

# МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ «ІНТЕРНАУКА»

ISSN 2520-2057 (print)  
ISSN 2520-2065 (online)

INTERNATIONAL  
SCIENTIFIC JOURNAL  
«INTERNAUKA»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
«ИНТЕРНАУКА»



№ 1 (101) / 2021  
1 ТОМ



**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ  
«ІНТЕРНАУКА»**

**INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL  
«INTERNAUKA»**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
«ИНТЕРНАУКА»**

*Свідоцтво  
про державну реєстрацію  
друкованого засобу масової інформації  
КВ № 22444-12344ПР*

*Збірник наукових праць*

№ 1 (101)

1 том

Київ 2021



Повний бібліографічний опис всіх статей Міжнародного наукового журналу «Інтернаука» представлено в: **Index Copernicus International (ICI); Polish Scholarly Bibliography; ResearchBib; Turkish Education Index; Наукова періодика України.**

Журнал зареєстровано в міжнародних каталогах наукових видань та наукометричних базах даних: **Index Copernicus International (ICI); Ulrichsweb Global Serials Directory; Google Scholar; Open Academic Journals Index; Research-Bib; Turkish Education Index; Polish Scholarly Bibliography; Electronic Journals Library; Staats- und Universitätsbibliothek Hamburg Carl von Ossietzky; InfoBase Index; Open J-Gate; Academic keys; Наукова періодика України; Bielefeld Academic Search Engine (BASE); CrossRef.**

В журналі опубліковані наукові статті з актуальних проблем сучасної науки.

Матеріали публікуються мовою оригіналу в авторській редакції.

Редакція не завжди поділяє думки і погляди автора. Відповідальність за достовірність фактів, імен, географічних назв, цитат, цифр та інших відомостей несуть автори публікацій.

У відповідності із Законом України «Про авторське право і суміжні права», при використанні наукових ідей і матеріалів цієї збірки, посилання на авторів та видання є обов'язковими.

**Редакція:**

Головний редактор: **Коваленко Дмитро Іванович** — кандидат економічних наук, доцент (Київ, Україна)  
Випускаючий редактор: **Золковер Андрій Олександрович** — кандидат економічних наук, доцент (Київ, Україна)  
Секретар: **Колодич Юлія Ігорівна**

**Редакційна колегія:**

Голова редакційної колегії: **Камінська Тетяна Григорівна** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)  
Заступник голови редакційної колегії: **Курило Володимир Іванович** — доктор юридичних наук, професор, заслужений юрист України (Київ, Україна)  
Заступник голови редакційної колегії: **Тарасенко Ірина Олексіївна** — доктор економічних наук, професор (Київ, Україна)

**Розділ «Технічні науки»:**

Член редакційної колегії: **Бєліков Анатолій Серафимович** — доктор технічних наук, професор (Дніпро, Україна)  
Член редакційної колегії: **Луценко Ігор Анатолійович** — доктор технічних наук, професор (Кременчук, Україна)  
Член редакційної колегії: **Мельник Вікторія Миколаївна** — доктор технічних наук, професор (Київ, Україна)  
Член редакційної колегії: **Наумов Володимир Аркадійович** — доктор технічних наук, професор (Калінінград, Російська Федерація)  
Член редакційної колегії: **Румянцев Анатолій Олександрович** — доктор технічних наук, професор (Краматорськ, Україна)  
Член редакційної колегії: **Сергейчук Олег Васильович** — доктор технічних наук, професор (Київ, Україна)  
Член редакційної колегії: **Чабан Віталій Васильович** — доктор технічних наук, професор (Київ, Україна)  
Член редакційної колегії: **Аль-Абабнех Хасан Алі Касем** — кандидат технічних наук (Амман, Йорданія)  
Член редакційної колегії: **Артюхов Артем Євгенович** — кандидат технічних наук, доцент (Суми, Україна)  
Член редакційної колегії: **Баширбейлі Адалат Ісмаїл** — кандидат технічних наук, головний науковий спеціаліст (Баку, Азербайджанська Республіка)  
Член редакційної колегії: **Кабулов Нозімжон Абдукаримович** — кандидат технічних наук, доцент (Республіка Узбекистан)  
Член редакційної колегії: **Коньков Георгій Ігорович** — кандидат технічних наук, професор (Київ, Україна)  
Член редакційної колегії: **Кузьмін Олег Володимирович** — кандидат технічних наук, доцент (Київ, Україна)  
Член редакційної колегії: **Почужевский Олег Дмитрович** — кандидат технічних наук, доцент (Кривий Ріг, Україна)  
Член редакційної колегії: **Саньков Петро Миколайович** — кандидат технічних наук, доцент (Дніпро, Україна)

**Розділ «Біологічні науки»:**

Член редакційної колегії: **Сенотрсова Світлана Валентинівна** — доктор біологічних наук, доцент (Москва, Російська Федерація)  
Член редакційної колегії: **Федоненко Олена Вікторівна** — доктор біологічних наук, професор (Дніпро, Україна)  
Член редакційної колегії: **Базаров Бахрідін Махаммадійович** — кандидат біологічних наук, доцент (Самарканд, Узбекистан)  
Член редакційної колегії: **Ісмаїлова Мархамат Абдірашидівна** — кандидат біологічних наук, доцент (Самарканд, Узбекистан)  
Член редакційної колегії: **Маренков Олег Миколайович** — кандидат біологічних наук, доцент (Дніпро, Україна)

**Розділ «Педагогічні науки»:**

Член редакційної колегії: **Кузава Ірина Борисівна** — доктор педагогічних наук, доцент (Луцьк, Україна)

Член редакційної колегії: **Мулик Катерина Віталіївна** — доктор педагогічних наук, доцент (Харків, Україна)

Член редакційної колегії: **Лігоцький Анатолій Олексійович** — доктор педагогічних наук, професор (Київ, Україна)

Член редакційної колегії: **Рибалко Ліна Миколаївна** — доктор педагогічних наук, професор (Полтава, Україна)

Член редакційної колегії: **Остапівська Ірина Ігорівна** — кандидат педагогічних наук, доцент (Луцьк, Україна)

ЗМІСТ  
CONTENTS  
СОДЕРЖАНИЕ

## БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

- Крайнюков Олексій Миколайович, Кривицька Іветта Анатоліївна,  
Єрмолова Даніела Романівна  
ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕТОКСИКАЦІЇ БУРОВОГО ШЛАМУ ПРИ РІЗНИХ  
ЗНАЧЕННЯХ рН..... 7

## ПЕДАГОГІЧНІ НАУКИ

- Смовженко Людмила Григорівна  
ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ Й ПРИЙОМІВ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ СТУДЕНТІВ ..... 10

## ТЕХНІЧНІ НАУКИ

- Liubchik Gennadii, Fialko Nataliia, Regragui Aboubakr,  
Meranova Nataliia, Sherenkovskii Julii, Navrodskaia Raisa  
BASIC POSITIONS OF THE ENTHALPY-ENTROPY METHODOLOGY OF THERMODYNAMIC  
ANALYSIS OF GAS TURBINE POWER PLANTS ..... 17
- Бергулев Антон Сергеевич  
МАГНИТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ КОСМОСА (ПОЛНАЯ ВЕРСИЯ)..... 21
- Золотовська Олена Володимирівна  
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СКЛАДУ ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПІРОЛІЗНОГО ГАЗУ..... 28
- Молдабаева Гульназ Жаксылыковна, Сулейменова Райхан Таупиховна,  
Тузелбаева Шолпан Рыскулбеккызы, Табилов Мухаммед Берикович,  
Пак Леонид Александрович  
АНАЛИЗ РАЗРАБОТКИ ИСТОЩЕННЫХ НЕФТЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА, ПОВЫШЕНИЕ ИХ КОНЕЧНОЙ НЕФТЕОТДАЧИ ..... 32
- Нуянзін Олександр Михайлович, Зазимко Олександр Віталійович,  
Ратушний Олексій Вікторович, Онищук Андрій Євгенійович  
ЗГОРЯННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ЯК ПРОФЕСІЙНИЙ ЧИННИК РИЗИКУ  
ДЛЯ ЗДОРОВ'Я ПОЖЕЖНИКІВ-РЯТУВАЛЬНИКІВ ..... 37
- Нуянзін Олександр Михайлович, Самченко Тарас Васильович,  
Бедратюк Ольга Іванівна, Алімов Богдан Олександрович  
АНАЛІЗ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ CFD ТА FEM З ЇХНЬОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ ..... 40
- Павлюченко Олена Станіславівна, Неміріч Олександра Володимирівна,  
Устименко Ігор Миколайович, Кравчук Світлана Віталіївна  
ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ПРАКТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЦЕПТУРНОГО СКЛАДУ  
ЕМУЛЬСІЙНОГО НАПІВФАБРИКАТУ ДЛЯ СОУСІВ ..... 45

---

<b>Савельев Максим Александрович</b> ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ COVID-19 .....	49
<b>Середюк Марія Дмитрівна</b> ГАЗОДИНАМІЧНІ РЕЖИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОВИХ МЕРЕЖ НИЗЬКОГО ТИСКУ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ГАЗО-ВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ .....	52
<b>Стукальська Наталія Миколаївна, Кузьмін Олег Володимирович, Хабенець Ольга Вікторівна, Лисенко Михайло Миколайович</b> УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНИХ ЗАКУСОК НА ОСНОВІ ХУМУСУ В ЗАКЛАДАХ РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА.....	63
<b>Ткаченко Олександр Миколайович, Комаров Володимир Леонідович</b> РОБОТА З ПРОТОКОЛОМ ETHERNET МОВОЮ ПРОГРАМУВАННЯ GOLANG .....	70
<b>Фиалко Наталия Михайловна, Степанова Алла Исаевна, Навродская Раиса Александровна, Меранова Наталия Олеговна, Шевчук Светлана Ивановна</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТРИЧНЫХ БАЛАНСОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ .....	74
<b>Фурманова Юлія Петрівна, Павлюченко Олена Станіславівна, Курінна Мар'яна Володимирівна, Сірик Вадим Вікторович</b> ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БОРОШНА СПЕЛЬТИ У ТЕХНОЛОГІЇ БОРОШНЯНИХ ВИРОБІВ.....	78

УДК 574.64:504.064

**Крайнюков Олексій Миколайович**

*доктор географічних наук, професор,  
професор кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна*

**Крайнюков Алексей Николаевич**

*доктор географических наук, профессор,  
професор кафедры экологической безопасности и экологического образования  
Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина*

**Krainiukov Oleksii**

*Doctor of Geographical Sciences, Professor  
V.N. Karazin Kharkiv National University*

**Кривицька Іветта Анатоліївна**

*кандидат біологічних наук,  
доцент кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна*

**Кривицкая Иветта Анатольевна**

*кандидат биологических наук,  
доцент кафедры экологической безопасности и экологического образования  
Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина*

**Kryvytska Ivetta**

*PhD, Associate Professor  
V.N. Karazin Kharkiv National University*

**Єрмолова Даниєла Романівна**

*студентка  
Навчально-наукового інституту екології  
Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна*

**Ермолова Даниэла Романовна**

*студентка  
Учебно-научного института экологии  
Харьковского национальноуниверситета имени В.Н. Каразина*

**Yermolova Daniela**

*Student Karazin Research Institute of Environmental Sciences  
V.N. Karazin Kharkiv National University*

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕТОКСИКАЦІЇ  
БУРОВОГО ШЛАМУ ПРИ РІЗНИХ ЗНАЧЕННЯХ рН  
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕТОКСИКАЦИИ  
БУРОВОГО ШЛАМА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ рН  
EVALUATION OF EFFICIENCY OF DETOXIFICATION  
OF DRILL SLUDGE AT DIFFERENT рН VALUES**



**Анотація.** Найбільш ефективною для детоксикації бурових шламів є технологія капсулювання діоксиду кремнію із використанням силікату натрію і додецилсульфату натрію та активного мулу в якості структуратора при значенні рН в діапазоні 4–5 для даної суміші. Даний підхід дозволяє отримувати не токсичний субстрат, який можливо використовувати для різних господарських цілей.

**Ключові слова:** буровий шлам, детоксикація, вуглеводні, фітотоксичність.

**Аннотация.** Наиболее эффективной для детоксикации буровых шламов является технология капсулирования диоксида кремния с использованием силиката натрия и додецилсульфата натрия и активного ила в качестве структуратора при значении рН в диапазоне 4–5 для данной смеси. Данный подход позволяет получать не токсичный субстрат, который можно использовать для различных хозяйственных целей.

**Ключевые слова:** буровой шлам, детоксикация, углеводороды, фитотоксичность.

**Summary.** The most effective for the detoxification of drilling mud is the technology of encapsulation of silicon dioxide using sodium silicate and sodium dodecyl sulfate and activated sludge as a structurant at a pH value in the range of 4–5 for this mixture. This approach allows to obtain a non-toxic substrate that can be used for various economic purposes.

**Key words:** drilling mud, detoxification, hydrocarbons, phytotoxicity.

**Актуальність проблеми.** На даний час загальний обсяг буріння нафтогазових свердловин в Україні щорічно збільшується. Паралельно збільшується і кількість відходів буріння. Поряд з ними за попередні роки накопичено велику кількість відходів, які чинять негативний вплив на всі компоненти навколишнього середовища. Тому актуальною є розробка нових способів утилізації бурових відходів. Буровий шлам — суміш вибуренної породи і бурового розчину, що видаляється з циркуляційної системи бурової різними очисними пристроями. Буріння нафтових і газових свердловин пов'язане з утворенням великої кількості бурового шламу, який чинить значний токсичний вплив на навколишнє середовище. Буровий шлам складається з подрібненої гірської породи та хімічних реагентів, які входять до складу бурового розчину [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ключовими факторами, що визначають напрямок утилізації бурових шламів, є їх склад і фізико-хімічні властивості [2]. Взаємодія бурових розчинів з вибуренною породою багато в чому визначає ступінь токсичності бурових шламів, утворених в ході буріння свердловин. В даний час проблема мінімізації втрати бурових розчинів з шламом вирішується застосуванням високотехнологічних установок, найчастіше, це різні центрифуги, які осушують шлам, запобігаючи при цьому потрапляння токсичних речовин, що входять до складу бурових розчинів, в навколишнє середовище. Пріоритетним напрямком нейтралізації шламу є їх затвердіння за рахунок перетворення в інертну консолідовану масу і зв'язування в її структурі забруднюючих речовин, що виключає міграцію їх за межі отвержденного розчину. В якості таких розчинів пропонуються мінеральні добавки, такі як: окис алюмінію, рідке скло, хлорид заліза і ін. [3].

**Мета роботи** — визначити оптимальний діапазон значень рН, при яких забезпечується ефективна інкапсуляція забруднювача та зниження фітотоксичних властивостей бурового шламу.

**Методи дослідження.** Для визначення фітотоксичності бурових шламів було використано насіння вищих рослин (*Raphanus sativus* L., *Zea mays* L., *Avena sativa* L.) [4].

Критерієм токсичності є зниження на 20 і більше відсотків довжини проростків і (або) коренів рослин у досліді порівняно з контролем за 96 год біотестування.

**Виклад основного матеріалу.** Задля лабораторних експериментальних досліджень було використано бурові шлами, які зберігаються на спеціалізованому полігоні твердих промислових відходів, який розташовано за адресою: сел. Смирнівка, Лозівського району, Харківської області.

Буровий шлам може використовуватися в якості сировини для виготовлення будівельних матеріалів, наприклад для виробництва теплоізоляційного матеріалу, що включає високотемпературне волокно, вогнетривку глину і поліакриламід. Для підвищення міцності і морозостійкості бетону в бетонну суміш рекомендується вводити нафтової шлам в кількості 1,5–2,5%.

Крім того, він застосовується в складі шихти для виробництва фасадної плитки і при виготовленні мінераловатних плит, що дозволяє забезпечити гідрофобність виробів і зниження їх об'ємної маси. Буровий шлам знаходить застосування також для виробництва цегли і керамзиту. Буровий шлам може використовуватися не тільки в якості бітумного сполучного, а й в якості модифікаторів при виробництві гідроізоляційної мастики [5].

Бурові шлами, через значне вмісту нафтопродуктів, відносяться до вторинних матеріальних ресурсів. Використання їх в якості сировини є одним з раціональних способів утилізації, так як при цьому досягається певний екологічної та економічний ефект [5].

В даному дослідженні для детоксикації було застосовано метод капсулювання діоксиду кремнію із використанням силікату натрію ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ )

і додецилсульфату натрію ( $\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$ ) і в якості структуратора активного мулу. Метод капсулювання діоксиду кремнію (КДК) полягав в наступному: інкапсулюючий розчин було виготовлено з використанням силікату натрію в якості основного компонента і синтетичної поверхнево-активної речовини (додецилсульфат натрію). Використовувалося співвідношення розчину задля обробки 1:2 [3], як більш оптимальне задля детоксикації бурового шламу, для силікату натрію і додецилсульфату натрію відповідно,  $1 \text{ дм}^3$  розчину силікату натрію ( $500 \text{ см}^3$ ) і додецилсульфат натрію ( $500 \text{ см}^3$ ) було виготовлено разом в змішаному обсязі. Це було зроблено шляхом створення оптимізованої концентрації силікату натрію 7% мас./об. і 7% мас./об. додецилсульфату натрію для забезпечення співвідношення 1:1 в обсязі  $1 \text{ дм}^3$ . Вибір поверхнево-активної речовини був заснований на його здатності до біологічного розкладання і аніонної природи. Силікатний розчин певної концентрації (1 л) вносили до 1 кг суміші бурового шламу та структуратора і перемішували мішалкою. Всі зразки протягом 7 діб було витримано у термолюміностації при  $25^\circ\text{C}$  і вологості 70%.

Для проведення експериментальних досліджень значення рН для суміші структуратора та бурового шламу штучно варіювалось в наступних діапазонах: 2–3; 3–4; 4–5; 5–6; 6–7; 8–9; 9–10.

В результаті проведених досліджень, найбільш оптимізованим для використання з досліджуваних діапазонів значень рН є зразок суміші бурового

шламу та активного мулу, який має значення рН 4–5. Даний зразок суміші не виявив фітотоксичних властивостей.

Визначений як оптимальний діапазон рН — 4–5 узгоджується з попередніми дослідженнями [6], де повідомлялося, що інкапсуляція вуглеводнів та металів діоксидом кремнію є більш ефективною при низькому рівні кислотності рН. Кремнезем не розчиняється в кислому діапазоні рН, що дозволяє йому випадати в осад при такому рН, забезпечуючи тим самим ефективну інкапсуляцію забруднювача, на відміну від лужних розчинів, де він стабільний. Це пояснює знижену ефективність процесу інкапсуляції при лужних значеннях рН. Отже, виявляється важливість використання поверхнево-активної речовини додецилсульфату натрію як закріплюючого агенту при приготуванні інкапсулюючого продукту, оскільки вона забезпечує кисле середовище для осадження кремнезему з розчину силікату натрію, зважаючи на те, що силікат натрію ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) є розчином, що містить наступні види  $\text{SiO}_3^{2-}$ ,  $\text{HSiO}_3^-$  і  $\text{OH}^-$  даючи лужний рН.

**Висновки.** Найбільш ефективною для детоксикації бурових шлаків є технологія капсулювання діоксиду кремнію із використанням силікату натрію і додецилсульфату натрію та активного мулу в якості структуратора при значенні рН в діапазоні 4–5. Даний підхід дозволяє отримувати не токсичний субстракт, який можливо використовувати для різних господарських цілей.

#### Література

1. Пиковский Ю. И. Геохимические особенности техногенных потоков в районах нефтедобычи // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С. 135–148.
2. Барахнина В. Б. Комплексный подход в обезвреживании отходов бурения // Экологический вестник России. 2011. № 8. С. 24–29.
3. Крайнюков О. М., Кривицька І. А., Крайнюков О. О. Оцінка ефективності використання сучасних технологій детоксикації бурового шламу // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». 2020. № 16. С. 54–57.
4. Патент на корисну модель № 113560. Спосіб визначення ступеня забрудненості ґрунтів / О. М. Крайнюков, І. А. Кривицька; зареєстровано в державному реєстрі патентів України на корисні моделі 10.02.2017. (19) UA. (11) 113560 (13) U (51) МПК (2017) G01N 33/24 (2006.01).
5. Тетельмин В. В., Язев В. А. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. Долгопрудный: Интеллект, 2009. 352 с.
6. Mbhele P. P. Remediation of Soil and Water Contaminated by Heavy Metals and Hydrocarbons using Silica Encapsulation // Unpublished Masters thesis Department of Chemistry, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa, 2007. PP. 54–61.

**Смовженко Людмила Григорівна**

*кандидат педагогічних наук, доцент,*

*доцент кафедри методики викладання української та іноземної мов і літератур*

*Інститут філології*

*Київського національного університету імені Тараса Шевченка*

**Смовженко Людмила Григорьевна**

*кандидат педагогических наук, доцент,*

*доцент кафедры методики преподавания*

*русского и иностранного языков и литератур*

*Института филологии*

*Киевского национального университета имени Тараса Шевченко*

**Smovzhenko Ludmila**

*PhD in Pedagogy, Associate Professor,*

*Associate Professor of the Department of the Ukrainian and*

*Foreign Languages and Literatures Teaching*

*Philology Institute of the*

*Taras Shevchenko National University of Kyiv*

## ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ Й ПРИЙОМІВ НАВЧАННЯ ІНОЗЕМНОЇ МОВИ СТУДЕНТІВ

## ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОВ И ПРИЕМОВ ОБУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОМУ ЯЗЫКУ СТУДЕНТОВ

## CHARACTERISTICS OF METHODS AND TECHNIQUES OF TEACHING A FOREIGN LANGUAGE TO STUDENTS

**Анотація.** Розглянуто основні методи та прийоми навчання іноземної мови в ЗВО. Вивчення іноземних мов в сучасному суспільстві стає невід'ємною частиною професійного зростання фахівців різного профілю. Успішне вирішення проблем професійного навчання багато в чому залежить від якості мовленнєвої підготовки. В умовах вступу України до Європейського Союзу і швидких змін в самій країні і в суспільстві зокрема, зростання інтересу до вивчення іноземних мов цілком закономірний. Сьогодні знання англійської мови – це не привілей, а базовий навик, яким повинен володіти кожна досвідчена людина, незалежно від професії або виду повсякденної діяльності. Вибір сучасних методів навчання визначається наступними критеріями: створення середовища, в якому студент відчуває себе комфортно і вільно, стимулювання його інтересів, розвиток бажання практично використовувати іноземну мову, що сприятиме реальному успіху; захоплення учня, залучення емоцій, переживання до навчання, які відповідають його реальним потребам, стимулюють мовленнєві, пізнавальні та творчі здібності особистості; активізувати особистість, віддавши їй основну роль в процесі навчання при активній взаємодії з іншими учасниками; створити ситуацію, в якій викладач не є центральною фігурою; навчити студента працювати над мовою самостійно на рівні фізичних, інтелектуальних і емоційних здібностей, що допоможе забезпечити диференціацію та індивідуалізацію в процесі навчання; використання різних форм роботи, що стимулюють студентську активність, самостійність, творчі здібності. Аналіз спектру методів вивчення іноземної мови та їх розвитку дозволив зробити висновок про те, що універсальної методики не існує. Прийоми і методи, які використовуються, мають багато спільного, відрізняються способами і формами, проте мають спільну мету – навчити реципієнта іноземною мовою. Вибір того чи іншого методу залежить від матеріалу, який пропонується для вивчення, зв'язку вивченого матеріалу з попереднім і наступним, співвідношення в ньому елементів теоретичного і практичного характеру, рівня загального розвитку учнів та їх підготовки з предмету. Поява безлічі нових ефективних і цікавих методів і підходів до навчання іноземної мови визначає потреби суспільства, пропонуючи студенту індивідуальний підхід в залежності від

необхідної глибини знань, потреб, можливостей і часу, присвяченого вивченню мови. Сьогодні для викладача важливо постійно вдосконалювати власні знання про методи навчання іноземним мовам, впроваджувати новітні освітні концепції в свою педагогічну практику, бути в курсі останніх подій.

**Ключові слова:** прийом, метод навчання, традиційний метод, альтернативний метод, іншомовні мовленнєві уміння і навички.

**Аннотация.** Рассмотрены основные методы и приемы обучения иностранному языку в ЗВО. Изучение иностранных языков в современном обществе становится неотъемлемой частью профессионального роста специалистов различного профиля. Успешное решение проблем профессионального обучения во многом зависит от качества речевой подготовки. В условиях вступления Украины в Европейский Союз и быстрых перемен в самой стране и в обществе в частности, рост интереса к изучению иностранных языков вполне закономерен. Сегодня знание английского языка – это не привилегия, а базовый навык, которым должен владеть каждый опытный человек, независимо от профессии или вида повседневной деятельности. Выбор современных методов обучения определяется следующими критериями: создание среды, в которой студент чувствует себя комфортно и свободно, стимулирование его интересов, развитие желание практически использовать иностранный язык, что будет способствовать реальному успеху; увлечения ученика, привлечение эмоций, переживания к обучению, которые соответствуют его реальным потребностям, стимулируют речевые, познавательные и творческие способности личности; активизировать личность, отдав ей основную роль в процессе обучения при активном взаимодействии с другими участниками; создать ситуацию, в которой преподаватель не является центральной фигурой; научить студента работать над языком самостоятельно на уровне физических, интеллектуальных и эмоциональных способностей, что поможет обеспечить дифференциацию и индивидуализацию в процессе обучения; использование различных форм работы, стимулируют студенческую активность, самостоятельность, творческие способности. Анализ спектра методов изучения иностранного языка и их развития позволил сделать вывод о том, что универсальной методики не существует. Приемы и методы, которые используются, имеют много общего, отличаются способами и формами, однако имеют общую цель – научить реципиента на иностранном языке. Выбор того или иного метода зависит от материала, который предлагается для изучения, связи изученного материала с предыдущим и последующим, соотношение в нем элементов теоретического и практического характера, уровня общего развития учащихся и их подготовки по предмету. Появление множества новых эффективных и интересных методов и подходов к обучению иностранному языку определяет потребности общества, предлагая студенту индивидуальный подход в зависимости от необходимой глубины знаний, потребностей, возможностей и времени, посвященного изучению языка. Сегодня для преподавателя важно постоянно совершенствовать собственные знания о методах обучения иностранным языкам, внедрять новейшие образовательные концепции в свою педагогическую практику, быть в курсе последних событий.

**Ключевые слова:** прием, метод обучения, традиционный метод, альтернативный метод, иноязычные речевые умения и навыки.

**Summary.** The main methods and techniques of teaching a foreign language in the ZVO are considered. The study of foreign languages in modern society is becoming an integral part of the professional growth of specialists in various fields. Successful solution of professional training problems largely depends on the quality of language training. In the context of Ukraine's accession to the European Union and rapid changes in the country itself and in society in particular, the growth of interest in learning foreign languages is quite natural. Today, knowledge of English is not a privilege, but a basic skill that every experienced person should have, regardless of the profession or type of daily activity. The choice of modern teaching methods is determined by the following criteria: creating an environment in which the student feels comfortable and free, stimulating their interests, developing the desire to practically use a foreign language, which will contribute to real success; the student's passion, attraction of emotions, experiences to learning that meet their real needs, stimulate speech, cognitive and creative abilities of the individual; activate the personality, giving it the main role in the learning process with active interaction with other participants; create a situation in which the teacher is not the Central figure; teach the student to work on the language independently at the level of physical, intellectual and emotional abilities, which will help to ensure differentiation and individualization in the learning process; use of various forms of work that stimulate student activity, independence, and creativity. Analysis of the range of methods of learning a foreign language and their development allowed us to conclude that there is no universal method. The techniques and methods used have a lot in common, differ in ways and forms, but have a common goal-to teach the recipient a foreign language. the choice of a particular method depends on the material that is offered for study, the relationship of the material studied with the previous and subsequent ones, the ratio of theoretical and practical elements in it, the level of General development of students and their training in the subject. The emergence of many new effective and interesting methods and approaches to teaching a foreign language determines the needs of society, offering the student an individual approach depending on the required depth of knowledge, needs, opportunities and time devoted to learning the language. Today, it is important for teachers to constantly improve their own knowledge of foreign language teaching methods, implement the latest educational concepts in their teaching practice, and keep up to date with the latest developments.

**Key words:** reception, teaching method, traditional method, alternative method, foreign language speech skills.

**Постановка проблеми.** Вивчення іноземних мов в сучасному суспільстві стає невід'ємною частиною професійного зростання фахівців різного профілю. Від якості їх мовленнєвої підготовки багато в чому залежить успішне вирішення питань професійної підготовки. Таким чином, кожен повинен досягти певного рівня володіння іноземною мовою ще у школі, щоб мати можливість вивчати її далі в період отримання вищої освіти. Успіх навчання багато в чому залежить від методики викладання педагога, його вміння користуватися різними інноваційними методами і прийомами в навчанні [1].

Багато методів, розроблені ще в XIX–XX ст. актуальні і донині, але необхідність модернізації української освіти, інтеграція в загальноєвропейський освітній простір вносить істотні поправки в систему навчання. З'являються все нові і нові, нетрадиційні методики навчання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні лінгвісти та лінгводидакти досліджували питання, пов'язані з проблемами методів навчання, — способи, прийоми, методику дослідження мовленнєвих явищ та ін. Питанню методики викладання іноземної мови присвячені численні теоретичні дослідження таких видатних науковців, як А. Колеченко, Г. Крюкової, Н. Ксенофонтів, С. Николаєвої, Г. Поделець, О. Петрашук, В. Редька, Н. Бориско, В. Феофілової та ін. Праці цих вчених показали, що система нетрадиційних методів та прийомів сприяє більш успішному формуванню іншомовних мовленнєвих умінь і навичок. Проблему прийомів навчання розглядали разом із методами навчання такі вчені, як Б. Всесвятський, І. Лернер, М. Скаткін, М. Данилов, Б. Єсіпов, Є. Голант, С. Перовський та ін. У сучасній дидактиці є велика кількість методів і прийомів навчання, але жоден з них не може бути визнаний універсальним.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Розглянути основні методи і прийоми навчання іноземної мови у ЗВО.

**Виклад основного матеріалу.** В умовах вступу України до Європейського Союзу і швидких змін в самій країні і в суспільстві зокрема, зростання інтересу до вивчення іноземних мов цілком закономірний. Сьогодні знання англійської мови — це не привілей, а базовий навик, яким повинен володіти кожна досвідчена людина, незалежно від професії або виду повсякденної діяльності. Студенти ЗВО не є винятком, адже знання хоча б однієї іноземної мови може відкрити нові перспективи в цій сфері: дати їм можливість познайомитися з сучасними зарубіжними виданнями, брати участь в міжнародних конференціях, виставки, конгреси та ін., щоб поділитися досвідом з колегами з ближнього і далекого зарубіжжя. Враховуючи перераховані вище умови, необхідно збагатити і оптимізувати освітній процес, підняти його на новий, сучасний рівень. Процес навчання не повинен стояти на місці, він повинен

відповідати сучасним вимогам і потребам. Оскільки ми живемо в епоху глобалізації, необхідно найбільш повно і ефективно використовувати досягнення комп'ютерних технологій: вони можуть прискорити і полегшити вивчення конкретної дисципліни.

Наявні методи забезпечення освітнього процесу досить якісні та ефективні. Під методами навчання розуміються методи планомірної діяльності викладача й студентів, спрямовані на вирішення навчальних завдань. Крім того, метод навчання виступає в якості інструменту діяльності викладача для виконання лідерської функції — забезпечення освіти [2, с. 242–243]. Реалізація методів навчання здійснюється в основному за рахунок використання ряду методів навчання, підходів і різних робочих прийомів.

Метод є одним з основних компонентів системи навчання, який допомагає забезпечити досягнення поставлених цілей і завдань навчання. У дидактиці та методах навчання мовам існує протиріччя не тільки в тлумаченні терміну «метод», але і в класифікації методів навчання. Аналіз наукових досліджень показує, що методика не має чіткого визначення терміну «метод навчання». В українському словнику термін «метод» трактується як прийом або система прийомів, що використовуються в будь-якій сфері діяльності (наука, виробництво тощо). На наш погляд, метод навчання — це система взаємозалежних дій викладача (методів і прийомів навчання) і учнів, спрямованих на досягнення цілей навчання. Прийом — це елемент методу. Елементи методів — це не сума окремих частин цілого, а система, об'єднана логікою дидактичної задачі. Якщо метод — це спосіб дії, що охоплює весь шлях його потоку, тоді метод — це окремий крок, дія в реалізації методу. Чим багатший арсенал прийомів в структурі методу, тим він повніше і ефективніше.

Кожен метод навчання повинен виконувати не тільки виховну, розвиваючу і виховну функції, а й спонукальну і коригувальну (розвиток сприйняття, мислення, уяви, пам'яті, емоційно-сенсорної сфери). Будь-яка навчальна дисципліна, крім загальноприйнятих методик навчання, має свої методики, обумовлені специфікою її змісту [3, с. 154].

Прийоми розрізняються за структурою методів, тому кожен метод можна представити як набір методичних прийомів. Отже, прийом — це елемент методу. Елементи методів — це не сума окремих частин єдиного цілого, а система, об'єднана логікою дидактичної задачі. Якщо метод-це спосіб дії, що охоплює весь шлях його потоку, тоді метод-це окремий крок, дія в реалізації методу. Слід розрізнити методи розумової діяльності (логічні методи) — виділення головного, аналогія, конкретизація, порівняння тощо, а також методи педагогічної роботи — розв'язання задач, приклади, граматичний аналіз тощо. Логічні прийоми однакові для різних методів. Тільки системне поєднання технік формує

конкретний метод навчання, тому порядок, в якому вони використовуються, важливий. Одні й ті ж методи можуть використовуватися в різних методах навчання, але в поєднанні з іншими методами вони створюють зовсім інший метод навчання. Наприклад, техніка запам'ятовування зустрічається як в репродуктивних методах, так і в методах пошуку проблем. Але якщо в першій групі методів він домінує, то в другій — допоміжний, так як допомагає запам'ятати основні результати проблемних міркувань. Крім того, слід зазначити, що метод може стати технікою, а техніка може стати методом. Коли техніка починає виконувати основне тренувальне навантаження (допомагає розкрити суть конкретної проблеми), вона стає методом. Наприклад, виправлення відповідей студентів (як техніка) під час розмови може перетворитися на рівень обговорення. За цієї умови дана методика може стати самостійним методом навчання (обговорення). Важливо підкреслити, що діалектика переходу від методу до техніки або навпаки обумовлена логікою навчального процесу, наявністю суперечливих аспектів між метою і засобами її досягнення, декількома елементами пізнавальної діяльності [4, с. 136].

Роль методу в методиці навчання іноземним мовам завжди визначалася як домінуюча. Дослідник Б. Беляєв зазначив, що, оскільки метод навчання слід розуміти як сукупність основних методичних принципів, відмова від певного методу навчання означає відмову від деяких принципів навчання [5, с. 12]. Відомі лінгводидакти Т. Капітонова та А. Щукін вважають, що поза методикою не може бути навчання взагалі, вони порівнюють історію навчання іноземним мовам з історією методики навчання, підкреслюючи, що між цими поняттями є тісний зв'язок або не може бути нічого спільного [6, с. 23]. У методиці викладання іноземної мови використовуються такі методи, як граматичний переклад, свідомо-контрастний, когнітивний, прямий, аудіолінгвальний, структурний, аудіовізуальний, читання, трансформація тощо, — вони принципово розрізняються за змістом, обґрунтуванням, порядку і дозуванні його введення в залежності від типів навчальних одиниць і вправи, випускний і середній [7, с. 12].

На думку переважної більшості лінгводидактів, вибір того чи іншого методу залежить від матеріалу, пропонованого для вивчення, зв'язку досліджуваного матеріалу з попереднім і наступним, співвідношення містяться в ньому теоретичних і практичних елементів, загального рівня розвитку студентів і їх підготовка до предмету.

Вибір сучасних методів навчання визначається наступними критеріями: створення середовища, в якому студент відчуває себе комфортно і вільно, стимулювання його інтересів, розвиток бажання практично використовувати іноземну мову, що сприятиме реальному успіху; захоплення учня,

залучення емоцій, переживання до навчання, які відповідають його реальним потребам, стимулюють мовленнєві, пізнавальні та творчі здібності особистості; активізувати особистість, віддавши їй основну роль в процесі навчання при активній взаємодії з іншими учасниками; створити ситуацію, в якій викладач не є центральною фігурою; навчити студента працювати над мовою самостійно на рівні фізичних, інтелектуальних і емоційних здібностей, що допоможе забезпечити диференціацію та індивідуалізацію в процесі навчання; використання різних форм роботи, що стимулюють студентську активність, самостійність, творчі здібності.

У науковій літературі методи вивчення іноземної мови розділені залежно від того, який аспект мови переважає в навчанні, а саме: граматичний або лексичний [8]. За роллю, яку відіграють рідна мова та переклад у навчанні іноземним мовам, методи поділяються на перекладні та безперешкодні або прямі. За метою виділяють Усний метод і метод читання, за прийомами, покладеними в основу роботи над мовою — аудіовізуальний і наочний, за принципом організації — традиційний і метод програмованого навчання.

На даному етапі розвитку методичної науки основними методами навчання іноземним мовам є комунікативний і конструктивістський методи.

Комунікативний метод, навчальною метою якого є оволодіння комунікативною компетенцією. Управління навчанням здійснюється не через граматику, а направляється комунікативними інтенціями (намірами). Студент опиняється в центрі навчання. Студенти вчаться комунікації в процесі самої комунікації. Відповідно всі вправи і завдання повинні бути комунікативно виправданими дефіцитом інформації, вибором і реакцією [9, с. 303]. Переваги даного методу: студенти вдосконалюють навички усного мовлення, долається страх перед помилками. Недоліками ж методу є: не надається належної уваги якості мови, комунікативна компетенція досить таки швидко досягає своїх меж.

Конструктивістський метод, в основі методу знаходиться власне активне навчання студентів. Завдання викладача не навчити, а сприяти навчальному процесу. Урок виступає орієнтованим на дію. Переваги методу: підготовка студентів до реального життя, реальних життєвих ситуацій. Недоліки методу: на сучасному етапі ще не проявилися досить чітко. Прикладом конструктивістського методу може служити проектне навчання.

У методиці розрізняють традиційні та альтернативні (нетрадиційні) методи навчання. Серед традиційних методів, які найчастіше використовуються в процесі навчання студентів можемо виділити бесіду. На нашу думку, для найбільш ефективного впровадження в навчальний процес методів, що сприяють вдосконаленню у студентів професійного діалогічного мовлення, слід застосовувати форми

навчальної діяльності, а саме: конференції, презентації, екскурсії, проведення заняття в умовах реальної професійної підготовки.

Традиційні методи навчання іноземної мови пропускають засвоєння знань в штучних ситуаціях, внаслідок чого майбутній випускник не бачить зв'язку досліджуваного предмета зі своєю майбутньою професійною діяльністю. Найбільш ефективним засобом розвитку мислення майбутніх випускників є імітаційне моделювання. Подібний підхід в навчанні забезпечує імітацію елементів професійної діяльності, її типових і істотних рис. Його застосування на заняттях іноземної мови дає можливість формувати навички та вміння спілкування; розвиває звичку самоконтролю, сприяє реальній підготовці студентів до майбутньої діяльності і життя в суспільстві в цілому; допомагає зробити заняття іноземної мови більш живими, цікавими, змістовними, дають можливість учням більше і частіше висловлювати власні думки, висловлювати почуття, думки, оцінки, тобто мислити іноземною мовою. В якості прийомів, що забезпечують підвищення професійної спрямованості вивчення іноземної мови, можуть виступати: спілкування — діалог з приводу професійної інформації, прочитаної іноземною мовою, аналіз соціальних і професійних ситуацій, виконання творчих завдань з профільним змістом, ігрові ситуації, рольові ігри, вікторини.

Під поняттям альтернативні методи групується цілий ряд різноманітних підходів, прийомів, способів передачі мови. Існують такі альтернативні методи, як метод повної фізичної реакції (Total Physical Response), сугестивний метод, драматико-педагогічний метод, мовчазний метод, груповий метод. До інноваційних навчальних методів можна віднести: навчання з комп'ютерною підтримкою (CALL), метод сценарію (storyline method), метод симуляцій, метод каруселі, метод навчання по станціях, метод групових пазлів, метод рольової гри, метод «кейс-стаді» (робота над проблемними ситуаціями, студенти розглядають проблему, аналізують ситуацію, представляють свої ідеї і варіанти вирішення проблеми в ході дискусії).

Нетрадиційні методи навчання сприяють зануренню іноземних студентів у професійну діяльність, чим здатні активізувати професійний інтерес і дозволяють проявити себе, продемонструвати вміння діалогової взаємодії. Суть інтерактивних технологій полягає в тому, що навчання відбувається шляхом взаємодії всіх, хто навчається, а це особливо притаманне практиці викладання іноземної мови. До методів інтерактивного навчання відносимо рольові / ділові ігри та ситуативні завдання «мозковий штурм», «кейс-метод», тематичну дискусію, метод «круглого столу», семінари-диспути тощо. Вважаємо, що однією з форм інтерактивного навчання, яка є найбільш ефективною в процесі навчання іноземної мови є ділова гра.

В останні роки з'явилося безліч нових інноваційних методів в області навчання іноземним мовам. Основними є:

1. Community language learning / Counseling learning (Метод «громади», метод «радника»). Метод «громади («метод» радника)» був створений американським психологом Ч. Курраном. В основі методу лежить гуманістичний підхід до навчання і психологічна теорія «радника», сутність якої полягає в тому, що люди потребують допомоги радника-психолога в будь-якому виді громадської діяльності людини, в тому числі в освіті. Основним прийомом навчання є переклад з рідної мови на іноземну. Процес навчання побудований таким чином: студенти навколо столу обличчям один до одного, обговорюють тему бесіди, спілкуються іноземною мовою. Викладач лише спостерігає з боку і підказує еквіваленти іноземною мовою. Недоліком даного методу є відсутність програм і конкретного плану навчання, що перешкоджає широкому поширенню даного методу у ЗВО [10].

2. Суггестопедичний метод. Інтенсивний метод навчання іноземним мовам, розроблений і практично реалізований в 60-і рр. ХХ ст. в Болгарії вченим-психіатром Г. Лозановим. Відмінною рисою цього методу є розкриття резервів пам'яті за рахунок спеціально організованих занять, підвищення інтелектуальної активності учнів, використання навчання і релаксації. Основними засобами активізації резервних можливостей людини, по Г. Лозанову виступають: авторитет (головну роль в процесі навчання відіграє особистість викладача); інфантилізація (в групі створюються сприятливі умови для навчання і засвоєння нового матеріалу, використовуються рольові ігри, музика); двоплановість (викладач і студенти використовують жести, міміку, щоб вплинути на співрозмовника, розташувати до себе оточуючих); інтонація, ритм (текстовий матеріал підноситься викладачем в певному ритмі в супроводі спеціально підібраної музики. Музика і ритм повинні сприяти розслабленню і більш ефективному сприйняттю матеріалу).

3. The silent way (метод тихого навчання). Автор методу К. Гаттеньо. Суть методу полягає в тому, що ініціатива на заняттях іноземної мови виходить від студентів, а викладач повинен говорити найменше. Навчання в тиші, на противагу повторенню і відтворенню за викладачем, стає прийомом, який сприяє розумовій діяльності і зосередженню студентів. Застосування даного методу має певні рамки, так як передбачає високу вмотивованість і зацікавленість студентів, що не завжди можливо у ЗВО [11].

4. Метод навчання мови за допомогою інформаційно-комунікативних технологій. Використання інформаційно-комунікаційних технологій у навчанні іноземним мовам допомагає інтенсифікувати і індивідуалізувати навчання, сприяє підвищенню інтересу до предмету і вмотивованості. Перші гра-

матичні та лексичні вправи в комп'ютерних програмах з'явилися в 60–70 рр. ХХ ст. На сьогоднішній день ІКТ технології стали невід'ємною складовою вивчення мови.

5. *Consciousness-raising approach* (свідомо-орієнтований метод). Даний метод базується на усвідомленні форми мовленнєвого явища — лексичного і граматичного — і спирається на дані контрактивної лінгвістики та індуктивний спосіб оволодіння мовою. Підхід розроблявся стосовно до навчання граматики: оволодіння граматичними навичками розглядалося як поступове усвідомлення форми. Підхід схожий з існуючим у вітчизняній методиці свідомо-порівняльним методом, який свідчить, що мислення на всіх мовах однаково, розрізняються лише форми його вираження, представлені в мовах різними лінгвістичними засобами.

6. *Task based learning* (Метод комунікативних завдань). Метод комунікативних завдань являє собою рішення цілого ряду комунікативних завдань, пропонує викладачем. Вирішуючи ці завдання, спілкуючись один з одним, студенти виконують мовленнєві дії, намагаючись знайти вірні шляхи вирішення поставленої комунікативної задачі. Завдяки цьому відбувається занурення в мовленнєве середовище і студенти починають спілкуватися іноземною мовою з практичною метою. Даний метод особливо ефективний при груповому навчанні.

7. *Neuro-linguistic programming* (нейролінгвістичне програмування). НЛП виникло на початку 1970-х рр. і стало результатом співпраці Дж. Гріндера, асистента професора лінгвістики в Університеті Каліфорнії в Санта Крузі, і Р. Бендлера. Термін нейролінгвістичне програмування можна пояснити так: корінь «нейро» вказує на те, що необхідно знати

і розуміти «мову мозку» — ті нейрологічні процеси, які відповідають за зберігання, переробку і передачу інформації, корінь «лінгвістичне» підкреслює важливе значення мови в описі механізмів мислення і поведінки, а також в організації процесів комунікації [12]. Одна з головних ідей НЛП — ситуативне і поведінкове моделювання. Цей напрямок в методиці викладання іноземної мови дозволяє успішно розкривати і активізувати резервні можливості особистості в процесі занурення в іншомовний простір.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Аналіз спектру методів вивчення іноземної мови та їх розвитку дозволив зробити висновок про те, що універсальної методики не існує. Прийоми і методи, які використовуються, мають багато спільного, відрізняються способами і формами, проте мають спільну мету — навчити реципієнта іноземною мовою. вибір того чи іншого методу залежить від матеріалу, який пропонується для вивчення, зв'язку вивченого матеріалу з попереднім і наступним, співвідношення в ньому елементів теоретичного і практичного характеру, рівня загального розвитку учнів та їх підготовки з предмету.

Поява безлічі нових ефективних і цікавих методів і підходів до навчання іноземної мови визначає потреби суспільства, пропонуючи студенту індивідуальний підхід в залежності від необхідної глибини знань, потреб, можливостей і часу, присвяченого вивченню мови.

З усього вище сказаного, потрібно зробити висновок, що для викладача важливо постійно вдосконалювати власні знання про методи навчання іноземним мовам, впроваджувати новітні освітні концепції в свою педагогічну практику, бути в курсі останніх подій.

#### Література

1. Гальскова Н. Д. Теория обучения иностранным языкам. Лингводидактика и методика / Н. Д. Гальскова. 5-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 336 с.
2. Альошина О. М. Сучасні методи та технології викладання іноземних мов у ВНЗ // Проблеми та перспективи формування національної гуманітарно-технічної еліти. 2012. № 30–31 (34–35). С. 242–247.
3. Бабанский Ю. К. Методы обучения в современной общеобразовательной школе / Ю. К. Бабанский. М.: Просвещение, 1985. 208 с.
4. Кондрашова Л. В., Пермяков О. А. Педагогіка в запитаннях і відповідях / Л. В. Кондрашова, О. А. Пермяков. К.: Знання, 2006. 252 с.
5. Беляев Б. В. О применении принципов сознательности в обучении иностранному языку / Б. В. Беляев // Психология в обучении иностранному языку. М., 1967. С. 12.
6. Капитонова Т. И., Шукин А. Н. Современные методы обучения русскому языку иностранцев / Т. И. Капитонова, А. Н. Шукин. М., 1979. С. 23.
7. Вятютнев М. Н. Теория ученика русского языка как иностранного (методические основы) / М. Н. Вятютнев. М.: Русский язык, 1984. 144 с.
8. Артемьева О. А. Методология организации профессиональной подготовки специалиста на основе межкультурной коммуникации / О. А. Артемьева. Тамбов: ТГТУ, 2005. 160 с.
9. Методика навчання іноземних мов у середніх навчальних закладах / колектив авторів під керівництвом С. Ю. Ніколаєвої. К.: Ленвіт, 1999. 320 с.



10. Кашина Е. Г. Традиции и инновации в методике преподавания иностранного языка / Е. Г. Кашина. Самара: Изд-во «Универс-групп», 2006. 75 с.
11. Альтернативные методы обучения иностранным языкам. URL: <http://studopedia.org/6-117660.html>
12. Батракова Е. Б. Нейро-лингвистическое программирование как способ обучения языку. URL: [http://www.rusnauka.com/6\\_NITSB\\_2010/Pedagogica/59043.doc.htm](http://www.rusnauka.com/6_NITSB_2010/Pedagogica/59043.doc.htm)

#### References

1. Gal'skova N. D Teorija obuchenija inostrannym jazykam. Lingvodidaktika i metodika. 5-e izd., ster. M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2008. 336 p.
2. Al'oshina O. M. Suchasni metodi ta tehnologii vikladannja inozemnih mov u VNZ // Problemi ta perspektivi formuvannja nacional'noi gumanitarno-tehnicnoi eliti. 2012. № 30–31 (34–35). PP. 242–247.
3. Babanskij Ju. K. Metody obuchenija v sovremennoj obshheobrazovatel'noj shkole. M.: Prosveshhenie, 1985. 208 p.
4. Kondrashova L. V., Permjakov O. A. Pedagogika v zapitannjah i vidpovidjah. K.: Znannja, 2006. 252 p.
5. Beljaev B. V. O primenenii principov soznatel'nosti v obuchenii inostrannomu jazyku // Psihologija v obuchenii inostrannomu jazyku. M., 1967. P. 12.
6. Kapitonova T. I., Shhukin A. N. Sovremennye metody obuchenija rus'komu jaziku inostrancev. M., 1979. P. 23.
7. Vjatjutnev M. N. Teorija učenika rus'kogo jazika kak inostrannogo (metodicheskie osnovy). M.: Russkij jazyk, 1984. 144 p.
8. Artem'eva O. A. Metodologija organizacii professional'noj podgotovki specialista na osnove mezhkul'turnoj kommunikacii. Tambov: TGTU, 2005. 160 p.
9. Metodika navchannja inozemnih mov u serednih navchal'nih zakladah / kolektiv avtoriv pid kerivnictwom S. Ju. Nikolaevoi. K.: Lenvit, 1999. 320 p.
10. Kashina E. G. Tradicii i innovacii v metodike prepodavaniya inostrannogo jazyka. Samara: Izd-vo «Univers-grupp», 2006. 75 p.
11. Al'ternativnye metody obuchenija inostrannym jazykam. URL: <http://studopedia.org/6-117660.html>
12. Batrakova E. B. Nejro-lingvisticheskoe programmirovanie kak sposob obuchenija jazyku. URL: [http://www.rusnauka.com/6\\_NITSB\\_2010/Pedagogica/59043.doc.htm](http://www.rusnauka.com/6_NITSB_2010/Pedagogica/59043.doc.htm)

UDC 521.438.629.12

**Liubchik Gennadii**

*Doctor of Technical Sciences, Professor  
National Technical University of Ukraine  
“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”*

**Любчик Геннадий Николаевич**

*доктор технических наук, профессор  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Fialko Nataliia**

*Doctor of Technical Sciences, Professor  
Corresponding Member of NAS of Ukraine, Head of the Department  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Фиалко Наталия Михайловна**

*доктор технических наук, профессор,  
член корреспондент НАН Украины, заведующая отделом  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Regragui Aboubakr**

*Junior Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Реграги Абубакр**

*Младший научный сотрудник  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Meranova Nataliia**

*Candidate of Technical Sciences (PhD),  
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Меранова Наталия Олеговна**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
ведущий научный сотрудник  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Sherenkovskii Julii**

*Candidate of Technical Sciences (PhD),  
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Шеренковский Юлий Владиславович**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
ведущий научный сотрудник  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Navrodskaia Raisa**

*Candidate of Technical Sciences (PhD),  
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher  
Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine*

**Навродская Раиса Александровна**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
ведущий научный сотрудник  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

DOI: 10.25313/2520-2057-2021-1-6873

## BASIC POSITIONS OF THE ENTHALPY-ENTROPY METHODOLOGY OF THERMODYNAMIC ANALYSIS OF GAS TURBINE POWER PLANTS

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЭНТАЛЬПИЙНО-ЭНТРОПИЙНОЙ МЕТОДИКИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ГАЗОТУРБИНЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК

**Summary.** The basic positions of the enthalpy-entropy methodology of thermodynamic modeling of processes in gas turbine units (GTUs) and combined power plants on basis GTUs are presented. The main requirements and conditions of this methodology are formulated, they allows the construction of a sequential (without iterations) algorithm for the computational diagnostics of the thermodynamic parameters of the GTU cycle, which includes the calculation blocks for the compressor, combustion chamber, turbine, and exhaust tube of the GTU. The obtained regression equations are presented. The use of these equations simplifies of the procedure for evaluating the thermodynamic parameters of the components at the nodal points of the cycle. The advantages of the proposed methodology in comparison with the traditional thermal-entropy methodology are indicated.

**Key words:** gas turbine units, thermodynamic modeling, regression equations.

**Аннотация.** Изложены основные положения энтальпийно-энтропийной методики термодинамического моделирования процессов в газотурбинных (ГТУ) и комбинированных на их основе энергоустановках. Сформулированы основополагающие требования и условия этой методики, позволяющие построение последовательного (без итераций) алгоритма расчетной диагностики термодинамических параметров цикла ГТУ, включая блоки расчета компрессора, камеры сгорания, турбины и выхлопного патрубка ГТУ. Приведены полученные уравнения регрессии, с использованием которых достигается упрощение процедуры оценки термодинамических параметров компонент в узловых точках цикла. Указаны преимущества предлагаемой методики по сравнению с традиционной термическо-энтропийной методикой.

**Ключевые слова:** газотурбинные установки, термодинамическое моделирование, уравнения регрессии.

**Designations.**  $h$  — enthalpy, kJ/kg;  $S$  — entropy, kJ/kg;  $\pi_k$  — compression ratio in the compressor;  $\theta = T_3/T_1$  — dimensionless temperature;  $T_1$  — temperature at the compressor inlet, K;  $T_3$  — temperature at the turbine inlet, K; GTU — gas turbine unit.

One of the important directions in the development of the world energy industry is the use of cogeneration technologies based on gas turbine engines. A number of studies have been devoted to solving the problem of increasing the energy efficiency of these technologies, for example [1–3]. The multivariance of the solution to the problem of increasing the energy efficiency and unit capacity of gas turbine power units, the need to obtain a reliable assessment of the competitiveness of their various options requires the creation of scientifically grounded methods of thermodynamic modeling of the processes occurring in such power units.

Application of the traditional method of approximate thermodynamic analysis of a gas turbine plant using  $T-S$  diagrams [3–7] in the case of production of hot water or steam turns out to be very difficult when considering power plants combined on the basis of gas turbine plants.

Under these conditions, it is advisable to use  $h-\Delta S$  diagrams, which are universal, since they allow comparing the GTU cycle with processes combined with

it in cogeneration schemes. In other words, the use of  $h-\Delta S$  diagrams makes it possible to use a unified form of analysis of the energy characteristics of a gas turbine plant and power plants combined on its basis.

The proposed enthalpy-entropy method of thermodynamic modeling of a gas turbine plant and units combined on its basis is grounded on the such requirements and conditions:

- consideration of the working fluid as a one-component gas (air) in the compressor and a two-component gas (air + fuel) or three-component gas (air + fuel + steam) in the ducts of the combustion chamber, turbine and at the exhaust tube of the plant;
- taking into account pressure losses in the paths of the plant when assessing its technical and economic indicators and thermodynamic parameters at the nodal points of the cycle;
- construction of a sequential (without iterations) algorithm for the computational diagnostics of the thermodynamic parameters of the GTU cycle, including the blocks of calculation for the compressor, combustion chamber, turbine and GTU exhaust tube.
- ensuring the possibility of realizing thermal-entropy and enthalpy-entropy versions of thermodynamic analysis of gas turbine plants and the possibility of constructing cycles in  $[T-\Delta s]$  and  $[h-\Delta s]$  coordinates;

- simplification of the procedure for evaluating the thermodynamic parameters of the components at the nodal points of the cycle based on the construction and use of the corresponding regression equations.

This article presents the necessary regression equations, determined from the results of statistical processing of the data available in the literature, provided that the minimum dispersion  $2\sigma \rightarrow \min$  is achieved. The value of the variance  $2\sigma$  corresponded to the confidence level of 0.96 with the degree of correlation R close to

unity. Table 1 shows the corresponding data for air in two ranges of variation of the defining parameters (zone I and II), which ensures the achievement of the minimum error in calculating the parameters.

The corresponding regression equations for the design fuel (methane) and water vapor are shown in Tables 2 and 3.

Within the framework of the proposed technique, when performing the procedure of thermodynamic modeling of the characteristics of the installation,

Table 1

Regression equations for air according to S. L. Rivkin [8]

Zone	Regression equations	Dispersion, $\pm 2\sigma$	Range of variation of thermodynamic parameters
I	$h = \exp[5,67 + 0,282 \cdot \ln(\pi_k)]$	2,56	$1,49 \leq \pi_k \leq 125,6$
	$s = 5,9 + 3,15 \cdot 10^{-3} \cdot h - 1,12 \cdot 10^{-6} \cdot h^2$	0,015	$h = 323 - 1130 \text{ кДж/кг}$
	$\theta = -0,039 + 3,69 \cdot 10^{-3} \cdot h - 3,2 \cdot 10^{-7} \cdot h^2$	$1,210^{-3}$	$h = 323 - 1130 \text{ кДж/кг}$
	$h = 16,36 + 263,8 \cdot \theta + 9,58 \cdot \theta^2$	0,56	$\theta = 1,12 - 3,72$
	$h = \exp[-0,887 + 0,984 \cdot s]$	2,3	$s = 6,78 - 8,052 \text{ кДж/кгК}$
II	$h = 5,5 + 276 \cdot \theta + 7,1 \cdot \theta^2$	2,63	$\theta = 3,72 - 6,15$
	$s = 6,78 + 1,36 \cdot 10^{-3} \cdot h - 2,1 \cdot 10^{-7} \cdot h^2$	0,001	$h = 1130 - 1970 \text{ кДж/кг}$
	$\theta = 0,0715 + 3,42 \cdot 10^{-3} \cdot h - 1,7 \cdot 10^{-7} \cdot h^2$	0,0083	$h = 1130 - 1970 \text{ кДж/кг}$
	$h = \exp[-9,08 + 7,724 \cdot \ln(s)]$	0,73	$s = 8,052 - 8,653 \text{ кДж/кгК}$

Table 2

Regression equations for the design fuel (methane) according to the tabular data of V. P. Glushko [9]

Zone	Regression equations	Dispersion, $\pm 2\sigma$	Range of variation of thermodynamic parameters
I	$s = \exp[1,29 + 0,18 \cdot \ln(h)]$	0,019	$h = 603 - 3006 \text{ кДж/кг}$
	$\theta = 0,123 + 1,57 \cdot 10^{-3} \cdot h - 1,5 \cdot 10^{-7} \cdot h^2$	0,018	$h = 603 - 3006 \text{ кДж/кг}$
	$h = 114,2 + 347,7 \cdot \theta + 140,3 \cdot \theta^2$	2,4	$\theta = 1,0 - 3,47$
	$h = \exp[-7,18 + 5,55 \cdot \ln(s)]$	16,6	$s = 11,54 - 15,436 \text{ кДж/кгК}$
II	$h = -844,9 + 890,5 \cdot \theta + 62,9 \cdot \theta^2$	4,35	$\theta = 3,47 - 6,246$
	$s = 12,21 + 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot h - 5,0 \cdot 10^{-8} \cdot h^2$	0,009	$h = 3006 - 7170 \text{ кДж/кг}$
	$\theta = 1,079 + 8,53 \cdot 10^{-4} \cdot h - 2,0 \cdot 10^{-8} \cdot h^2$	0,0043	$h = 3006 - 7170 \text{ кДж/кг}$
	$h = \exp[13,3 - 81,83 / s]$	16,0	$s = 15,436 - 18,46 \text{ кДж/кгК}$

Table 3

Regression equations for water vapor according to S. L. Rivkin [10]

Zone	Regression equations	Dispersion, $\pm 2\sigma$	Range of variation of thermodynamic parameters
I	$s = 8,976 + 3,08 \cdot 10^{-3} \cdot h - 5,4 \cdot 10^{-7} \cdot h^2$	0,005	$h = 532 - 2466, \text{ кДж / кг}$
	$\theta = -0,0246 + 1,99 \cdot 10^{-3} \cdot h - 1,2 \cdot 10^{-7} \cdot h^2$	0,0017	$h = 532 - 2466, \text{ кДж / кг}$
	$h = 34,4 + 470 \cdot \theta + 27,19 \cdot \theta^2$	1,31	$\theta = 1,0 - 4,17$
	$h = \exp[0,79 + 0,527 \cdot s]$	12,6	$s = 10,41 - 13,34, \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$
II	$h = -73,24 + 515 \cdot \theta + 22,74 \cdot \theta^2$	0,45	$\theta = 3,125 - 5,2$
	$s = 10,77 + 1,268 \cdot 10^{-3} \cdot h - 9 \cdot 10^{-8} \cdot h^2$	0,002	$h = 2400 - 3957, \text{ кДж / кг}$
	$\theta = 0,336 + 1,69 \cdot 10^{-3} \cdot h - 6,0 \cdot 10^{-8} \cdot h^2$	0,001	$h = 2400 - 3957, \text{ кДж / кг}$
	$h = \exp[-8,94 + 6,46 \cdot \ln(s)]$	0,85	$s = 15,288 - 14,35 \text{ кДж / кг} \cdot \text{К}$

in addition to the regression equations (Tables 1–3), equations are also used to determine the entropy at various nodal points of the cycles, as well as the equations, heat and energy balances.

The proposed enthalpy-entropy method of thermodynamic modeling of processes in gas turbine and combined thermal power plants on their basis, in comparison with the method of approximate calculation traditionally used for gas turbine plants, based on the use of  $T-S$  diagrams, is characterized by the following advantage:

1. Versatility in terms of the possibility of using a unified form of analysis of the energy characteristics of gas turbines and combined power plants on their basis.
2. Greater accuracy in determining the main energy characteristics of installations (specific work of its

elements, efficiency of installations, etc.) due to the use of a number of simplifying prerequisites in the approximate technique, such as the constancy of the heat capacity of working bodies, etc.

3. Higher efficiency of the computational algorithm and the corresponding software product due to:

- a) the absence of an interactive procedure for determining the thermodynamic parameters, typical of the traditional method;
- b) simplifying the determination of the thermodynamic characteristics of the components of the working fluid at the nodal points of the cycle based on the construction of the corresponding regression equations for the thermodynamic properties of these components.

#### References

1. Любчик Г. Н., Фиалко Н. М., Реграги А., Навродская Р. А., Кутняк О. Н., Швецова Л. О. Термодинамический анализ энергетической эффективности двухтопливных газопаровых установок // Восточно-европейский журнал передовых технологий 2015. Т. 3, № 8(75). С. 21–26.
2. Любчик Г. Н., Фиалко Н. М., Реграги А., Кутняк О. Н., Ольховская Н. Н., Швецова Л. А. Анализ особенностей термодинамических процессов двухтопливных молярных газопаровых установок // Промышленная теплотехника. 2015, № 7. С. 37–38.
3. Любчик Г. Н., Дикий Н. А., Фиалко Н. М., Реграги А. предельные возможности термодинамического форсирования молярной газопаровой технологии // Промышленная теплотехника. 2011, № 6. С. 46–51.
4. Манушин Э. А., Михальцев В. Е., Чернобровкин А. П. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок. М.: Машиностроение. 1977. 446 с.
5. Арсеньев Л. А., Тырышкина В. Г. Газотурбинные установки. Справочное пособие. Л.: Машиностроение. 1978. 230 с.
6. Gas turbine world: The 1990 Handbook. Vol. 15. 1990. 219 p.
7. Uteley R. Small Gas turbines for CHP // Eur. Power News. 1992. Vol. 17, № 5. PP. 22–25.
8. Ривкин С. Л., Александров А. А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. М.: Энергия. 1980. 422 с.
9. Глушко В. П., Хачкурузов Г. А., Медведев В. А. Термодинамические свойства индивидуальных веществ / Справочник: Т. II. М.: АН СССР. 1962. 916 с.
10. Ривкин С. Л. Термодинамические свойства газов. М.: Энергоатомиздат. 1987. 286 с.

УДК 629.7.036

**Бергулев Антон Сергеевич**

*кандидат физико-математических наук,  
программист*

**Бергульов Антон Сергійович**

*кандидат фізико-математичних наук,  
програміст*

**Berhulov Anton**

*PhD, Programmer*

DOI: 10.25313/2520-2057-2021-1-6839

## МАГНИТНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ КОСМОСА (ПОЛНАЯ ВЕРСИЯ)

## МАГНІТНИЙ ДВИГУН ДЛЯ КОСМОСУ (ПОВНА ВЕРСІЯ)

## MAGNETIC AEROSPACE ENGINE (FULL VERSION)

**Аннотация.** Представлено конструктивное решение по построению космического корабля, движущегося с опорой на электромагнитные поля Солнечной системы и Галактики с ускорением. Проведен расчёт необходимой силы тока по контуру и величины заряда на полезной поверхности объекта для получения ускорения в 1g в произвольном направлении в пространстве. Предложен способ левитации в магнитных полях планет (суперпозиция магнитных полей звезды и планеты) и межпланетного пространства (суперпозиция магнитных полей галактик) без использования силы Кулона.

**Ключевые слова:** электромагнитные поля Галактики, магнитная левитация, звездолет, сила Лоренца, зависимость массы от скорости, перераспределение зарядов на поверхности.

**Анотація.** Представлено конструктивне рішення по побудові космічного корабля, що рухається з опором на електромагнітні поля Сонячної системи і Галактики з прискоренням. Проведено розрахунки необхідної сили току по контуру і величини заряду на корисній поверхні об'єкту для отримання прискорення в 1g в довільному напрямку у просторі. Запропоновано спосіб левітації в магнітних полях планет (суперпозиція магнітних полів зірки і планети) і міжпланетного простору (суперпозиція магнітних полів галактик) без використання сили Кулона.

**Ключові слова:** електромагнітні поля Галактики, магнітна левітація, космічний корабель, сила Лоренца, залежність маси від швидкості, перерозподіл зарядів на поверхні.

**Summary.** Subject of interstellar flights remains actual taking into account limitedness of the terrestrial resources, overpopulation of the planet, and demographic, sociopolitical and ecological problems at the planet. A constructive solution is submitted of the construction of a spacecraft moving with acceleration resting upon electromagnetic fields of the Solar system and the Galaxy. Calculation of the current intensity within the circuit and charge value at the object's useful surface necessary for the achievement of acceleration equal to 1g at arbitrary direction in the space is conducted. A method of levitation in magnetic fields of planets (superposition of magnetic fields of a star and a planet) and interplanetary space (superposition of magnetic fields of galaxies) without using the Coulomb force is proposed.

**Key words:** electromagnetic fields of the Galaxy; magnetic levitation; spacecraft; Lorentz force; dependence of mass on velocity; redistribution of charges by surface.

**Т**ема міжзвездних перелетов остається актуальною с учетом ограниченности земных ресурсов, перенаселенности планеты, демографических,

социополитических и экологических проблем на планете. В данной статье представлено конструктивное решение по созданию космического корабля,

движущегося с ускорением с опорой на электромагнитные поля Солнечной системы и Галактики. Ранее подобные конструкции приводились в работах Лемешко А. В. [6], Гайдука А. Н. [7; 8], однако не были представлены в рецензируемых научных журналах.

**Метод решения**

Как известно [4], Земля имеет магнитное поле с индукцией  $30 \times 10^{-6} T$  (это усредненное значение, в разных местах планеты оно несколько отличается). Магнитное поле имеет также Солнце:

$$4000Gs = 4000 \times 10^{-4} T = 0.4T$$

солнечная система и Галактика (усредненное значение:  $3 \times 10^{-6} Gs = 3 \times 10^{-10} T$ ). Возникает идея создание космолета с опорой на магнитные поля планет/звездных систем/галактики. Пусть имеем некую дискообразную радио модель звездолета массой 0.1 кг и полезным диаметром контура 0.1 м. Расположим проводник с током по контуру (Рис. 1).

На Рис. 1:  $B$  — вектор магнитной индукции,  $F_L$  — сила Лоренца, (1) — участок проводника с током, закрытый ферромагнетиком, (2) — проводник с током.

Таким образом, получим силу Лоренца, направленную «вверх», что при определенной величине силы тока позволит нашему космолету левитировать в магнитном поле Земли/двигаться в космическом пространстве.

Вращая контур с Рис. 1 в плоскости, перпендикулярной вектору магнитной индукции  $B$ , получим возможность получения произвольного вектора ускорения, однако лишь в плоскости, перпендикулярной вектору магнитной индукции  $B$ . В двух остальных координатных плоскостях ускорение получить не удастся.

Рассчитаем минимально необходимую силу тока для левитации в магнитном поле Земли.

Сила Лоренца [1]:

$$F_L = B \times I \times L = B \times I \times \pi \times D = m \times g \text{ — сила Ньютона (гравитации).}$$

Отсюда:

$$I = \frac{m \times g}{B \times \pi \times D} = \frac{0.1 \times 10}{30 \times 10^{-6} \times 3.1415 \times 0.1} [A] = 10^5 [A].$$

Для вертикального ускорения в  $1g$ , соответственно, должна быть сила тока  $2 \times 10^5 A$ . При такой силе тока и при равномерном ускорении в  $1g$  через одни сутки при нулевой начальной скорости получим скорость космолета равную:

$$V_1 = V_0 + a \times t = 0 + 10 \frac{m}{s^2} \times 60s \times 60 \times 24 = 864 \left[ \frac{km}{s} \right].$$

Проведем те же самые расчеты для магнитного поля за пределами Солнечной системы (магнитного поля Галактики и усредненной величиной индукции  $3 \times 10^{-6} Gs = 3 \times 10^{-10} T$ ).

Силу Ньютона (гравитации) Галактики в этом случае условно возьмем равной нулю, что в общем случае не так.

Тогда для достижения равномерного ускорения в  $1g$  необходима сила тока по контуру:

$$I = \frac{10^5 \times 30 \times 10^{-6}}{3 \times 10^{-10}} = 10^{10} [A]$$

или 10 миллиардов Ампер.

Получить такую силу тока можно, к примеру, взяв 100 тысяч параллельных проводников по  $10^5 [A]$ . В открытом космосе возможно использовать сверхпроводники.

При нулевой начальной скорости скорость такого корабля через сутки будет все та же:  $864 \frac{km}{s}$ , а через половину земного года:

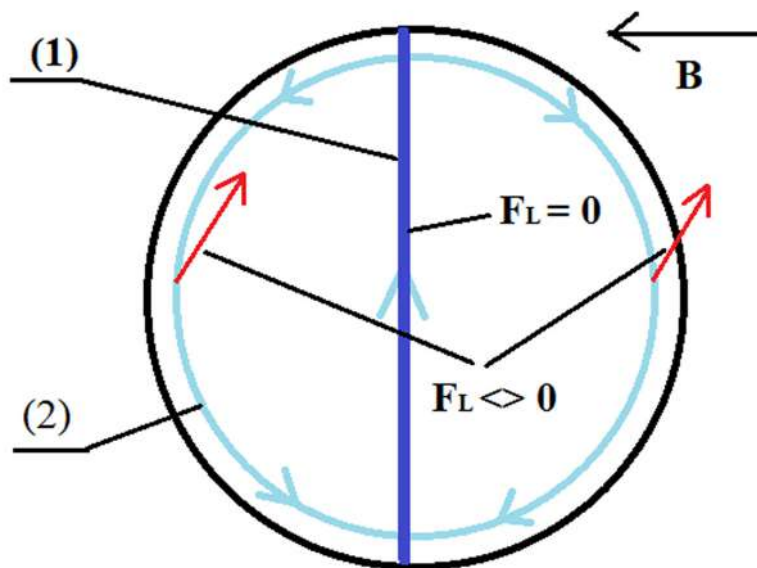


Рис. 1

$$864 \times 183 \frac{km}{s} = 158112 \frac{km}{s}$$

или грубо говоря половина скорости света. При такой скорости масса космонавта, находящегося в корабле, будет равна [3]:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Или приблизительно 1.15 земной. То есть мужчина, имеющий на Земле вес 75 кг, в корабле будет иметь вес 86 кг, что в целом приемлемо.

Таким образом, взяв себе полгода на ускорение до 0.5 световой и полгода на торможение, путь в одну сторону до Проксима Центавры будет занимать в районе 9 лет.

Нерешенной остается задача движения в любом направлении в  $R^3$ , поскольку, как известно, сила Лоренца строго перпендикулярна линиям индукции магнитного поля.

Намагничивание оболочки корабля (создание на ее поверхности «+» и «-» потенциала) и добавление в него источников магнитных полей не решает проблему движения в произвольном направлении в  $R^3$  в связи с нарушением 3-го закона Ньютона.

С другой стороны, создание потенциала («+» и «-»/свободные электроны/) на поверхности корабля может позволить получить ускорение в электрическом поле Галактики. Это поле исследовано крайне слабо, однако, по тем измерениям, которые проводились в пределах нашей Солнечной Системы, его напряженность колеблется от единиц до нескольких тысяч микровольт на метр [5]. Таким образом, конструкция на Рис. 2 позволит получить ускорение в направлении линий электрического поля в зону возрастания потенциала (свободные электроны на поверхности) или противоположную (положительный заряд на поверхности (Рис 2.)).

На Рис. 2: (1) — диэлектрик, (2) — положительный заряд на поверхности, взаимодействует с электрическим полем, (3) — отрицательный заряд, не взаимодействует с электрическим полем благодаря экрану из диэлектрика.

Ускорение в этом случае будет равно [2]:

$$a = \frac{q \times E}{m},$$

где  $q$  — суммарный заряд на поверхности,  $m$  — масса корабля,  $E$  — напряженность электрического поля (возьмем для примера равную  $5 \times 10^{-6} \frac{V}{m}$ ).

Таким образом, для получения требуемого ускорения в  $1g$  нашей тестовой модели звездолета массой 0.1кг будет необходим суммарный заряд на поверхности:

$$q = \frac{m \times a}{E} = \frac{0.1 \times 10}{5 \times 10^{-6}} = 2 \times 10^5 \text{ кулон.}$$

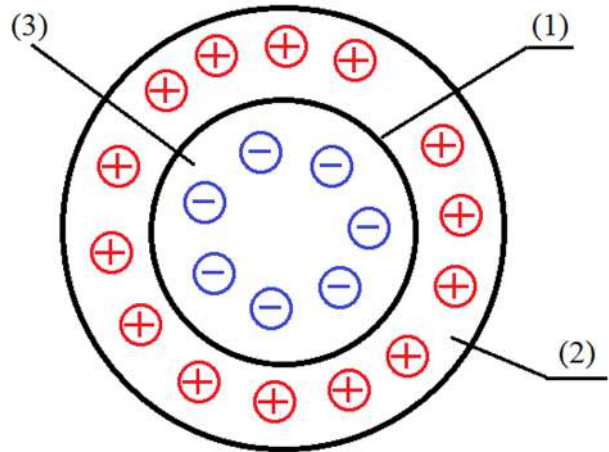


Рис. 2

Совместив в единой модели конструкции с Рис. 1 и Рис. 2, получим звездолет, летящий в космическом пространстве с ускорением  $1g$  в произвольном направлении (за исключением тех точек пространства, в которых линии электрического поля строго перпендикулярны вектору индукции магнитного поля) в  $R^3$  с опорой на электромагнитные поля Галактики.

Рассмотрим конструкцию с Рис. 1. Подобную конструкцию можно заменить на соленоид, где каждый виток спирали будет вида (Рис. 3).

На Рис. 3: (1) — участок проводника с током, закрытый ферромагнетиком, (2) — проводник с током. Тогда сила Лоренца, действующая на такой соленоид, будет считаться по формуле:

$$F_L = B \times I \times \pi \times D \times N,$$

где  $N$  — число витков спирали.

Из [9] видно, что в соленоиде длиной 1 метр может уместиться 400 витков провода. Рассмотрим

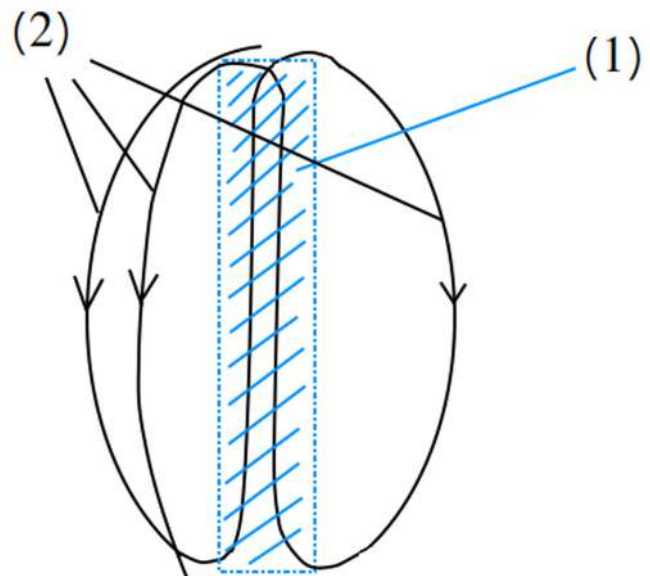


Рис. 3



днище летающего аппарата диаметром 3.5–4 метра. В нем может уместиться 12 соленоидов диаметром 1 метр и длиной 1 метр. Тогда для обеспечения ускорения 1g в магнитосфере Земли и положив вес всего аппарата в 1000 кг необходимая сила тока в проводах должна быть:

$$I = \frac{m \times g}{B \times \pi \times D \times N \times 12} [A] = \frac{10^4}{30 \times 10^{-6} \times 3.14 \times 1 \times 400 \times 12} [A] = 20800 [A]$$

Данную силу тока реально получить и поддерживать в двигателе на протяжении длительного времени.

При этом масса самих проводов из той же таблицы [9] будет составлять чуть менее 490 килограмм. Значит на конструкцию аппарата и полезную нагрузку останется более 500 килограмм.

Теперь посчитаем необходимый заряд на поверхности для левитации в электрическом поле Земли (вертикальное ускорение 1g, которое будет компенсировать силу притяжения). Как известно из [10], заряд Земли равен:  $6.6 \times 10^5$  [Кл].

Тогда из закона Кулона получим необходимый заряд на поверхности:

$$q = \frac{m \times g \times R^2}{k \times Q} = 70 \text{ [Кл]}$$

В этой формуле  $g$  — сила гравитации,  $R$  — радиус Земли в метрах,  $k$  — коэффициент равный:

$$9 \times 10^9 \frac{\text{Н} \times \text{м}^2}{\text{Кл}^2},$$

$Q$  — заряд Земли,  $m$  — масса аппарата.

Для уменьшения этой цифры в конструкции аппарата можно использовать отсек с гелием.

Также следует отметить, что при движении объекта с ненулевым зарядом в двигателе помимо заявленной силы Кулона будет возникать еще и сила Лоренца, действующая на движущуюся заряженную частицу в магнитном поле. Поэтому при пересчете вектора скорости в нашем электромагнитном двигателе следует учесть сразу три силы: силу Лоренца проводника с током, силу Лоренца заряженной частицы и силу Кулона.

Известно, что полет авиалайнера от Нью-Йорка до Сиднея занимает в среднем 21–22 часа. Взяв же аппарат предложенной конструкции и положив полпути на ускорение 1g и полпути на торможение, несложно посчитать, что путь между Нью-Йорком и Сиднеем займет чуть более часа при максимальной скорости посередине 17.8 км/сек.

Рассмотрим подобный корабль, но в открытом космосе. Как известно, электромагнитные поля там значительно слабее, чем на Земле. Индукция магнитного поля составляет:

$$3 \times 10^{-6} \text{Gs} = 3 \times 10^{-10} \text{T}$$

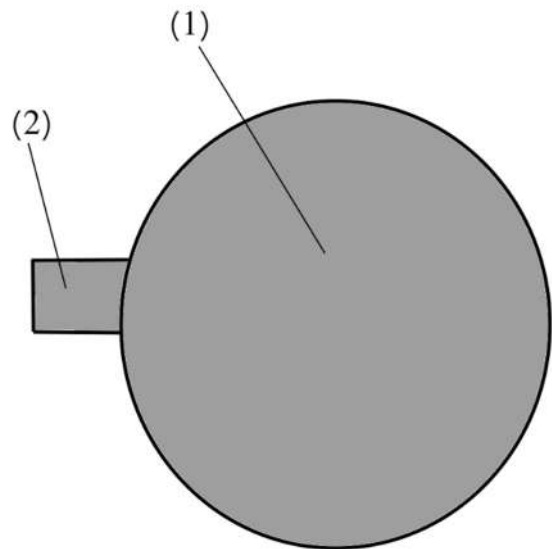


Рис. 4

Рассмотрим конструкцию корабля с Рис. 4.

На этом рисунке (1) — отсек для двигателей, генерирующих силу Лоренца, (2) — жилой отсек. Пусть диаметр (1) составляет 30 метров, масса — 50 тонн, масса (2) вместе с полезной нагрузкой — 50 тонн. Возьмем соленоид с Рис. 3 длиной 1 метр и диаметром 1 метр. Самые легкие проводники, используемые в авиастроении имеют вес 3 кг на километр длины.

Тогда получим, что в (1) можно разместить как минимум  $15 \times 15 \times 2 \times 15 = 6750$  таких соленоидов по 400 витков каждый. Нижняя оценка их суммарной массы составит

$$\frac{6750 \times 1 \times 3.14 \times 400 \times 3}{1000} = 25 \text{ тонн.}$$

Остальные 25 тонн пойдут на самую конструкцию и вспомогательные элементы.

Необходимая сила тока в проводах соленоида должна быть:

$$I = \frac{m \times g}{B \times \pi \times D \times N \times 6750} [A] = \frac{100 \times 1000 \times 10}{3 \times 10^{-10} \times 3.14 \times 1 \times 400 \times 6750} [A] = 40 \times 10^7 [A]$$

Максимальная сила тока, полученная в лаборатории в условиях сверхпроводимости:  $10^7 [A]$ .

Это значит, что если удастся увеличить эту цифру на полтора порядка и добиться сохранности конструкции под воздействием высоких температур на протяжении длительного времени, либо уменьшить вес двигателя на полтора порядка, можно будет создать подобный магнитный двигатель для космоса.

Либо же напротив, рассмотрим участок провода длиной 1 метр и массой 0.003 кг. Тогда при силе тока:  $10^7 [A]$ , полученное ускорение в космосе собственн проводника с током будет равно:

$$a = \frac{I \times B \times L \text{ м}}{m \text{ кг}} = \frac{10^7 \times 3 \times 10^{-10} \times 1 \text{ м}}{0.003 \text{ кг}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 0.1g$$

Если же добавить сюда полезную нагрузку 0.003 кг, то суммарное ускорение объекта с такими параметрами будет равно:

$$a = \frac{I \times B \times L \text{ м}}{m \text{ кг}} = \frac{10^7 \times 3 \times 10^{-10} \times 1 \text{ м}}{0.006 \text{ кг}} = 0.5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 0.05g$$

Это говорит о том, что при правильной конструкции корабля можно получить существенное ускорение в открытом космосе.

К примеру, несложно посчитать, что при ускорении: 0.05g путь до Марса займет чуть более 7 дней, до Проксима Кентавры — 18 лет.

Как известно, магнитное поле есть у любой галактики. Есть оно и у Млечного Пути, и у туманности Андромеды, расстояние до которой 2.5 миллиона световых лет, а размер — 220 тысяч световых лет. Учитывая то, что, скажем, диаметр Земли — 12742 километра, а расстояние от центра планеты до границ ее магнитосферы — 70000 километров, можно сделать предположение, что магнитное поле туманности Андромеды достигает и тех окрестностей космоса, в которых находится Земля. Это значит, что вектор индукции магнитного поля открытого космоса, о котором идет речь выше, является результатом суперпозиции векторов индукции магнитных полей туманностей Андромеды и Млечного Пути. А, значит, при определенной конструкции экрана из ферромагнетика можно получить силу Лоренца отдельно по каждому из этих двух векторов.

Рассмотрим такую конструкцию (Рис. 5).

На Рис. 5: (1) — магнитное поле Млечного Пути с индукцией  $B_1$  (взаимодействует с проводником с током), (2) — магнитное поле Туманности Андромеды  $B_2$  (не взаимодействует с проводником с током), (3) — проводник с током, (4) — экран из ферромагнетика.

Тогда сила Лоренца магнитного поля (1) в данном случае не нулевая:  $F_{L1} \neq 0$ , а сила Лоренца магнитного поля (2) равна нулю:  $F_{L2} = 0$ .

Тогда очевидно можно подобрать различные положения проводников с током и отверстий ферромагнетика отдельно под  $B_1$  и отдельно под  $B_2$ , чтобы получить множества векторов сил Лоренца  $F_{L1}$  и  $F_{L2}$  в двух непараллельных плоскостях с различными по модулю значениями векторов.

Тогда множества векторных сумм векторов из множеств  $F_{L1}$  и  $F_{L2}$  будет покрывать все пространство направлений, что решит задачу получения ускорения 0.05 g в любом направлении в  $R^3$  в космосе.

Аналогичные рассуждения можно провести и в отношении других близлежащих к Млечному Пути галактик, например, Большого и Малого Магеллановых Облаков, что позволит получить более чем две непараллельные плоскости с различными по модулю значениями векторов. Полный список близлежащих галактик указан в [11].

Также с учетом того, что индукция магнитного поля Солнца в районе Земли составляет 15–25 нано Тесл, можно аналогичным путем экранирования добиться левитации в суперпозиции магнитных полей

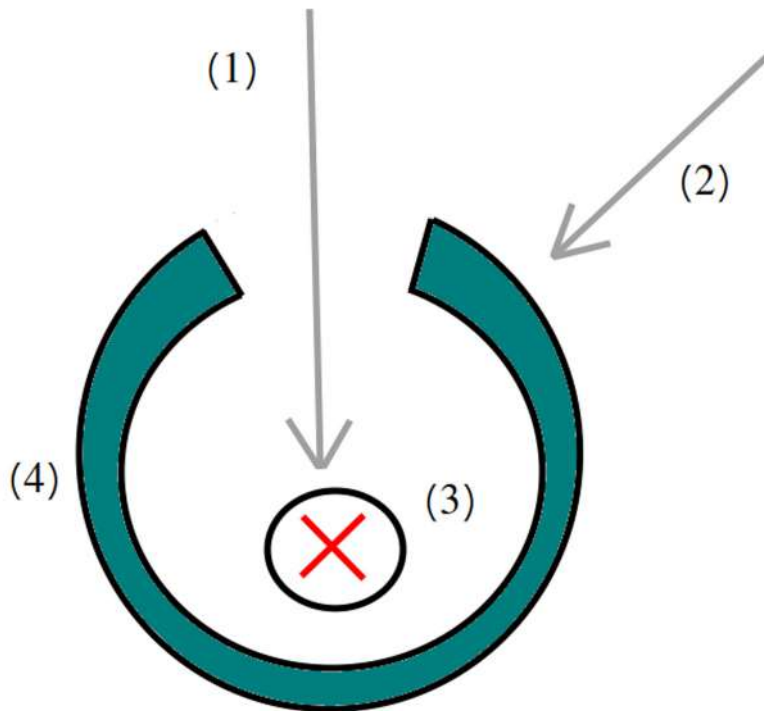


Рис. 5

Солнца и Земли. При этом несложно посчитать, что пиковая величина тока в соленоидах будет слегка превышать

$$\frac{10^7 \times 1g \times 3 \times 10^{-10}}{0.05g \times 2.5 \times 10^{-8}} = 2.4 \times 10^6 \text{ ампер,}$$

что реально получить в условиях сверхпроводимости. В этом случае достижения левитации в электрическом поле Земли можно будет избежать, и весь процесс левитации будет основан лишь на магнитной левитации в магнитных полях Земли и Солнца с генерацией силы Ампера в соленоидах.

Дополнительно следует отметить, что данную технологию можно использовать для вывода грузов на орбиту. Как известно, линии магнитного поля Земли в районе экватора идут параллельно земной поверхности, это значит, что площадь действия вектора силы Лоренца будет ортогонально этой поверхности в районе экватора. Значит, построив космодром на экваторе, можно подобрать то положение соленоидов, при котором сила Лоренца будет строго перпендикулярна земной поверхности. Тогда из предложенных выше рассуждений и с учетом того, что величина индукции магнитного поля Земли на 5 порядков больше аналогичного значения в космосе, можно очевидно предложить конструкцию корабля, при которой при силе тока 10 тысяч ампер вертикальное ускорение составит

$$\frac{0.05g \times 100000}{1000} - g = 4g,$$

либо вертикальное ускорение 1g при силе тока 4 тысячи ампер, что более оптимально для самочувствия космонавтов.

Для того, чтобы в каждой точке пространства подобрать конфигурацию двигателя (ориентацию соленоидов в пространстве, величину тока в них, а так же положение экранов из ферромагнетика и отверстий в них с Рис. 5), можно создать тестовый датчик с набором всех возможных конфигураций отверстий ферромагнетика на сфере и соленоидов внутри них. Путем замера показателей направления и величины силы Лоренца по каждому из таких соленоидов можно подобрать общую конфигурацию двигателя и провести пересчет этой конфигурации в каждой точке движения.

Также следует отметить, что эту идею можно использовать для практической реализации идеи Циолковского о космическом лифте. Рассмотрим такой лифт длиной 1000 километров. Тогда в его построении вместо идеи центробежной силы можно взять за основу идею поддержания всей конструкции за счет силы Лоренца. Рассмотрим такой лифт на экваторе. Как показано ранее, можно подобрать положение соленоидов, при котором сила Лоренца будет направлена вертикально вверх. Рассмотрим 1 погонный метр длины конструкции. Пусть его масса — 10кг, общая длина проводов соленоидов

в стенках лифта в рамках погонного метра  $L = 1000$  метров, их масса — 3кг. Тогда остальные 7кг пойдут на саму конструкцию. Тогда необходимая сила Лоренца для компенсации силы тяжести этого участка в 1 погонный метр:  $F = mg = 100$  Ньютон. А необходимая сила тока в проводах:

$$I = \frac{F}{L \times B} = \frac{100}{1000 \times 3 \times 10^{-5}} [A] = 3333 [A]$$

Что более чем реально реализовать на практике.

Еще одним итогом по статье можно назвать то, что предложенную здесь технологию можно использовать не только для летающих тарелок или кораблей в форме шара, но и для летающих машин произвольной формы, в том числе и несимметричной. При нынешнем уровне компьютерных технологий можно подобрать взаимное расположение и ориентацию соленоидов, а также величину тока в них такие, что корабль будет сбалансирован. Симметричная же форма машины позволяет упростить процесс балансировки в электромагнитных полях небесных тел.

Следует добавить, что подобные расчеты допустимы и для других планет Солнечной системы. Так, напряженность магнитного поля Марса в 500 раз слабее земного и составляет  $6 \times 10^{-8}$  Тесл. Сила гравитации —  $0.38g$ . Это значит, что на Марсе также возможна левитация в его магнитном поле с граничной силой тока 3–4 миллиона ампер, что возможно в условиях сверхпроводимости. При этом также возможен вывод грузов на орбиту на магнитном экваторе этой планеты при силе тока

$$\frac{4000 \times 500 \times 0.76}{2} [A] = 760000 [A].$$

Более того, возможно и создание марсианского экваториального космического лифта с силой тока в проводах  $3333 \times 0.38 \times 500 [A] = 633270 [A]$ , что также можно достичь в условиях сверхпроводимости.

Схематически описанный в данной статье корабль можно представить так, как изображено на Рис. 6.

На Рис. 6: 1. Двигательный отсек. Диаметр — 500 метров, длина — километр. Внутри — соленоидальные двигатели с Рис. 5 Масса всего отсека — 10 миллионов тонн. Именно он является движителем корабля, а не 3. 2. Конвертер атомной энергии в электрическую. 3. Отсек с атомным реактором и атомным топливом. Масса — миллион тонн. 4. Перешеек между жилым отсеком и двигательным. 5. Жилой отсек. Диаметр — 500 метров, Длина — 300 метров. Являет собой центрифугу, вращающуюся вокруг оси. За счет этого генерируется сила тяжести. Предназначен для 10 тысяч членов экипажа и пассажиров. Масса — миллион тонн. 6. — Капитанская рубка. Здесь расположен центральный компьютер. Длина — 50 метров. Ди-

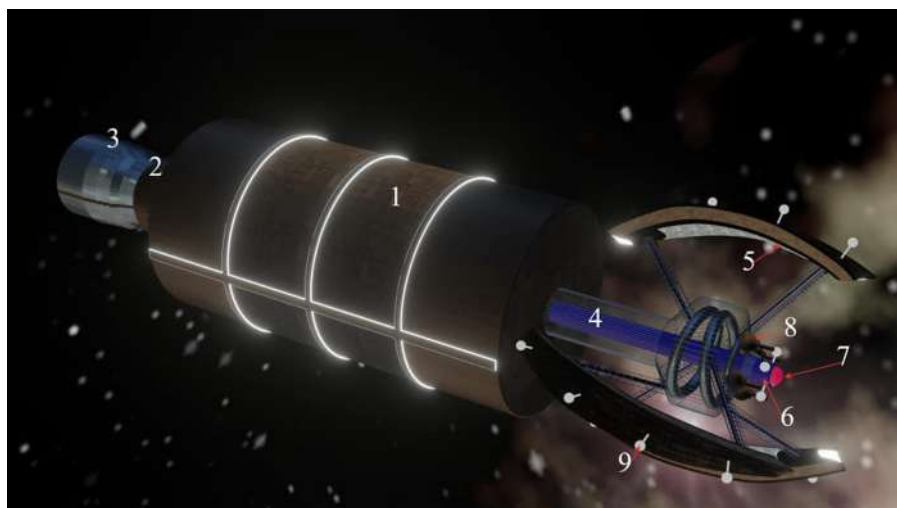


Рис. 6

аметр — 50 метров. Масса — 100 тысяч тонн. 7. Лазерный датчик, расположен спереди корабля на капитанской рубке. Нужен для выявления препятствий на пути корабля. Если, скажем астероид выявлен на расстоянии  $x$  спереди корабля, то, учитывая то, что лазерный сигнал идет со скоростью света, при скорости корабля в половину световой несложно посчитать, что у корабля останется  $x/3$  запаса хода для совершения маневра. 8. Лазерная пушка — для устранения найденных препятствий небольшого размера. Для всех остальных придется менять курс. 9. Генераторы локального магнитно-

го поля для защиты космонавтов от космической радиации.

**Выводы.** В данной статье предложен способ построения космического корабля с опорой на электромагнитные поля Галактики, который по мнению автора позволит при определенной величине тока и определенной конструкции двигателя достичь скоростей, достаточных для межзвездных перелетов за приемлемое время. Особняком стоит вопрос целесообразности таких перелетов с экипажем на борту, учитывая их продолжительность и сопряженные с ней трудности.

#### Литература

1. Яковлев И. В. Физика. МЦНМО, 2014 г. 507 с. [Yakovlev I. V. Physics. MCCME, 2014. 507 p.]
2. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике. М.: Мир, 1990. 350+400 с. [Guld H., Tobochnik Ya. Computer simulation in physics. M., Mir, 1990. 350+400 p.]
3. Ацюковский В. А. Критический анализ основ теории относительности. М.: Изд-во 'Петит', 1996. 56 с. ил. [Atsiukovskiy V. A. Critical analysis of the foundations of the relativity theory. M., 'Petit' printing house, 1996. 56 p. fig.]
4. Магнитные поля в космосе. Изд. 2, доп. Бочкарев Н. Г. 2011 [Magnetic fields in the space. 2nd ed., amend. Bochkariev N. G., 2011]
5. Фрактальная физика: наука о мироздании / Василий Шабетник. М., 2000. 415 с. [Fractal physics: a science of the universe / Vasilii Shabetnik. M., 2000. 415 p.]
6. URL: [http://samlib.ru/l/lemeshko\\_a\\_w/aab.shtml](http://samlib.ru/l/lemeshko_a_w/aab.shtml)
7. URL: [http://nkau.gov.ua/gateway/news\\_archive.nsf/AnalitAvtorR/C20927A443D6789DC22573AE002A2228?open](http://nkau.gov.ua/gateway/news_archive.nsf/AnalitAvtorR/C20927A443D6789DC22573AE002A2228?open)
8. URL: <http://base.ukrpatent.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=95429&chapter=description>
9. URL: <https://polo-elektro.com.ua/cp38951-tablitsy-vesa-provoda.html>
10. URL: [http://samlib.ru/b/bergulew\\_a/dopolnitelxnyeraschetypokorabljunaelektromagnitnyhpohlah.shtml](http://samlib.ru/b/bergulew_a/dopolnitelxnyeraschetypokorabljunaelektromagnitnyhpohlah.shtml)
11. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%BA\\_%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%B6%D0%B0%D0%B9%D1%88%D0%B8%D1%85\\_%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BE%D0%BA_%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%B6%D0%B0%D0%B9%D1%88%D0%B8%D1%85_%D0%B3%D0%B0%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%BA)

**Золотовська Олена Володимирівна**

*кандидат технічних наук,*

*доцент кафедри тракторів і сільськогосподарських машин*

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*

**Золотовская Елена Владимировна**

*кандидат технических наук,*

*доцент кафедры тракторов и сельскохозяйственных машин*

*Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет*

**Zolotovs'ka Olena**

*Candidate of Technical Sciences, Associated Professor*

*Dnipro State Agrarian and Economic University*

**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СКЛАДУ  
ПРОДУКТІВ ЗГОРЯННЯ ПІРОЛІЗНОГО ГАЗУ**

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВА  
ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ПИРОЛИЗНОГО ГАЗА**

**PECULIARITIES OF FORMATION OF PYROLYSIS  
GAS COMBUSTION PRODUCTS COMPOSITION**

**Анотація.** В статті наведені дослідження складу продуктів згорання піролізного газу методом газової хроматографії. Представлені експериментальні дані, які дозволяють визначити раціональні режими проведення процесу піролізу з рослинної біомаси для отримання газу, з можливістю його використання в сільськогосподарському виробництві.

**Ключові слова:** термічне розкладання часток, піролізний газ, хроматографія, біомаса, температура.

**Аннотация.** В статье приведены исследования состава продуктов сгорания пиролизного газа методом газовой хроматографии. Представленные экспериментальные данные позволяют определять рациональные режимы проведения процесса пиролиза из растительной биомассы для получения газа, с возможностью его использования в сельскохозяйственном производстве.

**Ключевые слова:** термическое разложение частиц, пиролизный газ, хроматография, биомасса, температура.

**Summary.** The article presents a study of the composition of the combustion products of pyrolysis gas by gas chromatography. The presented experimental data make it possible to determine the rational modes of the pyrolysis process from plant biomass to obtain gas, with the possibility of using it in agricultural production.

**Key words:** thermal decomposition of particles, pyrolysis gas, chromatography, biomass, temperature.

**Постановка проблеми.** Технології утилізації відходів рослинного походження знаходяться на початку свого розвитку в Україні та мають хороші перспективи для комерціалізації в найближчому майбутньому, особливо з різким підвищенням вартості природного газу. Відомо, що відходи сільськогосподарського виробництва (солома, стебла і качани кукурудзи, стебла і лузга соняшника та інші відходи біомаси) складають основу потенціалу біомаси в Україні [1–2].

Піроліз відходів біомаси рослинного походження є практично єдиною можливою технологією для

використання в транспортних установках, оскільки технології прямого спалювання та газифікації не мають споживача на виробниче тепло і генераторний газ безпосередньо в місцях збору (виращування) сільськогосподарських культур. Також, використання транспортних установок дозволить значно знизити собівартість енергії виробленої з біомаси внаслідок відсутності капітальних і експлуатаційних витрат на брикетування, зберігання і сушку біомаси. Наприклад, швидкий піроліз деревини або шкарлупи горіха при температурі 800–900 С призводить до утворення 10% твердого деревного вугілля і перетво-

рює 60% вихідної сировини в газ, який містить велику кількість водню і монооксиду вуглецю. Швидкий піроліз може скласти конкуренцію традиційному піролізу, але для масштабного використання його необхідно відпрацювати в технологічному обсязі. В даний час традиційний піроліз вважається найбільш привабливим видом. Так як використання відносно низьких температур означає, що в атмосферу потрапляє мала кількість забруднювачів, якщо порівнювати зі спалюванням. Ця обставина дає екологічну перевагу переробці деяких видів відходів.

Відомо, що температура впливає на перебіг термічного розкладу в процесі піролізу, в результаті якого сировинна маса розкладається з утворенням газоподібних продуктів. Вибір оптимального значення температури зумовлює ефективність здійснення процесу термічної переробки відходів біомаси, таких як рисове і гречане лушпиння, деревна тирса, шкарлупа горіхів, лушпиння соняшнику та інше.

Тому **метою роботи** є визначення складу продуктів згоряння піролізного газу для подальшого пошуку якісного функціонального взаємозв'язку теплоенергетичних показників піролізного газу і температури теплоносія. В свою чергу, склад продуктів згоряння залежить від складу горючого газу (складу продуктів піролізу). Одним з ефективних методів аналізу, що дозволяє отримати експериментальним шляхом дану залежність є хроматографічні дослідження складу газу.

Для хроматографічного аналізу складу продуктів піролізу була розроблена лабораторна установка, яка реалізована у вигляді апаратно-програмного комплексу, автоматизованого процесу обробки і візуалізації експериментальних даних в масштабі реального часу[3]. Сутність цього аналізу полягає в фізичному поділі газової суміші на окремі ком-

поненти, заснованому на відмінності їх фізико-хімічних властивостей.

За допомогою фізико-хімічних методів аналізу продуктів згоряння досліджуваного газу можна визначити їх кількісний склад. Для реалізації цієї методики вимірювання використовуємо прилад, який фіксує у відпрацьованих газах наявність  $NO_x$ ,  $CH_4$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ . Схема приладу представлена на рис. 1.

Тиск газу перед колонкою вимірюється манометром, а його витрати — ротаметром. Проба, яка аналізується вводиться в дозатор разом з газом-носієм та переміщується в хроматографічну колонку. Безпосередньо на виході з колонки розміщується детектор, що вимірює кількість компонента, який знаходиться в газі-носії. Зміна складу газової суміші фіксується датчиками, які реагують на відповідні зміни в електричній схемі.

Таким чином, на самописці записується крива зміни електричного потенціалу за певний термін, пропорційний концентрації або току речовини в газі-носії на виході з колонки. З цієї кривої (хроматограма), представленої на рис. 2 роблять висновки про якісний і кількісний склад аналізованої суміші.

Обробку отриманих даних за змістом  $NO_x$  в продуктах згоряння піролізного газу у суміші з повітрям виконували з використанням методу планування експериментів.

Приймаємо, що вологість досліджуваної біомаси  $X_1$  варіюється у межах 1–40%, температура досліджуваного газу  $X_2$  визначається в діапазоні 160–490 °С, час перебування частинок в досліджуваній зоні  $X_3$  — 0,6–10 хвилин, коефіцієнт надлишку повітря  $X_4$  складає від 1 до 3. Умови проведення дослідів представлені в таблиці 1.

В якості залежної змінної  $Y$  розглядали зміст  $NO_x$  в продуктах згоряння. Для виключення

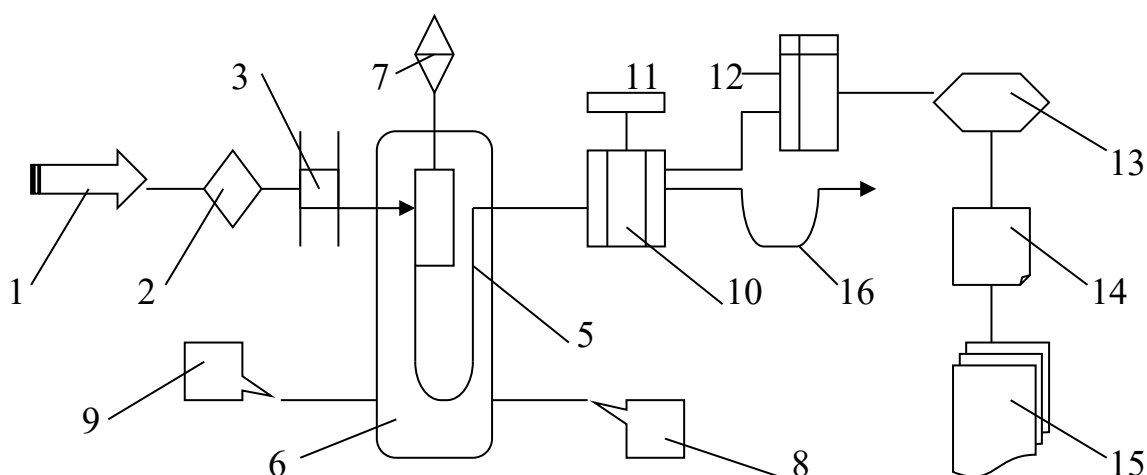


Рис. 1. Схема визначення кількісного складу продуктів згоряння піролізного газу:

- 1 — газ-носії; 2 — регулятор витрати газу; 3 — витратомір; 4 — дозатор — випарник; 5 — хроматографічна колонка; 6 — термостат; 7 — дозатор; 8 — терморегулятор; 9 — прилад для програмування температури;
- 10 — детектор; 11 — живлення детектора; 12 — підсилювач; 13 — самозаписуючий прилад; 14 — інтегратор;
- 15 — принтер; 16 — уловлювач

Таблиця 1

Умови проведення експерименту

Рівні варіювання	Фактор			
	Вологість частинок $X_1$ , %	Температура газу $X_2$ , °C,	Час перебування $X_3$ , год	Коефіцієнт надлишку повітря $X_4$
-1,414	0	25	0	1
-1	1	180	0,001	1,5
0	20,5	335	0,084	2
1	40	490	0,167	2,5
+1,414	59,5	645	0,25	3

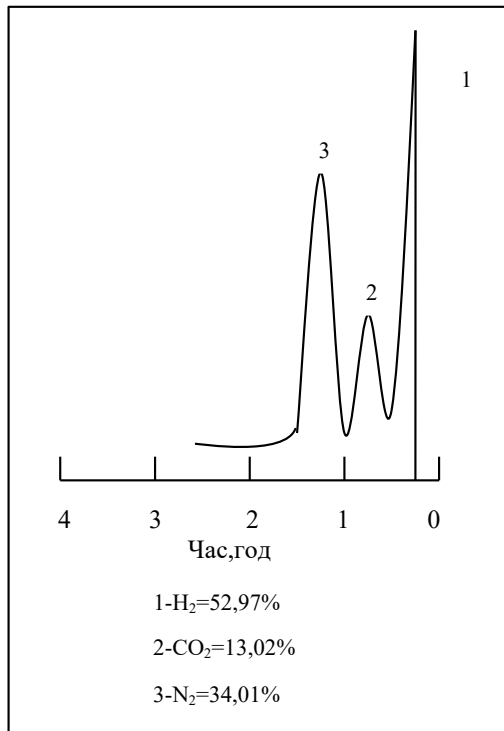


Рис. 2. Хроматограма продуктів згоряння піролізного газу

систематичної помилки встановлювали випадковий порядок дослідів в часі. Багатофакторна залежність описується ортогональним планом  $2^4$ . Математичну обробку експериментів виконували за прийнятою методикою [3–4].

Перевірку відтворюваності дослідів проводили за критерієм Кохрена. Значимість отриманих коефіцієнтів рівняння регресії визначали критерієм Стьюдента. Адекватність отриманої математичної моделі оцінювали за допомогою F-критерію Фішера. Після обробки результатів експериментів отримано рівняння регресії для обчислення параметра оптимізації з точністю до 0,7%.

$$Y = 1.387 - 3.6 \cdot 10^{-2} X_1 + 4.08 \cdot 10^{-2} X_4 + 8.54 \cdot 10^{-3} X_3^2 - 2.187 \cdot 10^{-2} X_1 \cdot X_2 - 0.0194 X_1 \cdot X_3 - 2.187 \cdot 10^{-2} X_1 \cdot X_4 + 0.0118 X_2 \cdot X_4 \quad (1)$$

Вплив досліджуваних факторів показано на діаграмі (рис. 3).

Очевидно, що при збільшенні кількості вологи зміст  $NO_x$  в продуктах згоряння зменшується. Дисоціація водяної пари, що вивільнилася результати випаровування, призводить до збільшення концентрації активних центрів реакції. Значні концентрації гідроксильного радикала збільшує швидкість вигорання окису вуглецю. Спалювання піролізного газу призводить до зменшення оксидів азоту в продуктах згоряння, тому що знижується температура полум'я. Крім того, збільшення кількості активних центрів реакції активізує горіння і відповідно знижує концентрацію атомарного кисню. В результаті знижується швидкість окислення азоту.

Стосовно впливу фактору  $X_4$  — коефіцієнта надлишку повітря, відзначим наступне. За ступенем впливу на  $Y$  він домінує і проявляється прямопропорційна залежність. Експериментально встановлено, що вихід  $NO_x$  збільшується до критичного

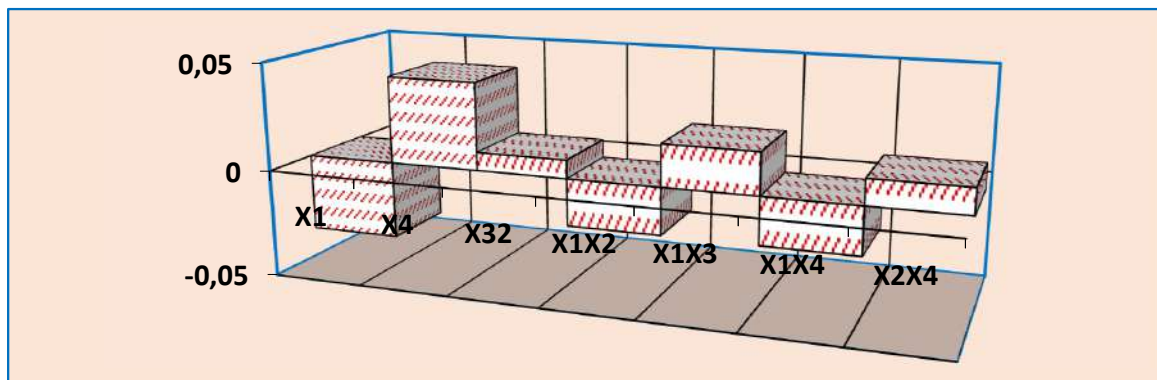


Рис. 3. Діаграма значущості факторів моделі

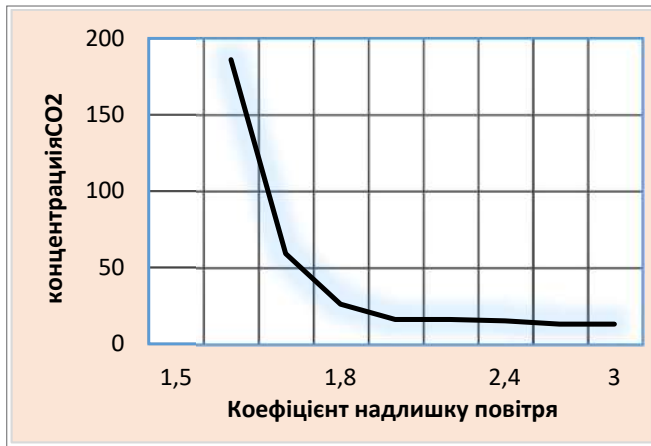


Рис. 4. Залежність концентрації CO<sub>2</sub> від коефіцієнту надлишку повітря

значення. Це пояснюється тим, що підвищується концентрація вільного кисню. При подальшому підвищенні надлишку повітря на вихід NO<sub>x</sub> впливає температура горіння. Було встановлено, що в факелі NO в основному утворюється в зоні максимальних температур, і в порівняно вузькому їх діапазоні, на ділянці малої довжини.

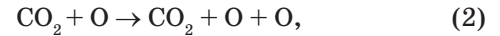
При форсуванні факела концентрація NO зростає пропорційно  $q_F^{0.5}$  (де  $q_F$  — поверхнева щільність тепловиділення, МВт/м<sup>2</sup>).

Очевидно, з експериментально встановленого факту, що в зоні реакції при високих температурах утворюється атомарний кисень, кількість якого в кілька разів перевищує кількість атомарного кисню, що утворюється в результаті дисоціації ат-

мосферного повітря, і представляється наступний механізм утворення окислів азоту:



При цьому атомарний кисень утворюється в значній кількості в проміжних стадіях протікання реакції горіння вуглеводнів та окису вуглецю (рис. 4), зокрема по реакції (2).



Розпад надмірної кількості молекулярного кисню відбувається в зіткненнях з активованими молекулами вуглекислого газу CO<sub>2</sub>, які утворились в процесі горіння, що призводять до розриву зв'язків в молекулі кисню і звільнення його атомів. В утворюванні атомарного кисню значно меншу роль відіграє термічний розпад молекул кисню.

Залежність Y від тривалості термообробки часток X<sub>3</sub> має нелінійний характер, тому практично не значим.

В ефектах взаємодії проявляється вплив домінуючого фактору. Виключенням складає X<sub>1</sub> · X<sub>4</sub>.

Мабуть збільшення концентрації вологи в досліджуваному газі сприяє утворенню додаткового атомарного кисню в реакції горіння при дисоціації води або зниженні температури. В результаті чого, зменшується вихід окислів азоту. Таким чином, чим більші значення приймає співвідношення X<sub>1</sub> · X<sub>4</sub>, тим менше Y.

**Висновок.** Отже, при низькому надлишку повітря ( $\alpha_T=1,02...1,03$ ) і менш високих температурах горіння, зменшення утворення атомарного кисню може привести до зменшення виходу окислів азоту.

### Література

1. Гелетуха Г. Г., Железна Т. А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні // Промислова теплотехніка. 2017. Т. 39. № 2. С. 60–64.
2. Денисенко В. О. Оцінка потенціалу біомаси в Україні // Агросвіт. 2019. № 24. С. 84-89. DOI: 10.32702/2306-6792.2019.24.84
3. Золотовская Е. В. Особенности процесса термического разложения частиц биомассы / Золотовская Е. В. // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Дніпродзержинськ. 2010. № 2. С. 129–136.
4. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман. М.: Мир, 1977. 552 с.
5. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. М.: Наука, 1976. 279 с.



**Молдабаева Гульназ Жаксылыковна**

*доктор технических наук,  
профессор кафедры «Нефтяная Инженерия»  
Satbayev University*

**Moldabayeva Gulnaz**

*Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the Department of Petroleum Engineering  
Satbayev University  
ORCID: 0000-0001-7331-1633*

**Сулейменова Райхан Таупиховна**

*докторант кафедры «Нефтяная Инженерия»  
Satbayev University*

**Suleimenova Raikhan**

*Doctoral Student of the Department of Petroleum Engineering  
Satbayev University*

**Тузелбаева Шолпан Рыскулбеккызы**

*докторант кафедры «Нефтяная Инженерия»  
Satbayev University*

**Tuzelbayeva Sholpan**

*Doctoral Student of the Department of Petroleum Engineering  
Satbayev University*

**Табилов Мухаммед Берикович**

*магистрант кафедры «Нефтяная Инженерия»  
Satbayev University*

**Tabilov Mukhammed**

*Master's Student of the Department of Petroleum Engineering  
Satbayev University*

**Пак Леонид Александрович**

*магистрант кафедры «Нефтяная Инженерия»  
Satbayev University*

**Pak Leonid**

*Master's Student of the Department of Petroleum Engineering  
Satbayev University*

DOI: 10.25313/2520-2057-2021-1-6688

**АНАЛИЗ РАЗРАБОТКИ ИСТОЩЕННЫХ НЕФТЯНЫХ  
ЗАЛЕЖЕЙ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА,  
ПОВЫШЕНИЕ ИХ КОНЕЧНОЙ НЕФТЕОТДАЧИ**

**ANALYSIS OF DEVELOPMENT OF DEPLETED  
OIL DEPOSITS IN WESTERN KAZAKHSTAN,  
INCREASING THEIR FINAL OIL RECOVERY**

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются актуальные проблемы, дальнейшей эффективной разработки истощенных нефтяных залежей (ИНЗ) является повышение их конечной нефтеотдачи на примере месторождении Кенкияк, рассматривая контроль и регулирования разработки месторождений.

**Ключевые слова:** гидродинамических исследование, регулирование, контроль, скважина, фильтрационные исследования, повышение нефтеотдачи, штанговый глубинный насос.

**Summary.** This article discusses topical issues, further effective development of depleted oil deposits (INZ) is to increase their final oil recovery on the example of the Kenkiyak field, considering the control and regulation of field development.

**Key words:** hydrodynamic research, regulation, control, well, filtration research, enhanced oil recovery, sucker rod pump.

**Актуальность исследования.** С начала разработки гидродинамические исследования проведены по барремскому и юрским горизонтам, в период с 1999–2002 гг., было проведено 15 исследований методом восстановления давления.

За период 1999–2011 гг., на месторождении велись замеры пластового и забойного давлений через межтрубное пространство с помощью глубинных манометров. Большинство замеров проведено по бездействующим и простаивающим скважинам, во время проведения ПРС и КРС, также проводились замеры в наблюдательных скважинах [1].

**Постановка проблемы. Объект I.** На основании имеющихся данных среднее значение коэффициента продуктивности составляет 0,447 м<sup>3</sup>/(МПа\*сут), проницаемость — 0,119 мкм<sup>2</sup>.

**Объект II.** С момента утверждения действующего проектного документа («Уточненного проекта разработки... 2012 г.») выполнено одно исследование КВД по скважине № 1008. Закрытие скважины происходило с 05.11.2018г по 15.11.2018г, сроком на десять суток (240 часов). Для построения графика использовались данные, полученные путем измерения манометром каждые 1,5 часа на забое скважины. На рисунке 1 представлена кривая зависимости давления и температуры от времени.

Таблица 1

Количество выполненных ГДИ за 2012 г. — 1-е полугодие 2018 г.

метод	Всего	Объекты			
		Объект I	Объект II	Объект III	Объект VI
МУО	5	-	-	5	-
КВД	60	-	1	59	-
Всего	65	-	1	64	-

Проведены замеры давления и температуры на глубине 246 м. Длительность записи КВД составила 240 часов. За это время давление повысилось с 0,15 МПа до 1,73 МПа. Стоит отметить, что давление в скважине недовосстановлено до статического, нет прямолинейного горизонтального участка кривой. До последнего этапа закрытия скважины радиальный приток не отмечается. На рисунке 2 представлен диагностический график по результатам исследования КВД.

На графике бордовая кривая представляет замеренное давление, красная кривая её производная с учётом всех данных о пласте. Вначале времени отмечается влияние ствола скважины. Рассчитанный скин-фактор составляет 38,8, что свидетельствует,

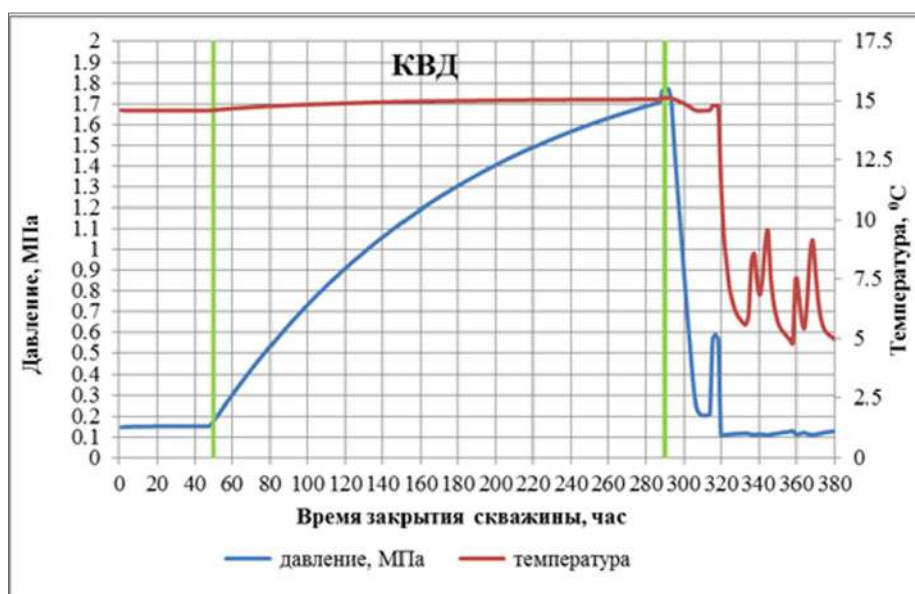


Рис. 1. Кривая зависимости давления и температуры от времени в скважине № 1008 в 2018 г.

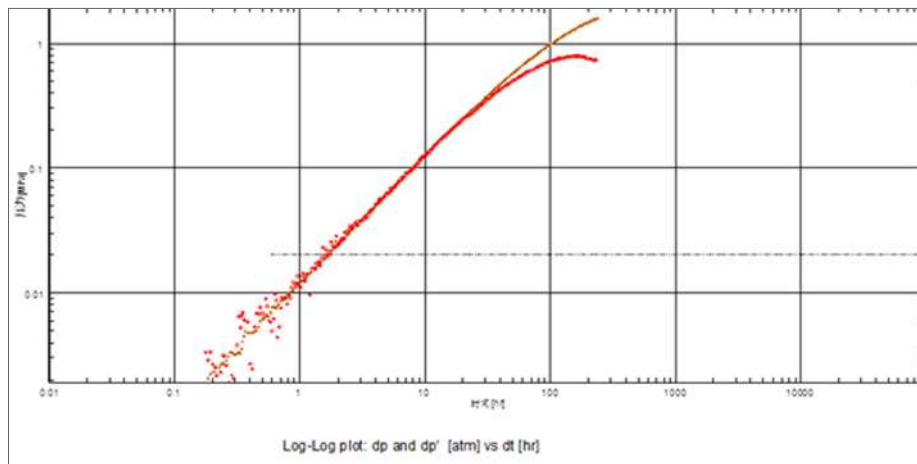


Рис. 2. Диагностический график по результатам исследования КВД по скважине № 1008 в 2018 г.

о загрязнении призабойной зоны. На основании имеющихся данных среднее значение коэффициента продуктивности —  $0,159 \text{ м}^3/(\text{МПа}\cdot\text{сут})$ , коэффициента проницаемости —  $0,04 \text{ мкм}^2$ .

**Объект III.** За весь период с 2012 года по основному объекту выполнено шесть исследований МУО и 59 исследований методом КВД. Анализируя исследование, рассмотрим проведение КВД по скважине № 1147 в динамике. Исследования по этой скважине проводились в 2017 и в 2018 гг. В первом случае закрытие скважины происходило с 18.09.2012 г. по 27.09.2012 г., сроком на девять суток (210 часов). Для построения графика использовались данные, полученные путем измерения манометром каждые 1,3 часа на забое скважины. На рисунке 3 представлена кривая зависимости давления и температуры от времени.

Проведены замеры давления и температуры на глубине 250 м. Длительность записи КВД составило 210 часов. За 210 часов давление изменилось с 0,13 МПа до 1,36 МПа.

Длительность записи КВД составило 329 часов. За весь период исследования давление изменилось с 1,1 МПа до 1,2 МПа, амплитуда восстановления давления сравнительно маленькая. Стоит отметить, что после 20 часов закрытия скважины появился радиальный приток, кривая продолжает повышаться, отражая изменения фильтрационных свойств периферии. На рисунке 4 представлен диагностический график по результатам исследования КВД.

Свойства нефти в пластовых условиях в целом свойства пластовой нефти основного участка изучены по 30 пробам. Основная масса глубинных проб нефти отобрана из юрских горизонтов (24 пробы), из меловых отложений отобрана одна проба, а из нижнетриасовых горизонтов — 5 проб. По последним замерам текущих термодинамических характеристик пластов, проведенных в 2018 г., во многих скважинах пластовые давления близки к начальным величинам. По температуре существует неопределенный разброс данных, геотермический градиент

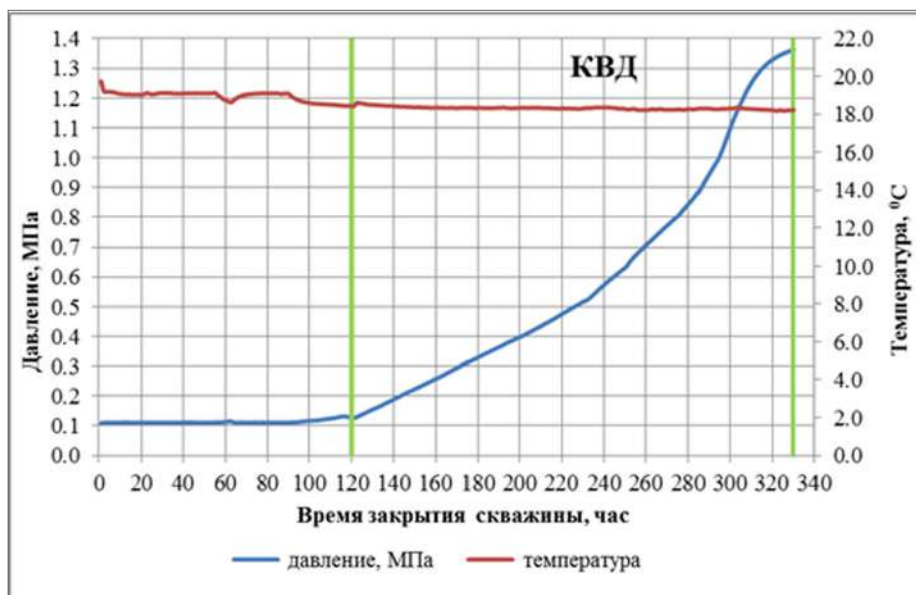


Рис. 3. Кривая зависимости давления и температуры от времени в скважине № 1147 в 2018 г.

условно по первоначальным замерам, приблизительно на уровне 2 °С/100 м. Графическое представление данных термодинамических замеров, а также распределение величин параметров, пластовых и сепарированных нефти (стандартная сепарация) по глубине демонстрируется на рис. 4–5. При исключении явно аномальных значений, по глубине погружения можно усмотреть тенденцию возрастания давления насыщения, газосодержания, объемного коэффициента и снижения плотности пластовой и сепарированной нефти.

На месторождении добывающие скважины в основном эксплуатируются при помощи ШГН и методом свабирования. Согласно данным основные способы эксплуатации действующих скважин, на дату отчета большинство скважин на месторождении эксплуатируются ШГН (44,0% всего действующего добывающего фонда), методом свабирования —

32,25%, 17,53% скважин оборудованы винтовыми насосами (ВН) и 6,3% находятся в периодической эксплуатации. За период (с 2014 г. по 01.07.2018 г.) доля скважин, находящихся в эксплуатации ШГН способом, сократилась на 47 единиц (с 500 до 453 ед.), фонд скважин, оборудованных ВН, сократился на 8 единиц (со 188 до 180 ед.), количество скважин эксплуатирующийся методом свабирования увеличилось на 332 ед. (с 0 до 332 ед.), в периодической эксплуатации находятся 65 скважин что на 34 ед. меньше чем в 2017 году. Все новые скважины оборудованы установками ШГН. Основной способ эксплуатации добывающих скважин крутого склона — ШГН, одна скважина эксплуатируется методом свабирования [1].

**Выводы.** Для того чтобы обеспечить разработку надсолевых залежей месторождения Кенкияк в соответствии с запланированным проектом, необ-

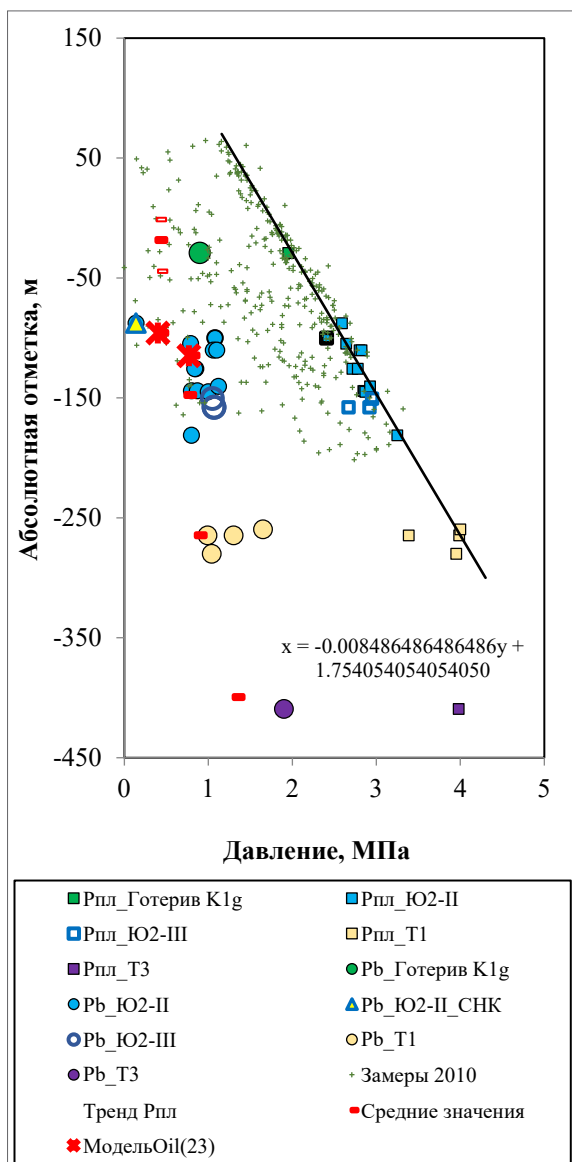


Рис. 4. Зависимость пластового давления (Рпл) и давления насыщения (Рb) от глубины (основное поле)

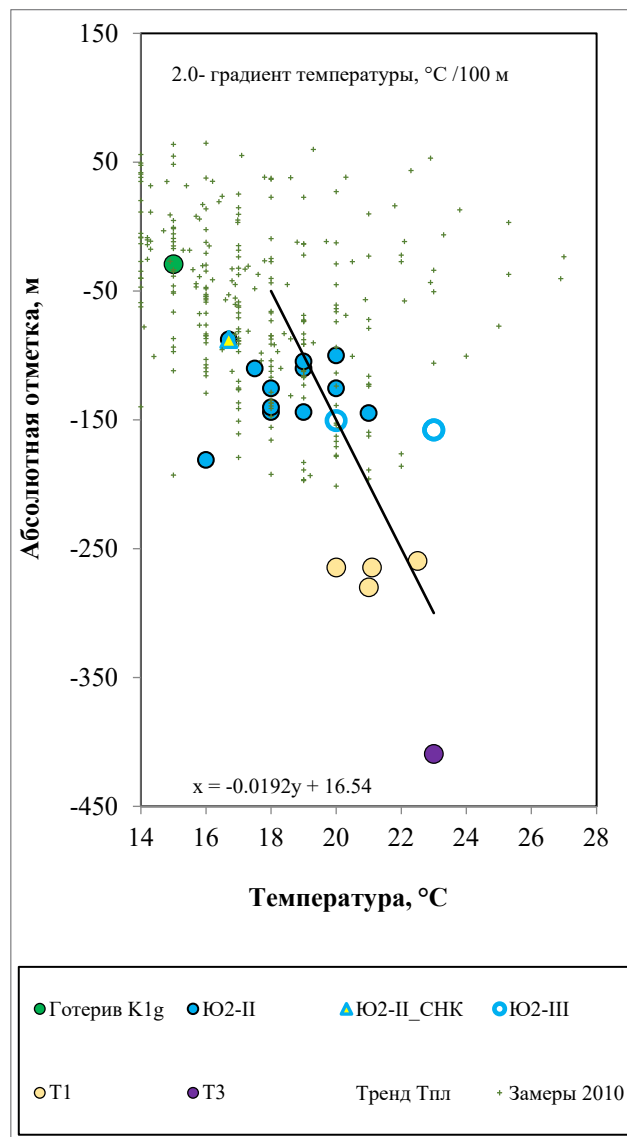


Рис. 5. Зависимость пластовой температуры от глубины (основное поле)

ходимо выбрать рациональный метод подъема флюидов из нефтяных скважин, выбрать подходящее устьевое и скважинное оборудование в соответствии с геолого-физическими характеристиками продуктивных коллекторов на месторождении Кенкияк, а также физико-химическими свойствами и энергетическим состоянием пластовых флюидов объектов разработки. В процессе выбора методов добычи и оборудования для нефтяных скважин, необходимо учитывать промышленное оборудование на месторождении, которое в настоящее время используется АО «СНПС-Актобемунайгаз», а также фактические условия эксплуатации этого оборудования. Особенностью разработки залежей месторождения Кенки-

як надсолевой является свойства добываемой продукции, характеризующиеся высокой вязкостью.

Проведя анализ [2–5] по данным коэффициента эксплуатации на объектах разработки надсолевых залежей месторождения Кенкияк в период с 2014 по 2018 год видно, что на эксплуатацию скважин на Основной площади влияют такие факторы, как метод разработки, обводненность, проведение ГТМ, сезонное подтопление. В целом стоит отметить, что коэффициент эксплуатации находится на низком уровне, что связано с фактическим состоянием фонда скважин и методом эксплуатации. По участку Крутой склон отмечается высокий коэффициент эксплуатации скважин.

#### Литература

1. Проект разработки надсолевых залежей месторождения Кенкияк. КазНИПИмунайгаз, Актау, 2018.
2. Амелин И. Д., Сургучев М. Л., Давыдов А. В., Прогноз разработки нефтяных залежей на поздней стадии. М. Недр, 1994. 308 с.
3. Багринцева К. И., Трещиноватость осадочных пород., М. Недр, 1982. 256 с.
4. Moldabayeva G. Zh., Suleimenova R. T. Scientific and Technical Substantiation of Reducing Oil Viscosity // International Journal of Engineering Research and Technology. PP. 967–972. (ISSN 0974-3154)
5. Moldabayeva Gulnaz, Suleimenova Raikhan Experimental support of field trial on the polymer flooding technology substantiation in the oil field of western Kazakhstan // «PERIÓDICO TCHÊ QUÍMICA», 2020. Volume 17. Número 35. PP. 963–975. ISSN 2179-0302.

УДК 331.45; 614.8

**Нуянзін Олександр Михайлович**

*кандидат технічних наук, доцент, начальник лабораторії  
Науково-дослідна лабораторія інновацій у сфері цивільної безпеки  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України*

**Nuianzin Oleksandr**

*кандидат технических наук, доцент, начальник лаборатории  
Научно-исследовательская лаборатория инноваций в сфере гражданской безопасности  
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля  
Национального университета гражданской защиты Украины*

**Nuianzin Oleksandr**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Laboratory  
Research Laboratory of Innovations in the Field of Civil Security  
Cherkasy Heroes of Chernobyl Fire Safety Institute  
National University of Civil Defense of Ukraine*

ORCID: 0000-0003-2527-6073

**Зазимко Олександр Віталійович**

*науковий співробітник відділу електротехнічних виробів,  
науково-випробувального центру  
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту*

**Zazimko Oleksandr Vitaliyovich**

*научный сотрудник отдела электротехнических изделий  
научно-испытательного центра  
Институт государственного управления и научных исследований по гражданской защите*

**Zazimko Oleksandr**

*Scientific Researcher in the Field of Electrical Engineering Virobes  
Science-Viprobubal Center  
Institute of Sovereign Governance and Scientific Advocacy from Civil Society*

ORCID: 0000-0001-7496-0248

**Ратушний Олексій Вікторович**

*молодший науковий співробітник відділу речовин і матеріалів  
науково-випробувального центру  
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту*

**Ratushnyy Oleksiy Viktorovich**

*младший научный сотрудник отдела веществ и материалов  
научно-испытательного центра  
Институт государственного управления и научных исследований по гражданской защите*

**Ratushnyy Oleksiy**

*Junior researcher of the Department of Substances and Materials  
Research and Testing Center  
Institute of Public Administration and Civil Defense Research*

ORCID: 0000-0002-4728-3509

**Онищук Андрій Євгенійович**

*молодший науковий співробітник відділу електротехнічних виробів  
науково-випробувального центру  
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту*

**Onishchuk Andriy Evgeniyovich**

*младший научный сотрудник отдела электротехнических изделий  
научно-испытательного центра  
Институт государственного управления и научных исследований по гражданской защите*

**Onyschuk Andriy**

*Junior Researcher of the Electrical Engineering Department Products of the Research and Testing Center  
Institute Public Administration and Civil Protection Research  
ORCID: 0000-0002-1829-126X*

## **ЗГОРЯННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ЯК ПРОФЕСІЙНИЙ ЧИННИК РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я ПОЖЕЖНИКІВ-РЯТУВАЛЬНИКІВ**

## **СГОРАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ КАК ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ ФАКТОР РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ПОЖАРНЫХ–СПАСАТЕЛЕЙ**

## **COMBUSTION OF POLYMERIC MATERIALS AS A PROFESSIONAL RISK FACTOR FOR HEALTH OF RESCUE FIREFIGHTERS**

**Анотація.** Обґрунтовано гігієнічне значення важких металів у продуктах згоряння полімерів для осіб, які професійно контактують з горінням полімерних матеріалів.

**Ключові слова:** важкі метали, полімерні матеріали, санітарно-гігієнічні аспекти.

**Аннотация.** Обоснованно гигиеническое значение тяжелых металлов в продуктах сгорания полимеров для лиц, профессионально контактирующих с горением полимерных материалов.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, полимерные материалы, санитарно-гигиенические аспекты.

**Summary.** The hygienic value of heavy metals in the combustion products of polymers for persons who are in professional contact with the combustion of polymeric materials is substantiated.

**Key words:** heavy metals, polymeric materials, sanitary and hygienic aspects

Сьогодні одними з найчастіше запитуваних різними галузями промисловості нових матеріалів є полімери — хімічні сполуки, що мають високу молекулярну масу і ланцюжок яких складається із багаторазово повторюваних фрагментів. Полімери були з нами з самого початку часу. Природні полімери включають такі речі, як смоли і шелак, панцеру черепахи і рогів, а також дерев, які виробляють соки бурштину і латексу.

Полімери — це високомолекулярні сполуки в яких кількість ланок повинна бути достатньо великою. В більшості випадків кількість ланок можна вважати достатньою, щоб прирівняти молекулу до полімеру. Взагалі полімери утворюється з мономерів в ході реакцій полімеризації або поліконденсації.

До полімерів відносять природні сполуки: каучук, білки, нуклеїнові кислоти та ін. Полімери відносять до органічних сполук, але існує багато неорганічних полімерів. Значну кількість полімерів виводять систематичним шляхом на основі елементів природного походження та найпростіших

сполук, шляхом хімічних перетворень, реакцій полімеризації та поліконденсації.

Існує дуже багато різних видів полімерів, котрі складаються з вуглеводню. Такі полімери, як правило складаються з дрібних блоків, котрі з'єднуються в довгі ланцюги.

Вуглець складає основу молекули водню і атоми зв'язані в скелеті полімера. Існують полімери, які містять тільки вуглець і водень (наприклад, поліпропілен, полі-бутилен, полістирол). Навіть якщо основна складова багатьох полімерів вуглець і водень, можуть бути залучені також і інші елементи. Кисень, хлор, фтор, азот, кремній, фосфор і сірку та інші елементи, які знаходяться в молекулярному складі полімерів. Полівінілхлорид містить хлор. Нейлон містить азот і кисень. Тефлон містить фтор. Полієфіри і полікарбонати містять кисень. Існують дві основні групи полімерів термопласти і терморективні. Термопластичні і терморективні засновані на основі теплової реакції полімерів. Є також прозорі та не-

прозорі полімери. Прозорість полімеру залежить від ступеня кристалізації полімеру і наявності присадок.

Проте в останні 10–15 років в технології виробництва полімерних матеріалів відбулися якісні зміни, пов'язані з поширенням використання сполук металів практично на всіх стадіях. Можна говорити про технологічну революцію в цій галузі [1].

Для виробництва полімерних матеріалів використовується 10% кадмію, що всього здобувається на Землі, і 15% вироблюваного в світі свинцю (а якщо враховувати пігменти для лакофарбових матеріалів, то 25%). Ринок тільки свинцю для цілей термостабілізації ПВХ оцінюється в 450 тис. тонн на рік [2, 3]. Таким чином, проблема металів в ПМ є не тільки актуальною, але і глобальною проблемою.

Проте, в науковій літературі відбиті спроби вивчити санітарно-гігієнічні аспекти міграції металів з полімерних матеріалів [4–6].

Як показали дослідження, конденсат диму ПВХ-пластику є маслянистою рідиною коричневого кольору, із специфічним запахом, що поволі густіє на повітрі.

Дані визначення вмісту металів в конденсаті приведені в табл. 1.

Як видно з таблиці, вміст свинцю в конденсаті складає 85,0 мг/г, що вище, ніж в початковому пластику (24,5 мг/г). Теж саме відноситься і до інших металів.

Розрахунок показує, що маса речовини, при горінні зразку ПВХ масою 10 г у вигляді диму, складає 270 мг, а маса свинцю в ній — 24 мг. Таким чином, частка свинцю, що виділяється в повітря при горінні ПВХ, складає 9,8% (у вказаних умовах і для даного матеріалу). Крім того, при термоокислювальній

Таблиця 1

**Результати експериментальних досліджень з визначення вмісту металів в конденсаті диму ПВХ вагонки А14**

Метал	Вміст в конденсаті, мг/г	Відносне станд. відхилення, Sr
Pb	85,0	0,017
Al	0,68	0,029
Ba	0,18	0,032
Cd	0,16	0,031
Sn	0,08	0,038
Mn	0,06	0,036

деструкції ПВХ за температури 350 °С виділяється значна кількість хлористого водню, який сприяє утворенню достатньо летючих сполук багатьох важких металів, особливо свинцю, кадмію і цинку [7, 8].

Аналіз результатів дозволяє припустити можливість експозиції важкими металами організму людей і тварин, що контактують з димом при горінні полімерних матеріалів. Для перевірки цього припущення нами був проведений експеримент по дії газо-аерозольної фракції продуктів горіння.

Іншими словами, концентрація важких металів в продуктах згоряння полімерних матеріалів можуть бути небезпечним гігієнічним чинником для людей, професійно пов'язаних з горінням полімерів. Проблема посилюється широким використанням полімерів як будівельних конструкційних і оздоблювальних матеріалів, а також високою насиченістю ними житлових і виробничих приміщень.

### Література

1. Ушмарин Н. Ф. Влияние технологических добавок CALSEC на свойства резин / Е. С. Григорьева, А. Ю. Плеханова, Н. И. Кольцов // «Теоретическая и экспериментальная химия жидкофазных систем». Сб. тезисов научно-практ. конф. Казань, 2011. Издательство Казанского национального исследовательского технологического университета. 155 с.
2. Зотов Ю. Л. Исследование процесса синтеза стеарата свинца / Ю. В. Попов, Е. В. Золотарева, Е. А. Куляева / Известия Волгоградского государственного технического университета: межвуз. сб. науч. ст. № 2(75) / ВолгГТУ. Волгоград, 2011. 192 с. (Сер. Химия и технология элементоорганических мономеров и полимерных материалов. Вып. 8). Волгоградский государственный технический университет. С. 174–177.
3. Уилки Ч. Поливинилхлорид / Ч. Уилки, Дж. Саммерс, Ч. Даниэлс (ред.); пер. с англ. под ред. Г. Е. Заикова. СПб.: Профессия, 2007. 728 с.
4. Thompson D. The validation of a method for determining the migration of trace elements from food packaging materials into food / S. J. Parry, R. Benzing // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 1997. Vol. 217, No. 1. PP. 147–150.
5. Frank Welle Migration of antimony from PET bottles into beverages: Determination of the activation energy of diffusion and migration modelling compared to literature data / Roland Franz // Food Additives and Contaminants. 2010. V. 28, № 1. PP. 115–146.
6. Ki-Cheol Kim Levels of heavy metals in candy packages and candies likely to be consumed by small children / Yong-Bae Park, Myung-Jin Lee, Jung-Beom Kim, Jeong-Weon Huh, Dae-Hwan Kim, Jung-Bok Lee, Jong-Chan Kim // Food Research International. 2008. V. 41. PP. 411–418.
7. Роль тяжёлых металлов в токсичности продуктов горения полимерных материалов. Оценка экспозиции пожарных-спасателей соединениями тяжёлых металлов / Е. Г. Пыхтеева, Д. В. Большой, Е. С. Шитко [и др.] // Вестник гигиены и эпидемиологии. 2011. Т. 15. № 1. С. 53–57.
8. Большой Д. В. Металлы в полимерных материалах как гигиеническая проблема // Сучасні проблеми токсикології. 2011. № 5 (55). С. 164–165.



**Нуянзін Олександр Михайлович**

*кандидат технічних наук, доцент, начальник лабораторії  
Науково-дослідна лабораторія інновацій у сфері цивільної безпеки  
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
Національного університету цивільного захисту України*

**Нуянзин Александр Михайлович**

*кандидат технических наук, доцент, начальник лаборатории  
Научно-исследовательская лаборатория инноваций в сфере гражданской безопасности  
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля  
Национального университета гражданской защиты Украины*

**Nuianzin Oleksandr**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Laboratory  
Research Laboratory of Innovations in the Field of Civil Security  
Cherkasy Heroes of Chernobyl Fire Safety Institute  
National University of Civil Defense of Ukraine*

ORCID: 0000-0003-2527-6073

**Самченко Тарас Васильович**

*старший науковий співробітник відділу речовин і матеріалів  
Науково-випробувального центру  
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту*

**Самченко Тарас Васильевич**

*старший научный сотрудник отдела веществ и материалов  
Научно-испытательного центра  
Институт государственного управления и научных исследований по гражданской защите*

**Samchenko Taras**

*Senior Research Fellow, Department of Substances and Materials  
Research and Testing Center  
Institute of Public Administration and Civil Defense Research*

ORCID: 0000-0003-3702-8296

**Бедратюк Ольга Іванівна**

*завідувач сектору системи якості  
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту*

**Бедратюк Ольга Ивановна**

*заведующий сектора системы качества  
Институт государственного управления и научных исследований по гражданской защите*

**Bedratyuk Olga**

*Head of the Quality System Sector  
Institute of Public Administration and Civil Defense Research*

ORCID: 0000-0002-0642-9399

**Алімов Богдан Олександрович**

*молодший науковий співробітник відділу систем протипожежного захисту  
науково-випробувального центру  
Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту*

**Алимов Богдан Александрович**

*младший научный сотрудник отдела систем противопожарной защиты  
научно-испытательного центра  
Институт государственного управления и научных исследований по гражданской защите*

**Alimov Bogdan**

*Junior Researcher Department of Fire Protection Systems*

*Scientific and Testing Center*

*Institute of Public Administration and Research on Civil Protection*

ORCID: 0000-0003-0248-7003

## АНАЛІЗ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ CFD ТА FEM З ЇХНЬОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ

## АНАЛИЗ ПРИЛОЖЕНИЯ CFD И FEM С ИХ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

## ANALYSIS OF CFD AND FEM APPLICABLE PROGRAMS WITH THEIR CHARACTERISTICS

**Анотація.** Обґрунтовано програмний комплекс для створення сітки, який використовує підхід та віддає переваги простій прямокутній сітці з гнучкістю деформованих сіток у прикладних програмах.

**Ключові слова:** комп'ютерні програми, універсальні програмні системи, автоматичні інженерні розрахунки.

**Анотация.** Обоснованно программный комплекс для создания сетки, использующий подход и отдает преимущества простой прямоугольной сетке с гибкостью деформированных сеток в прикладных программах.

**Ключевые слова:** компьютерные программы, универсальные программные системы, автоматические инженерные расчеты.

**Summary.** A software package for creating a grid is substantiated, which uses the approach and prefers a simple rectangular grid with the flexibility of deformed grids in applications.

**Key words:** computer programs, universal software systems, automatic engineering calculations.

Комп'ютер є універсальним інструментом для виконання будь-яких дій з інформацією. Але для цього необхідно написати для комп'ютера на зрозумілій йому мові інструкцію — програму, що пояснює як саме потрібно обробити інформацію. Адже, сам комп'ютер абсолютно не володіє ніякими знаннями — вони всі знаходяться у виконуваних на ньому програмах. З розширенням можливостей комп'ютера, відповідно потребується все більш різноманітне програмне забезпечення (ПЗ) для вирішення тих або інших завдань.

Підвищення потужності комп'ютерів, різноманітність засобів зв'язку, доступність використання Інтернету, а також периферійних пристроїв дає розробникам ПЗ широке коло дій для максимального задоволення запитів користувачів. Отже, програмне забезпечення — комп'ютерні програми і дані, призначені для розв'язку певного кола завдань і зберігаються в цифровому вигляді.

Розглянемо комп'ютерні програми, що найчастіше використовують дослідники у своїх роботах [1–22].

ANSYS — універсальна програмна система кінцево-елементного аналізу, існує і розвивається

протягом останніх 30 років, є досить популярною у фахівців у сфері автоматичних інженерних розрахунків (CAE, Computer-Aided Engineering) рішення лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних просторових задач механіки деформованого твердого тіла і механіки конструкцій (включаючи нестаціонарні геометрично і фізично нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), задачі механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів.

Моделювання і аналіз в деяких областях промисловості дозволяє уникнути дорогих і тривалих циклів розробки типу «проекування — виготовлення — випробування». Система працює на основі геометричного ядра Parasolid, що представлено в [23].

Програмна система кінцево-елементного аналізу ANSYS розробляється американською компанією ANSYS Inc. Компанія також випустила інші системи кінцево-елементного моделювання, в тому числі DesignSpace, AI Solutions (NASTRAN, ICFEM CFD); призначені для використання в більш специфічних галузях виробництва.

Як стратегічний партнер фірма співпрацює з багатьма компаніями, допомагаючи їм провести необхідні зміни. Запропоновані фірмою ANSYS Inc. засоби чисельного моделювання та аналізу сумісні з деякими іншими пакетами, працюють на різних ОС. Програмна система ANSYS сполучається з відомими CAD-системами Unigraphics, CATIA, Pro/ENGINEER, SolidEdge, SolidWorks, Autodesk Inventor та деякими іншими [24].

Програмна система ANSYS є досить відомою САЕ-системою, яка використовується на таких відомих підприємствах, як ABB, BMW, Boeing, Caterpillar, Daimler-Chrysler, Exxon, FIAT, Ford, БелАЗ, General Electric, Lockheed Martin, MeyerWerft, Mitsubishi, Siemens, Alfa Laval, Shell, Volkswagen — Audi та ін.

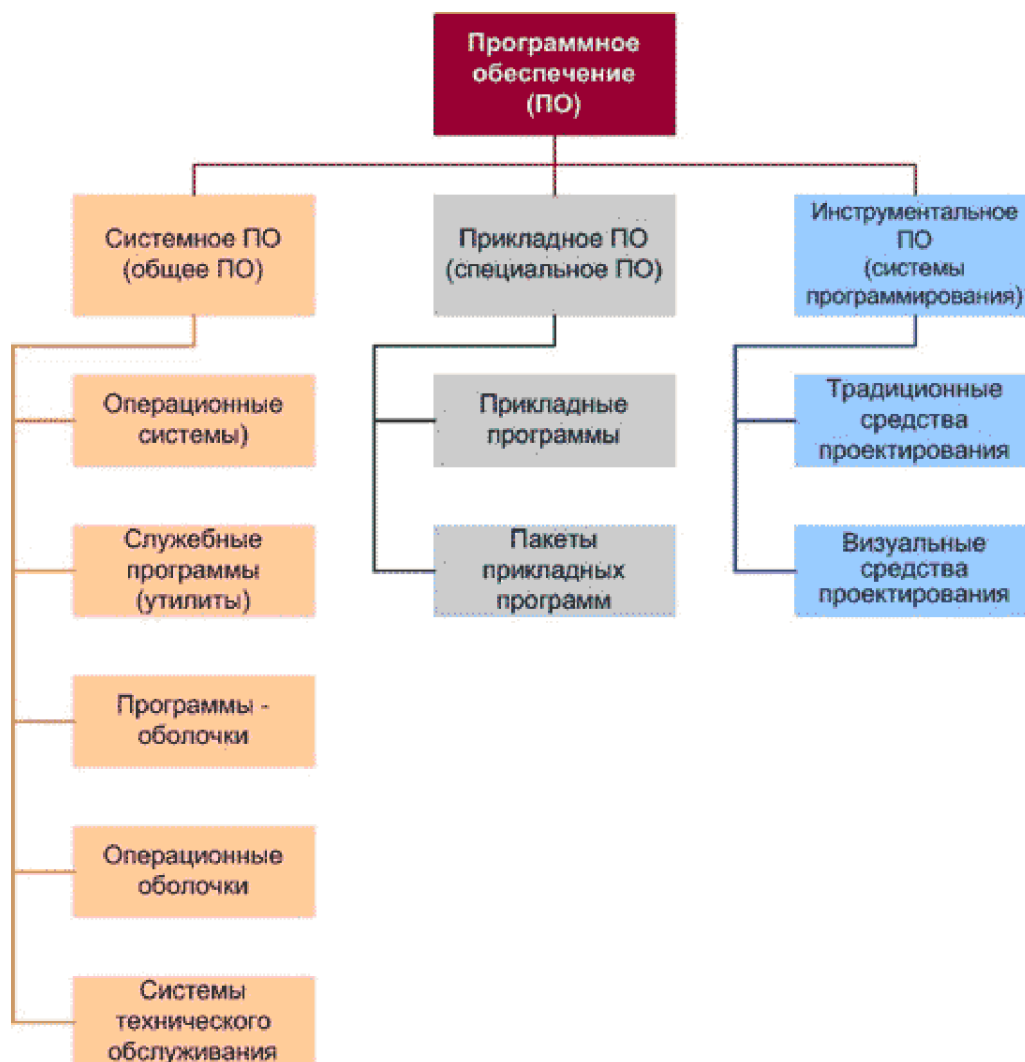
ANSYS дозволяє вирішувати завдання в наступних областях:

- міцність;
- теплофізика;
- електромагнетизм;
- пов'язані багатодисциплінарного завдання, наприклад термоміцність, магнітопружність, аеропружність.

ANSYS ICEM CFD — потужний сітковий генератор для побудови як структурованих так і неструктурованих розрахункових сіток. Підтримує імпорт вихідної геометрії з різних CAD-продуктів і, крім того, має широкий набір функцій для її виправлення та доопрацювання. Також має ряд методів для побудови неструктурованих розрахункових сіток (триангуляція Делоне, метод Octree, метод просування фронту). У поєднанні з інструментами локального змінення розмірів осередків, вони дозволяють домогтися високої якості розрахункової сітки практично для будь-якої форми досліджуваного об'єкта.

ANSYS ICEM CFD дозволяє будувати блочно-структуровані розрахункові сітки, які, як відомо, краще неструктурованих для деяких типів розрахунків (надзвукові і гіперзвукові течії). Процес побудови структурованих сіток заснований на технології трансфінітної інтерполяції і полягає в створенні блокової структури, асоціації блокової структури з вихідною геометрією і завдання згущення [25–28].

Перша версія FDS офіційно була випущена в лютому 2000 року. На сьогоднішній день приблизно половина додатків моделі служить для проектування систем управління димом і вивчення активації



спринклерів і детекторів. інша половина служить для відновлення картини пожежі в житлових і промислових приміщеннях.

Основною метою FDS протягом свого розвитку було рішення прикладних задач пожежної безпеки та в той же час забезпечення інструментом для вивчення фундаментальних процесів при пожежі.

Програма FDS (Fire Dynamics Simulator) реалізує обчислювальну гідродинамічну модель (CFD) тепломасопереносу при горінні. FDS чисельно вирішує рівняння Нав'є-Стокса для низькошвидкісних температурно-залежних потоків, особлива увага приділяється поширенню диму і теплопередачі при пожежі.

Smokeview (SMV) — програма для візуалізації результатів розрахунків FDS.

Програми Fire Dynamics Simulator і Smokeview розроблені Національним інститутом стандартів і технологій (NIST) міністерством торгівлі США за сприяння Технічного науково-дослідного центру VTT (Фінляндія).

FDS і Smokeview — безкоштовне програмне забезпечення. Відповідно до Кодексу США Глава 17 Частина 105 авторські права розробників не захищені, програма є загальнодоступним ПО. NIST не несе ніякої відповідальності за використання будь-яких версій вихідних кодів програми, документації або виконуваних файлів і не дає явних або непрямих гарантій на її якість, надійність або інші властивості.

FDS — не проста комп'ютерна програма, що працює за принципом «вказівки і клацання». FDS необхідно запускати з командного рядка, а вхідні параметри повинні бути записані в текстовий файл [29].

FLOW-3D — це CFD пакет загального призначення здатний моделювати різноманітні потоки рідини. Хоча спеціалізацією вищезазначеного даного програмного комплексу є моделювання течій з вільною поверхнею, але FLOW-3D є програмою для моделювання обмежених внутрішніх течій [30].

У даній програмі FLOW-3D є пакет «все включено», який не вимагає жодних додаткових програм. Графічний інтерфейс користувача поєднує постановку завдання (включаючи створення/імпорт геометрії і генерацію сітки), рішення і обробку результатів, пропонуючи також кілька корисних утиліт, як: переглядач STL файлів, розрахунків і засоби контролю над ходом розрахунку.

Відмінні риси FLOW-3D.

По-перше, FLOW-3D — це програмний комплекс для створення сітки, який використовує підхід та віддає переваги простій прямокутній сітці з гнучкістю деформованих сіток. Такий підхід називається «вільне формування сітки» оскільки сітка і геометрія може бути вільно змінені незалежно одна від одної. FLOW-3D використовує фіксовану сітку з ортогональних елементів, що спрощує генерацію і забезпечує багато корисних властивостей (наприклад, регулярність покращує точність, зменшує вимоги до пам'яті, полегшує чисельну апроксимацію).

По-друге, FLOW-3D включає в себе спеціальну техніку, яка включає в себе FAVOR™ (Fractional Area Volume Obstacle Representation) метод, що використовується для опису прямокутної геометричної сітки в довільній формі. Філософія FAVOR™ полягає в тому, що чисельні алгоритми в методі кінцевих обсягів базуються на інформації, що включає лише одне значення тиску, швидкості і температури кожного з елементів, тому було б нелогічно використовувати докладнішу інформацію для опису геометрії.

По-третє, основною особливістю що відрізняє FLOW-3D, від інших CFD програм у його методи обробки поверхні поточної рідини. Ця програма використовує спеціальні чисельні методи для відстежування становища поверхонь й у правильному застосуванні ними граничних умов. У FLOW-3D, вільні поверхні моделюються за допомогою методу кінцевих обсягів Volume of Fluid (VOF). Деякі з конкурентних CFD програм наголошують на впровадженні VOF методу, хоча реально вони використовують тільки одну чи дві із трьох фундаментальних складових VOF методу [30].

Серед проаналізованих програм більш прийнятною для побудови математичної моделі кабельного тунелю є «Fire Dynamic Simulator 6.2». По-перше, базовими в ній є рівняння Нав'є — Стокса, що описують рух рідин і газів у широкому діапазоні чисел Рейнольдса. По-друге, система дає змогу побудувати геометрію об'єкта без використання спеціальних CAD-програм. По-третє, система «FDS» уможливорює легке корегування параметрів тунелю та граничних умов. По-четверте, система «FDS» має розвинений апарат візуалізації отриманих результатів.

#### Література

1. Hsu W. S. et al. Analysis of the Hsuehshan Tunnel Fire in Taiwan // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2017. Т. 69. PP. 108–115.
2. Ji J. et al. Influence of aspect ratio of tunnel on smoke temperature distribution under ceiling in near field of fire source // *Applied Thermal Engineering*. 2016. Т. 106. PP. 1094–1102.
3. Niu Y., Li W. Simulation Study on Value of Cable Fire in the Cable Tunnel // *Procedia Engineering*. 2012. Т. 43. PP. 569–573.
4. Zhao Y., Zhu G., Gao Y. Experimental Study on Smoke Temperature Distribution under Different Power Conditions in Utility Tunnel // *Case Studies in Thermal Engineering*. 2018.

5. Tian X. et al. Full-scale tunnel fire experimental study of fire-induced smoke temperature profiles with methanol-gasoline blends // *Applied Thermal Engineering*. 2017. Т. 116. PP. 233–243.
6. Modic J. Fire simulation in road tunnels // *Tunnelling and underground space technology*. 2003. Т. 18. № 5. PP. 525–530.
7. Vaari J. et al. Numerical simulations on the performance of water-based fire suppression systems // *VTT Technol.* 2012. Т. 54.
8. Brahim K. et al. Control of Smoke Flow in a Tunnel // *Journal of Applied Fluid Mechanics*. 2013. Т. 6. № 1.
9. Zhong W. et al. A study of bifurcation flow of fire smoke in tunnel with longitudinal ventilation // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2013. Т. 67. PP. 829–835.
10. Sun J. et al. Experimental study of the effectiveness of a water system in blocking fire-induced smoke and heat in reduced-scale tunnel tests // *Tunnelling and Underground Space Technology*. 2016. Т. 56. PP. 34–44.
11. Zhang P. et al. Experimental study on the interaction between fire and water mist in long and narrow spaces // *Applied Thermal Engineering*. 2016. Т. 94. PP. 706–714.
12. Experimental study of temperature mode of a fire in a cable tunnel. Nuyanzin O., Pozdieiev, Samchenko T. [et al.] // *Східно-Європейський журнал передових технологій. Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. No. 3/10 (93). PP. 21–27.
13. Investigation of the regularities of temperature regime of fire in cable tunnels depending on its parameters / O. Nuianzin, T. Samcnenko, A. Nesterenko [et al.] // *MATEC Web of Conferences*. Volume 230, 7th International Scientific Conference «Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings» (Transbud-2018), Kharkiv: Ukrainian State University of Railway Transport, 2018. P. 02022.
14. Самченко Т. В. Аналіз математичних моделей тепломасообміну при пожежі у кабельних тунелях // *Видавничий дім «Інтернаука»* (м. Київ, Україна). 2018. С. 80–85.
15. Дослідження адекватності математичної моделі тепломасообміну при пожежі у кабельному тунелі / О. М. Нуянзін, С. В. Поздєєв, Т. В. Самченко, [та ін.] // *Вісник НУЦЗ України м. Харків*. 2018. С. 119–128.
16. Дослідження впливу пожежного навантаження на температурний режим пожежі у кабельному тунелі / С. В. Поздєєв, Є. Ю. Шверев, Т. В. Самченко, [та ін.] // *Науковий вісник УкрНДІПБ, К.:* 2018. С. 13–20.
17. Дослідження температурних режимів пожежі у кабельних тунелях за їх різних параметрів / О. М. Нуянзін, Т. В. Самченко, С. В. Поздєєв. [та ін.] *Науковий вісник ЦЗ та ПБ № 1(7). УкрНДІПБ, Київ:* 2019. С. 13–24.
18. Динаміка зміни температури у кабельному тунелі // Б. О. Алімов, Т. В. Самченко // *Видавничий дім «Інтернаука»* (м. Київ, Україна). 2019. С. 21–23.
19. Дослідження адекватності математичної моделі тепломасообміну при пожежі у кабельному тунелі. Т. В. Самченко, С. В. Поздєєв, О. М. Нуянзін [та ін.] // *Матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист»*. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2018. С. 53–55.
20. Розробка математичної моделі процесу тепломасопереносу при пожежі у кабельному тунелі. А. В. Перегін, О. М. Нуянзін, Т. В. Самченко, // *Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»*. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2019. С. 205–207.
21. Самченко Т. В. Результати проведеного дослідження ефективності моделювання теплових процесів при пожежі у кабельному тунелі. Т. В. Самченко, С. В. Поздєєв, О. М. Нуянзін. [та ін.] // *Матеріали наук.-практ. семінару: Запобігання надзвичайним ситуаціям та їх ліквідація*. Харків.: НУЦЗ, 2019. С. 147–148.
22. Дослідження з визначення прогнозованого (очікуваного) строку придатності вогнезахисних засобів для дерев'яних конструкцій / О. В. Добростан, В. В. Коваленко, Т. В. Самченко // *Науковий вісник УкрНДІПБ, К.:* УкрНДІПБ, 2015. № 1(31). С. 140–145.
23. Басов К. А. ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование. М.: ДМК Пресс, 2006. С. 240.
24. Методи математичного моделювання теплових процесів при випробуваннях на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій / О. М. Нуянзін, О. В. Некора, С. В. Поздєєв [та ін.] // *Монографія. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України*. 120 с.
25. Басов К. А. ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование. М.: ДМК Пресс, 2006. — С. 240.
26. Ansys Release 10, inc. Theory Reference.
27. Milarcik E. L An Analysis of the Performance of Residential Smoke Detection Technologies Utilizing the Concept of Relative Time / E. L. Milarcik, S. M. Olenick, R. J. Roby // *The National Fire Protection Research Foundation Suppression and Detection Research and Applications Symposium (SUPDET), March, 2007. (2007 Carey award)*.
28. Система моделирования движения жидкости и газа. FlowVision Версия 2.5.4. Руководство пользователя. М.: ТЕСИС, 2008. 284 р.
29. Ellen Eberhardt. «PNW — Fire and Environmental Research Applications Team (FERA) Research/Studies.
30. Anthony J. Lockwood, «Editors Pick: Flow Science Release FLOW-3D Version 10.0», *Desktop Engineering*, August 9, 2011.

**Павлюченко Олена Станіславівна**

*кандидат технічних наук,  
доцент кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції  
Національний університет харчових технологій*

**Павлюченко Елена Станиславовна**

*кандидат технических наук,  
доцент кафедры технологии ресторанной и аюрведической продукции  
Национальный университет пищевых технологий*

**Pavliuchenko Olena**

*PhD, Associate Professor of the Department of  
Technology of Restaurant and Ayurvedic Products  
National University of Food Technologies*

**Неміріч Олександра Володимирівна**

*доктор технічних наук, доцент,  
завідувачка кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції  
Національний університет харчових технологій*

**Немирич Александра Владимировна**

*доктор технических наук, доцент,  
заведующая кафедрой технологии ресторанной и аюрведической продукции  
Национальный университет пищевых технологий*

**Niemirich Oleksandra**

*Doctor of Science, Associate Professor,  
Head of the Department of Technology of Restaurant and Ayurvedic Products  
National University of Food Technologies*

**Устименко Ігор Миколайович**

*кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції  
Національний університет харчових технологій*

**Устименко Игорь Николаевич**

*кандидат технических наук,  
старший преподаватель кафедры технологии ресторанной и аюрведической продукции  
Национальный университет пищевых технологий*

**Ustyumenko Ihor**

*PhD, Senior Lecturer of the Department of  
Technology of Restaurant and Ayurvedic Products  
National University of Food Technologies*

**Кравчук Світлана Віталіївна**

*магістрант кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції  
Національного університету харчових технологій*

**Кравчук Светлана Витальевна**

*магистрант кафедры технологии ресторанной и аюрведической продукции  
Национального университета пищевых технологий*

**Kravchuk Svitlana**

*Masters Student of the Department of  
Technology of Restaurant and Ayurvedic Products  
National University of Food Technologies*

## ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ПРАКТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЦЕПТУРНОГО СКЛАДУ ЕМУЛЬСІЙНОГО НАПІВФАБРИКАТУ ДЛЯ СОУСІВ

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕЦЕПТУРНОГО СОСТАВА ЭМУЛЬСИОННОГО ПОЛУФАБРИКАТА ДЛЯ СОУСОВ

## THEORETICAL AND PRACTICAL SUBSTANTIATION OF THE PRESCRIPTION COMPOSITION OF THE EMULSION SEMI-FINISHED PRODUCT FOR SAUCES

**Анотація.** У статті обґрунтовано застосування жирової емульсії, порошку зі шпинату та карагенану у складі емульсійного напівфабрикату як основи для приготування соусів заданого асортименту і консистенції.

**Ключові слова:** сушена рослинна сировина, карагенан, харчова емульсія, соус.

**Аннотация.** В статье обосновано применение жировой эмульсии, порошка из шпината и каррагинана в составе эмульсионного полуфабриката в качестве основы для приготовления соусов заданного ассортимента и консистенции.

**Ключевые слова:** сушеное растительное сырье, каррагенан, пищевая эмульсия, соус.

**Summary.** The article substantiates the use of fat emulsion, spinach powder and carrageenan in the composition of the emulsion semi-finished product as a basis for the preparation of sauces of the desired range and consistency.

**Key words:** dried vegetable raw materials, carrageenan, food emulsion, sauce.

Понад 70% продукції закладів ресторанного господарства реалізується з використанням соусів, оскільки вони дозволяють сформувати споживні властивості та підвищити харчову цінність кулінарної продукції [1].

Соуси, отримані за традиційними технологіями, не можуть повною мірою задовольнити потреби споживачів, так як використовуються переважно для холодних страв. У той же час, асортимент соусів, що використовуються у гарячому вигляді, є обмеженим і потребує розширення [2].

Одним зі шляхів розширення асортименту та інтенсифікації технології соусів для різноманітних страв є розробка поліфункціональної жирової основи. Її використання дозволить значно скоротити тривалість приготування високоякісної продукції із заданими властивостями та зменшити кількість рецептурних інгредієнтів. З технологічної точки зору, найбільш технологічною формою для отримання соусу є стійка поліфазна дисперсна система з переважно емульсійною структурою. В таких системах жирова фаза рівномірно розподіляється за всією масою, що підвищує ступінь її засвоювання [3]. Основним недоліком продукції емульсійного типу є нестабільність системи в технологічному процесі та під час зберігання, зокрема, розшарування, відділення жирової фази. Тому для стабілізації

емульсії необхідно використовувати поверхнево-активні речовини — емульгатори, якими можуть виступати гідроколоїди, зокрема карагенани, та/або дрібнодисперсні рослинні порошки.

Сушені порошокоподібні овочі є перспективною сировиною для використання в закладах ресторанного господарства, оскільки дозволяють уникнути сезонності їх споживання, скоротити тривалість технологічного процесу приготування страв і кулінарних виробів, підвищити харчову цінність, гармонізувати органолептичні властивості.

**Метою роботи** є обґрунтування інгредієнтного складу для емульсійного напівфабрикату (ЕНФ) з використанням сушеної рослинної сировини, жирової емульсії і гідроколоїду.

У якості сушеної рослинної сировини використовували порошок зі шпинату, отриманий методом холодного розпилювального сушіння. Даний метод сушіння дозволяє отримати масову частку вологи в сушеній сировині не більше 7% на відміну від конвективного — 10...14%, максимальну збереженість поживних речовин і високі відновлювальні властивості. Порошок зі шпинату містить у своєму складі практично увесь комплекс макро- (P, K, Mg, Na, Fe, S, Al, Si, Ca) та мікроелементів (Mn, B, Cu, Zn) та вітаміни A, E, C, H, K, PP, групи B [4]. Отже, порошок зі шпинату є концентратом біологічно ак-

Таблиця 1

Органолептичні властивості порошку зі шпинату

Показник	Характеристика
Зовнішній вигляд та консистенція	Порошок, однорідний за всією масою, без видимих включень та домішок
Смак та запах	Приємний, з присмаком та запахом свіжого листа шпинату, із злегка відчутним солодкуватим присмаком
Колір	Світло-зелений, однорідний за всією масою

Джерело: розробка авторів

тивних сполук і тому є перспективною сировиною для підвищення харчової цінності ЕНФ. Результати досліджень органолептичних властивостей порошку зі шпинату наведено у табл. 1.

Результати табл. 1. свідчать, що обрана сировина не погіршуватиме смак ЕФН і може бути використана для збагачення хімічного складу харчової емульсійної системи.

За рекомендаціями науковців, відомо, що порошки із розмірами частинок більше 20...25 мкм відчуються органолептично, що спричиняє такі вади як піщанистість та борошнистість [5]. Проведено визначення дисперсності порошку зі шпинату (табл. 2). Підрахунок розмірів його сухих частинок проводили на оптичному мікроскопі за збільшення у 600 разів.

З табл. 1 видно, що дисперсність порошку зі шпинату дозволяє використовувати його у складі ЕФН як матрицю для утримування жирової компоненти.

Як жирову емульсію обрано напівфабрикат, що являє собою дисперговану харчову систему, яка складається з купажованої олії, водної фази, стабілізовані олеофільним та гідрофільним емульгаторами [6]. Напівфабрикат характеризується агрегативною та седиментаційною стійкостями, розмірами жи-

Таблиця 2

Дисперсність порошку зі шпинату

Розмір часточок за фракціями, мкм	Вміст, %
2...5	15
5...10	12
10...15	22
15...20	10
20...40	10
40...60	17
60...80	10
80...90	3
90...100	1

Джерело: розробка авторів

вих кульок не більше 2 мкм, нейтральним смаком та ароматом і білим кольором (рис.).

У якості стабілізатора системи обрано гідро колоїд рослинного походження карагенан, який за своїми функціонально-технологічними властивостями дозволить стабілізувати харчову емульсійну систему завдяки утворенню просторової сітки гелю та регулювати її текучі властивості.

На підставі багатократних попередніх досліджень за органолептичними та фізико-хімічними показниками якості встановлено рекомендовану масову частку порошку зі шпинату у складі харчової емульсії 4%, карагенану 1%, жирової емульсії 95% — табл. 3.

Отже, титрована кислотність ЕНФ доволі низька — (14,2 °Т), а ефективна в'язкість характеризує ЕНФ як неньютонівську структуровану рідину, що дозволить його легко і рівномірно диспергувати у багатокомпонентних сумішах соусів. Встановлена синергетична взаємодія між обраними емульгаторами різної природи дозволяє одержувати стійкий та дрібнодисперсний ЕНФ.



а)



б)

Рис. 1. Мікрофотографія (а) (збільшення 40×15) та зовнішній вигляд (б) жирового напівфабрикату



**Таблиця 3**  
**Органолептичні та фізико-хімічні показники**  
**якості ЕНФ**

Показник	Характеристика або значення
Зовнішній вигляд та консистенція	Рідка, однорідна з глянцевою поверхнею
Смак та запах	Приємний присмак шпинату, нейтральний запах
Колір	Зеленуватий за всією масою
Масова частка вологи, %	65,0 ± 6,0
Масова частка жиру, %	30,0 ± 3,0
Титрована кислотність, °Т	14, 2 ± 1,0
Ефективна в'язкість, Па·с	509 ± 48

Отже, за показниками якості ЕНФ придатний для створення різної емульсійної продукції, зокрема в якості основи для приготування соусів заданого асортименту і консистенції.

#### Література

1. Технологія соусів емульсійного типу підвищеної харчової цінності / Г. М. Лявинець, А. В. Гавриш, О. В. Неміріч, Л. Ю. Арсенєва // Наука та інновації. 2013. Т. 9, № 6. С. 15–19.
2. Жукевич О. Виробництво та споживання соусів в Україні / О. Жукевич, Г. Рудавська // Товари і ринки. 2012. № 1. С. 37–45.
3. Жданов Д. А. Разработка универсальной композиции для приготовления соусной продукции / Д. А. Жданов, А. А. Варивода // Развитие и внедрение современных наукоемких технологий для модернизации агропромышленного комплекса [Электронный ресурс]: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию со дня рождения Терентия Семеновича Мальцева (5 ноября 2020 г.) / ред. И. Н. Миколайчик [и др.]. Курган: Курганская ГСХА, 2020. С. 136–138.
4. Стратегія Національного університету харчових технологій у створенні в Україні індустрії здорового харчування та підготовці висококваліфікованих кадрів / А. І. Українець, Г. О. Сімахіна, Н. В. Науменко, С. В. Камінська (Халапсіна) // Заморожені плодово-ягідні напівфабрикати: якість, ефективність, безпека: монографія. Київ: Сталь, 2019. С. 10–61.
5. Погужих Н. И. Научные основы теории и техники сушки пищевого сырья в массообменных модулях [Текст]: дисс. ... докт. техн. наук / Н. И. Погужих. Харьков, 2002. 365 с.
6. Устименко І. М. Поліфункціональний напівфабрикат для виробництва кулінарної продукції широкого асортименту / І. М. Устименко // Проблеми формування здорового способу життя у молоді: збірник матеріалів XII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів з міжнародною участю, 3–5 жовтня 2019 р. Одеса: ФОП Бондаренко М. О., 2019. С. 175–177.

**Савельев Максим Александрович**

*специалист*

*Московский физико-технический институт (государственный университет);*

*менеджер продукта*

*Donnelley Financial Solutions*

**Savelyev Maksim**

*Specialist*

*Moscow Institute of Physics and Technology (State University);*

*Product Manager*

*Donnelley Financial Solutions*

DOI: 10.25313/2520-2057-2021-1-6824

## ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ПЕРИОД ПАНДЕМИИ COVID-19

## THE PROBLEM OF PROVISION OF THE INFORMATION SECURITY OF USERS DURING THE COVID-19 PANDEMIC

**Аннотация.** Статья посвящена проблеме обеспечения информационной безопасности корпоративных пользователей в период глобальной пандемии Covid-19. В статье приведен анализ актуальных угроз информационной безопасности, а также рассматриваются рекомендации по минимизации инцидентов информационной безопасности.

**Ключевые слова:** информационная безопасность, covid-19, угроза безопасности, фишинг, сетевая инфраструктура, кибербезопасность.

**Summary.** The article is devoted to the problem of provisioning the information security of corporate users during the global Covid-19 pandemic. The article provides an analysis of relevant threats to information security, and also discusses recommendations for minimizing information security incidents.

**Key words:** information security, covid-19, security threat, phishing, network infrastructure, cybersecurity.

**П**андемия коронавируса (Covid-19), случившаяся в 2020 году, стала беспрецедентным по своему масштабу кризисом, повлиявшим не только на здоровье миллионов людей по всему миру, их привычный уклад жизни, но и на экономику отдельных компаний и стран. В отличие от эпидемий и экономических кризисов прошлых лет, текущий кризис стал для многих не только финансовым потрясением, но и оказал и оказывает до сегодняшнего дня глубокое воздействие на повседневные процессы функционирования бизнеса, меняя их коренным образом. Многие компании, для обеспечения непрерывности оказания услуг и защиты своих сотрудников от риска заражения, стали в экстренном порядке переводить значительную часть сотрудников на удаленный режим, что вызывало резкий рост использования цифровых инструментов в работе, в том числе для

организации каналов коммуникации [1]. Эти и прочие изменения являются благодатной почвой для появления новых типов и способов реализации угроз информационной безопасности злоумышленниками.

До начала нынешнего кризиса одной из причин реализации кибератак в корпоративной сфере являлось отсутствие комплексного подхода к организации мер по защите информации на предприятиях. Особенно ярко это можно увидеть на примере предприятий малого и среднего бизнеса, которые, как правило, не имеют совсем или имеют фрагментарный подход к организации кибербезопасности. Так, согласно отчету Verizon 2019 г. [2], более 40% кибератак в США направлены на предприятия малого бизнеса, со средним размером потерь от атаки в 188 тысяч долларов для бизнеса. Крупный бизнес также потенциально несет эти риски, несмотря на

зачастую более формализованный подход к обеспечению информационной безопасности — малые предприятия являются ключевыми участниками цепочек, так что компрометирование одного элемента вызывает риски для всех участников.

Рассмотрим потенциальные угрозы информационной безопасности бизнеса, которые стали актуальными в связи изменениями, вызванными глобальной пандемией:

- Рост нагрузки на сетевую инфраструктуру и элементы управления VPN корпоративных сетей, по причине увеличения количества сотрудников, работающих удаленно.
- Отсутствие или проведение недостаточно глубокого анализа угроз информационной безопасности и необходимых мер по ее обеспечению, при экстренном переводе сотрудников на удаленную работу и выстраиванию бизнес-процессов.
- Отсутствие плана по реагированию на совершенные кибератаки, минимизации их последствий и восстановлению работоспособности цифровой среды предприятия.
- Низкий уровень осведомленности сотрудников об угрозах информационной безопасности и мерах предосторожности при работе в дистанционном режиме.
- Ограниченные возможности по контролю безопасности личных домашних сетей сотрудников, которые они используют для подключения к корпоративным ресурсам.
- Повышение риска компрометации контрагентов, клиентов и прочих участников цепочек поставок, снижение уровня доверия к третьим сторонам с точки зрения кибербезопасности.
- Сокращение операционных расходов компаний, в том числе расходов на содержание функции информационной безопасности, из-за негативной экономической ситуации, вызванной эпидемией.

Данные угрозы носят комплексный характер и при различных условиях могут проявлять как угрозы конфиденциальности, так и целостности или доступности. Не являясь принципиально новыми сами по себе, они крайне актуальны для компаний, ранее не уделявших должного внимания кибербезопасности, но столкнувшихся с необходимостью перевода процессов в онлайн-режим.

Изменение цифрового ландшафта в связи с пандемией не вызвало появления принципиально новых типов атак, однако еще больше выделило среди них атаки, основанные на социальной инженерии. Это связано, прежде всего, с ростом количество пользователей, чья деятельность вынужденно была переведена в онлайн-режим, а также тех, кто имеет меньший опыт и знания о мерах предосторожности. Согласно исследованию Kaspersky в 2018 году, более 50% инцидентов информационной безопасности были так или иначе связаны с человеческим фактором [3]. Ярким представителем такого рода атак

является фишинг и компрометация корпоративной электронной почты. Фишинговые атаки отличаются тем, что они очень быстро адаптируются к меняющейся обстановке и способны быстро распространяться во время кризисов. В случае пандемии произошел большой всплеск почтовых рассылок, в которых у пользователей запрашивалась конфиденциальная информация или их просили перейти по вредоносным ссылкам под предлогом запросов официальных органов власти или здравоохранения. В таких условиях, когда люди не имеют актуальной и достоверной информации, либо не осведомлены о происходящих событиях, они особенно уязвимы. Другой вариацией атак является рассылка вредоносного программного обеспечения также под предлогом запроса от официальных лиц. Внедрение такого рода ПО в корпоративную сеть может привести к компрометации или потере конфиденциальной информации и нанести значительный урон бизнесу компании.

С учетом указанных выше потенциальных угроз и атак на программную среду компаний рассмотрим рекомендации, которые могут быть использованы для минимизации риска реализации угроз или уменьшению возможные потери от них.

Базовой рекомендацией является установление формальных политик информационной безопасности в компании и контроль за их выполнением. Политики должны быть утверждены на уровне компании и распространяться на всех сотрудников.

Главным шагом по обеспечению безопасности является информирование сотрудников о важности этой проблемы. Важно отметить, что человеческий фактор всегда является ключевым в вопросах безопасности, и при отсутствии элементарного понимания у сотрудников о мерах предосторожности, невозможно говорить о какой-либо надежной политике безопасности в компании. Сотрудники должны четко понимать свои ежедневные обязанности по обработке, защите и использованию корпоративных данных. Это включает в себя и использование надежных паролей, игнорирование фишинговых писем и подозрительных сайтов, или установку нелегальных программ.

Сотрудники — это всегда первая и самая главная линия обороны против кибератак. Со своей стороны, сотрудники подразделений информационной безопасности должны обучать пользователей, проводить регулярную коммуникацию, подсвечивая важность этой проблемы [4].

Другой аспект, особенно актуальный во время массовой дистанционной работы — усиление политик и процедур удаленного доступа. Сотрудники могут использовать большое количество различных устройств (личные или корпоративные компьютеры, телефоны, планшеты и прочее), различные сети (домашние, публичные, выделенные каналы) для доступа к данным и ресурсам компании. В этих условиях

важны как организационные, так и технические аспекты доступа. Общая рекомендация включает предпочтительное использование корпоративных устройств, в сравнении с личными, а и использование ресурсов вне корпоративной сети должно происходить через надежно защищенный VPN канал [5].

Среди прочих рекомендаций, которые должны быть формализованы в политику безопасности компании — это инструкции и планы по реагированию на инциденты безопасности и отлаженные механизмы по восстановлению данных [5].

Отдельно стоит отметить о необходимости защиты информации, поступающей от клиентов и контрагентов. Крайне важно, чтобы все публичные точки входа в информационный сегмент компании (порталы поставщиков, клиентские веб-сервисы) строго оценивались с точки зрения угроз, контролировались и защищались должным образом. В качестве базовых рекомендаций стоит упомянуть своев-

ременное обновление программного обеспечения и использование многофакторной аутентификации пользователей.

Вопрос обеспечения информационной безопасности с каждым годом становится только актуальнее, несмотря на непрекращающееся развитие средств защиты. Злоумышленники каждый день придумывают новые способы получить доступ к нашим данным, используя всевозможные для этого методы, поводы и события в окружающем мире. Из-за последствий эпидемии в 2020 году весь мир особенно ярко увидел, что диджитализация всех сфер жизни — это естественный процесс, к которому мы идем, и, что проблема кибербезопасности касается каждого, а не только отдельных людей или специалистов. Умение защитить себя и свои данные на сегодняшний день — это необходимый навык для каждого, и чем раньше большинство людей это осознают, тем легче им будет освоиться в цифровом мире.

#### Литература

1. Conger S. The Impact of the COVID-19 Pandemic on Information Systems Management. 2020 // Information Systems Management. 2020. URL: <https://doi.org/10.1080/10580530.2020.1820636> (дата обращения 03.01.2021)
2. Verizon 2019 Data Breach Investigations Report. URL: <https://enterprise.verizon.com/resources/reports/2019-data-breach-investigations-report.pdf> (дата обращения 03.01.2021)
3. Applied Risk's the State of Industrial Cyber Security 2019. URL: <https://applied-risk.com/resources/the-state-of-industrial-cyber-security-2019> (дата обращения 03.01.2021)
4. Об угрозах безопасности информации, связанных с пандемией коронавируса (COVID-19.). НКЦКИ, 2020. 2–4 с. URL: <https://safe-surf.ru/upload/ALRT/ALRT-20200320.1.pdf> (дата обращения 03.01.2021)
5. Рекомендации по обеспечению безопасности объектов критической информационной инфраструктуры при реализации дистанционного режима исполнения должностных обязанностей работниками субъектов критической информационной инфраструктуры. ФСТЭК России, 2020. Письмо ФСТЭК России от 20 марта 2020 г. N 240/84/389. URL: <https://fstec.ru/component/attachments/download/2711> (дата обращения 03.01.2021)

**Середюк Марія Дмитрівна**

*доктор технічних наук,  
професор кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

**Середюк Мария Дмитриевна**

*доктор технических наук,  
профессор кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ  
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа*

**Serediuk Mariia**

*Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the Department of Oil and Gas Pipelines and Storages Facilities  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*

DOI: 10.25313/2520-2057-2021-1-6822

## ГАЗОДИНАМІЧНІ РЕЖИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОВИХ МЕРЕЖ НИЗЬКОГО ТИСКУ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ГАЗО-ВОДНЕВИХ СУМІШЕЙ

## ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ГАЗО-ВОДОРОДНЫХ СМЕСЕЙ

## GAS DYNAMIC OPERATING MODES OF LOW PRESSURE GAS NETWORKS DURING TRANSPORT GAS-HYDROGEN MIXTURES

**Анотація.** Шляхом математичного моделювання знайдено закономірності зміни фізико-хімічних властивостей, необхідних для розрахунків газових мереж низького тиску, для газо-водневих сумішей з об'ємною часткою водню від нуля до 100%. Встановлені закономірності газодинамічних розрахунків сталевих газових мереж низького тиску у разі транспортування газо-водневих сумішей з різною об'ємною часткою водню при збереженні витрат та енергоємності елементів системи газопостачання, характерних для транспортування природного газу.

**Ключові слова:** природний газ, водень, газо-воднева суміш, газопровід низького тиску, нижча об'ємна теплота згорання, витрата, втрати тиску від тертя.

**Аннотация.** Путем математического моделирования установлены закономерности изменения физико-химических свойств, необходимых для расчетов газовых сетей низкого давления, для газо-водородных смесей с объемной долей от нуля до 100%. Установлены закономерности газодинамических расчетов стальных газовых сетей низкого давления при транспортировании газо-водородных смесей с различной объемной долей водорода при сохранении расхода и теплоемкости элементов системы газоснабжения, характерных для транспортирования природного газа.

**Ключевые слова:** природный газ, водород, газо-водородная смесь, газопровод низкого давления, низшая объемная теплота сгорания, расход, потери давления от трения

**Summary.** By means of mathematical modeling the patterns of change the physical and chemical properties, necessary for calculations the gas networks of low pressure, for gas-hydrogen mixtures with volume fraction of hydrogen from zero to 100% were found. The regularities of gas-dynamic calculations of low-pressure steel gas networks in the case of transportation of gas-hydrogen mixtures with different volume fraction of hydrogen while maintaining the costs and energy consumption of the elements of the gas supply system, typical for the transportation of natural gas were established.

**Key words:** natural gas, hydrogen, gas-hydrogen mixture, low gas pipeline pressure, lower volumetric heat of combustion, flow, pressure loss from friction.

**В**ступ. Ще п'ятдесят років тому в США з'явився термін «воднева економіка» — тобто економіка, в основі якої лежить використання водню як основного джерела енергії [1]. Сьогодні, коли наслідки глобальних змін клімату досягли значних масштабів, низка країн декларувала рух до декарбонізації економіки, насамперед, шляхом сприяння розвитку технологій генерації електроенергії із відновлюваних джерел. Зниження вартості одержання енергії із відновлюваних джерел зробило дешевшим виробництво «зеленого водню». Якраз водень може стати одним із основних напрямків успішної реалізації «Європейської зеленої угоди», ухваленої країнами ЄС. Для цього необхідно відшукувати шляхи зменшення вартості виробництва, удосконалення технологій транспортування, зберігання і застосування водню у всіх сферах економіки [1].

Як свідчать результати проєктів, що реалізуються у світі, додавання до природного газу від 1% до 20% (технологія power-to-gas) не вимагає модернізації газотранспортних систем, у той же час сприяє зменшенню викидів вуглецю. Приклади реалізації зазначеної технології є у Франції, Великобританії, Німеччині та інших країнах Європи [1].

Найдешевшим способом транспортування як водню, так і сумішей природного газу з воднем, є трубопроводи. В 2020 р. газові компанії з дев'яти країн ЄС презентували план створення мережі транспортування водню European Hydrogen Backbone. На 75% зазначена мережа буде складатися із переобладнаних газопроводів. Ця мережа трубопроводів потрібна для транспортування «зеленого» водню, виробленого в ЄС, а також для імпорту водню з-за меж Європи. До 2030 р. передбачається, що потужність станцій для генерації «зеленого» водню на території країн ЄС досягне

40 ГВт. Ще 40 ГВт потужностей планують одержати з інших країн, із них 10 ГВт пропонують реалізувати Україні [2].

За оцінками експертів, Україна має другий у Європі потенціал відновлюваної енергетики. Чотири області — Херсонська, Одеська, Миколаївська і Запорізька — здатні забезпечити половину потреб країн Євросоюзу в енергії. Вважається, що газотранспортна система України може бути придатна для транспортування газової суміші з вмістом до 20% водню [3].

Протягом двох останніх років в Україні проводять дослідження можливості використання існуючих газових мереж для транспортування газо-водневих сумішей. На п'яти полігонах у Житомирській, Івано-Франківській, Дніпропетровській, Волинській та Харківській областях виконують комплексні дослідження поведінки водню у газорозподільній системі України. Проєкт унікальний тим, що для експериментів використали суміш, що містить 99% водню. Перший етап досліджень засвідчив, що газопроводи, які забезпечують герметичність

при транспортуванні природного газу, не можна застосовувати для транспортування водню, оскільки за 14 діб виявлено втрати 46% початкового тиску [4]. На наступних етапах досліджень концентрацію водню у суміші планують знижувати. Кінцева мета досліджень — встановлення можливості застосування газових мереж низького і середнього тиску для транспортування газо-водневих сумішей з точки зору забезпечення герметичності системи, нормального режиму експлуатації технологічного обладнання газорегуляторних пунктів, приладів обліку витрати енергоносія, газових приладів споживачів тощо [4].

У той же на сьогодні не встановлено, як залежать фізико-хімічні властивості енергоносія від концентрації водню в газо-водневій суміші, як зміниться газодинамічна енерговитратність газових мереж при транспортуванні газо-водневої суміші. Висвітленню зазначених питань стосовно газових мереж низького тиску із сталевих труб присвячена дана робота.

**Мета роботи** — встановлення впливу об'ємної концентрації водню на основні фізико-хімічні властивості та газодинамічну енерговитратність енергоносія (газо-водневої суміші) в умовах газових мереж низького тиску із сталевих труб.

У процесі експлуатації газових мереж первинною інформацією щодо енергоносія, зазвичай, є склад природного газу в об'ємних частках за результатами лабораторних досліджень. Фізико-хімічні властивості газо-водневої суміші, які необхідні для проведення газодинамічних розрахунків газових мереж, визначаємо за методикою, як наведена у [5].

Переходимо від об'ємних часток  $j$ -го компонента газо-водневої суміші  $y_j$  до молярних  $x_j$  за формулою

$$x_j = \frac{y_j z_j}{\sum_{j=1}^N y_j z_j}, \quad (1)$$

де  $z_j$  — коефіцієнт стисливості  $j$ -го компонента;  $N$  — кількість компонентів суміші.

Реальні властивості енергоносія враховуємо шляхом введення коефіцієнта стисливості суміші газів

$$z_{mix} = 1 - \left[ \sum_{j=1}^N (x_j \cdot \sqrt{b_j}) \right]^2, \quad (2)$$

де  $b_j$  — коефіцієнт відхилення  $j$ -го компонента від закону ідеального газу згідно з [5].

Густина енергоносія, як реального газу, дорівнює

$$\rho = \frac{p}{z_{mix} RT} \cdot \sum_{j=1}^N (x_j \cdot M_j), \quad (3)$$

де  $p$  — абсолютний тиск енергоносія в газопроводі;  $R$  — універсальна газова стала,  $R = 8,31451$  Дж/(моль · К);

$T$  — термодинамічна температура енергоносія;  
 $M_j$  — молярна маса  $j$ -го компонента.

Згідно з ДБН В.2.5-20-2018 [6], при проектуванні та експлуатації газових мереж населених пунктів фізико-хімічні властивості газу і газодинамічні параметри експлуатації газопроводів повинні відповідати нормальним фізичним умовам, а саме абсолютному тиску  $p_n = 101325$  Па і температурі  $t_n = 0^\circ\text{C}$  (термодинамічна температура  $T_n = 273,15$  К).

Розрахункова формула для густини енергоносія за нормальних фізичних умов набуває вигляду

$$\rho_n = \frac{p_n}{z_{mix} \cdot R \cdot T_n} \sum_{j=1}^N (x_j \cdot M_j). \quad (4)$$

Нижчу об'ємну теплоту згорання енергоносія, як реального газу, знаходимо за формулою

$$\tilde{H} = \frac{\sum_{j=1}^N (x_j \cdot \tilde{H}_j^\circ)}{z_{mix}}, \quad (5)$$

де  $\tilde{H}_j^\circ$  — значення ідеальної нижчої об'ємної теплоти згорання  $j$ -го компонента згідно з [5].

Динамічну в'язкість енергоносія за нормальних фізичних умов обчислюємо за формулою

$$\eta_{n_{mix}} = \sum_{j=1}^N x_j \cdot \eta_{n_j}, \quad (6)$$

де  $\eta_{n_j}$  — значення динамічної в'язкості  $j$ -го компонента за нормальних фізичних умов.

Кінематичну в'язкість енергоносія за нормальних фізичних умов знаходимо так:

$$\nu_{n_{mix}} = \frac{\eta_{n_{mix}}}{\rho_{n_{mix}}}. \quad (7)$$

Гідрравлічний розрахунок газових мереж виконуємо за методикою, яка рекомендована [6]. Втрати тиску від тертя у газових мережах низького тиску  $\Delta p$  обчислюємо залежно від режиму руху газу, що характеризується числом Рейнольдса

$$\text{Re} = 0,0354 \frac{Q_n}{d \cdot \nu_n}, \quad (8)$$

де  $Q_n$  — витрата газу у газопроводі за нормальних фізичних умов (абсолютному тиску 101325 Па і температурі  $0^\circ\text{C}$ ),  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$d$  — внутрішній діаметр газопроводу, см.

Для ламінарного режиму руху газу за виконання умови  $\text{Re} \leq 2000$  втрати тиску від тертя (Па)

$$\Delta p = 1,132 \cdot 10^6 \frac{Q_n}{d^4} \nu_n \rho_n l, \quad (9)$$

для критичного режиму руху газу за виконання умови  $2000 < \text{Re} < 4000$

$$\Delta p = 0,516 \frac{Q_n^{2,333} \rho_n l}{d^{5,333} \nu_n^{0,333}}, \quad (10)$$

для турбулентного режиму руху газу за виконання умови  $\text{Re} > 4000$

$$\Delta p = 69 \cdot \left( \frac{k_e}{d} + 1922 \frac{\nu_n d}{Q_n} \right)^{0,25} \frac{Q_n^2 \rho_n l}{d^5}, \quad (11)$$

де  $k_e$  — абсолютна еквівалентна шорсткість внутрішньої поверхні труби, для сталевих труб  $k_e = 0,01$  см, для поліетиленових труб  $k_e = 0,002$  см [6];

$l$  — довжина газопроводу, м.

Дослідження проведені для природного газу, склад компонентів якого в об'ємних частках наведено у таблиці 1. Числові значення властивостей індивідуальних компонентів газо-водневої суміші відповідають [5].

Склад природного, наведений у таблиці 1, відповідає фактичному складу природного газу, що використовувався для газопостачання споживачів Івано-Франківської області в листопаді 2019 року.

Слід зазначити, що склад природного газу, що використовується для газопостачання конкретного споживача, не є величиною сталою, він весь час змінюється. Але за умови одержання газу з певного джерела (магістрального газопроводу, газового промислу) зміни складу компонентів у часі не є швидкоплинними і суттєвими.

Спочатку розрахунки фізико-хімічних властивостей проведемо для природного газу, що не містить водню. Далі моделюємо газові суміші, що містять певний відсоток водню за об'ємом  $y_{H_2}$ , решту — природний газу із вихідними компонентами, об'ємні частки яких скориговано за формулою

$$y_j = (1 - y_{H_2}) y_{jg}, \quad (12)$$

де  $y_{jg}$  — об'ємна частка  $j$ -го компонента у вихідному природному газі.

При проведенні досліджень об'ємну частку водню в газо-водневій суміші змінювали від 0 до 100% з кроком 10%. Багатоваріантні розрахунки за формулами (1)–(12) виконували за спеціально розробленою комп'ютерною програмою.

Таблиця 2 містить результати обчислення фізико-хімічних властивостей газо-водневої суміші, які необхідні для проведення газодинамічних розрахунків газових мереж, за різної об'ємної частки водню.

За даними таблиці 2 побудовано графічні залежності густини, динамічної і кінематичної в'язкості, а також нижчої об'ємної теплоти згорання енергоносія від об'ємної частки водню (рисунки 1–5) та виконано їх математичне моделювання засобами Microsoft Excel.

Як свідчить дані таблиці 1, при збільшенні об'ємної частки водню від нуля до 100% відносна густина на газо-водневій суміші за нормальних фізичних умов суттєво змінюється від значення 0,749  $\text{кг}/\text{м}^3$  до 0,090  $\text{кг}/\text{м}^3$ , тобто зменшується у 8,3 рази.

Таблиця 1

Склад природного газу для проведення досліджень

Назва компонента	Об'ємна частка, %	Молярна маса, кг/кмоль	Нижча об'ємна теплота згорання, МДж/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт стисливості	Коефіцієнт підсумовування $\sqrt{b_j}$
Метан	96,2726	16,043	35,818	0,9976	0,0490
Етан	2,0436	30,070	63,760	0,9900	0,1000
Пропан	0,6251	44,097	91,180	0,9789	0,1453
ізо-Бутан	0,0945	58,123	118,610	0,9572	0,2069
н-Бутан	0,0893	58,123	118,610	0,9572	0,2069
нео-Пентан	0,0015	72,150	146,000	0,9180	0,2864
ізо-Пентан	0,0163	72,150	146,000	0,9180	0,2864
н-Пентан	0,0109	72,150	146,000	0,9180	0,2864
Генсан	0,0095	86,177	173,450	0,8920	0,3286
Кисень	0,0064	31,999	0,000	0,9990	0,0316
Азот	0,6709	28,014	0,000	0,9995	0,0224
Діоксид вуглецю	0,1594	44,010	0,000	0,9933	0,0819
Водень	0,000	2,0159	10,777	1,0006	-0,0040

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості газо-водневої суміші за різної об'ємної частки водню

Частка водню у суміші, %	Густина суміші за нормальних умов, кг/м <sup>3</sup>	Динамічна в'язкість суміші за нормальних умов, Па·с	Кінематична в'язкість суміші за нормальних умов, м <sup>2</sup> /с	Нижча об'ємна теплота згорання суміші за нормальних умов, МДж/м <sup>3</sup>
0	0,749	$1,028 \cdot 10^{-5}$	$1,373 \cdot 10^{-5}$	36,749
10	0,683	$1,009 \cdot 10^{-5}$	$1,478 \cdot 10^{-5}$	34,145
20	0,617	$9,896 \cdot 10^{-6}$	$1,604 \cdot 10^{-5}$	31,543
30	0,551	$9,702 \cdot 10^{-6}$	$1,761 \cdot 10^{-5}$	28,944
40	0,485	$9,508 \cdot 10^{-6}$	$1,960 \cdot 10^{-5}$	26,346
50	0,419	$9,313 \cdot 10^{-6}$	$2,222 \cdot 10^{-5}$	23,750
60	0,353	$9,119 \cdot 10^{-6}$	$2,580 \cdot 10^{-5}$	21,156
70	0,288	$8,924 \cdot 10^{-6}$	$3,104 \cdot 10^{-5}$	18,561
80	0,222	$8,730 \cdot 10^{-6}$	$3,938 \cdot 10^{-5}$	15,967
90	0,156	$8,535 \cdot 10^{-6}$	$5,477 \cdot 10^{-5}$	13,373
100	0,090	$8,340 \cdot 10^{-6}$	$9,273 \cdot 10^{-5}$	10,777

Залежність густини газо-водневої суміші за нормальних фізичних умов від об'ємної частки водню з вірогідністю апроксимації  $R^2 = 1$  можна описати поліноміальною функцією другого порядку (див. рис. 1).

Як свідчить дані таблиці 1, при збільшенні об'ємної частки водню від нуля до 100% динамічна в'язкість газо-водневої суміші за нормальних фізичних умов несуттєво змінюється від значення  $1,028 \cdot 10^{-5}$  Па·с до значення  $8,340 \cdot 10^{-6}$  Па·с, тобто зменшується у 1,2 рази.

Залежність динамічної в'язкості газо-водневої суміші за нормальних фізичних умов від об'ємної частки водню з вірогідністю апроксимації  $R^2 = 1$

також можна описати поліноміальною функцією другого порядку (див. рис. 2).

Як свідчить дані таблиці 1, при збільшенні об'ємної частки водню від нуля до 100% кінематична в'язкість газо-водневої суміші за нормальних фізичних умов суттєво змінюється від значення  $1,373 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с до значення  $9,273 \cdot 10^{-5}$  м<sup>2</sup>/с, тобто зростає у 6,8 разів.

Встановлено неоднакову інтенсивність зростання кінематичної в'язкості суміші при додавання до неї водню. Тому діапазон об'ємної частки водню у суміші розбиваємо на дві частини: перша від 0% до 60%; друга від 60% до 100%. Із рисунка 3 випливає, що залежність кінематичної в'язкості газо-водневої



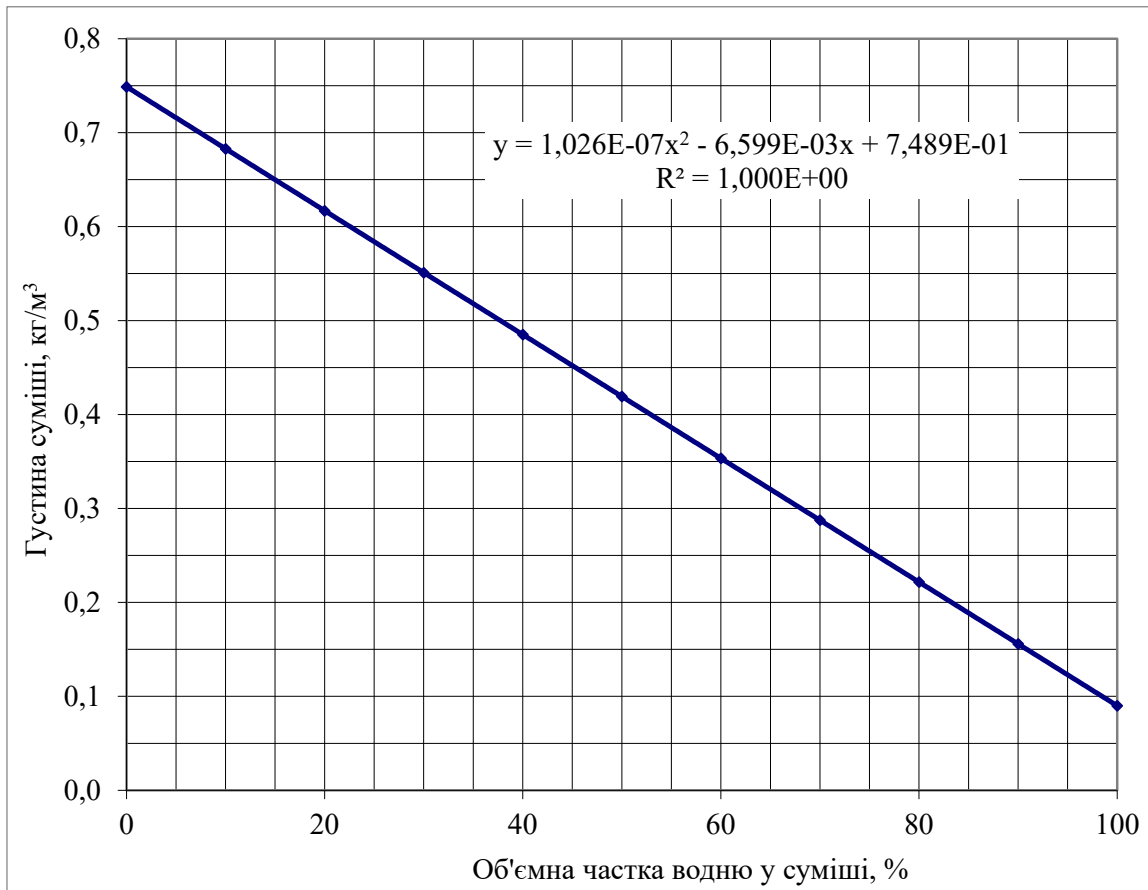


Рис. 1. Залежність густини газо-водневої суміші за нормальних фізичних умов від об'ємної частки водню

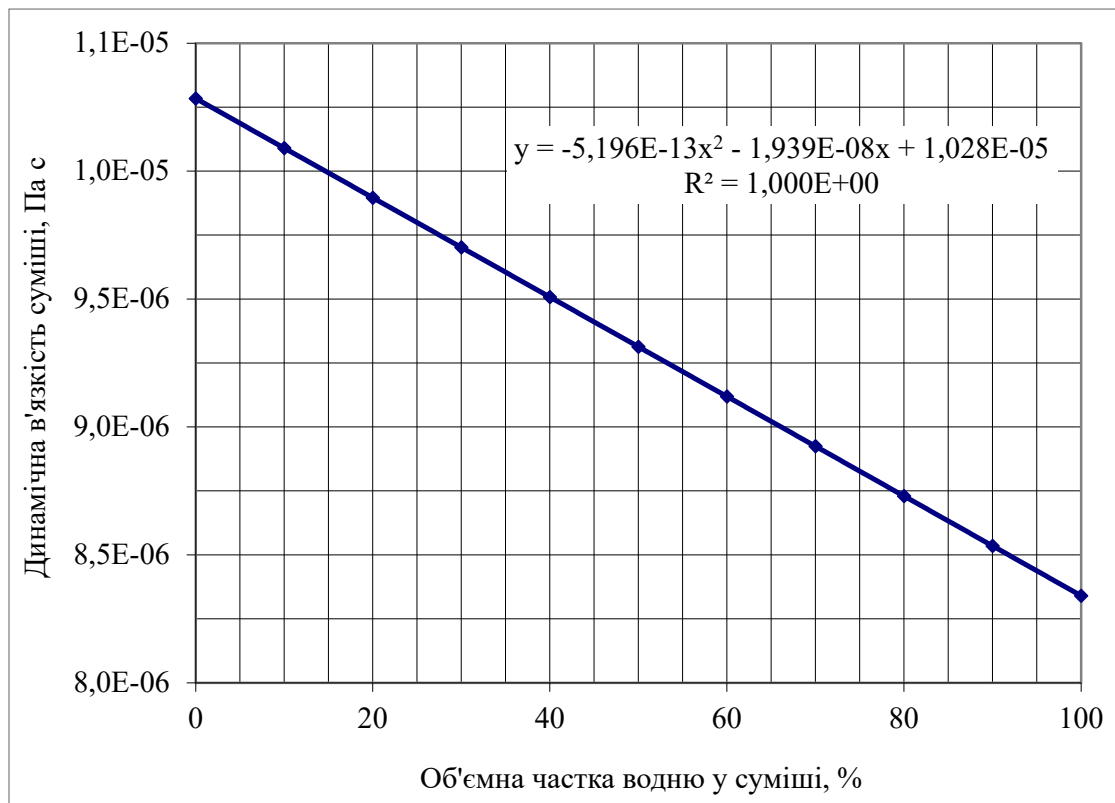


Рис. 2. Залежність динамічної в'язкості газо-водневої суміші за нормальних фізичних умов від об'ємної частки водню

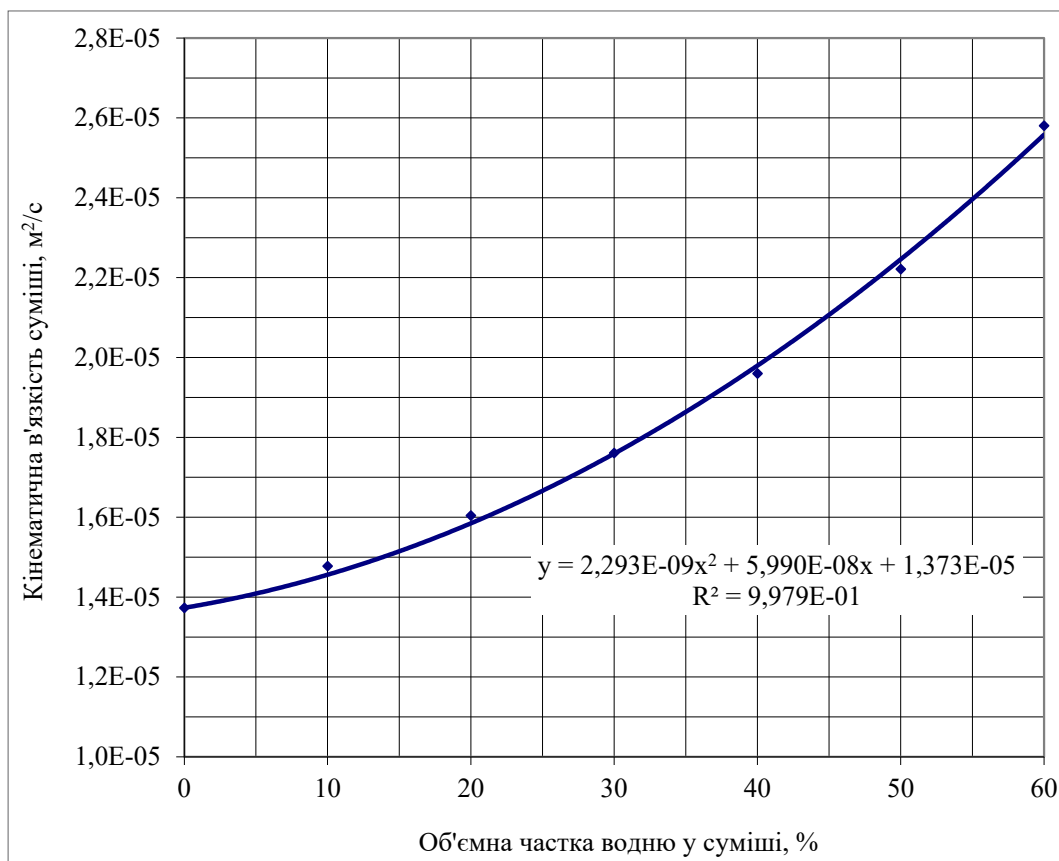


Рис. 3. Залежність кінематичної в'язкості газо-водневої суміші за нормальних фізичних умов від об'ємної частки водню (діапазон 0% — 60%)

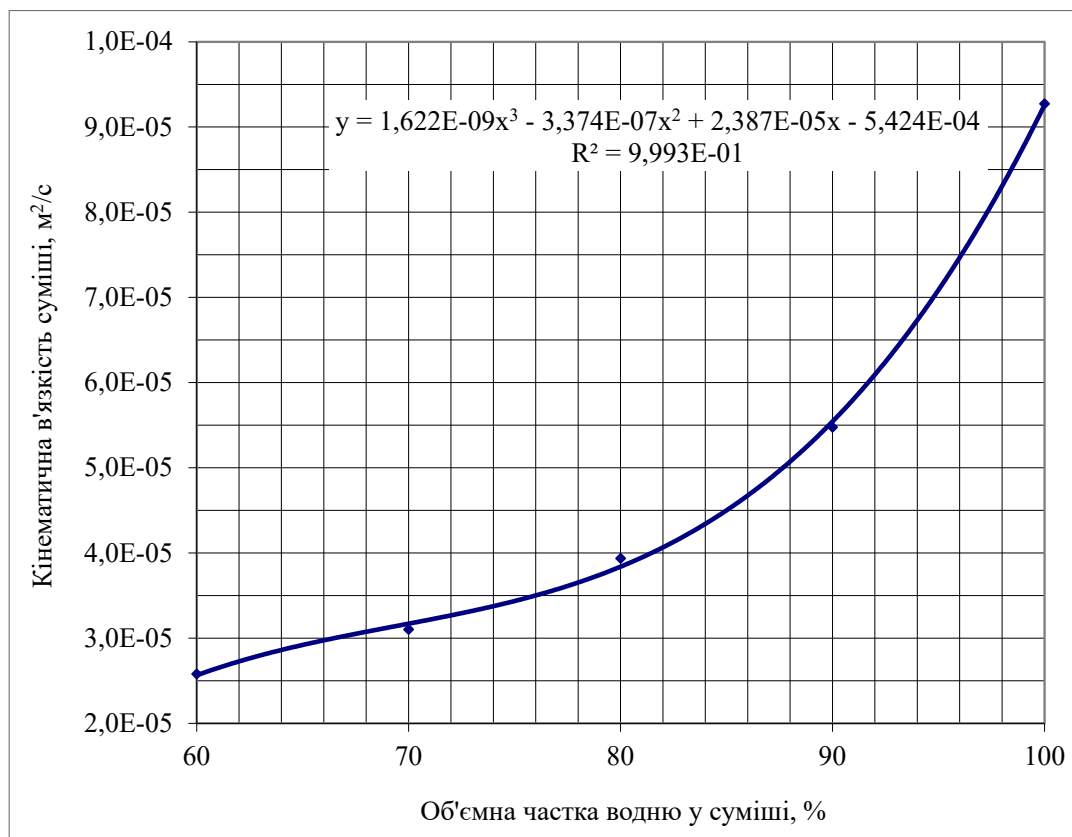


Рис. 4. Залежність кінематичної в'язкості газо-водневої суміші за нормальних фізичних умов від об'ємної частки водню (діапазон 60% –100%)

суміші за нормальних фізичних умов від об'ємної частки водню від 0% до 60% з вірогідністю апроксимації  $R^2 = 0,998$  можна описати поліноміальною залежністю другого порядку. У той же час для діапазону зміни об'ємної частки водню від 60% до 100% для опису аналогічної залежності доцільно застосувати поліноміальну залежність третього порядку (див. рис. 4).

Як свідчить дані таблиці 1, при збільшенні об'ємної частки водню від нуля до 100% нижча об'ємна теплота згорання газо-водневої суміші за нормальних умов суттєво змінюється від значення 36,749 МДж/м<sup>3</sup> до значення 10,777 МДж/м<sup>3</sup>, тобто зменшується у 3,4 рази.

Залежність нижчої об'ємної теплоти згорання газо-водневої суміші за нормальних фізичних умов від об'ємної частки водню з вірогідністю апроксимації  $R^2 = 1$  можна описати поліноміальною функцією другого порядку (див. рис. 5).

Зниження величини нижчої об'ємної теплоти згорання газо-водневої суміші зменшує кількість енергії, що подається споживачу за певного значення об'ємної витрати у газопроводі. Введемо поняття коефіцієнта зменшення енергоемності газо-водневої суміші за умовою

$$\alpha_e = \frac{\tilde{H}}{\tilde{H}_g}, \quad (13)$$

де  $\tilde{H}_g$  — значення нижчої об'ємної теплоти згорання природного газу, основи газо-водневої суміші.

Результати розрахунку коефіцієнта зменшення енергоемності газо-водневої суміші для випадку, що розглядається, наведено у таблиці 3.

Після визначення розрахункових величин густини і кінематичної в'язкості газо-водневої суміші для кожного складу суміші, що характеризується певним значенням об'ємної частки водню, за формулами (8)–(11) виконувався газодинамічний розрахунок газопроводу. Він полягав в знаходженні втрат тиску від тертя за заданого значення витрати енергоносія у трубопроводі. Діапазон витрат приймався таким, щоб дослідити різні режими руху газо-водневої суміші від ламінарного до турбулентного.

Як модельний трубопровід вибрано стандартний сталевий газопровід із зовнішнім діаметром 108 мм, товщиною стінки 3 мм і довжиною 1000 м. Труби зазначеного діаметра широко застосовують в газових мережах низького тиску населених пунктів [7].

За результатами багатоваріантних обчислень побудовано графічні залежності втрат тиску у газопроводі від витрати газо-водневої суміші за різних значень об'ємної частки водню (рис. 6).

За нормального завантаження системи газопостачання зовнішні газові мережі низького тиску працюють за турбулентного режиму і чисел Рейнольдса, більших за 4000. Використовуючи результати

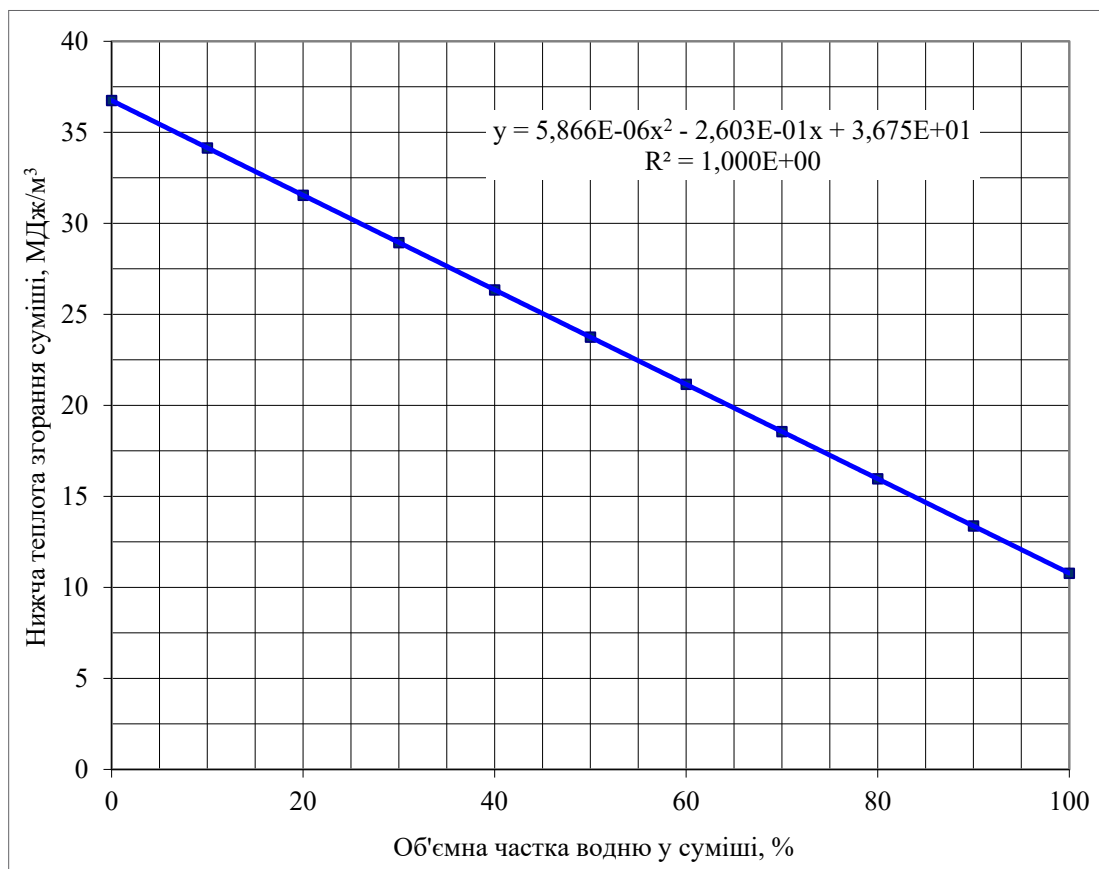


Рис. 5. Залежність нижчої об'ємної теплоти згорання газо-водневої суміші за нормальних фізичних умов від об'ємної частки водню

Таблиця 3

**Коефіцієнт зменшення енергоємності газо-водневої суміші з різною об’ємною часткою водню**

Об’ємна частка водню у суміші, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Коефіцієнт зменшення енергоємності	1,000	0,929	0,858	0,788	0,717	0,646	0,576	0,505	0,434	0,364	0,293

газодинамічних розрахунків, знаходимо відносно зменшення втрат тиску у модельному газопроводі при транспортуванні за турбулентного режиму у широкому діапазоні витрат газо-водневої суміші з різною об’ємною часткою водню.

Шляхом математичного моделювання встановлено, що за турбулентного режиму руху газо-водневої суміші в модельному трубопроводі для діапазону витрат, що відповідає нормативному завантаженню газових мереж низького тиску, відносно зменшення втрат тиску, порівняно з транспортуванням природного газу, практично не залежить від витрати і становить (див. табл. 4 та рис. 7).

Якщо газова мережа низького тиску раніше транспортувала природний газ, а тепер перево-

диться на транспортування газо-водневої суміші, яка характеризується меншим значенням нижчої об’ємної теплоти згорання, то для забезпечення подавання необхідної кількості енергії споживачам потрібно збільшити розрахункову об’ємну витрату газу в кожному елементі системи газопостачання.

Зведена об’ємна витрата газо-водневої суміші, яка забезпечує таку ж кількість енергії, як у разі транспортування газопроводом природного газу, дорівнює

$$Q_{H_{зв}} = \frac{Q_{H_g}}{\alpha_e}, \tag{14}$$

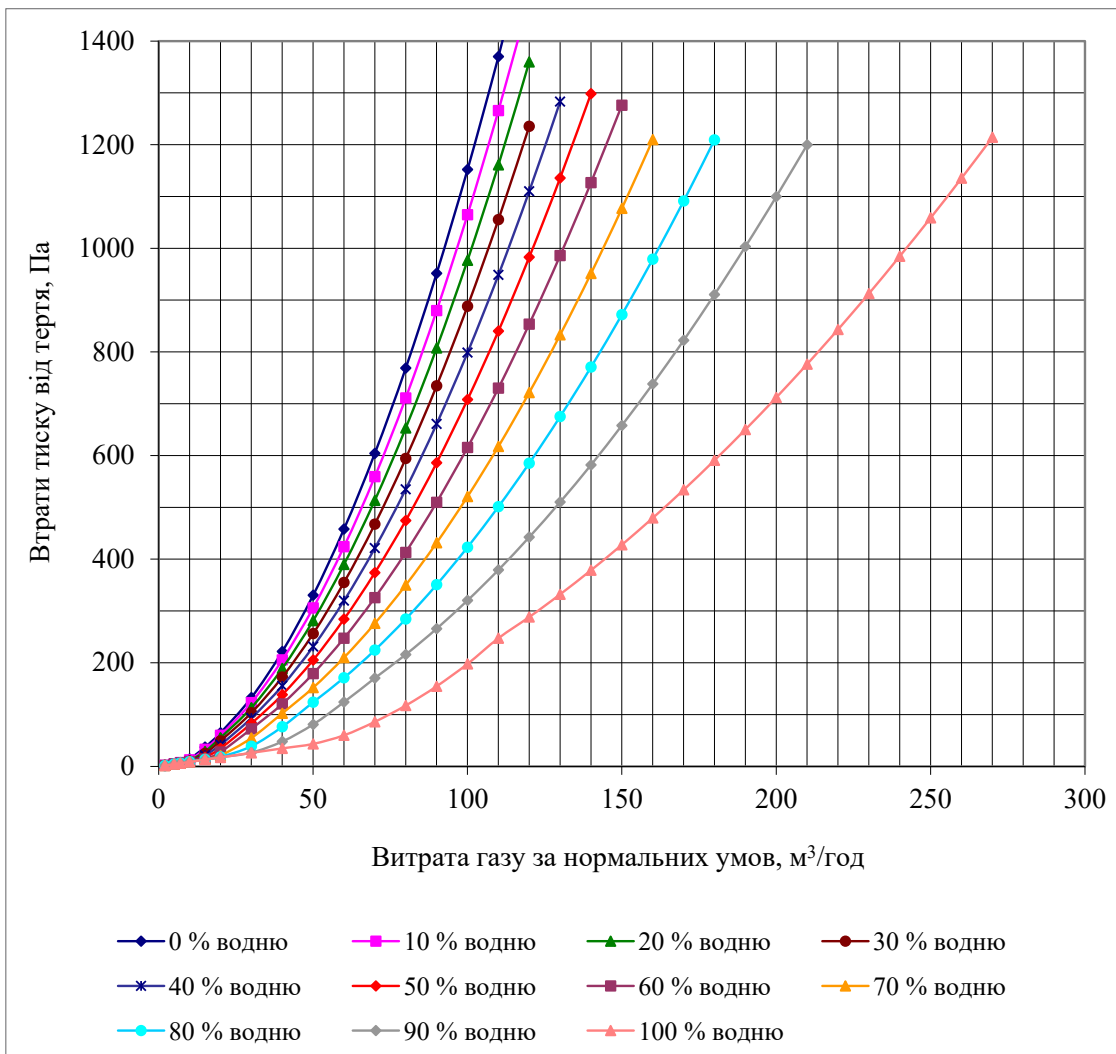


Рис. 6. Залежність втрат тиску від витрати газу-водневої суміші у трубопроводі за різних значень об’ємної частки водню

Таблиця 4

**Відносне зменшення втрат тиску у модельному газопроводі при транспортуванні за турбулентного режиму газо-водневої суміші з витратою, що мала місце для природного газу**

Об'ємна частка водню у суміші, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Відносне зменшення втрат тиску, %	0	7,5	15,0	22,6	30,3	38,2	46,2	54,9	63,3	72,1	82,6

де  $Q_n$  — розрахункова витрата для елемента системи газопостачання у разі транспортування природного газу.

Наприклад, у випадку, що розглядається, при транспортуванні газопроводом природного газу з витратою за нормальних умов  $100 \text{ м}^3/\text{год}$ , кількість транспортованої енергії дорівнює

$$E = \tilde{H} \cdot Q_{n_g} = 36,749 \cdot 100 = 3675 \text{ МДж/год.}$$

За формулою (14) знайдемо зведену витрату газу за транспортування газо-водневої суміші з об'ємною часткою водню 20%. Із таблиці 4 визначаємо, що коефіцієнт енергоємності суміші становить  $\alpha_e = 0,858$ , тоді

$$Q_{n_{зв}} = \frac{100}{0,858} = 116,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Перевіряємо кількість транспортованої газопроводом енергії

$$E = 31,543 \cdot 116,5 = 3675 \text{ МДж/год.}$$

За формулою (14) визначені зведені витрати в газопроводі при перекачуванні за умов турбулентного режиму газо-водневих сумішей з різною об'ємною часткою водню. Далі за комп'ютерною програмою виконані багатоваріантні газодинамічні розрахунки газопроводу низького тиску і знайдені втрати тиску від тертя.

Втрати тиску від тертя у разі перекачування газо-водневої суміші зі зведеною витратою  $Q_{n_{зв}}$  порівнювались з втратами тиску при перекачуванні природного газу газопроводом низького тиску з витратою  $Q_{n_g}$ , тобто за однакової кількості транспортованої енергії.

На рис. 8 наведено приклад одержаних результатів для газо-водневої суміші з об'ємною часткою 20%. Як засвідчує рис. 8, у випадку застосування замість природного газу газо-водневої суміші,

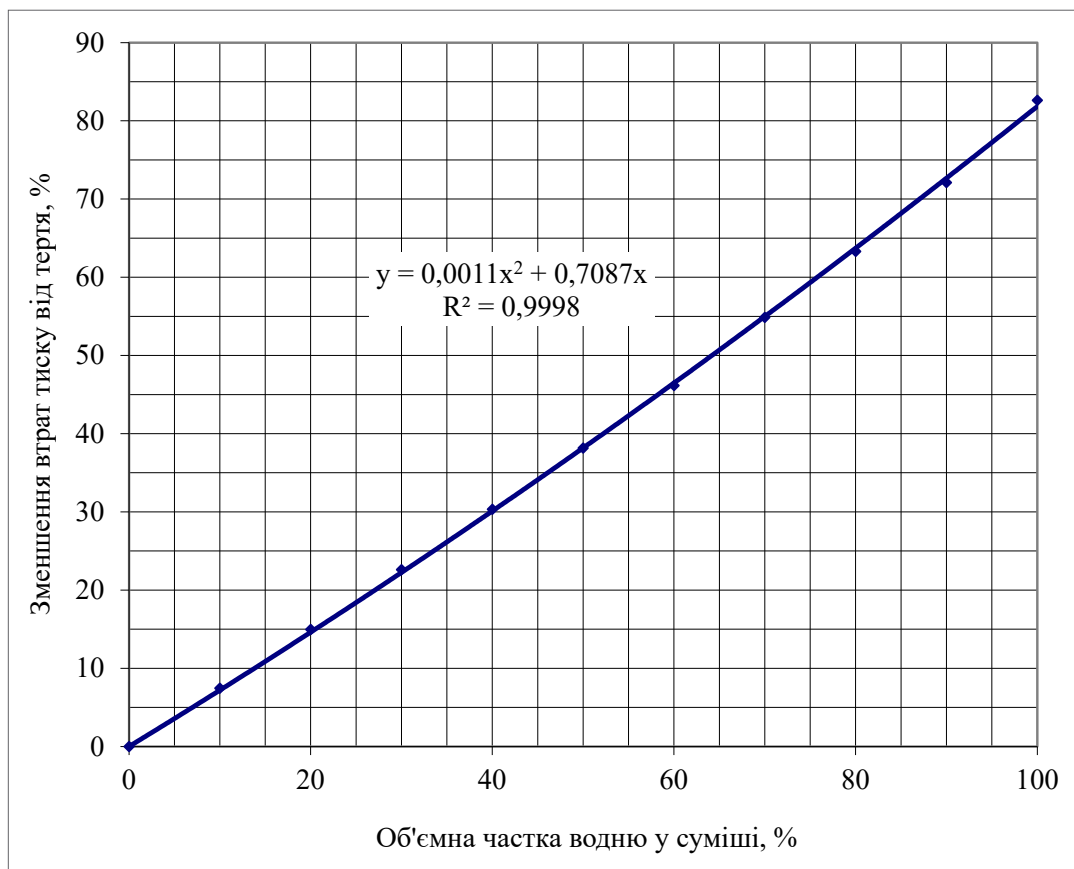


Рис. 7. Залежність відносного зменшення втрат тиску у модельному газопроводі від об'ємної частки водню при транспортуванні за турбулентного режиму газо-водневої суміші з витратою, що мала місце для природного газу

Таблиця 5

**Відносне збільшення втрат тиску від тертя у сталевих газових мережах низького тиску при збереженні кількості транспортованої енергії**

Об'ємна частка водню у суміші, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Відносне збільшення втрат тиску, %	0	5,7	12,0	18,7	26,6	35,3	44,5	54,6	64,2	68,9	59,9

внаслідок збільшення витрати з метою збереження необхідної кількості транспортованої газопроводом енергії втрати тиску від тертя будуть зростати.

Використовуючи результати багатоваріантних газодинамічних розрахунків, знаходимо відносне збільшення втрат тиску від тертя у сталевих газових мережах низького тиску для всього діапазону зміни концентрації водню у суміші за умови турбулентного режиму транспортування.

Одержані результати зводимо у таблицю 5.

Одержані результати щодо збільшення гідравлічної енерговитратності сталевих газових мереж низького тиску за перекачування газо-водневих сумішей у разі подавання газопроводом тієї ж кількості енергії, яку забезпечував природний газ, ілюструє рис. 9.

Наступним етапом досліджень буде встановлення закономірностей газодинамічних процесів при

транспортуванні газо-водневих сумішей у поліетиленових мережах низького тиску, а також сталевих та поліетиленових газових мережах середнього і високого тиску.

**Висновки**

1. Шляхом математичного моделювання встановлено, що при збільшенні об'ємної частки водню від нуля до 100% фізико-хімічні властивості газо-водневої суміші за нормальних фізичних умов, які застосовуються для розрахунків газових мереж низького тиску, суттєво змінюються, а саме: густина зменшується у 8,3 рази, динамічна в'язкість зменшується в 1,2 рази, кінематична в'язкість зростає в 6,8 рази, нижча теплота згорання зменшується в 3,4 рази.

2. Залежність зазначених властивостей газо-водневої суміші за нормальних фізичних умов від об'ємної частки водню з вірогідністю апроксимації,

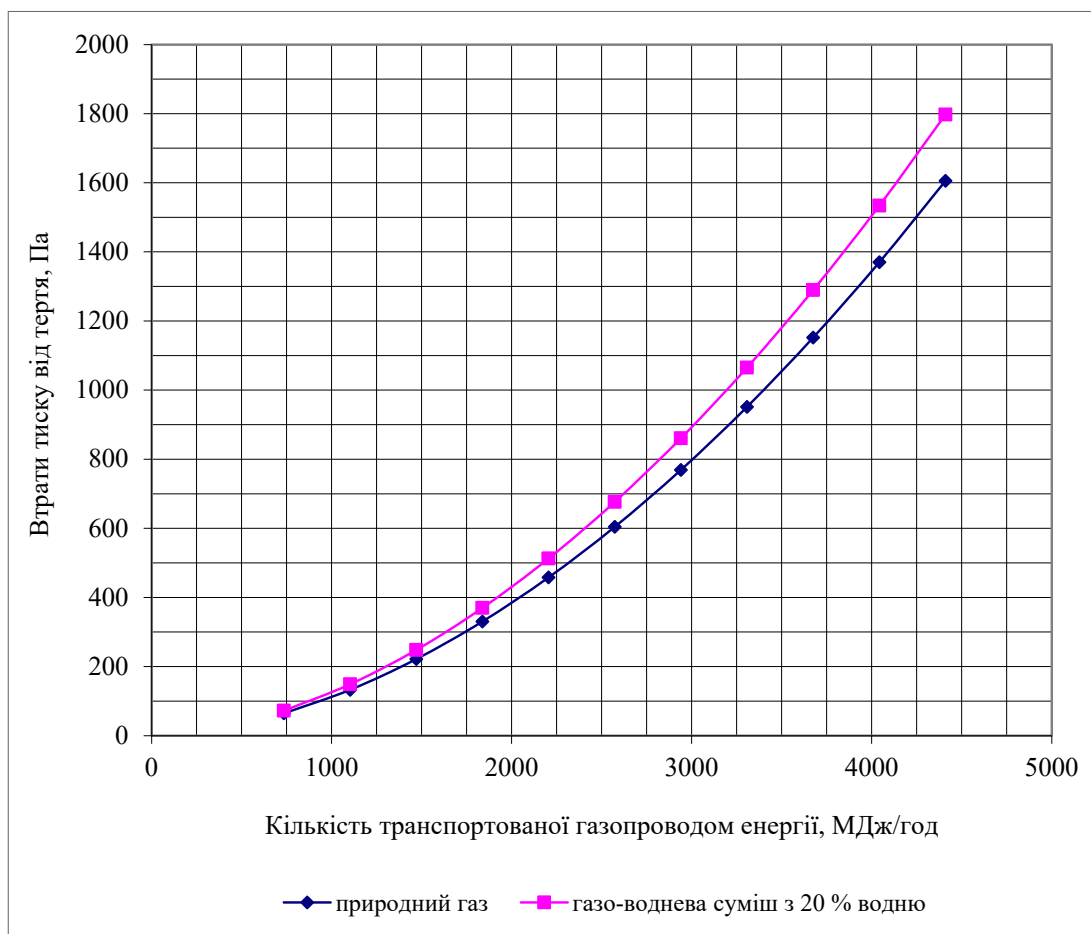


Рис. 8. Залежність втрат тиску у сталевому газопроводі низького тиску від кількості транспортованої енергії у разі використання природного газу і газо-водневої суміші з об'ємною часткою водню 20%

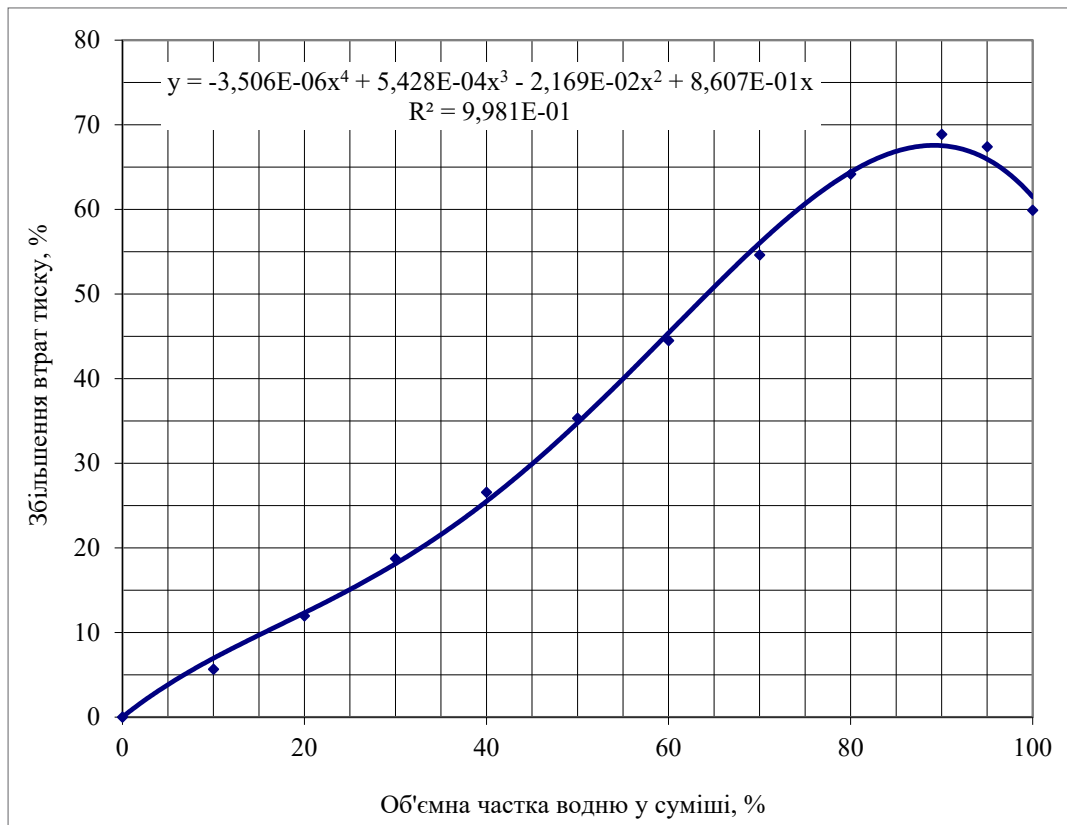


Рис. 9. Збільшення газодинамічної енерговитратності сталевих газових мереж низького тиску за перекачування газо-водневих сумішей у разі подавання енергії, яку забезпечував природний газ

вищою за 0,998, можна описати поліноміальними функціями другого або третього порядку.

3. Встановлено, що при збереження витрат газу, які мали місце при транспортуванні природного газу, за умови турбулентного режиму руху газо-водневої суміші в сталевих газових мережах низького тиску втрати тиску будуть зменшуватись. Відносне зменшення витрат тиску, порівняно з транспортуванням природного газу, практично не залежить від витрати і змінюється від нуля до 82,6% при зростанні об'ємної частки водню у суміші від нуля до 100%.

4. Оскільки газо-воднева суміш характеризується меншим значенням нижчої об'ємної теплоти згорання, то для забезпечення подавання кількості енергії, яку забезпечував природний газ, необхідно збільшити розрахункову об'ємну витрату газу в кожному елементі системи газопостачання. Введено поняття зведеної об'ємної витрати газу, яка

забезпечує у разі транспортування газопроводом газо-водневої суміші таку ж кількість енергії, як при перекачуванні природного газу.

5. Встановлено, що випадку застосування замість природного газу газо-водневої суміші, внаслідок збільшення витрати з метою збереження необхідної кількості транспортованої газопроводом енергії, втрати тиску від тертя будуть зростати. Відносне зростання витрат тиску, порівняно з транспортуванням природного газу, практично не залежить від витрати і змінюється від нуля до 69% при зростанні об'ємної частки водню у суміші від нуля до 100%.

6. Одержані результати можуть бути використані при проектуванні нових, реконструкції та експлуатації діючих газових мереж низького тиску у випадку транспортування газо-водневих сумішей з різною об'ємною часткою водню.

#### Література

1. URL: <https://www.epravda.com.ua/rus/projects/greendeal/2020/05/18/660480/>
2. URL: <https://www.epravda.com.ua/projects/greendeal/2020/08/31/664468/>
3. URL: <https://www.epravda.com.ua/rus/projects/greendeal/2020/11/21/668263/>
4. URL: <https://www.epravda.com.ua/projects/greendeal/2020/10/28/666707/>
5. ISO 6976:2016.
6. ДБН В.2.5-20-2018 Газопостачання.
7. Гончарук М. І., Середюк М. Д., Шелудченко В. І. Довідник з газопостачання населених пунктів України. Івано-Франківськ: Сімик. 2006. 1313 с.

УДК 637.528:641.822:635.657]:640.43

**Стукальська Наталія Миколаївна**

*кандидат технічних наук,*

*доцент кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції*

*Національний університет харчових технологій*

**Стукальская Наталия Николаевна**

*кандидат технических наук,*

*доцент кафедры технологии ресторанной и аюрведической продукции*

*Национальный университет пищевых технологий*

**Stukalska Nataliia**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

*National University of Food Technologies*

**Кузьмін Олег Володимирович**

*кандидат технічних наук, доцент,*

*доцент кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції*

*Національний університет харчових технологій*

**Кузьмин Олег Владимирович**

*кандидат технических наук, доцент,*

*доцент кафедры технологии ресторанной и аюрведической продукции*

*Национальный университет пищевых технологий*

**Kuzmin Oleg**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

*National University of Food Technologies*

**Хабенець Ольга Вікторівна**

*здобувач*

*Національного університету харчових технологій*

**Хабенец Ольга Викторовна**

*соискатель*

*Национального университета пищевых технологий*

**Khabenets Olha**

*Applicant of the*

*National University of Food Technologies*

**Лисенко Михайло Миколайович**

*здобувач*

*Національного університету харчових технологій*

**Лысенко Михаил Николаевич**

*соискатель*

*Национального университета пищевых технологий*

**Lysenko Mykhailo**

*Applicant of the*

*National University of Food Technologies*

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНИХ  
ЗАКУСОК НА ОСНОВІ ХУМУСУ В ЗАКЛАДАХ  
РЕСТОРАННОГО ГОСПОДАРСТВА**



## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНЫХ ЗАКУСОК НА ОСНОВЕ ХУМУСА В ЗАВЕДЕНИЯХ РЕСТОРАННОГО ХОЗЯЙСТВА

### IMPROVEMENT OF COLD SNACKS BASED ON HUMUS IN RESTAURANTS

**Анотація.** Стаття присвячена розробці інноваційних технологій холодних м'ясних закусок. Проаналізовано рослинну сировину та надано характеристику хумусу, як перспективної сировини в харчуванні споживачів. Розроблено технологію приготування м'ясних рулетів з використанням хумусу. Досліджено органолептичні показники модельних композицій та на основі проведеного аналізу розроблено технологію приготування м'ясних рулетів з підвищеним вмістом білку, вітамінів та мінеральних речовин.

**Ключові слова:** хумус, мясний рулет, органолептичні показники якості.

**Аннотация.** Статья посвящена разработке инновационных технологий холодных мясных закусок. Проанализировано растительное сырье и дана характеристика хумус, как перспективного сырья в питании людей. Разработана технология приготовления мясных рулетов с использованием хумус. Исследованы органолептические показатели модельных композиций и на основе проведенного анализа разработана технология приготовления мясных рулетов с повышенным содержанием белка, витаминов и минеральных веществ.

**Ключевые слова:** хумус, мясной рулет, органолептические показатели качества.

**Summary.** The article is devoted to the development of innovative technologies for cold meat snacks. Vegetable raw materials are analyzed and hummus is characterized as a promising raw material in human nutrition. A technology has been developed for preparing meat rolls using hummus. The organoleptic parameters of the model compositions were studied and on the basis of the conducted analysis the technology of preparation of meat rolls with the increased content of protein, vitamins and minerals was developed.

**Key words:** hummus, meatloaf, organoleptic quality indicators.

Проблеми сьогодення, які пов'язані з екологічною ситуацією, вимагають забезпечення населення високоякісними продуктами харчування із збалансованим складом, що сприятимуть профілактиці захворювань, подовженню життя, створенню умов для підвищення резистентності організму людини.

Найбільш ефективним способом оптимізації та індивідуалізації харчування населення є виробництво продуктів оздоровчого призначення шляхом введення до їх складу інгредієнтів — концентратів природних компонентів їжі — вітамінів, макро- та мікроелементів, харчових волокон, що дозволяє знизити дефіцит есенціальних речовин, спрямовано змінювати метаболізм, підвищувати неспецифічну резистентність організму людини немедикаментозним безпечним шляхом [1; 2].

За актуальною на сьогодення теорією оптимального харчування визначено необхідність мінорних компонентів у харчуванні, збагачення продуктів із заданими властивостями, есенціальними речовинами (вітаміни, мінерали, амінокислоти тощо) та мінорними компонентами (поліфеноли, біофлавоноїди, активована вода тощо) [3].

Відповідно до теорії оптимального харчування для підтримки життєдіяльності організму, необхідні

також мінорні компоненти їжі та есенціальні речовини, які повинні надходити на 2/3 із рослинної продукції.

Зернові бобові культури, до яких відносяться горох, боби, квасоля, соя, нут і ряд інших, нарівні з зерновими і овочевими культурами становлять фундамент рослинної їжі людини. Високий вміст в їх насінні білків, вуглеводів, мінеральних речовин і вітамінів, хороші смакові якості і можливість тривалого зберігання роблять їх незамінним компонентом нашого раціону. Дедалі більше останнім часом прагнення до здорового способу життя, збільшує інтерес до бобових і робить їх споживання все більш популярним [4].

Збагачення продуктів харчування білком рослинного походження є одним з основних шляхів вирішення проблеми задоволення потреб населення. Як відомо, протеїни зернобобових культур, в тому числі нуту, близькі за амінокислотним складом з тваринним білком. Також нут містить жири, клітковину, велику кількість кальцію та інші корисні мінерали і вітаміни.

Ці обставини обумовлюють актуальність теми наукової роботи, яка полягає в розробці технології м'ясних страв із використанням рослинної сиро-

вини, яка є джерелом есенціальних харчових компонентів.

**Метою роботи** є розроблення технології м'ясних страв підвищеної біологічної цінності.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- порівняти контрольний зразок з дослідним враховуючи підготовку та внесення рослинної добавки;
- дослідження органолептичних показників готової продукції;
- дослідження фізико-хімічних показників готової продукції;
- дослідження амінокислотного складу зразків продукту.

**Об'єкт дослідження** — технологія м'ясних рулетів підвищеної біологічної цінності.

**Предмет дослідження:** м'ясні рулети, хумус, м'ясні рулети з хумусом.

**Методи досліджень:** органолептичні, фізико-хімічні, методи планування експерименту та математичної обробки експериментальних даних на основі комп'ютерної техніки.

За контрольний зразок було обрано рецептуру № 630 «Зрази відбивні» [5]. Дана рецептура передбачає використання м'яса яловичини та цибулі ріпчастої та має ряд недоліків, незбалансований мікроелементний склад готової продукції, знижена біологічна цінність.

Технічною задачею, на вирішення якої спрямовано винахід, є поліпшення мікроелементного складу, розширення асортименту страв в закладах ресторанного господарства.

Зазначена задача вирішується тим, що в зрази відбивні додають хумус. Тому, доцільним є удосконалення рецептурного складу страв та збагачення її рослинною сировиною, зокрема бобовими.

Бобові продукти — велике джерело незамінних вітамінів, мінералів та інших мікроелементів, важливих для нормальної життєдіяльності всіх систем і органів.

Боби, як і численні зернові культури, мають масу позитивних якостей і високо цінуються у всьому світі.

Серед корисних властивостей можна відзначити:

- наявність в складі великої кількості цінних амінокислот і білків рослинного походження.
- істотну концентрацію вітамінів групи С, В, РР.
- безліч необхідних організму мікроелементів, серед яких — каротиноїди, солі кальцію, калію, сірки, заліза, фосфору.

Склад, багатий на клітковину, яка сприяє очищенню організму від токсинів, шлаків.

Регулярне вживання в їжу бобових зміцнює нервову систему і стабілізує емоційний стан. Причиною тому — амінокислоти в складі продукту. При цьому чи не всі бобові культури дозволені і навіть рекомендовані в їжу діабетикам і алергікам.

При систематичному поїданні натуральної сої, квасолі, гороху і сочевиці рівень цукру і холестерину в крові значно падає. Разом з тим поступово зміцнюються імунна і нервова системи, а діяльність головного мозку підвищується і прискорюється.

Пектин, наявний в складі бобових у великій кількості, здатний швидко і безслідно виводити з організму «поганий» холестерин, ще до моменту його засвоєння.

Одним з найперспективніших бобових — є нут, з якого виготовляють хумус.

Хумус є універсальним для використання в кулінарії, наповнений поживними речовинами і несе в собі багато користі для здоров'я людини (табл. 1).

Аналізуючи табличні дані можна зробити висновки, що:

- 1) хумус — відмінне джерело рослинного білка, що забезпечує 7,9 г на порцію. Це робить його відмінним білковим продуктом;
- 2) є відмінним джерелом заліза, фолієвої кислоти, фосфору і вітаміну В;
- 3) хумус — відмінне джерело харчових волокон, які можуть поліпшувати травлення. Він містить 6 г рослинних харчових волокон на 100 г продукту, що становить 24% від щоденної рекомендації щодо вживання клітковини для жінок і 16% для чоловіків. Завдяки високому вмісту волокон, хумус допомагає регулярній роботі кишечника;
- 4) хумус володіє декількома властивостями, які можуть допомогти контролювати рівень цукру в крові.

Хумус також є відмінним джерелом розчинних волокон і здорових жирів. Розчинні волокна змішуються з водою в кишечнику для створення гелеобразної речовини. Це може запобігти скачкам цукру в крові, сповільнюючи доставку цукру в кровотік. Жири також допомагають сповільнити поглинання вуглеводів з кишечника, що, в свою чергу, забезпечує більш повільне і стабільне виділення цукру

Таблиця 1

**Хімічний склад хумуса, на 100 г**

Енергетична цінність	166 кКал
Жири, г	9,6
Білки, г	7,9
Вуглеводи, г	14,3
Клітковина, г	6
Марганець	39% від добової норми
Мідь	26% від добової норми
Фолат	21% від добової норми
Магній	18% від добової норми
Фосфор	18% від добової норми
Залізо	14% від добової норми
Цинк	12% від добової норми
Тіамін	12% від добової норми
Вітаміни В <sub>6</sub>	10% від добової норми
Калій	7% від добової норми

в кровотік. Дослідження показало, що білий хліб випускає в чотири рази більше цукру в кров після їжі, ніж хумус, незважаючи на те, що він має таку ж кількість вуглеводів [11].

Особливість хумусу полягає в рослинному походженні: його отримують шляхом змішування приготованого на пару нуту (так званого турецького гороху), кунжутної пасти, спецій, лимонного соку і часнику. Хумус дуже поживний і містить багато корисних макро- і мікроелементів в своєму складі, а також має однорідну гомогенну структуру, тому його рекомендовано вживати через три або шість тижнів в період післяопераційної дієтотерапії.

Враховуючи вищезазначене, можна зробити висновок, що використання хумусу є доцільним у технології м'ясних страв.

В якості сировини для зразка використовують яловичину та фарш, який готується зі смаженої цибулі, відварених яєць, зелені петрушки та сухарів.

На тонко відбиті порційні шматки м'яса кладуть фарш та хумус і згортають у вигляді маленьких ковбасок. Підготовлені напівфабрикати посипають сіллю і перцем, обсмажують і тушкують у воді близько години з додаванням пасерованих овочів і томатного пюре. На бульйоні, що залишився після тушкування готують соус, заливають їм зрази, додають запашний чорний перець горошком і тушкують ще 30–35 хв. За 5–10 хв до готовності кладуть лавровий лист. Відпускають з соусом і гарніром.

Для фаршу пасеровану ріпчасту цибулю з'єднують з сухарями, рубаними крутими яйцями, подрібненою зеленню петрушки або кропу додають сіль і перець.

Розроблено модельні харчові композиції (табл. 2) та проведено органолептичну оцінку із

метою визначення впливу на смакові якості додавання хумусу.

З метою обґрунтування оптимальних концентрацій хумусу розроблених модельних харчових композицій зраз, проведено їх органолептичну оцінку (табл. 3). Рослинна добавка в деякій мірі вплинула на органолептичні властивості продукту, однак це не призвело до погіршення споживчих властивостей.

Визначення форми і поверхні зраз відбивних визначалося візуально. Визначення смаку, запаху, консистенції і вид на розрізі зразків зраз визначалося в приготовленому продукті після його охолодження.

Аналізуючи табличні дані, можна зробити висновок, що максимальна кількість доданого хумусу не повинна перевищувати 10%, подальше збільшення призводить до погіршення якості отриманих м'ясних рулетів.

З таблиці також видно, що консистенція дослідного зразка з внесенням 10% хумусу, відрізняється ніжністю і соковитістю в порівнянні з контрольним зразком та двома іншими зразками. З додаванням рослинних компонентів також змінюється і аромат продукту, який придбав легкий бобовий відтінок.

Отримані результати органолептичного аналізу показують перспективність внесення рослинних компонентів.

Готовий досліджуваний зразок зраз був підданий переліку досліджень, результати яких відображають баланс поживних компонентів і їх співвідношення з фізіологічними нормами добової потреби людини. Склад поживних речовин продукту представлений в таблиці 4.

У продукті з'явилися харчові волокна, збільшився вміст деяких вітамінів. Однак найважливішим моментом є збільшення ключового компонента про-

Таблиця 2

Модельні харчові композиції ковбасок контролю та дослідних зразків

Назва сировини	Значення			
	Контрольний зразок	Досліджуваний зразок (5% хумусу)	Досліджуваний зразок (10% хумусу)	Досліджуваний зразок (15% хумусу)
Яловичина	80	80	80	80
Цибуля	44	42	40	38
Олія	6	4,8	4,2	3,8
Яйця	10	9,5	9	8,5
Сухарі панірувальні	5	5	5	5
Петрушка	2	2	2	2
Томат-пюре	10	10	10	10
Борошно пшеничне	3	3	3	3
Морква	4	4	4	2
Сіль	2	2	2	2
Вода	57	57	57	57
Хумус	-	5	10	15
<b>Вихід</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>200</b>

Таблиця 3

Органолептичні показники м'ясних рулетів

№	Показники	Контрольний зразок	Дослідні зразки		
			5%	10%	15%
1	2	3	4	5	6
1	Форма, поверхня	циліндрична з однорідної структури, з чистою поверхнею	циліндрична з однорідної структури, з чистою поверхнею	циліндрична з однорідної структури, з чистою поверхнею	циліндрична з однорідної структури, з чистою поверхнею
2	Консистенція, вигляд на розрізі	щільна, груба	щільна, груба, з гарною структурою	пружна, щільна, з гарною структурою	достатньо ніжна, не рихла, пружна, з гарною структурою
3	Смак доданням	яскраво виражений м'ясний, без сторонніх присмаків	яскраво виражений м'ясний, з нотками специфічного бобового присмаку	яскраво виражений м'ясний, з приємним специфічним бобовим присмаком	занадто виражений присмак бобів
4	Запах	ароматний, м'ясний, з приємними нотками спецій	ароматний, м'ясний, з нотками хумусу (бобів)	ароматний, м'ясний, з приємним запахом хумусу	занадто виражений запах бобів (хумусу)
5	Колір	світло-сірий колір на поверхні, рожевий відтінок на розрізі	світло-сірий колір на поверхні, рожевий відтінок на розрізі	світло-сірий колір на поверхні, рожевий відтінок на розрізі	світло-сірий колір на поверхні, рожевий відтінок на розрізі

дукту — масової частки білка, а отже, поліпшення амінокислотного складу. Як відомо, продукт функціональної спрямованості повинен задовольняти потреби організму в ключових макро- і мікронутрієнтах в кількості не більше 40% від добової норми; представлені зрази задовольняють дану умову.

На заключному етапі дослідження в готових зразках продукту проводилося визначення амінокислотного складу, результати представлені на рис. 1.

Амінокислотний склад визначався в двох зразках зраз:

- зрази відбивні без додавання рослинної добавки (контрольний зразок);
- зрази відбивні функціональної спрямованості — з додаванням 10% хумусу.

Отримані результати наочно показують пряму залежність стану амінокислотного складу від додавання рослинної добавки. Експериментальний

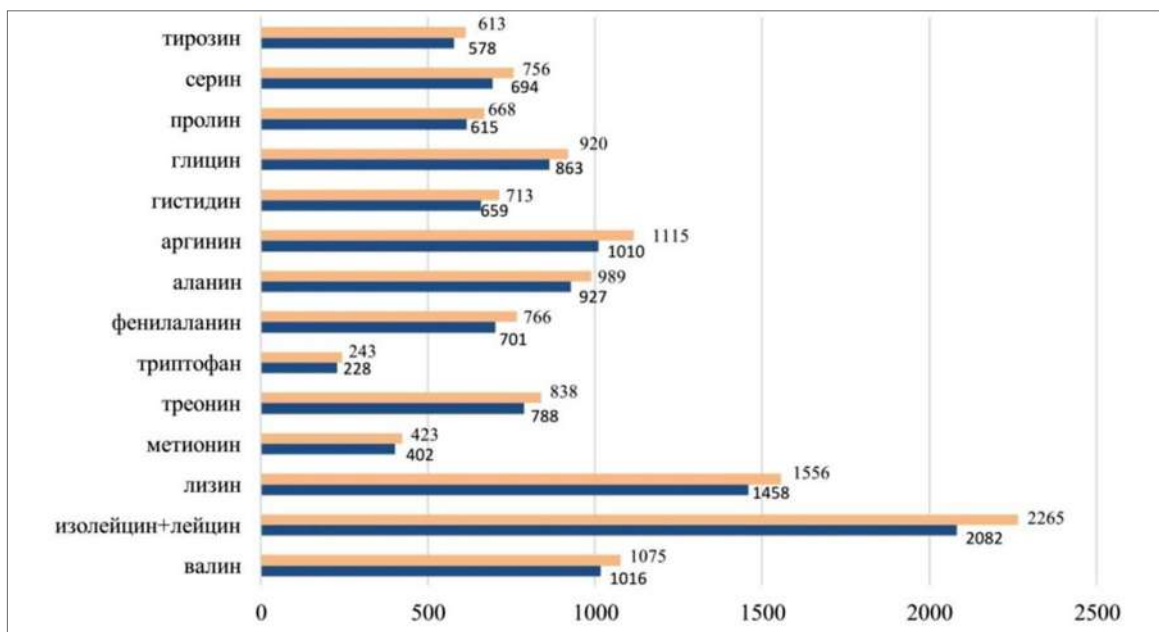


Рис. 1. Амінокислотний склад зраз відбивних:

- контрольний зразок без рослинної добавки
- з додаванням 10% хумусу без заміни м'ясної сировини

Таблиця 4

## Розрахунок харчової цінності страви «Зрази відбивні»

Продукти	Маса нетто, г	Білки		Жири		Вуглеводи		
		в 100 г	в страві	в 100 г	в страві	в 100 г	в страві	
<b>Контрольний зразок</b>								
Яловичина	80	18,9	15,12	12,4	9,92	-	-	
Цибуля	44	1,4	0,61	-	-	10,4	4,57	
Олія	6	-	-	99,8	5,98	-	-	
Яйця	10	12,7	1,27	10,9	1,09	0,7	0,07	
Сухарі панірувальні	5	9,7	0,48	1,9	0,09	77,6	3,88	
Петрушка	2	3,7	0,07	0,4	0,008	7,6	0,152	
Томат-пюре	10	3,6	0,36	-	-	11,8	1,18	
Борошно пшеничне	3	9,2	0,27	1,2	0,0036	74,9	2,24	
Морква	4	1,3	0,05	0,1	0,004	6,9	0,27	
Сіль	2	-	-	-	-	-	-	
Вода	57	-	-	-	-	-	-	
			<b>18,23</b>		<b>17,09</b>		<b>12,36</b>	
Маса страви								200
<b>Досліджуваний зразок</b>								
Яловичина	80	18,9	15,12	12,4	9,92	-	-	
Цибуля	41	1,4	0,57	-	-	10,4	4,26	
Олія	2	-	-	99,8	1,99	-	-	
Яйця	7	12,7	0,88	10,9	0,76	0,7	0,049	
Сухарі панірувальні	5	9,7	0,48	1,9	0,09	77,6	3,88	
Петрушка	2	3,7	0,07	0,4	0,008	7,6	0,152	
Томат-пюре	10	3,6	0,36	-	-	11,8	1,18	
Борошно пшеничне	3	9,2	0,27	1,2	0,0036	74,9	2,24	
Морква	4	1,3	0,05	0,1	0,004	6,9	0,27	
Сіль	2	-	-	-	-	-	-	
Вода	57	-	-	-	-	-	-	
Хумус	10	7,9	0,79	9,6	0,96	14,3	1,43	
			<b>18,59</b>		<b>13,73</b>		<b>13,46</b>	
Маса страви								200

зразок з додаванням 10% хумусу має більш високі показники амінокислотного складу в порівнянні з контрольним зразком. Природно, можна припустити, що подальше збільшення добавки сприятиме збільшенню вмісту білка. Однак існує такий фактор, що лімітує, як органолептичні властивості готового продукту. Подальше підвищення внесеного хумусу призводить до появи стороннього запаху в продук-

ті. Отже, підібрана доза добавки може вважатися оптимальною.

Також було визначено поживну цінність зразку натуральних із додаванням хумусу та порівняно з контрольним зразком (табл. 5).

Отже, як бачимо нова страва стала більш збалансованою, зменшилась кількість жирів та зросла кількість білків та вуглеводів.

Таблиця 5

## Поживна цінність зразку натуральних, на 100 г

Найменування	Контрольний зразок	Дослідний зразок
Енергетична цінність, Ккал	276,17	251,77
Білки, г	72,92	74,36
Жири, г	153,81	123,57
Вуглеводи, г	49,44	53,84

**Висновок.** Встановлено, що консистенція дослідного зразка відрізняється ніжністю і соковитістю в порівнянні з контрольним зразком. З додаванням рослинних компонентів також змінюється і аромат продукту, який придбав легкий горіховий відтінок. В готовому дослідному зразку зраз натуральних визначали баланс поживних компонентів і їх співвідношення з фізіологічними нормами добової потреби людини. У продукті з'явилися харчові волокна, збільшився вміст деяких вітамінів. Однак найважливішим моментом буде збільшення

ключового компонента продукту — масової частки білка, а отже, поліпшення амінокислотного складу.

Збагачення продуктів харчування білком рослинного походження, близьким за амінокислотним складом з тваринним білком, є одним з основних шляхів вирішення проблеми задоволення потреб населення. Отримані результати показують, що розроблена нова рецептура зраз натуральних характеризується кращими якісними показниками, ніж традиційні аналоги.

### Література

1. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення: монографія у двох частинах. Частина 1 / За ред. О. І. Черевка, М. І. Пересічного. 4-те вид., перероблене та доповнене. Харків. 2017. 940 с.
2. Оздоровче харчування: навч. посіб. / П. О. Карпенко та ін. Київ, 2019. 628 с.
3. Технологія продуктів харчування функціонального призначення: монографія / М. І. Пересічний та ін. Київ, 2010. 718 с.
4. Балашова Н. Н. Мировые тенденции производства и потребления нута // *Зерновое хозяйство*. М., 2003. № 8. С. 5–8.
5. Шалимінов О. В, Т. П. Дятченко, Л. О. Кравченко та ін. Збірник рецептур національних страв та кулінарних виробів: Для підприємств громадського харчування всіх форм власності. К.: А.С.К., 2000. С. 595.
6. Методи підвищення природної рибопродуктивності ставів / Андрищенко А. І. та ін.; за ред. М. В. Гринжевського. Київ, 1998. 124 с.
7. Горлов І. Ф., Данилов Ю. Д., Сложенкіна М. І. Використання екструдата нуту і пшениці для виробництва продуктів функціональної спрямованості // *М'ясна індустрія*, 2017. № 7. С. 46–49.
8. Горлов І. Ф. Нове у виробництві харчових продуктів підвищеної біологічної цінності // *Зберігання та переробка сільськогосподарської сировини*. 2005. № 3. С. 57–58.
9. Данилов Ю. Д., Горлов І. Ф., Сложенкіна М. І. Вивчення можливості використання екструдованих нуту і пшениці в технології ковбасних виробів підвищеної біологічної цінності // *Наука і вища професійна освіта*. 2018. № 2 (50). С. 257–270.
10. Данилов Ю. Д., Сложенкіна М. І, Алексєєв А. Л. До питання використання добавок рослинного походження функціональної спрямованості в технології м'ясопродуктів // *Інноваційні технології харчових виробництв*. 2016. С. 7–9.
11. Горлов І. Ф., Семенова І. А., Сложенкіна М. І., Андреев-Чадаєв П. С. Методологія виробництва і використання комплексної харчової добавки компенсаторної і коригуючої дії для підвищення біологічної цінності м'ясних продуктів // *Вісник Алтайського державного аграрного університету*. 2017. № 10 (156). С. 157–161.
12. Горлов І. Ф., Семенова І. А., Мосолов А. А. Новий метод зниження вмісту антиживильних речовин в бобових культурах // *Вісник науки*. 2018. № 3. С. 71–73.
13. Панкіна І. А. Дослідження набухання і розчинність сухих речовин насіння зерно-бобових культур // *Науковий журнал НДУ ІТМО. серія: Процеси і апарати харчових виробництв*. 2016. № 2 (28). С. 13–20.
14. Горлов І. Ф., Нелепов Ю. Н., Сложенкіна М. І. Розробка нових функціональних продуктів на основі використання пророщеного нуту // *Все про м'ясо*. 2014. № 1. С. 28–31.

**Ткаченко Олександр Миколайович**  
кандидат технічних наук, доцент  
Вінницький національний технічний університет

**Ткаченко Александр Николаевич**  
кандидат технических наук, доцент  
Винницкий национальный технический университет  
**Tkachenko Oleksandr**  
PhD, Associate Professor  
Vinnytsia National Technical University

**Комаров Володимир Леонідович**  
аспірант кафедри обчислювальної техніки  
Вінницького національного технічного університету

**Комаров Владимир Леонидович**  
аспирант кафедры вычислительной техники  
Винницкого национального технического университета  
**Komarov Volodymyr**  
Graduate Student of the Department of Computer Engineering  
Vinnytsia National Technical University

## РОБОТА З ПРОТОКОЛОМ ETHERNET МОВОЮ ПРОГРАМУВАННЯ GOLANG

## РАБОТА С ПРОТОКОЛОМ ETHERNET ЯЗЫКОМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ GOLANG

## WORKING WITH THE ETHERNET PROTOCOL IN THE GOLANG PROGRAMMING LANGUAGE

**Анотація.** У даній статті розглядаються програмні засоби для реалізації мережевих догатків з використанням низькорівневих мережевих примітивів, таких як Ethernet фрейми. Зокрема розглядається приклад створення Ethernet фрейма, його особливості, відправка та отримання. Для полегшення описаних процесів застосовується бібліотека відкритого коду, для роботи з низькорівневими примітивами.

Робота з даними протоколу Ethernet є основою будь якого програмного забезпечення, що працює в мережі, як локальній так і глобальній. Згідно моделі OSI даний протокол працює на каналному рівні. Основними одиницями даних, що передаються за цим протоколом є фрейми. Вони інкапсують в собі дані, що передаються мережею а також додають службову інформацію, необхідну для коректного опрацювання цього фрейму пристроями в мережі.

Мова Golang є достатньо швидкою, та включає в себе засоби роботи з мережею. Проте, робота з низькорівневими даними, такими як фрейми Ethernet є досить складною.

В даній статті описано процес створення, відправки та отримання Ethernet фрейму мовою Golang з використанням допоміжної бібліотеки «mduffy/ethernet».

**Ключові слова:** ethernet, golang, frame, ethernet frame, networking, фрейм, OSI.

**Аннотация.** В данной статье рассматриваются программные средства для реализации сетевых приложений с использованием низкоуровневых сетевых примитивов, таких как Ethernet фреймы. В частности рассматривается пример создания Ethernet фрейма, его особенности, отправка и получение. Для облегчения описанных процессов применяется библиотека открытого кода, для работы с низкоуровневыми примитивами.

Работа с данными протокола Ethernet является основой любого программного обеспечения, работающего в сети, как локальной так и глобальной. Согласно модели OSI данный протокол работает на канальном уровне. Основными

единицами данных, передаваемых по этому протоколу является фреймы. Они инкапсулируют в себе данные, передаваемые сетью а также добавляют служебную информацию, необходимую для корректного проработки этого фрейма устройствами в сети.

Язык Golang достаточно быстрый, и включает в себя средства работы с сетью. Однако, работа с низкоуровневыми данными, такими как фреймы Ethernet является достаточно сложной.

В данной статье описан процесс создания, отправки и получения Ethernet фрейма языке Golang с использованием вспомогательной библиотеки «mduyher/ethernet».

**Ключевые слова:** ethernet, golang, frame, ethernet frame, networking, фрейм, OSI.

**Summary.** This article discusses program tools for implementing network applications using low-level network primitives, such as Ethernet frames. In particular, an example of creating an Ethernet frame, its features, sending and receiving. To facilitate the described processes, open source libraries are used to work with low-level primitives.

Working with Ethernet data is the basis of any software running on a network, both local and global. According to the OSI model, this protocol works at the channel level. The basic units of data transmitted under this protocol are frames. They encapsulate the data transmitted by the network and also add the service information necessary for the correct processing of this frame by devices on the network.

The Golang language is fairly fast, and includes networking tools. However, working with low-level data such as Ethernet frames is quite complex.

This article describes the process of creating, sending, and receiving an Ethernet frame in Golang using the mduyher / ethernet helper library.

**Key words:** ethernet, golang, frame, ethernet frame, networking, OSI.

**Постановка проблеми.** Сучасне життя тісно пов'язане з мережею інтернет. Робота з мережевим трафіком потребує значної уваги. Сучасні мови програмування надають зручний функціонал для роботи з протоколами верхніх рівнів моделі OSI. В свою чергу, каналний рівень, що оперує фреймами Ethernet, відноситься до низькорівневих, тобто таких, що працюють напряму з API операційної системи. Робота з такими протоколами потребує більше зусиль, та часу. Щоб полегшити роботу з низькорівневими примітивами мережевих протоколів доцільно використати спеціалізовані бібліотеки, що інкапсулюють складну логіку викликів методів операційної системи.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідження складають праці таких фахівців у галузі низькорівневого та мережевого програмування, як А. Микитишин [1], С. Hunt [2], А. Donovan [3], J. Newmarch [4], М. Tsoukalos [5].

**Формулювання цілей статті.** Дослідження механізму взаємодії з низькорівневими мережевими примітивами каналного рівня моделі OSI мовою програмування Golang засобами спеціалізованих бібліотек.

**Виклад основного матеріалу.** Використовуючи пакет «ethernet», Ethernet фрейм може бути створений і використаний для подальших операцій з даними, що інкапсулюються у ньому.

Для прикладу буде використано фрейм, що включає в себе мінімальне корисне навантаження, а саме просту фразу «hello world» з користувацьким типом фрейму. Він буде поширений в мережу з використанням широкомовної MAC адреси «FF: FF: FF: FF: FF: FF» [6].

Щоб створити фрейм достатньо оголосити структуру відповідного типу та проініціалізувати її поля.

```
// Фрейм, який буде відправлено по мережі
f:= &ethernet.Frame{
    // Транслювати фрейм на всі клієнти в цьому сегменті мережі
    Destination: ethernet.Broadcast,
    // MAC адреса відправника
    Source: net.HardwareAddr{0xde, 0xad, 0xbe, 0xef, 0xde, 0xad},
    // Тип фрейму
    EtherType: 0x8ccc,
    // Корисне навантаження
    Payload: [ ]byte(«hello world»),
}
```

Проте, перед відправкою фрейм необхідно закодувати в двійковий формат.

```
b, err:= f.MarshalBinary()
if err!= nil {
    log.Fatalf(«failed to marshal frame:%v», err)
}
```

Зазвичай, операційна система чи мережевий інтерфейс власноруч обчислює контрольну суму фрейму Ethernet — FCS [6]. В незвичайних випадках, коли виконати це автоматично неможливо, викликається метод «MarshalFCS» Ethernet фрейму щоб додати до вже закодованого фрейму інформацію про контрольні суми даних [7].

Більшість мережевих додатків зазвичай побудовані на основі TCP чи UDP. Проте, оскільки робота з Ethernet фреймами відбувається на значно нижчому рівні мережевого стеку, потрібно отримати спеціальні дозволи для використання деяких API напряму.

Щоб отримати можливість роботи на нижчому рівні необхідно використовувати «сирі сокети» («пакетні сокети» в Linux). Дані низькорівневі сокети



надають API для відправки та отримання Ethernet фреймів напряму, використовуючи підвищені привілеї від операційної системи.

В операційних системах Linux та BSD можна використовувати бібліотеку «github.com/mdlayher/raw» щоб надсилати та отримувати Ethernet фрейми через мережевий інтерфейс [8]. До прикладу, щоб надіслати попередньо створений фрейм, необхідно спочатку отримати посилання на мережевий інтерфейс, ініціювати сокет лиш потім записати дані в мережевий інтерфейс.

```
// Ініціалізація інтерфейсу eth0
ifi, err := net.InterfaceByName(«eth0»)
if err != nil {
    log.Fatalf(«failed to open interface:%v», err)
}
// Ініціалізація сокету за користувацьким типом фрейму
c, err := raw.ListenPacket(ifi, 0xffff)
if err != nil {
    log.Fatalf(«failed to listen:%v», err)
}
defer c.Close()
// Запис даних в сокет за широкомовною адресою отримувача
addr := &raw.Addr{HardwareAddr: ethernet.Broadcast}
if _, err := c.WriteTo(b, addr); err != nil {
    log.Fatalf(«failed to write frame:%v», err)
}
```

На іншій машині, необхідно створити схожий додаток, для прослуховування вхідних даних Ethernet фреймів за користувацьким типом фреймів.

```
// Ініціалізація інтерфейсу eth0
ifi, err := net.InterfaceByName(«eth0»)
if err != nil {
    log.Fatalf(«failed to open interface:%v», err)
}
// Ініціалізація сокету за користувацьким типом фрейму
c, err := raw.ListenPacket(ifi, 0xffff)
if err != nil {
    log.Fatalf(«failed to listen:%v», err)
}
```

```
defer c.Close()
// Буфер вхідних даних розміром за замовчуванням для даного інтерфейсу
b := make([]byte, ifi.MTU)
var f ethernet.Frame
// Читання фреймів
for {
    n, addr, err := c.ReadFrom(b)
    if err != nil {
        log.Fatalf(«failed to receive message:%v», err)
    }
    // Декодування вхідних фреймів в об'єкт Golang
    if err := (&f).UnmarshalBinary(b[:n]); err != nil {
        log.Fatalf(«failed to unmarshal ethernet frame:%v», err)
    }
    // Перевірка отриманих даних як корисного навантаження
    log.Printf(«[%s] %s», addr.String(), string(f.Payload))
}
```

Цього достатньо для реалізації мережевої комунікації засобами Ethernet фреймів. Як корисне навантаження можна записувати будь які дані, навіть реалізувати власний протокол передачі даних, що відповідно, працюватиме на вищому рівні.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі.** Низькорівневі мережеві примітиви, як Ethernet фрейми та «сирі сокети» є досить могутніми засобами комунікації. Використовуючи такі примітиви з'являється можливість повністю контролювати трафік, що надсилається та отримується додатками. Використовуючи спеціалізовані бібліотеки значно скорочується час на реалізацію мережевих додатків. Це дає змогу продуктам проектувати та розробляти власні мережеві протоколи, які повністю відповідатимуть потребам конкретного продукту. Подальше дослідження у даному напрямі дозволить отримати додаткові можливості використання низькорівневих примітивів, використання службових полів фрейму а також тегування фреймів за протоколом VLAN.

### Література

1. Микитишин А. Г. Комп'ютерні мережі. / А. Г. Микитишин, М. М. Митник, П. Д. Стухляк, В. В. Пасічник // Львів: «Магнолія 2006», 2013. С. 256–258.
2. Hunt С. TCP/IP Network Administration / С. Hunt // O'Reilly Media 2002. С. 86–87.
3. Donovan А. А. The Go Programming Language / А. Donovan, В. Kernigan // Addison-Wesley Professional, 2015. С. 187.
4. Newmarch J. Network Programming with Go: Essential Skills for Using and Securing Networks / J. Newmarch // Apress 2017. С. 122.
5. Tsoukalos M. Mastering Go: Create Golang production applications using network libraries, concurrency, machine learning, and advanced data structures, 2nd Edition / M. Tsoukalos // Packt Publishing Ltd. 2019. С. 529–542.

6. Package Net provides a portable interface for network I/O, including TCP/IP, UDP, domain name resolution, and Unix domain sockets / Golang Documents. URL: <https://golang.org/pkg/net> (дата звернення: 21.01.21)

7. Package Ethernet implements marshaling and unmarshaling of IEEE 802.3 Ethernet II frames and IEEE 802.1Q VLAN tags / GitHub repository. URL: <https://github.com/mdlayher/ethernet/> (дата звернення: 19.01.21)

8. Package Raw enables reading and writing data at the device driver level for a network interface / GitHub repository. URL: <https://github.com/mdlayher/raw/> (дата звернення: 19.01.21)

#### References

1. Mykytyshyn A. Gh. Komp'juterni merezhi / A. Gh. Mykytyshyn, M. M. Mytnyk, P. D. Stukhljak, V. V. Pasichnyk // Ljviv: «Maghnolija 2006», 2013. S. 256–258.

2. Hunt C. TCP/IP Network Administration / C. Hunt // O'Reilly Media 2002. S. 86–87.

3. Donovan A. A. The Go Programming Language. / A. Donovan, B. Kernigan. // Addison-Wesley Professional, 2015. C. 187.

4. Newmarch J. Network Programming with Go: Essential Skills for Using and Securing Networks / J. Newmarc // Apress 2017. S. 122.

5. Tsoukalos M. Mastering Go: Create Golang production applications using network libraries, concurrency, machine learning, and advanced data structures, 2nd Edition / M. Tsoukalos // Packt Publishing Ltd. 2019. S. 529–542.

6. Package Net provides a portable interface for network I/O, including TCP/IP, UDP, domain name resolution, and Unix domain sockets / Golang Documents. URL: <https://golang.org/pkg/net> (data zvernennja: 21.01.21)

7. Package Ethernet implements marshaling and unmarshaling of IEEE 802.3 Ethernet II frames and IEEE 802.1Q VLAN tags / GitHub repository. URL: <https://github.com/mdlayher/ethernet/> (data zvernennja: 19.01.21)

8. Package Raw enables reading and writing data at the device driver level for a network interface / GitHub repository. URL: <https://github.com/mdlayher/raw/> (data zvernennja: 19.01.21)

**Фиалко Наталия Михайловна**

*доктор технических наук, профессор,  
член корреспондент НАН Украины,  
Заслуженный деятель науки и техники Украины,  
заведующая отделом теплофизики энергоэффективных теплотехнологий  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Fialko Nataliia**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Corresponding Member of NAS of Ukraine,  
Honored Worker of Science and Technology of Ukraine,  
Head of the Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies  
Institute of Engineering Thermophysics of  
National Academy of Sciences of Ukraine*

**Степанова Алла Исаевна**

*кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник отдела теплофизики энергоэффективных теплотехнологий  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Stepanova Alla**

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Leading Researcher of the  
Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies  
Institute of Engineering Thermophysics of  
National Academy of Sciences of Ukraine*

**Навродская Раиса Александровна**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
ведущий научный сотрудник  
отдела теплофизики энергоэффективных теплотехнологий  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Navrodskaia Raisa**

*Candidate of Technical Sciences (PhD),  
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher of the  
Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies  
Institute of Engineering Thermophysics of  
National Academy of Sciences of Ukraine*

**Меранова Наталия Олеговна**

*кандидат технических наук, старший научный сотрудник,  
ведущий научный сотрудник  
отдела теплофизики энергоэффективных теплотехнологий  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Meranova Nataliia**

*Candidate of Technical Sciences (PhD),  
Senior Scientific Researcher, Leading Researcher of the  
Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies  
Institute of Engineering Thermophysics of  
National Academy of Sciences of Ukraine*

**Шевчук Светлана Ивановна**

*кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник отдела теплофизики энергоэффективных теплотехнологий  
Институт технической теплофизики НАН Украины*

**Shevchuk Svetlana**

*Candidate of Technical Sciences (PhD), Senior Researcher of the Department of Thermophysics of Energy Efficient Heat Technologies Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine*

DOI: 10.25313/2520-2057-2021-1-6869

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТРИЧНЫХ БАЛАНСОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕПЛОУТИЛИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

## USE OF MATRIX BALANCES FOR ANALYSIS OF EXERGY LOSSES IN A COMBINED HEAT RECOVERY SYSTEM OF A BOILER PLANT

**Аннотация.** Приведены результаты анализа эксергетических потерь в отдельных элементах тепловой установки, содержащей газопотребляющий отопительный котел и комбинированную теплоутилизационную систему для подогрева обратной теплосетевой воды и дутьевого воздуха. Отмечено, что для определения потерь эксергии используется комплексная методика, сочетающая методы эксергетического анализа с одним из методов теории линейных систем, методом RP-представления термодинамических балансов в матричной форме. При реализации указанной методики для отдельных элементов теплоутилизационной системы записываются балансы массы, энергии и эксергии в матричной форме. На основе матричных балансов определена входная матрица, с помощью которой рассчитываются суммарные эксергетические потери в теплоутилизационной системе при различных режимах работы котла. Проанализированы результаты расчета относительного вклада эксергетических потерь в каждом элементе в суммарную необратимость процессов системы при различных режимах работы котла. Показано, что наименьшие потери в основных элементах теплоутилизационной системы происходят до 55% номинальной тепловой мощности котла.

**Ключевые слова:** теплоутилизационная система, эксергетический анализ, матричные балансы.

**Summary.** The results of the analysis of exergy losses in separate elements of the installation containing a gas-fired boiler and the combined heat recovery system for heating water and blast air are resulted. It is noted that a complex technique combining the methods of exergy analysis with one of the methods of the theory linear systems is used to determine exergy losses, namely, the method of RP-representation thermodynamic balances in matrix form. When implementing this technique for separate elements of the heat recovery system, the balances of mass, energy and exergy are recorded in matrix form. On the basis of matrix balances the input matrix by means of which total exergy losses in heat recovery system at various operating modes of a boiler are calculated is defined. The results of calculating the relative contribution of exergy losses in each element of the heat recovery system to the total irreversibility of processes in the system at different operating modes of the boiler are analyzed. It is noted that the smallest losses in the main elements of the heat recovery system occur when the boiler capacity is up to 55% of the installed capacity.

**Key words:** heat recovery system, exergy analysis, matrix balances.

**Актуальность.** При существующих в Украине тенденциях к повышению стоимости топлива рациональное использование энергоресурсов становится залогом энергетической безопасности и экономической стабильности страны. Один из важнейших путей в этом направлении — разработка теплоутилизационных технологий на базе современного теплообменного оборудования. Повышение эффективности такого оборудования является важной и актуальной задачей. В настоящей работе

исследована эффективность основных элементов установки, содержащей газопотребляющий водогрейный котел и комбинированную теплоутилизационную систему для подогрева обратной теплосетевой воды и дутьевого воздуха [1]. Для предотвращения конденсатообразования в газоотводящем тракте котельной установки и в дымовой трубе данная система снабжена дополнительным теплообменником-газоподогревателем, установленном за воздухоподогревателем [2].

**Цель работы.** Установление рабочих диапазонов тепловой мощности котла, при которой фиксируются наименьшие потери в основных элементах указанной установки.

**Материалы и методы исследования.** В настоящее время в Украине и в мире все чаще используются методы эксергетического анализа для оценки эффективности энергетических установок, в том числе теплоутилизационных систем [3–10]. В работах [5–10] показана целесообразность использования для оценки эффективности теплоутилизационных систем комплексных методов, сочетающих элементы эксергетического анализа с методами теории линейных систем, термодинамики необратимых процессов, многоуровневой оптимизации и др. Для анализа эффективности рассматриваемой установки использована комплексная методика, сочетающая элементы эксергетического анализа с одним из методов теории линейных систем, методом *RP*-представление термодинамических балансов в матричной форме.

**Результаты исследований и их обсуждение.** На основе матричных балансов определена входная матрица, с помощью которой рассчитаны суммарные эксергетические потери в рассматриваемой теплоутилизационной системе при различных режимах работы котла и определен относительный вклад каждого элемента теплоутилизационной системы в суммарную необратимость процессов системы (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Эксергетические потери при различных режимах работы котла

Потери эксергии	Мощность котла, % от установленной мощности			
	30	55	77	100
<i>E</i> , кВт	5,0	9,8	21,9	42,3

Из результатов, представленных на рис. 1, видно, что относительный вклад эксергетических потерь в основных элементах теплоутилизационной системы в суммарные эксергетические потери при увеличении мощности котла от 30% до 100% номинальной мощности увеличивается: в водогрейном теплоутилизаторе — от 6,0% до 51,0%, а в воздухогрейном — от 4,0% до 6,0%, в газоподогревателе — от 1,0% до 2,0%.

Общий вклад эксергетических потерь в насосной системе в суммарные эксергетической потери теплоутилизационных систем довольно большой при всех значениях тепловой мощности котла. Он уменьшается от 89,2% до 40,7% при увеличении мощности котла от 30% до 100% установленной мощности. Таким образом, наименьшие потери в основных элементах установки происходят при тепловой мощности котла до 55% его номинальной мощности.

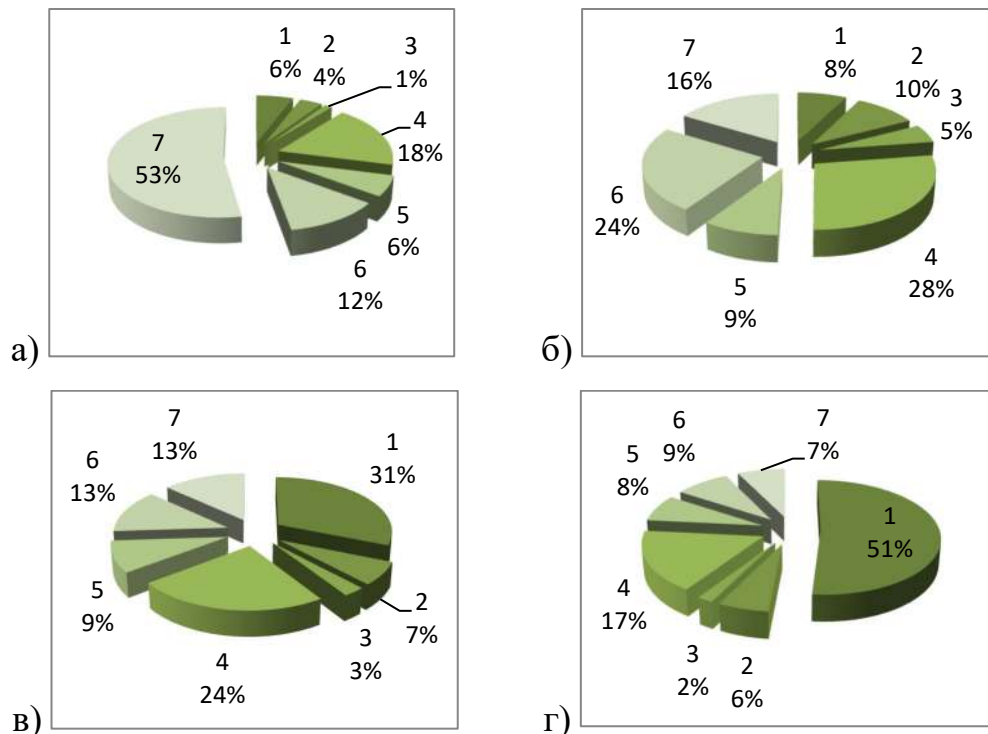


Рис. 1. Относительный вклад потерь эксергии отдельных элементов в суммарные потери эксергии в теплоутилизационной системе при разных значениях относительной тепловой мощности котла:

1, 2 — водогрейный и воздухогрейный теплоутилизаторы; 3 — газоподогреватель;

4 — дымосос; 5 — вентилятор; 6, 7 — насосы;

а) 30% номинальной мощности котла; б) 55%; в) 77%; г) 100%.

**Научная новизна** заключается в применении комплексной методики, сочетающей элементы эксергетического анализа и метод *RP*-представление термодинамических балансов в матричной форме, для исследования эксергетической потерь в котельной установке с комбинированной системой теплоутилизации теплоты отходящих дымовых газов.

**Практическая ценность** связана с возможностью использования полученных результатов при проектировании теплоутилизационных установок в газопотребляющих котельных коммунальной теплоэнергетики.

#### **Выводы**

1. Реализована комплексная методика, сочетающая элементы эксергетического анализа

с методами теории линейных систем, для анализа эксергетических потерь в комбинированной теплоутилизационной системе водогрейного отопительного котла.

2. Рассчитаны суммарные эксергетические потери в комбинированной системе и определен относительный вклад каждого элемента системы в суммарную необратимость процессов данной системы при различных режимах работы котла.

3. Установлено, что наименьшие потери в основных элементах теплоутилизационной системы происходят при мощности котла, не превышающей 55% его номинальной мощности.

#### **Литература**

1. Fialko N. M., Navrodskaia R. A., Shevchuk S. I., Stepanova A. I., Presich G. A., Gnedash G. A. Teplovye metody zashchity gazootvodiaschikh traktov kotelnykh ustanovok [Heat methods for the protection of the exhaust ducts of boiler plants]. Kyiv: «Pro format». 2018. 248 p.
2. Fialko N. M., Navrodska R. O., Presich G. O., Gnedash G. O., Shevchuk S. I., Stepanova A. I. Kombinovani teploutilizatsiini systemy dlia gazospozhyvalnykh kotliv komunalnoi teploenergetyky [Combined heat recovery systems for gas-fired boilers of municipal heat-power engineering]. Kyiv: «Pro format». 2019. 192 p.
3. Cavalcanti E. J. C. Exergoeconomic and exergoenvironmental analyses of an integrated solar combined cycle system // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. 67. P. 507–519.
4. Terzi R., Tükenmez İ., Kurt E. Energy and exergy analyses of a VVER type nuclear power plant Energy and Exergy Analyses of a VVER Nuclear Power Plan // International Journal of Hydrogen Energy. 2016. № 41. PP.1–12.
5. Fialko N., Stepanova A., Navrodska R., Meranova N., Sherenkovskii J. Efficiency of the air heater in a heat recovery system at different thermophysical parameters and operational modes of the boiler // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. 6/8 (96). PP. 43-48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.147526.
6. Fialko N., Stepanova A., Navrodskaia R., Novakovskiy M. Study of the efficiency of a combined heat utilization system using the graph theory methods // International scientific journal «Internauka». 2019. № 15 (1). PP. 61–63.
7. Fialko N., Stepanova A., Navrodskaia R., Presich G. Localization of exergy losses in the air heater of the heat-recovery system under different boiler operating modes // International scientific journal «Internauka». 2019. № 12 (74). PP. 30–33.
8. Stepanova A. Efficiency analysis and optimization of the combined heat recovery system of the boiler plant // Energy and automation. 2016. № 1. PP. 119–128.
9. Stepanova A. Optimization of elements of heat utilization systems of power plants // Energy and automation. 2016. № 2. PP. 128–138.
10. Stepanova A. Optimization of parameters of the heat exchange surface of the contact plate air heater of the combined heat utilization system of the boiler installation // Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 2016. № 242. PP. 170–178.

**Фурманова Юлія Петрівна**

*кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції  
Національний університет харчових технологій*

**Фурманова Юлия Петровна**

*кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры технологии ресторанной и аюрведической продукции  
Национальный университет пищевых технологий*

**Furmanova Yuliia**

*PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
National University of Food Technologies*

**Павлюченко Олена Станіславівна**

*кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри технології ресторанної і аюрведичної продукції  
Національний університет харчових технологій*

**Павлюченко Елена Станиславовна**

*кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры технологии ресторанной и аюрведической продукции  
Национальный университет пищевых технологий*

**Pavliuchenko Olena**

*PhD in Technical Sciences, Associate Professor  
National University of Food Technologies*

**Курінна Мар'яна Володимирівна**

*студент  
Національного університету харчових технологій*

**Куринна Марьяна Владимировна**

*студент  
Национального университета пищевых технологий*

**Kurinna Maryana**

*Student of the  
National University of Food Technologies*

**Сірик Вадим Вікторович**

*студент  
Національного університету харчових технологій*

**Сирик Вадим Викторович**

*студент  
Национального университета пищевых технологий*

**Siryk Vadym**

*Student of the  
National University of Food Technologies*

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БОРОШНА СПЕЛЬТИ  
У ТЕХНОЛОГІЇ БОРОШНЯНИХ ВИРОБІВ**

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МУКИ СПЭЛЬТЫ  
В ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

## USING OF SPELT FLOUR FOR PASTRIES PRODUCTION

**Анотація.** Дана стаття присвячена теоретичному обґрунтуванню використання борошна спельти у технології борошняних виробів для закладів ресторанного господарства. Проведено порівняльний аналіз пшеничного борошна та борошна спельти. Проаналізовано структурно-механічні та пружно-еластичні характеристики тіста із обох видів борошна. Запропоновано рецептури галетного печива і кексів із борошна спельти з урахуванням особливостей її клейковини.

**Ключові слова:** борошно спельти, пшеничне борошно, тісто із борошна спельти, борошняні вироби.

**Аннотация.** Данная статья посвящена теоретическому обоснованию использования муки спельты в технологии мучных изделий для ресторанов. Проведено сравнительный анализ пшеничной муки и муки спельты. Проанализировано структурно-механические и упруго-эластичные характеристики теста из обоих видов муки. Предложено рецептуры галетного печенья и кексов из муки спельты с учетом особенностей ее клейковины.

**Ключевые слова:** мука спельты, пшеничная мука, тесто из муки спельты, мучные изделия.

**Summary.** Theoretical proofing of usage spelt flour for pastry technologies at the restaurant establishments are presented in the paper.

Wheat flour has been compared to spelt flour. Structural-chemical and visco-elastic characteristics of dough made from wheat and spelt flour types were analysed. Authors have been recommended recipes for gallette biscuits and cakes due to the gluten structure.

**Key words:** spelt flour, wheat flour, dough from spelt flour, pastry.

**Постановка проблеми.** До сучасних тенденцій у світі в цілому, і в Україні зокрема, належить розвиток технологій харчових продуктів оздоровчого напрямку. Підхід до борошняних виробів змістився у сторону користі для здоров'я. Люди рахують калорії, щоб контролювати вагу, уважно вивчають етикетку, оскільки мають особливості організму, які не дають засвоювати лактозу, глютен тощо. Тому актуальним є створення нових підходів у виробництві борошняних виробів, що дозволяють вирішувати усі ці проблеми. Особливо актуальним це є для закладів ресторанного господарства. Можливість створити меню, яке задовольнило б найвибагливішого гостя, — мета сучасного закладу харчування. Борошняні вироби традиційно є продуктами щоденного харчування і їх потрібно творити оздоровчими в першу чергу.

Сировиною для борошняних виробів оздоровчого харчування може бути спельта. Спельта — (еммер, ачар) — це вид прадавньої пшениці. Зерно спельти вирізняється своєю екологічністю, оскільки спельта під час вирощування не сприймає ніяких штучних добрив. Для спельти характерний високий вміст білка (більший, ніж у м'якій пшениці), жирів — в 1,6 разів більше, мінеральних речовин (золи) — на 22%. Поряд із цим, менший вміст вуглеводів на 7,6% (в т.ч. крохмалю — на 20%). Загальний вміст харчових волокон у спельті більший, ніж у пшениці, але вона містить менше клітковини. У зерні спельти переважають розчинні фракції харчових волокон. Більш багатий вітамінний і мінеральний склад спельти можна пояснити її специфічною здатністю — краще за голозерну пшеницю поглинати поживні речовини із ґрунту [1].

Асортимент продуктів переробки зерна спельти на ринку України представлений борошном цілнозерновим, пластівцями, висівками. На вітчизняних полицях супермаркетів є спельтове обойне борошно, спельтові пластівці, крупи зі спельти [2].

Цілнозернове борошно зі спельти — це борошно грубого помелу, яке отримують в процесі перемелювання цілого зерна. Як наслідок, у цілнозерновому борошні зберігається увесь вітамінно-мінеральний склад, який міститься в оболонці, а у борошні вищого сорту — відсутній. На думку вчених [3; 4], глютен борошна спельти є не таким агресивним алергеном, як глютен пшениці. Очевидно, прадавня пшениця краще сприймається організмом людини.

Таким чином, актуальним напрямом досліджень є виробництво борошняних виробів із борошна спельти. У даному випадку мова йде про повну заміну пшеничного борошна. Звичайно, якість цих двох видів борошна відрізняється і технологічні параметри виробництва потребують ретельного вивчення і наукового обґрунтування. Задля отримання корисного продукту високої якості. Особливо актуальним це є для закладів ресторанного господарства, де на невеликих об'ємах продукції зручніше експериментувати та впроваджувати нові борошняні вироби.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковці і кулінари досліджують властивості борошна спельти та можливість виготовлення із нього якісних борошняних виробів [3]. Науковцями розробляються способи виробництва хлібо-булочних виробів із суміші борошна пшениці і спельти [4]. Із борошна спельти випікають хлібці, виробляють енергетичні батончики, до складу яких входять пластівці



спельти [2]. Встановлена доцільність використання фруктових порошків для поліпшення структурно-механічних властивостей борошняних виробів [5]. У борошняні кондитерські вироби, а саме у кекси, пропонується вводити фруктові порошки з метою створення функціональних продуктів високої якості [6]. Аналіз літературних джерел підтвердив актуальність обраної теми та окреслив мету подальших досліджень.

**Мета дослідження** полягає у науковому обґрунтуванні та розробленні технології печива і кексів із використанням борошна спельти.

**Матеріали і методи.** Застосовувалися загальноприйняті методи досліджень. Борошно аналізували на кількість і якість клейковини. Клейковина відмивалася ручним способом за стандартною технологією згідно ДСТУ ISO 21415-1:2009 «Пшениця та пшеничне борошно. Вміст клейковини. Частина 1. Визначення сирової клейковини ручним способом». Аналіз характеристик тіста із борошна проводила за допомогою досліджень на альвеографі і фаринографі. Дослідження проводили у навчальних лабораторіях НУХТ.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для розроблення технології виготовлення печива із борошна спельти порівнювали пружньо-еластичні характеристики тіста із борошна спельти і пшеничного борошна. Досліджували кількісний і якісний склад клейковини (таблиця 1).

Порівняльний аналіз даних табл. 1 показав, що за кількістю клейковини борошно спельти переважає над пшеничним борошном, але якість цієї клейковини гірша. Структурно-механічні властивості тіста досліджували за допомогою фаринографа (табл. 2).

Із даних табл. 2 очевидно, що пшеничне борошно має більшу водопоглинальну здатність, ніж спельтове, та довшу тривалість утворення тіста. Очевидно це пов'язано з тим, що клейковинні білки пшеничного борошна, маючи більшу пружність і гідратаційну здатність, порівняно зі борошном спельти довше набухають. Тісто зі спельти менше розріджується за рахунок більшої кількості клейковини в ньому та меншої активності ферментів.

У результаті аналізу альвеограм було встановлено (табл. 3), що тісто зі спельти має меншу пружність і більшу розтяжність порівняно із пшеничним

Таблиця 1

Кількість та якість клейковини пшеничного борошна та борошна спельти

Назва показника	Борошно пшеничне суцільнозмелене	Борошно спельти суцільнозмелене
Вміст сирової клейковини, %	24,0	32,0
Розтяжність, см	14	20
Еластичність	Хороша	Задовільна
Пружність, од. ВДК-2	74	90
Гідратаційна здатність, %	174	160
Висновок про якість	1 група. Хороша	2 група. Задовільна слабка

Таблиця 2

Структурно-механічні властивості тіста із пшеничного борошна та борошна спельти (за фаринографом)

Назва показника	Борошно пшеничне	Борошно спельти
Водопоглинальна здатність, %	65	61
Тривалість утворення тіста, хв.	4,0	2,5
Стійкість тіста, хв.	1,0	0,5
Еластичність, од. пр.	140	130
Розрідження тіста, од. пр	85	75

Таблиця 3

Пружно-еластичні властивості тіста із пшеничного борошна та борошна спельти (за альвеографом)

Назва показника	Борошно пшеничне	Борошно спельти
Пружність тіста, P, мм	138	62
Розтяжність тіста, L, мм	21	32
P/L	6,04	1,91
Площа альвеограми, S, см <sup>2</sup>	10,7	12,8
Питомі витрати енергії на деформацію тіста, W, Дж.10 <sup>-4</sup>	138	73,5

тістом, що корелює з даними про якість клейковини. Показник співвідношення Р/Л менш збалансований у пшеничному тісті, що пояснюється більш низьким вмістом клейковини в ньому. За показником питомої роботи деформації спельтове борошно можна охарактеризувати як слабке за силою.

Проведені дослідження показали, що тісто зі спельтового борошна поступається тісту із пшеничного борошна і за пружністю, і за розтяжністю значно. Оскільки технологія приготування галетного печива вимагає високих пружно-еластичних характеристик тіста, було вирішено у рецептуру печива додати інгредієнт, який сприятиме укріпленню клейковини. Такими характеристиками володіють, наприклад, фруктові порошки, за рахунок високого вмісту харчових волокон та кислого рН. Фруктові порошки науковці [5; 6] пропонують вводити задля збагачення борошняних виробів харчовими волокнами та біологічно-активними речовинами, а в даних дослідженнях фруктові порошки рекомендовано додавати ще й з метою укріплення клейковини спельтового борошна.

Таким чином, було вирішено дослідити можливість виготовлення галетного печива із борошна спельти із додаванням у рецептуру фруктового порошку.

На ринку України доступні харчові порошки із ягід смородини, чорноплідної горобини, малини, обліпихи, бузини тощо. Проте, майже усі перелічені порошки відрізняються темним кольором, що суттєво впливає на органолептичні показники готового печива. Тому було прийнято рішення обрати для подальших досліджень порошок обліпихи, як такий, що має світліший колір.

Літературні дані свідчать про можливість введення фруктових порошоків у борошняні вироби до 10%. У ході досліджень було обрано оптимальну кількість внесення обліпихового порошку у кількості 3%.

Таким чином, в ході досліджень було доведено можливість використання борошна спельти у виробництві галетного печива (табл. 4).

Також було досліджено можливість виготовлення кексів із використанням продуктів переробки спельти. Даний вид борошняних виробів повинен мати пористий поперечний м'якуш без гарту і слідів непромісу. Очевидно, що якість клейковини борошна безпосередньо впливає на якість готового продукту. З метою укріплення клейковини спельтового борошна було запропоновано додати у рецептуру кексів порошок чорниці.

Оцінка якості кексів, випечених із пшеничного борошна і борошна спельти, проводилася за п'ятибаль-

Таблиця 4

Рецептура печива з борошном спельти

Найменування сировини	Контрольний зразок	Досліджуваний
Крохмаль кукурудзяний	10,0	7,0
Борошно пшеничне	45,0	-
Борошно спельти	-	45,0
Цукор	20,0	20,0
Молоко	15,0	15,0
Масло вершкове	15,0	15,0
Сода	0,3	0,3
Порошок обліпихи		3,0
Маса готової страви	100,0	100,0

Таблиця 5

Рецептура досліджуваних зразків кексів

Назва сировини	Зразок з пшеничним борошном	Зразок з борошном спельти
Борошно пшеничне	68,5	-
Борошно зі спельти	-	65
Яйця	17	17
Масло вершкове	10	10
Цукор	5	5
Ванільний цукор	1	1
Розпушувач	1	1
Сіль	0,5	0,5
Порошок чорниці	-	3
Пластівці спельти	-	0,5
Вихід, г	100	100

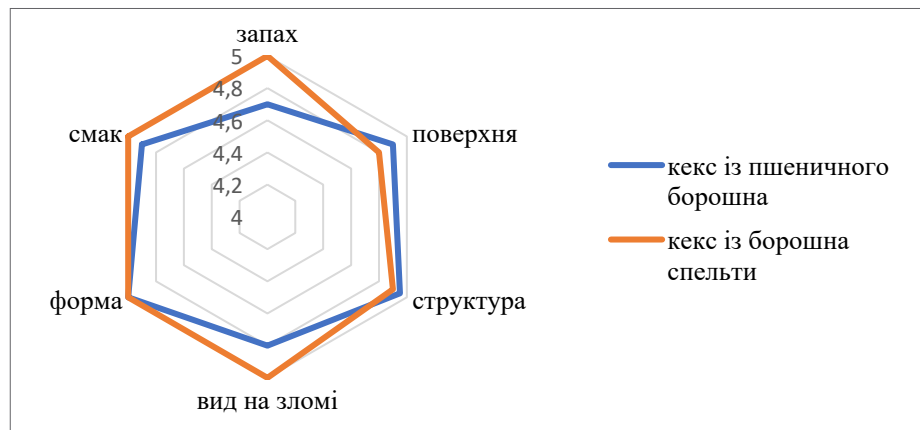


Рис. 1. Профілограма якості кексів із пшеничного борошна і з борошна спельти

ною шкалою. Порівняльна характеристика готових виробів зображена на рис. 1. Аналіз якості випечених кексів показав, що заміна пшеничного борошна на борошно спельти можлива. Смак і запах кексів із борошна спельти перевершує аналогічні показники у кексах із пшеничного борошна. Порошок чорниці надає кексам темного «шоколадного» забарвлення.

Запропонована рецептура забезпечує високі органолептичні характеристики кексів із борошна спельти.

**Висновки.** Отже, з огляду на тенденцію здорового харчування борошно спельти заслуговує на увагу і може бути корисним у закладах ресторанного господарства для виготовлення борошняних виробів з покращеним хімічним складом, але потребує додаткових технологічних режимів або додаткових інгредієнтів для нівелювання низьких пружно-еластичних характеристик клейковини.

#### Література

1. Дробот В. І., Михонік Л. А., Семенова А. Б. Порівняльна характеристика хімічного складу та технологічних властивостей суцільно змеленого пшеничного борошна та борошна спельти // *Хранение и переработка зерна*. 2014. № 4 (181). С. 37–39.
2. Сахно О. С., Гришук О. О., Фурманова Ю. П., Павлюченко О. С. Нова продукція на основі спельти для ресторанного господарства // *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. Серія: Харчові технології*. 2019. Т. 21, N 91. С. 54–59. doi: <https://doi.org/10.32718/nvlvet.f9110>
3. Спосіб приготування хлібо-булочних виробів: пат.65091 Україна: МПК А21D 8/02. № u201105683; заявл. 04.05.11; опубл. 25.11.11, Бюл. № 22. 4 с.
4. How to Bake With Spelt Flour: Guide to Spelt Flour. URL: <https://www.masterclass.com/articles/how-to-bake-with-spelt-flour#where-does-spelt-flour-come-from> (дата звернення: 15.11.2017).
5. Магомедов Г. О., Олейникова А. Я., Шакалова Е. В. Сахарное печенье на основе обогащенных мучных компонентных смесей // *Кондитерская фабрика*. 2006. № 11–12. С. 8–9.
6. Перфилова О. В. Разработка технологии производства фруктовых и овощных порошков для применения их в изготовлении функциональных мучных кондитерских изделий: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 12.00.06. Москва, 2009. 20 с.



**МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ «ІНТЕРНАУКА»**  
**INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «INTERNAUKA»**  
**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ИНТЕРНАУКА»**

Збірник наукових статей

№ 1 (101)

1 том

Голова редакційної колегії — д.е.н., професор *Камінська Т.Г.*

Київ 2021

**Видано в авторській редакції**

---

Засновник / Видавець ТОВ «Фінансова Рада України»

Адреса: Україна, м. Київ, вул. Павлівська, 22, оф. 12

Контактний телефон: +38 (067) 401-8435

E-mail: editor@inter-nauka.com

www.inter-nauka.com

Підписано до друку 31.01.2021. Формат 60×84/8

Папір офсетний. Гарнітура SchoolBookAS.

Умовно-друкованих аркушів 9,77. Тираж 100.

Замовлення № 398. Ціна договірна.

Надруковано з готового оригінал-макету.

Надруковано у видавництві

ТОВ «Центр учбової літератури»

вул. Лаврська, 20 м. Київ

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи

до державного реєстру видавців, виготівників і

розповсюджувачів видавничої продукції

ДК № 2458 від 30.03.2006 р.