЗЕЛЕНОГО ГОРОШКУ ВІД СТОРОННІХ ДОМІШОК

Досліджено процес подачі та очищення зерна зеленого горошку від сторонніх домішок. Розроблено удосконалену схему подачі та очищення зерна зеленого горошку від сторонніх домішок з новими конструктивними рішеннями, що дає можливість підвищити якість очищення зерна зеленого горошку від легких, більш летючих за сировину домішок та зменшити затрати ручної праці операторів. Виконано порівняльний аналіз існуючої та вдосконаленої схем подачі та очищення зерна зеленого горошку від сторонніх домішок. Визначено твердість зерна зеленого горошку та процент битого і пошкодженого зерна зеленого горошку в банках залежно від сорту зеленого горошку. Розраховано продуктивність кожного сорту зеленого горошку і виконано порівняльний аналіз продуктивності кожного сорту зеленого горошку на лініях до і після вдосконалення.

Ключові слова: гідравлічний транспортер, відділювач води, шнековий дозатор, вібраційний селектор, приймальний бункер, повітряний селектор, інспекційний транспортер, твердість зерен зеленого горошку, процент битого і пошкодженого зерна зеленого горошку, продуктивність.

Вступ. Харчова промисловість в Україні традиційно є однією з найважливіших галузей АПК. Серед основних задач, що стоять перед харчовою промисловістю, є створення високоефективного технологічного обладнання, яке на основі використання прогресивних технологій дасть змогу значно підвищити продуктивність праці й скоротити негативну дію на навколишнє середовище, а також сприяти економії сировини [11].

Консервна промисловість тісно пов'язана з сільським господарством і займає гідне місце у виробництві продуктів харчування.

Миття та очищення зерна зеленого горошку має важливе значення при виробництві банкових консервів, які традиційно користуються підвищеним попитом. Якість консервів залежить також від очищення зерна від різних механічних (землі, каміння, сторонніх домішок) та органічних (чашолистки, пошкоджені зерна) забруднень [1; 3; 7; 9; 14].

Процес очищення зерна і зернобобових культур від сторонніх домішок є предметом дослідження вітчизняних і зарубіжних вчених, зокрема таких науковців: М. Амінов, Алі Рейфд Шахмі, М. Антонов, А. Гладушняк, С. Голячук, О. Дашковський, М. Дікіс, В. Качанов, А. Мальський, А. Палвашова, В. Панфілов, В. Полегаєв, Н. Сабуров, Е. Ситніков, Ю. Скріпніков, Є. Широков та інших [2; 5; 6; 7; 10; 11; 12; 13; 15].

Однак, незважаючи на значну кількість напрацювань і впровадження їх у виробництво, у консервах зеленого горошку все ж трапляються механічні й органічні забруднення, що свідчить про актуальність проблеми якісного видалення сторонніх домішок.

Метою дослідження є поліпшення якості вироблених консервів зеленого горошку шляхом зменшення сторонніх домішок при очищенні зерна зеленого горошку.

Виклад основного матеріалу. Для миття і очищення в технологічній лінії по виробництву консервів з зеленого горошку встановлюється різноманітне обладнання, яке виконує певні функції для дотримання технічних вимог до сировини [4; 15].

Миття і відділення сторонніх домішок проводиться на таких етапах технологічного процесу:

- у приймальних ваннах відбувається відмочування та відділення твердих і легких домішок;
- у гідравлічних транспортерах відбувається подальше відмочування;
- в установлених послідовно флотаційних машинах для миття відбувається відділення великих (чашолистки, бадилля, бур'ян, солома та ін.) та малих (биті та недозрілі зерна горошку) домішок;
- після бланшування і охолодження сировина проходить вібраційний селектор і

по гідравлічному жолобу потрапляє на повітряний селектор;

– після повітряного селектора відбувається остаточна інспекція сировини операторами на інспекційному транспортері.

Дослідивши етапи технологічного процесу видалення сторонніх домішок, нами було запропоновано вдосконалену схему подачі та очищення зерна зеленого горошку від сторонніх домішок шляхом встановлення шнекового дозатора та вібраційного селектора.

З метою виявлення ефективності цієї пропозиції на підприємстві з переробки сіль-

ськогосподарської продукції було проведено експеримент, суть якого полягає у виконанні досліджень на двох лініях по виробництву банкових консервів з зеленого горошку [4; 15]. Одну з таких ліній було модернізовано згідно з нашими пропозиціями.

Таким чином, на першій лінії залишилася існуюча схема подачі й очищення сировини, яка складається з гідравлічного транспортера, відділювача води, приймального бункера, повітряного селектора та інспекційного транспортера (рисунк 1).

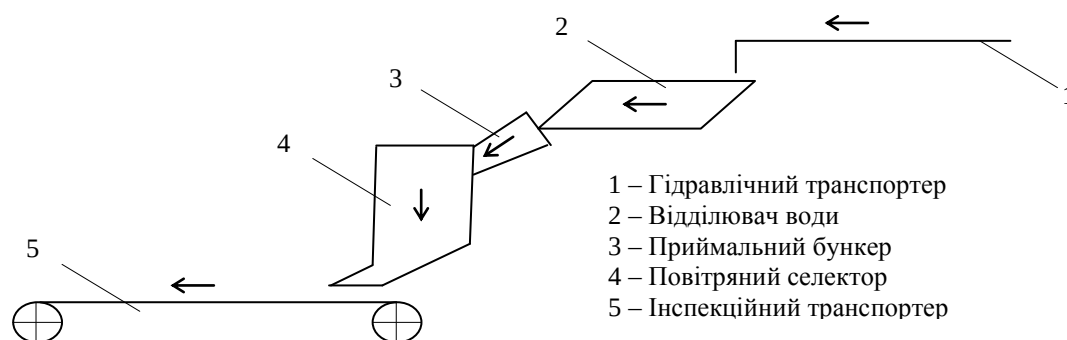


Рисунок 1 – Існуюча схема подачі та очищення зерна зеленого горошку від сторонніх домішок

Ця схема не забезпечує точне дозування та рівномірну подачу сировини по всій ширині робочої зони повітряного селектора. Нерівномірна подача сировини відбувається за рахунок того, що гідравлічний жолоб являє собою трубу круглого перерізу внутрішнім діаметром 100 мм, тому зелений горошок потрапляє в центральну частину відділювача води. Таким же чином зелений горошок потрапляє

в центральну частину робочої зони повітряного селектора. В результаті задіяна тільки центральна частина робочої зони повітряного селектора, а повітряний потік неякісно відділяє легкі домішки [8].

На другій лінії для усунення цього недоліку пропонуємо удосконалити схему подачі та очищення зерна зеленого горошку від сторонніх домішок (рисунк 2) [8].

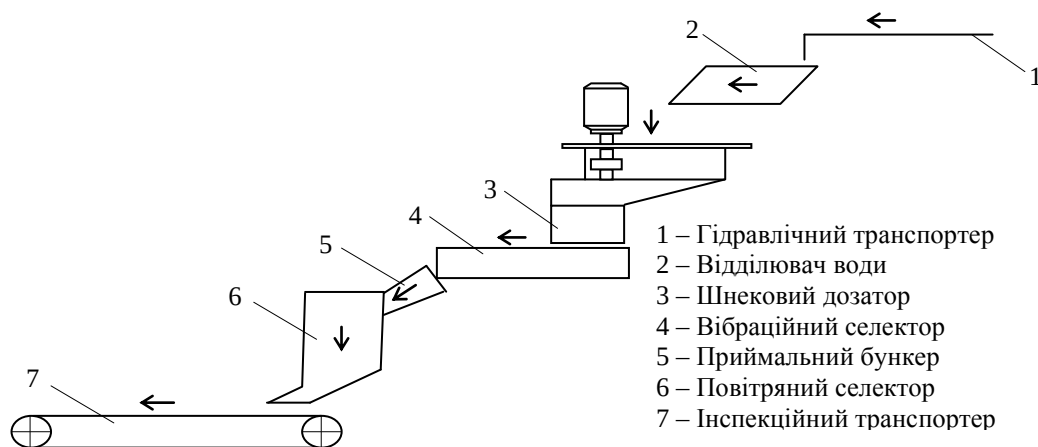


Рисунок 2 – Удосконалена схема подачі та очищення зерна зеленого горошку від сторонніх домішок

Для точного дозування в схему подачі та очищення зерна зеленого горошку запропоновано додатково встановити шнековий дозатор, а для рівномірної подачі сировини по ширині робочої зони повітряного селектора запропоновано встановити вібраційний селектор.

Таким чином, удосконалена схема подачі та очищення зерна зеленого горошку від сторонніх домішок складається з гідравлічного транспортера, відділювача води, шнекового дозатора, вібраційного селектора, приймального бункера, повітряного селектора та інспекційного транспортера.

Згідно з технічною пропозицією було модернізовано одну з двох ліній підготовки сировини до фасування. Тому було можливим проведення експерименту паралельно на лінії

до і після модернізації. Метою проведення експерименту для дослідів за сировину взято зелений горошок вищого, першого, другого та столового сорту, який надходить на підприємство протягом сезону приблизно протягом місяця.

Згідно з технологічним процесом сировина, обмолочена комбайном, доставляється на переробне підприємство самоскидами. На прийомному пункті методом взяття проб лабораторією визначається процент домішок та за допомогою фенометра визначається сорт сировини та процент битого зерна в банках.

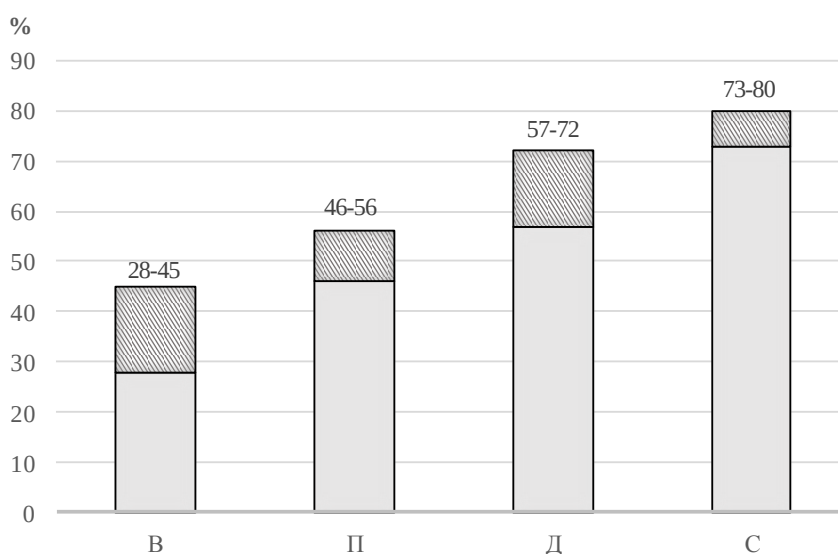
Результати досліджень твердості зерна зеленого горошку та відсотка битого і пошкодженого зерна зеленого горошку відображені у таблиці 1 [6].

Таблиця 1 – Результати досліджень зерна зеленого горошку

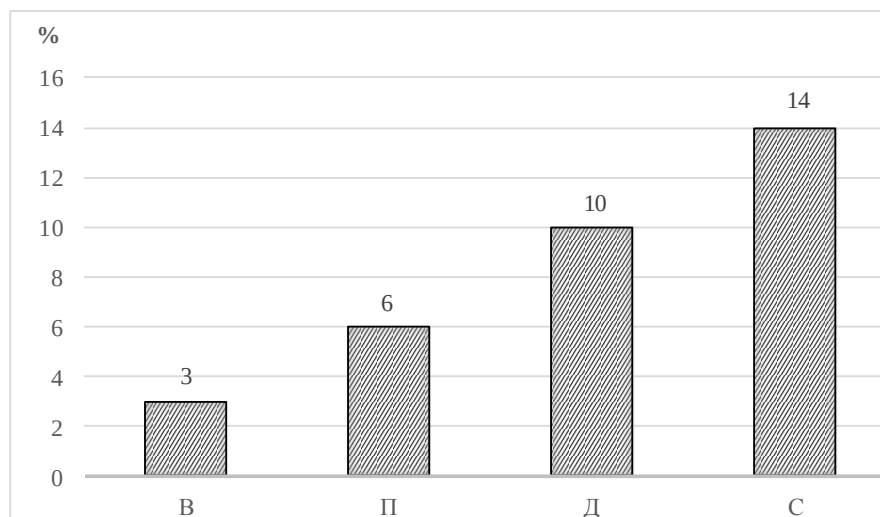
Сорт зеленого горошку	Твердість зерна зеленого горошку, %	Відсоток битого і пошкодженого зерна зеленого горошку в банках, %
Вищий сорт	28-45	3
Перший сорт	46-56	6
Другий сорт	57-72	10
Столовий сорт	73-80	14

Як свідчать результати досліджень, твердість зерна зеленого горошку вищого сорту коливається в межах 28-45 %, для першого сорту твердість зерна зеленого горошку становить 46-56 %, для другого сорту – 57-72 %, а для столового сорту – 73-80 % (рисунк 3, а) [6].

Найменший процент битого і пошкодженого зерна зеленого горошку в банках вищого сорту – 3 %, в банках першого сорту – 6 %, в банках другого сорту – 10 %, а в банках столового сорту процент битого і пошкодженого зерна зеленого горошку становить 14 % (рисунк 3, б) [6].



а) твердість зерна зеленого горошку за показаннями фенометра: В – вищого сорту; П – першого сорту; Д – другого сорту; С – столового сорту



б) процент битого і пошкодженого зерна зеленого горошку в банках: В – вищого сорту; П – першого сорту; Д – другого сорту; С – столового сорту

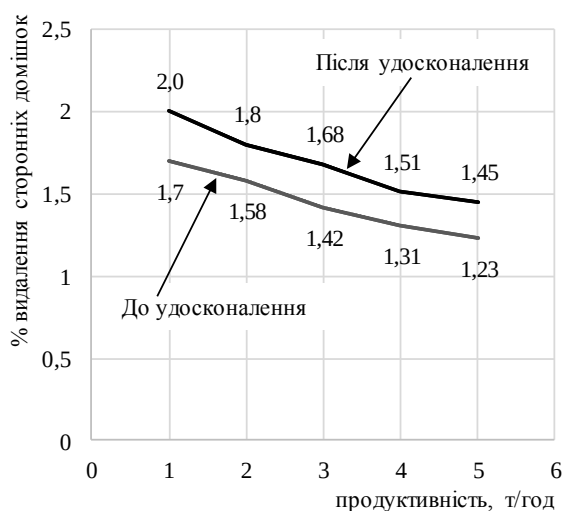
Рисунок 3 – Твердість зерна зеленого горошку та відсоток битого і пошкодженого зерна зеленого горошку в банках

Після лабораторних дослідів самоскид із зернами зеленого горошку зважується у ваговій до і після розвантаження. Таким чином визначається вага партії сировини. Кожний само-скид розвантажується в індивідуальну ванну, і таким чином фіксується точна вага кожної партії сировини, що подається на переробку.

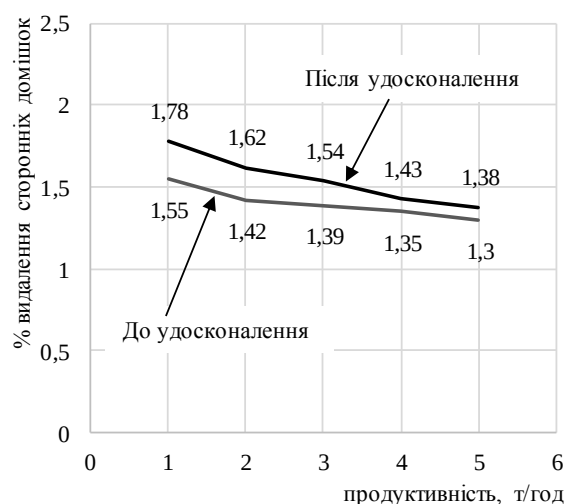
Пропускаючи по черзі кожну партію сировини відповідного сорту на лінії до і після вдосконалення і отримавши готову продукцію до стерилізації (тобто кількість банок

одного типорозміру), було визначено кількість домішок (у відсотках), відсортованих на лініях до і після вдосконалення. Також різні партії подавалися на лінії з різною продуктивністю.

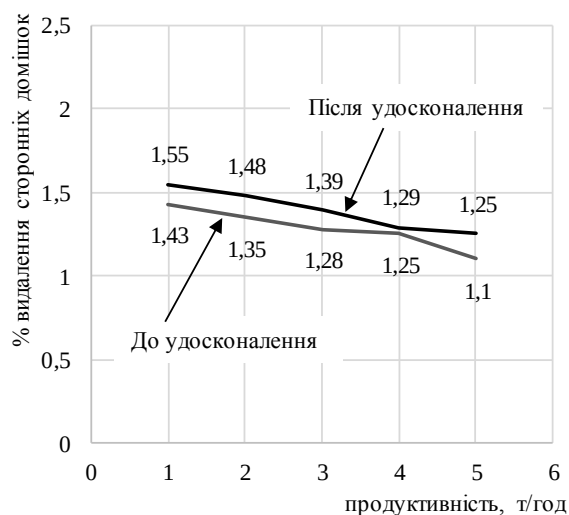
Таким чином, в результаті проведених дослідів на паралельно встановлених лініях до і після вдосконалення з достатньою вірогідністю було отримано дані, за результатами яких побудовано графіки залежності якості очищення різних сортів зеленого горошку від продуктивності (рисунок 4).



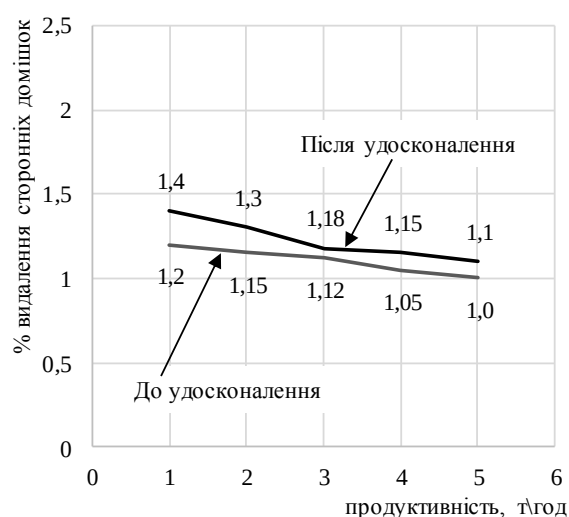
а) графік залежності якості очищення зеленого горошку вищого сорту від продуктивності



б) графік залежності якості очищення зеленого горошку першого сорту від продуктивності



в) графік залежності якості очищення зеленого горошку другого сорту від продуктивності



з) графік залежності якості очищення зеленого горошку столового сорту від продуктивності

Рисунок 4 – Графіки залежності якості очищення різних сортів зеленого горошку від продуктивності

Графіки, зображені на рисунку 4, наочно демонструють:

1) пряму залежність якості очищення зеленого горошку вищого, першого, другого та столового сортів від продуктивності лінії: чим вища продуктивність, тим менший відсоток видалених сторонніх домішок (чим більша щільність потоку продукту по перерізу робочої камери повітряного селектора, тим менший відсоток видалених сторонніх домішок);

2) пряму залежність сорту зеленого горошку від відсотка видалених сторонніх домішок: для зеленого горошку вищого сорту

відсоток видалених сторонніх домішок є вищим, ніж для зеленого горошку першого сорту; для першого сорту відсоток видалених домішок є вищим, ніж для другого, і для другого сорту – вищим, ніж для столового.

3) підвищення відсотка видалення сторонніх домішок на модернізованій лінії (після удосконалення) для вищого, першого, другого та столового сортів зеленого горошку.

Результати відхилень у вимірюваних показниках, отриманих в результаті проведених дослідів на існуючій і модернізованій лініях наведено у таблицях 2-5.

Таблиця 2 – Аналіз відхилення відсотка видалення сторонніх домішок із зеленого горошку вищого сорту

Продуктивність, т/год	Відсоток видалення сторонніх домішок, %		
	до вдосконалення	після вдосконалення	відхилення, відсоткових пунктів
1	1,7	2,0	0,3
2	1,58	1,8	0,22
3	1,42	1,68	0,26
4	1,31	1,51	0,2
5	1,23	1,45	0,22

Як свідчать наведені результати досліджень, для зеленого горошку вищого сорту відсоток видалених сторонніх домішок на модернізованій лінії покращиться на 0,2-0,3 відсоткових пунктів: при продуктивності 1 т/год відсоток видалення сторонніх домішок збіль-

шиться з 1,7 % до 2,0 %; при продуктивності 2 т/год – з 1,58 % до 1,8 %; при продуктивності 3 т/год – з 1,42 % до 1,68 %; при продуктивності 4 т/год – з 1,31 % до 1,51 %; при продуктивності 5 т/год відсоток видалення сторонніх домішок збільшиться з 1,23 % до 1,45 %.

Таблиця 3 – Аналіз відхилення відсотка видалення сторонніх домішок із зеленого горошку першого сорту

Продуктивність, т/год	Відсоток видалення сторонніх домішок, %		
	до вдосконалення	після вдосконалення	відхилення, відсоткових пунктів
1	1,55	1,78	0,23
2	1,42	1,62	0,2
3	1,39	1,54	0,15
4	1,35	1,43	0,08
5	1,3	1,38	0,08

Трохи меншим є розрив у вимірюваних показниках до і після вдосконалення лінії очищення зерна зеленого горошку від сторонніх домішок за результатами досліджень зеленого горошку першого сорту. Так, відсоток видалення сторонніх домішок збільшиться на модернізованих лініях з 0,08 (при продуктивності 5 т/год) до 0,23 відсоткових пунктів

(при продуктивності 1 т/год). При цьому відсоток видалення сторонніх домішок на лінії після вдосконалення зростає до 1,78 % (при продуктивності 1 т/год) й до 1,38 % (при продуктивності 5 т/год). Зауважимо, що на лінії до вдосконалення цей показник становив відповідно 1,55 % і 1,3 %.

Таблиця 4 – Аналіз відхилення відсотка видалення сторонніх домішок із зеленого горошку другого сорту

Продуктивність, т/год	Відсоток видалення сторонніх домішок, %		
	до вдосконалення	після вдосконалення	відхилення, відсоткових пунктів
1	1,43	1,55	0,12
2	1,35	1,48	0,13
3	1,28	1,39	0,11
4	1,25	1,29	0,04
5	1,1	1,25	0,15

Тенденція до зменшення розриву за досліджуваним показником на двох лініях з очищення зеленого горошку від сторонніх домішок залежно від сорту зеленого горошку продовжує зберігатися. Так, для зеленого горошку другого сорту при продуктивності 1 т/год відсоток видалення сторонніх домішок збільшиться з 1,43 % до 1,55 %, тобто на 0,12 відсоткових пунктів, а для продуктивності

5 т/год цей показник збільшиться з 1,1 % до 1,25 %, тобто на 0,15 відсоткових пунктів. Винятком із загальної тенденції є результат, який було отримано при продуктивності 4 т/год, коли відсоток видалення сторонніх домішок збільшився, але збільшення було зафіксовано незначне – лише на 0,04 відсоткових пунктів: з 1,25 % до 1,29 %.

Таблиця 5 – Аналіз відхилення відсотка видалення сторонніх домішок із зеленого горошку столового сорту

Продуктивність, т/год	Відсоток видалення сторонніх домішок, %		
	до вдосконалення	після вдосконалення	відхилення, відсоткових пунктів
1	1,2	1,4	0,2
2	1,15	1,3	0,15
3	1,12	1,18	0,06
4	1,05	1,15	0,1
5	1,0	1,1	0,1

Дослідження зеленого горошку столового сорту дало такі результати: коливання розриву у відхиленнях відсотка видалення сторонніх домішок становило 0,1 відсоткових пунктів для продуктивності 5 т/год (відсоток видалення сторонніх домішок на лінії до вдосконалення становив 1,0 %, а на лінії після вдосконалення – 1,1 %) і 0,2 відсоткових пунктів для продуктивності 1 т/год (відсоток видалення сторонніх домішок на лінії до вдосконалення становив 1,2 %, а на лінії після вдосконалення – 1,4 %).

Таким чином, можна констатувати, що чим нижча якість сорту зеленого горошку, тим меншою є результативність модернізованої лінії. Тобто для зеленого горошку вищого сорту застосування вдосконаленої лінії буде мати більший ефект, ніж для зеленого горошку столового сорту. Це пояснюється тим, що засміченість зеленого горошку вищого сорту більша, ніж першого, засміченість зеленого горошку першого сорту більша, ніж другого, і засміченість зеленого горошку другого сорту більша, ніж столового.

Висновок. Розроблена удосконалена схема подачі та очищення зерна зеленого горошку від сторонніх домішок поліпшить якість очищення зерна зеленого горошку від легких, більш летючих за сировину, домішок, а також зменшить затрати ручної праці операторів. Відповідно зменшиться кількість операторів, які працюють на інспекційному транспортері, а також поліпшиться якість вироблених консервів. Перспективами подальших досліджень є удосконалення обладнання в запропонованій схемі.

Список використаних джерел

- [1] М. С. Аминов, и А. Н. Мальский, *Технологическое оборудование консервных заводов*. Москва: Пищ. пром-ть, 1989.
- [2] Али Рейад Шамхи, "Новые подходы в технологии производства консервов из зеленого горошка", на VI междунар. науч. конф. студентов и аспирантов. *Техника и технология пищевых производств*, Могилев, Республика Беларусь: Могилев. гос. ун-т продовольствия, 2008. С. 46.
- [3] *Технологическое оборудование консервных заводов* / М. С. Аминов, М. Я. Дикис, А. Н. Мальский, А. К. Гладушняк, Ред. Москва: Агропромиздат, 1986.
- [4] Л. П. Ковальская, И. С. Шуб, Г. М. Мелькина и др., *Технология пищевых производств*, Л. П. Ковальская, Ред. Москва: Колос, 1997.
- [5] С. Є. Голячук, "Сепарування зернових мас з використанням сил гравітації", *Наукові нотатки: міжвуз. зб.*, № 39, с. 27-33, Луцьк, 2012.
- [6] О. О. Дашковський, "Вимоги до якості та контроль якості зеленого горошку консервованого відповідно до ДСТУ 7165:2010", *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*, т. 17, № 3 (63), с. 389-394, 2015.
- [7] М. Я. Дикис, и А. Н. Мальский, *Технологическое оборудование консервных заводов*. Москва, 1969.
- [8] М. В. Хандюк, "Удосконалення процесу подачі й очищення зерна зеленого горошку від сторонніх домішок", на III міжнар. наук.-практ. конф. *Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності*, Харків: ХДУХТ, 2019, ч. 1, с. 83-85.
- [9] Е. Д. Ситников, и В. А. Качанов, *Оборудование консервных заводов*. Москва: Лег. и пищ. пром-ть, 1981.
- [10] В. А. Панфилов, *Технологические линии пищевых производств*. Москва: Колос, 1993.
- [11] В. А. Панфилов, *Машины и аппараты пищевых производств* (т. 1). Москва: Высшая школа, 2001.
- [12] В. А. Панфилов, *Машины и аппараты пищевых производств* (т. 2). Москва: Высшая школа, 2001.
- [13] Ю. Г. Скрыпников, и Э. С. Гореньков, *Оборудование предприятий по хранению и переработке плодов и овощей*. Москва: Колос, 1996.
- [14] М. С. Аминов, и Э. М. Мурадов, *Технологическое оборудование консервных и овощесушильных заводов*. Москва: Колос, 2000.
- [15] В. А. Панфилов, и О. А. Ураков, *Технологические линии пищевых производств: создание технологического потока*. Москва: Пищ. пром-ть, 1996.

References

- [1] M. S. Aminov, and A. N. Malsky, *Technological equipment of canneries*, Moscow: Pis. prom-t, 1989 [in Russian].
- [2] Ali Reyad Shamkhi, "New approaches in the technology for the production of canned peas", in *VI Int. Sci. Conf. of Students and Graduate Students. Technique and Technology of food production*, Mogilev, Republic of Belarus: Mogilev. gos. un-t prodo-volstviya, 2008, p. 46 [in Russian].
- [3] *Technological equipment of canneries*, M. S. Aminov, M. Ya. Dikis, A. N. Malsky, and A. K. Gladushnyak, Eds. Moscow: Agropromizdat, 1986 [in Russian].
- [4] L. P. Kovalskaya, I. S. Shub, G. M. Melkin et al., *Technology of food production*, L. P. Kovalskaya, Ed. Moscow: Kolos, 1997 [in Russian].
- [5] S. Ye. Golyachuk, "Separation of grain masses using gravity forces", *Naukovi notatky*: intercollegiate coll., no 39, pp. 27-33. Luts'k, 2012 [in Ukrainian].
- [6] O. O. Dashkovsky, "Quality requirements and quality control of green peas preserved in accordance with DSTU 7165:2010", *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterinarynoi medytsyny ta biotekhnologii imeni S. Z. Gzhytskoho*, vol. 17, no. 3 (63), pp. 389-394, 2015 [in Ukrainian].
- [7] M. Ya. Dikis, and A. N. Malsky, *Technological equipment of canneries*, Moscow, 1969 [in Russian].
- [8] M. V. Khandiuk, "Improvement of the process of feeding and purification of green peas from impurities", in *III Int. Sci.-Pract. Conf. Innovative Aspects of Equipment Development of Food and Hotel Industry in Present Conditions*, Kharkiv: KhDUKhT, 2019, part 1, pp. 83-85 [in Ukrainian].
- [9] E. D. Sitnikov, and V. A. Kachanov, *Equipment of canneries*, Moscow: Leg. i pisch. prom-t, 1981 [in Russian].
- [10] V. A. Panfilov, *Technological lines of food production*, Moscow: Kolos, 1993 [in Russian].
- [11] V. A. Panfilov, *Machines and equipment for food production* (vol. 1). Moscow: Vysshaya shkola, 2001 [in Russian].
- [12] V. A. Panfilov, *Machines and equipment for food production* (vol. 2). Moscow: Vysshaya shkola, 2001 [in Russian].
- [13] Yu. G. Skrypnikov, and E. S. Gorenkov, *Equipment of enterprises for storage and processing of fruits and vegetables*, Moscow: Kolos, 1996 [in Russian].
- [14] M. S. Aminov, and E. M. Muradov, *Technological equipment of canneries and vegetable drying plants*, Moscow: Kolos, 2000 [in Russian].
- [15] V. A. Panfilov, and O. A. Urakov, *Technological lines of food production: creation of a technological stream*. Moscow: Pisch. prom-t, 1996 [in Russian].

M. V. Khandiuk, senior lecturer
Cherkasy State Technological University,
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

PURIFICATION OF GREEN PEA GRAINS FROM IMPURITIES

The process of feeding and purification of green peas from impurities is investigated. The existing scheme for raw material feeding and purification consists of a hydraulic conveyor, water separator, receiving hopper, air selector and inspection conveyor. It is proved that this scheme does not provide accurate dosing and uniform feeding of raw materials throughout the width of the working area of the air selector.

An advanced scheme for feeding and purifying green peas from impurities with new design solutions has been developed. The scheme for feeding and purification of green peas additionally includes a screw dispenser, and for uniform feed of the width of the working area of the air selector it is proposed to install a vibration selector. This will improve the quality of green peas purification from light, more volatile impurities, and reduce the cost of manual labor for operators.

A comparative analysis of the existing and improved schemes for feeding and purification of green pea grains from foreign impurities, which proved the effectiveness of the improved scheme, has been carried out.

The hardness of green pea grains and the percentage of broken and damaged green pea grains in jars are determined depending on the green pea grade. It has been proved that green peas of higher grade have lower hardness and lower percentage of broken and damaged grains, and those of table grade have higher hardness and higher percentage of broken and damaged grains.

The productivity of each green pea grade has been calculated and a comparative analysis of the productivity of each green pea grade on the lines before and after the improvement has been carried out. As a result of the research it is proved that: 1) there is a direct dependence of the quality of green pea purification on productivity; for green peas of the highest grade productivity is much higher than for green peas of table grade; 2) there is an increase in productivity of each grade of peas on the modernized lines (after improvement).

It has been proved that an improved scheme for feeding and purification of green peas from foreign impurities will improve the quality of cleaning green peas from light, more volatile raw materials, impurities, as well as reduce the cost of manual labor of operators. Accordingly, the number of operators working on the inspection conveyor will decrease and the quality of the canned goods will be improved.

Keywords: *hydraulic conveyor, water separator, auger dispenser, vibration selector, receiving hopper, air selector, inspection conveyor, hardness of green pea grains, percentage of broken and damaged green pea grains, productivity.*

УДК 621.9, 67.05

[0000-0003-4105-7794] **Р. М. Крейда**, асистент,

e-mail: r.kreida@chdtu.edu.ua

[0000-0001-9473-2285] **С. М. Мацепа**, асистент,

e-mail: s_matsepa@ukr.net

[0000-0002-9223-9013] **В. І. Гордієнко**, д.т.н., професор,

e-mail: valentyn.gord@gmail.com

[0000-0002-1836-1475] **М. В. Голуб**, асистент

e-mail: g.nikolay@ukr.net

Черкаський державний технологічний університет

б-р Шевченка, 460, 18006, м. Черкаси, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ РОТОРА ДЛЯ ПОПЛАВКОВОГО ГІРОСКОПА В УМОВАХ ВИРОБНИЦТВА

У статті представлено основні дані щодо технологічних можливостей приладобудівного виробництва виготовлення деталей для механічних гіроскопів. Наведено алгоритм виготовлення та надання необхідних властивостей поверхням деталей ротора гіроскопа, які виготовлено з алюмінієвих сплавів Д16 та В95. Представлено опис послідовності виготовлення із зазначенням інструменту та обладнання, які використовувалися в ході роботи. Проведено серію експериментів для визначення режимів різання твердосплавним та алмазним інструментом. Було визначено вплив подачі, швидкості та глибини різання, які забезпечують мінімальну шорсткість сферичної поверхні ротора поплавкового гіроскопа для конкретних умов обробки. Отримані в роботі результати можуть бути використані на виробництві, при проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей з алюмінієвих сплавів, які мають високоточні сферичні поверхні. Окрім того, отримано додаткове підтвердження впливу радіусу округлення головної різальної кромки на шорсткість обробленої поверхні.

Ключові слова: приладобудування, гіроскоп механічний, чашка ротора, поплавковий гіроскоп, фінішна обробка, шорсткість поверхні.

Вступ. Виготовлення навігаційних приладів і систем є принципово важливим і пріоритетним напрямом у сучасному приладобудуванні.

Існуючі технології дозволяють виготовити гіроскопи різних габаритів і ваги, а технологічна спадковість способу обробки визначає точність та експлуатаційний ресурс приладу.

Межа експлуатаційної надійності механічного гіроскопу [1] обумовлена вибором матеріалу, інструментом технологічного середовища його виготовлення, конструкцією [2].

Технології фінішної механічної обробки [3] мають свою специфіку та індивідуальність. До них відносять тонке алмазне точіння та полірування.

Тонке точіння забезпечує отримання поверхонь правильної геометричної форми при високій продуктивності обробки. Воно характеризується малими припусками на обробку (0.01 – 0.3 мм), малими подачами (0.01 – 0.1 мм/об) та високими швидкостями

різання (300 – 700 м/хв). Така обробка в лабораторних умовах дозволяє досягти 1-2 класу точності та 8-11 класу шорсткості. Однак, в реальних виробничих умовах забезпечити показники вказаних точності та шорсткості складно, що пов'язано з рядом факторів. До таких технологічних факторів належать:

- жорсткість системи верстат–присосування–інструмент–деталь (ВППД);
- вибраний матеріал заготовки;
- вид різця, марка інструментального матеріалу та його форма;
- склад змащувально-охолоджуючої рідини (ЗОР) тощо.

Мета дослідження. Дослідити вплив інструменту механічного різання з твердосплавного матеріалу та алмазу на алюмінієві сплави Д16 та В95 при формуванні сферичних поверхонь ротора поплавкового гіроскопа в умовах виробництва.

Задачі:

1. Запропонувати послідовність виготовлення ротора поплавкового гіроскопа з

наданням необхідних властивостей основним сферичним поверхням.

2. Визначити оптимальні режими на чорновій та чистовій стадіях обробки, що приводять до мінімальної шорсткості на сферичних поверхнях.

Аналіз останніх досліджень. Незважаючи на кількість робіт щодо оптимізації режимів і процесів обробки, вдосконалення технологічних методів для підвищення експлуатаційних якостей продукції залишається актуальною задачею. Так, у роботі [4] автори застосовують метод Тагучі для пошуку оптимальних значень подачі, швидкості та глибини різання з точки зору максимальної продуктивності при мінімальній шорсткості поверхні. Попок та ін. [5] у своїй роботі розглянули схеми зняття припуску при точінні сферичних та конічних поверхонь. Також вони визначили умови обробки та геометрію інструменту при яких забезпечується мінімальне тепловиділення. В роботі [6] автори дослідили вплив вставок різної форми в державки розточного токарного різця на шорсткість обробленої поверхні. Степанов у своїй роботі [7] відмітив, що домінуючий вплив на формування шорсткості поверхні має радіус округлення головної різальної кромки, подача і амплітуда радіальних коливань між інструментом і заготовкою. Так, збільшення радіуса округлення з 13 до 50 мкм, призводить до збільшення параметра Ra з 0,18 до 0,55 мкм. В роботі [8] досліджено співвідношення між шорсткістю поверхні, умовами обробки та силою різання. Відмічається, що шорсткість стає нижчою при зменшенні подачі та глибини різання і збільшенні швидкості різання і радіусу вершинки різця. Мається на увазі, що шорсткість поверхні можливо прогнозувати за силами різання, які виникають в процесі точіння алюмінієвих сплавів.

На практиці, при визначенні режимів різання для забезпечення необхідної шорсткості поверхні, технологи часто обмежуються розрахунковим значенням висоти залишкових гребінців, які залежать від форми різця і подачі [9]. Такий метод дає приблизні результати і може використовуватись лише для попередніх розрахунків. Для більш точного прогнозування шорсткості користуються емпіричними моделями, які залежать від багатьох технологічних факторів. Однак для їх визначення необхідно проводити велику кількість експериментальних робіт.

Таким чином, дослідження впливу інструментального матеріалу на матеріал заготовки при конкретних умовах обробки, є актуальною науковою задачею.

Виклад основного матеріалу. Для визначення впливу технології обробки та режимів різання на якість сферичних поверхонь ротора поплавкового гіроскопа було проведено ряд експериментів, які проводились на високопрецизійному токарному верстаті 842Mi швейцарської фірми SCHAUBLIN MACHINES SA. В якості різців для точіння сфер використовувались державки A16M SVLCR07 компанії DENTOOL (Швейцарія). Під час обробки використовувалась ЗОР марки Blasocut 2000 Universal (Швейцарія). Робота виконувалась в послідовності, представлений на рис. 1.



Рисунок 1 – Спрощена схема виготовлення ротора з алюмінієвих сплавів Д16 та В95 за заданою шорсткістю

Оброблялись заготовки круглого сортового прокату, порізані на мірні частини. Деталі оброблялись методом послідовного приближення профілю заготовки до дійсних розмірів деталі з міжопераційною термообробкою, яка проводилась згідно з ГОСТ 17535-77 за режимами Т1-Т3. Перед механічною обробкою заготовки зі сплавів Д16 та В95 піддавались гартуванню до твердості 142-148 HV та 180-183 HV відповідно для покращення їх механічних властивостей. Зміна форми заготовок відбувалась механічним різанням (різцями) чорновим та чистовим способами.

При чорновій обробці використовувався розточний різець з пластинкою (шифр VCGT 070204-25) з твердого сплаву з покриттям DX30 (рис. 2), компанії DENITool (Швейцарія). Контроль форми та розмірів проводився універсальними вимірювальними приладами. При напівчистовій та чистовій механічній обробці використовувався розточний різець із закріпленою пластинкою (шифр VCGW 070202 CB-P) з розміщенням на кінці алмазним зерном CVD (рис. 3), фірми DTS GmbH (Німеччина). Під час обробки використовувалась функція контролю швидкості різання на поверхні G96 з обмеженням максимальної частоти обертання до 4000 об/хв. Вибір оптимальних режимів різання проводився з наступних діапазонів: швидкість різання $V_{\text{різ}} = 150\text{--}600$ м/хв, глибина різання $t = 0.01\text{--}0.05$ мм, подача S приймалась $0.01\text{--}0.07$ мм/об. Після напівчистової та чистової механічної обробки контроль форми та розмірів проводився на координатно-вимірювальній машині Axion too HS, компанії Aberlink (Великобританія). Полірування сферичної поверхні проводилось вручну (без зміни форми поверхні) за допомогою пасті ГОИ №3 ТУ 6-18-36-85, матеріал полірувальника: войлок, бязь технічна. Припуск на полірування складав менше 1 мкм.

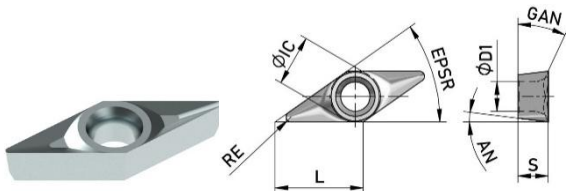


Рисунок 2 - Пластика VCGT 070204-25 DX30 [10]

RE – 0.4 мм, IC – 3.97 мм, L – 6.92 мм,
EPSR – 35.0°, AN – 7.0°, S – 2.38 мм, D1 – 2.3 мм,
GAN – 25.0°

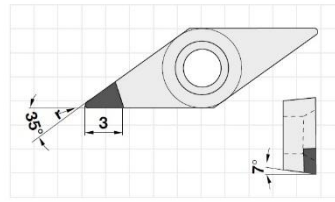


Рисунок 3 – Пластика VCGW 070202 CB-P CVD [11]

Після напівчистової та чистової механічної обробки, а також після полірування проводилося вимірювання поздовжньої шорсткості в трьох перерізах. Для цього використовувався портативний вимірювач шорсткості моделі Time 3221 (рис. 4), компанії TIME Group Inc. (КНР).



Рисунок 4 – Портативний вимірювач шорсткості Time 3221

Матеріал вимірювального пера – алмазна голка з кутом при вершині 90° і радіусом 5 мкм. Для вимірювання шорсткості була вибрана довжина оцінки 0.8 мм зі стандартного переліку довжин, які запропоновані розробником. На вибраній довжині щуп рухався з постійною швидкістю 0.5 мм/с.

Для вимірювання шорсткості профілометр закріплювався на стійку для зручності регулювання кута нахилу приладу. Деталь, в свою чергу, закріплювалася на шпильку, затиснуту в лещатах. Останні установлювались на інструментальний мікроскоп для мікрометричного регулювання положення дослідного зразка відносно вимірювального приладу. Плавним регулюванням вертикального положення деталі щуп профілометра торкався поверхні, що досліджувалась.

На рисунку 5 показана залежність шорсткості від подачі отримана за результатами теоретичних розрахунків та за результатами вимірювання шорсткості сферичної поверхні з матеріалу Д16, обробленої при постійній швидкості різання $V_{\text{різ}}=300$ м/хв, глибині різання $t=0,25$ мм, вильоті різця $L=45$ мм. Подача ЗОР відбувалась внутрішньо (через різець). Теоретичний розрахунок шорсткості проводився за формулою Чебишева:

$$R_z = \frac{S^2}{8r}, \quad (1)$$

де R_z – висота нерівності профіля по десяти точках, мкм;

S – подача, мм/об;

r – радіус вершинки різця.

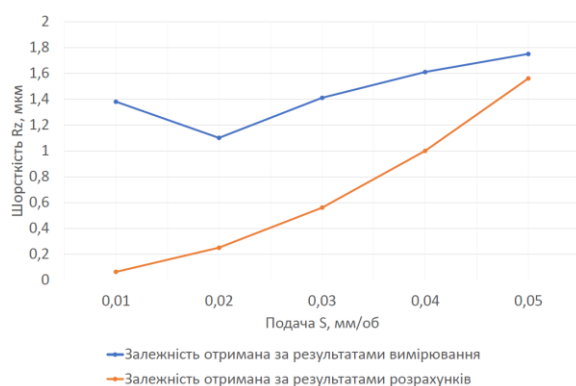


Рисунок 5 – Залежність шорсткості від подачі

Вимірювання шорсткості сферичної поверхні, обробленої алмазним інструментом при тонкому точінні на різних режимах, показали значний вплив подачі та незначний вплив швидкості та глибини різання. При

цьому висота мікронерівності R_z зменшувалася при зменшенні подачі до $S=0,02$ мм/об. Подальше ж зменшення подачі призводило до погіршення якості поверхні. Це пояснюється відсутністю стабільного процесу різання через досягнення критичної товщини шару металу, що зрізається. Наявність радіусу округлення головної різальної кромки призводить до підминання металу (надирів), тобто погіршення шорсткості поверхні.

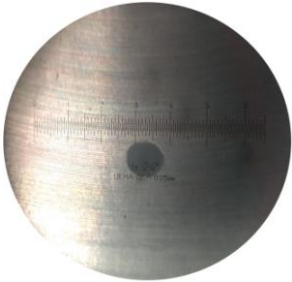
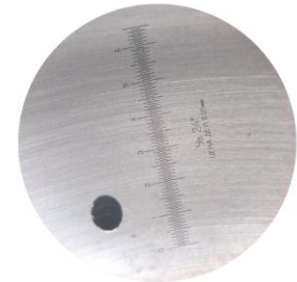
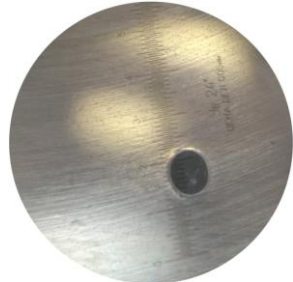
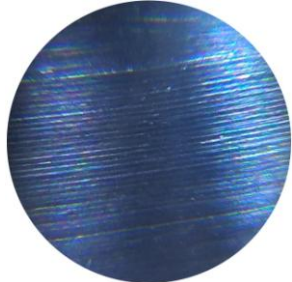
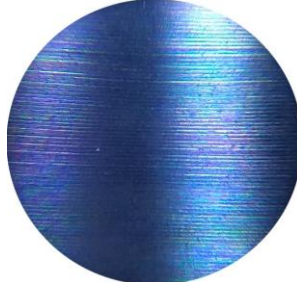
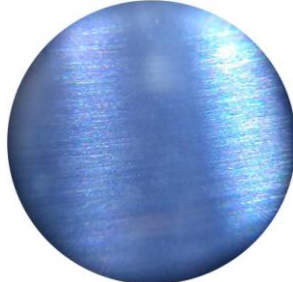
Виходячи з технологічних можливостей підприємства за методикою, запропонованою в [12], була розроблена блок-схема виготовлення ротора, представлена на рис. 6.



Рисунок 6 – Блок-схема виготовлення ротора з алюмінієвих сплавів Д16 та В95 за заданою шорсткістю

За результатами експериментальних досліджень було зроблено висновки щодо оптимальних режимів обробки деталі на кожній операції. Їх значення, результати вимірювання шорсткості та фото сферичної поверхні представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Оптимальні режими обробки, результати вимірювання шорсткості та фото поверхні

Інструментальний матеріал	VCGT 07020425 DX30, DENITool, Швейцарія	VCGW 070202 CB-P CVD, DTS GmbH, Німеччина		Паста ГОИ №3 ТУ 6-18-36-85
Режими обробки	$V_{різ}=200$ м/хв $S=0.06$ мм/об	$V_{різ}=300$ м/хв $S=0.02$ мм/об		$n=1000$ об/хв
Матеріал заготовки	Д16	Д16	В95	Д16
Шорсткість R_a , мкм	0,45	0,28	0,33	0,168
	0,488	0,26	0,36	0,139
	0,38	0,29	0,35	0,151
Середнє значення R_a , мкм	0,439	0,276	0,346	0,153
Сферична поверхня ротора				
Збільшення 24х				
Збільшення 60х				

Висновки:

1. Розроблено та адаптовано до умов виробництва алгоритм і технологічну послідовність виготовлення ротора поплавкового гіроскопа.

2. Досліджено та визначено режими обробки при точінні сферичних поверхонь ротора із алюмінієвих сплавів твердосплавним інструментом, яким досягається шорсткість поверхні $R_a=0,439$ мкм, при точінні Д16,

© Р. М. Крейда, С. М. Мацєпа, В. І. Гордієнко, М. В. Голуб, 2020
DOI: 10.24025/2306-4412.2.2020.198240

та алмазним інструментом, шорсткість $R_a=0,276$ мкм, при точінні Д16 та $R_a=0,346$ мкм, при точінні В95.

3. Вимірювання шорсткості сферичної поверхні на матеріалі Д16 обробленій пластинкою із синтетичного алмаза VCGW 070202 CB-P CVD показали, що висота мікронерівності зменшується зі зменшенням подачі до 0,02 мм/об.

Список використаних джерел

- [1] В. В. Аврутов, и Н. И. Бурау, *Надежность и диагностика приборов и систем: учеб. пособие*. Киев: НТУУ «КПИ», 2014.
- [2] К. П. Андрейченко, *Динамика поплавок-вых гироскопов и акселерометров*. Москва: Машиностроение, 1987.
- [3] Ф. В. Новіков, та І. О. Рябенков, *Фінішна обробка деталей різанням: монографія*. Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2016.
- [4] M. K. Singh, D. Chauhan, M. K. Gupta, and A. Diwedi, "Optimization of process parameters of aluminum alloy (Al-6082 T-6) machined on CNC lathe machine for low surface roughness", *Journal of Material Sciences & Engineering*, 4, p. 202, 2015.
- [5] Н. Н. Попок, Р. С. Хмельницкий, и В. С. Анисимов, "Особенности обработки сферических и конических поверхностей деталей на токарных станках с ЧПУ", *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 1 (32), с. 109-121, 2017.
- [6] В. А. Рогов, и П. С. Белов, "Исследование влияния режимов резания при тонком точении на качество поверхности", *Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования*, № 4, 2012.
- [7] С. Н. Степанов, "Обеспечение шероховатости обработанной поверхности при тонком алмазном точении алюминиевых сплавов", автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.08 "Технология машиностроения", Санкт-Петербург, 1994.
- [8] A. Chaijareenont, and S. Tangjitsitharoen, "Monitoring of surface roughness in aluminium turning process", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 303, 2018.
- [9] В. К. Нгуен, "Повышение эффективности точения фасонных деталей", дис. канд. техн. наук: спец. 05.02.08 "Технология машиностроения", Тула, 2013.
- [10] <https://store.denitool.com/store/vcgt-070204-25-dx30/>
- [11] https://diamond-toolingsystems.com/wp-content/uploads/Katalog-PKD-PCD-CVD-WSPL-WEB_2018.pdf?pdf=katalog-pkd-pcd-cvd-wspl-web_2018
- [12] А. М. Дальский, А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков, и А. Г. Суслов, *Справочник технолога-машиностроителя: в 2*

т. Т. 1. 5-е изд., испр. Москва: Машиностроение-1, 2003.

References

- [1] V. V. Avrutov, and N. I. Burau, *Reliability and diagnostics of devices and systems: textbook*. Kiev: NTUU "KPI", 2014 [in Russian].
- [2] K. P. Andrejchenko, *Dynamics of float gyroscopes and accelerometers*. Moscow: Mashinostroenie, 1987 [in Russian].
- [3] F. V. Novikov, and I. O. Ryabenkov, *Finishing processing of details by cutting: monograph*. Kharkiv: KhNEU im. S. Kuznet-sya, 2016 [in Ukrainian].
- [4] M. K. Singh, D. Chauhan, M. K. Gupta, and A. Diwedi, "Optimization of process parameters of aluminum alloy (Al-6082 T-6) machined on CNC lathe machine for low surface roughness", *Journal of Material Sciences & Engineering*, 4, p. 202, 2015.
- [5] N. N. Popok, R. C. Khmelnsky, and V. S. Anisimov, "Features of processing of spherical and conical parts surfaces on CNC lathes", *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta*, no. 1 (32), pp. 109-121, 2017 [in Russian].
- [6] V. A. Rogov, and P. S. Belov, "Investigation of the influence of cutting conditions during thin turning on surface quality", *Vestnik RUDN, Seriya: Inzhenernyie issledovaniya*, no. 4, 2012 [in Russian].
- [7] S. N. Stepanov, "Providing the roughness of machined surface with thin diamond turning of aluminum alloys", Ph.D. thesis: spec. 05.02.08 "Mechanical engineering technology", St. Petersburg, 1994 [in Russian].
- [8] A. Chaijareenont, and S. Tangjitsitharoen, "Monitoring of surface roughness in aluminium turning process", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 303, 2018.
- [9] V. K. Nguyen, "Improving the efficiency of turning shaped parts", Ph.D. thesis: spec. 05.02.08 "Mechanical engineering technology", Tula, 2013 [in Russian].
- [10] <https://store.denitool.com/store/vcgt-070204-25-dx30/>
- [11] https://diamond-toolingsystems.com/wp-content/uploads/Katalog-PKD-PCD-CVD-WSPL-WEB_2018.pdf?pdf=katalog-pkd-pcd-cvd-wspl-web_2018

[12] A. M. Dalsky, A. G. Kosilova, R. K. Meshcheryakov, and A. G. Suslov, *Handbook of technological engineer*: in 2 vols. Vol. 1. 5th

ed., cor. Moscow: Mashinostroenie-1, 2003 [in Russian].

R. M. Kreida, assistant lecturer,
e-mail: r.kreida@chdtu.edu.ua

S. M. Matsepa, assistant lecturer,
e-mail: s_matsepa@ukr.net

V. I. Gordienko, D.Tech.Sc., professor,
e-mail: valentyn.gord@gmail.com

M. V. Golub, assistant lecturer
e-mail: g.nikolay@ukr.net

Cherkasy State Technological University,
Shevchenko blvd, 460, Cherkasy, 18006, Ukraine

PECULIARITIES OF MANUFACTURE OF A ROTOR FOR FLOAT GYROSCOPE IN THE PRODUCTION CONDITIONS

The problem of ensuring the performance of high-precision parts of navigation systems, while forming their surfaces by turning, has become extremely urgent today. The use of wide-ranging numerically controlled machine tools for precision spherical surfaces is promising, provided the required shape accuracy and roughness are required. Practical experience with the use of synthetic single-crystal interchangeable diamond plates has shown the need to find technological solutions related to reducing the surface roughness under certain conditions. The article presents the basic data on the technological capabilities of instrument production of manufacturing the parts for mechanical gyroscopes. The algorithm and technological sequence of manufacturing and providing the necessary properties to the surfaces of gyroscope rotor parts made of D16 and B95 aluminum alloys are presented. A description of the manufacturing sequence is given, indicating the tools and equipment used during the operation. A detailed description of geometric parameters of the variable plates with the indication of manufacturers is given. A series of experiments has been conducted to determine the cutting modes by carbide and diamond tools. The influence of flow, speed and depth of cutting have been determined to ensure the minimum roughness of spherical surface of float gyroscope rotor for specific processing conditions. The results of the roughness measurements after polishing the surface obtained with diamond sharpening are presented. The results obtained can be used in the production, in the design of technological processes for the manufacture of parts made of aluminum alloys which have high-precision spherical surfaces. In addition, additional confirmation of the influence of the radius of rounding of the main cutting edge on the roughness of the machined surface has been obtained.

Keywords: instrumentation, mechanical gyroscope, rotor cup, float gyroscope, finishing, surface roughness.