

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

4'2023

Видання засновано Харківським державним політехнічним університетом у 1998 році
(з листопада 2000 р. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»)

Держвидання
Свідоцтво Міністерства інформації України
КВ № 3427 від 18.08.1998 р.
Свідоцтво перереєстровано у Міністерстві юстиції України
КВ № 24313-ПР від 06.02.2020 р.

Журнал включений
до переліку наукових фахових видань України
(Наказ Міністерства освіти та науки України №886 від 02.07.2020)

Категорія журналу «Б»

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, член-кор. НАН України

Технічний редактор

К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц., професор НТУ "ХПІ"

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

О. П. АРСЕНЬОВА, д-р техн. наук, професор, професор каф. АКІТ ХНУМГ

В. С. ВЕДЬ, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ІППА НТУ "ХПІ"

П. О. НЕКРАСОВ, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ТЖІБ НТУ "ХПІ"

П. О. КАЧАНОВ, д-р техн. наук, професор, зав.каф. АУТС НТУ "ХПІ"

Г. Л. ХАВІН, д-р техн. наук, професор, професор НТУ "ХПІ"

А. М. ГАНЖА, д-р техн. наук, професор, професор каф. ТЕТ НТУ "ХПІ"

О. Б. АНІПКО, д-р техн. наук, професор каф. інженерно-авіаційного забезпечення, Харківський національний університет Повітряних сил ім. І.Кожедуба

В. А. МАЛЯРЕНКО, д-р техн. наук, професор, професор каф. СЕЕМ ХНУМГ

П. О. КАПУСТЕНКО, канд. техн. наук, професор, акад. Академії будівництва України

Ференс Фридлер, PhD, professor, Pázmány Péter Katolikus egyetem, Будапешт, Угорщина

Шарифа Рафидан Ван Алві, PhD, professor, Малайзійський університет технологій

Девид Дж. Кукулька, PhD, професор, Державний університет Нью-Йоркського коледжу у Буффало, США

Євген Кеніг, д-р техн. наук, професор, університет Падерборна, Німеччина

Мартін Пікон-Нуньєс, PhD, professor, Університет Гуанахуато, Мексика

Петар Варбанов, старший науковий співробітник NETME Center - SPIL, Технологічний університет Брно, Чеська республіка

Майкл Уолмслі, BE, PhD ChemEng, Університет Вайкато, Окленд, Нова Зеландія

Петр Стехлік, PhD, проф., Директор Технологічного університету Брно (Чеська республіка)

Панос Сеферліс, PhD., проф., університет Арістотеля, Салоніки, Греція

Журнал включений до зовнішніх інформаційних систем, у тому числі в бібліографічну базу даних OCLC WorldCat (США), індексується пошуковими системами Google Scholar і Crossref; зареєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Офіційний сайт видання: <http://ite.khpi.edu.ua>

EDITORIAL BOARD

The editor-in-chief

L. L. Tovazhnyanskyi, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, NTU "KhPI"

Technical editor

K. O. Gorbunov, PhD, Assistant Professor, professor NTU "KhPI"

THE MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

O. P. Arsenyeva, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kharkov National University of Municipal Economy named after O.M. Beketova

V. E. Ved, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"

P. O. Nekrasov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"

P. O. Kachanov, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"

G. L. Khavin, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"

A. M. Hanzha, Doctor of Technical Sciences, Prof., NTU "KhPI"

O. B. Anipko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kozhedub Kharkiv Air Force University

V. A. Malyarenko, Doctor of Technical Sciences, Prof., Kharkov National University of Municipal Economy named after O.M. Beketova

P. O. Kapustenko, PhD, professor NTU "KhPI"

Ferenc Friedler, PhD, professor,

Pázmány Péter Catholic University, Budapest, Hungary

Sharifah Rafidah Wan Alwi, PhD, professor, Universiti Teknologi

Malaysia,

David J. Kukulka, PhD., professor, State University of New York

College at Buffalo, USA

Eugeniy Kenig, prof., dr.-ing., University of Paderborn, Germany

Martín Picón Núñez, PhD, professor, university of Guanajuato,

Mexico

Petar Sabevarbanov, Senior Researcher, NETME Center -

SPIL, BRNO University of Technology, Czech Republic

Michael Walmsley, BE, PhD ChemEng, University of Waikato, New

Zealand

Petr Stehlik, PhD., professor, Director of Institute BRNO University

of Technology, Czech Republic

Panos Seferlis, PhD., professor, Aristotle University of Thessaloniki,

Thessaloniki, Greece

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ:

61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2

Тел. 70-76-958

ЗМІСТ

ЕНЕРГЕТИКА ТЕПЛОТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Селіхов Ю. А., Рищенко І. М., Горбунов К. О.

Інтеграція роботи системи теплопостачання..... 3

Лебедев В. В., Мірошніченко Д. В., Лаврова І. О., Черкашина Г. М.

Вивчення непаливного застосування похідних бурого вугілля
для модифікації бітумів..... 17

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Шутинський О. Г., Снурніков Д. В.

Підвищення надійності автоматичних систем при використанні
контролерів..... 27

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Беліх І. А., Самойленко С. І., Близнюк О. М., Масалітіна Н. Ю., Белінська А. П.,
Варанкіна О. О., Чечуй О. Ф., Звягінцева О. В.*

Дослідження проліферативної активності *Saccharomyces*
Cerevisiae в біотехнології дріжджів та фізико-хімічні методи
її визначення..... 34

Гурін І. В., Невлюдов І. Ш., Овчаренко В. Є., Токарева О. В.

Струмopідвід для резистивних ВВКМ нагрівачів..... 49

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Красніков І. Л., Бабіченко А. К., Снурніков Д. В.

Загальна характеристика та вибір системи управління
базами даних в умовах дистанційного навчання..... 58

Сторінка редколегії..... 67

Затверджено Вченою радою НТУ «ХП» (протокол № 9 від 31.10.2023 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. –
Харків : НТУ «ХП», 2023. – № 4. – 68 с.

Збірник наукових та науково-практичних статей з питань енергозбереження та сучасних технологій
різноманітних галузей промисловості.

© Національний технічний університет «ХП», 2023

Селіхов Ю.А., к.техн.н., доцент, Рищенко І.М., д.техн.н., професор,
Горбунов К.О., к.техн.н., доцент

ІНТЕГРАЦІЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Постановка задачі. Теплопостачання є крупною галуззю народного господарства. На потреби теплопостачання щорічно витрачається 25 % всього палива, що здобувається і виробляється. Тому завданням великої державної ваги є раціональне і економне витрачання цих паливних ресурсів. Значна роль у вирішенні цієї задачі відводиться централізованому теплопостачанню і теплофікації, які тісно пов'язані з електрифікацією і енергетикою [1].

ЦТ базується на використанні крупних районних котельних, що характеризуються значно більшими коефіцієнтами корисної дії ККД, чим дрібні опалювальні установки. Теплофікація, тобто ЦТ на базі комбінованого вироблення тепла і електроенергії, є вищою формою ЦТ. Вона дозволяє скоротити витрату палива до 25 %. Окрім економії палива централізація теплопостачання має велике соціальне значення, сприяючи підвищенню продуктивності труда, витісняючи малокваліфіковані професії, покращуючи умови труда і підвищуючи культуру виробництва. Централізовані системи теплопостачання істотно покращують побутові умови життя населення. При централізованому теплопостачанні дрібні опалювальні установки, що є джерелами забруднення повітряного басейну, ліквідуються, а замість них використовуються крупні джерела тепла, газові викиди яких містять мінімальні концентрації токсичних речовин. Таким чином, централізація теплопостачання сприяє вирішенню крупної задачі сучасності – охорона навколишнього природного середовища [2].

В результаті досягнень в області використання ядерного палива розвивається новий напрям – централізоване теплопостачання на базі атомних теплоелектроцентралей (ТЕЦ) і атомних котельних. Використання ядерного палива для теплопостачання скорочує витрату дефіцитного органічного палива і полегшує вирішення проблеми паливно-енергетичного балансу країни.

Централізована система теплопостачання складається з наступних основних елементів: джерела тепла, теплових мереж і місцевих систем споживання – систем опалення, вентиляції і гарячого водопостачання. Для централізованого теплопостачання використовуються два типи джерел тепла: теплоелектроцентралі (ТЕЦ) і районні котельні (РК). На ТЕЦ здійснюється комбіноване вироблення тепла і електроенергії, що забезпечує істотне зниження питомих витрат палива при отриманні електроенергії. При цьому спочатку тепло робочого тіла – водяної пари – використовується для отримання електроенергії при розширенні пари в турбінах, а потім тепло відпрацьованої пари, що залишилося, використовується для нагріву води в теплообмінних апаратах, які складають устаткування теплофікації ТЕЦ. Гаряча вода застосовується для теплопостачання. Таким чином, на ТЕЦ тепло високого потенціалу використовується для вироблення електроенергії, а тепло низького потенціалу – для теплопостачання. У цьому полягає енергетичний сенс комбінованого вироблення тепла і електроенергії. При роздільному їх виробленні електроенергію отримують на конденсаційних станціях (КЕС), а тепло – в котельнях. У конденсаторах парових турбін на КЕС підтримується глибокий вакуум,

якому відповідають низькі температури ($15\div 20$ °С), і воду охолодження не використовують. В результаті на теплопостачання витрачають додаткове паливо. Отже, роздільне вироблення економічно менш вигідно, чим комбіноване. Переваги теплофікації і централізованого теплопостачання найяскравіше виявляються при концентрації теплових навантажень, які характерні для сучасних міст, що розвиваються. Слід враховувати, що при теплофікації капітальні вкладення в ТЕЦ і теплові мережі виявляються більше, ніж в КЕС і централізованих системах теплопостачання від РК, тому ТЕЦ економічно доцільно споруджувати лише при великих теплових навантаженнях. Для європейської частини при існуючих вартостях теплофікація економічно доцільна при теплових навантаженнях більше 400 Гкал/г.

Іншим джерелом теплопостачання є РК. Теплова потужність сучасних РК складає $150\div 200$ Гкал/г. Така концентрація теплових навантажень дозволяє використовувати крупні агрегати, сучасне технічне оснащення котельних, що забезпечує високі ККД використання палива.

Як теплоносій для теплопостачання міст використовують гарячу воду, а для теплопостачання промислових підприємств – водяну пару. Теплоносій від джерел тепла транспортують по теплопроводам. Гаряча вода поступає до споживачів по подавальним теплопроводам, віддає в теплообмінниках своє тепло і після охолодження повертається по зворотних теплопроводах до джерел тепла. Таким чином, теплоносій безперервно циркулює між джерелом тепла і споживачами. Циркуляцію теплоносія забезпечує насосна станція джерела тепла. Водяна пара поступає до промислових споживачів по паропроводах під власним тиском, конденсується в теплообмінниках і віддає своє тепло. Конденсат, що утворився, повертається до джерела тепла під дією надмірного тиску або за допомогою конденсатних насосів. Сучасними тепловими мережами міських систем теплопостачання є складні інженерні споруди. Протяжність теплових мереж від джерела до крайніх споживачів складає десятки кілометрів, а діаметр магістралей досягає 1400 мм. До складу теплових мереж входять теплопроводи; компенсатори, сприймаючі температурні подовження; відключаючі, регулюючі і запобіжне устаткування, що встановлюється в спеціальних камерах; насосні станції; районні теплові пункти (РТП) і теплові пункти (ТП). Теплопроводи прокладають під землею в непрохідних і напівпрохідних каналах, в колекторах і без каналів. Для скорочення втрат тепла при русі теплоносія по теплопроводах застосовують їх теплоізоляцію. Для управління гідравлічним і тепловим режимами системи теплопостачання її автоматизують, а кількість тепла, що подається, регулюють відповідно до вимог споживачів. Найбільша кількість тепла витрачається на опалення будівель. Опалювальне навантаження змінюється зі зміною зовнішньої температури. Для підтримки відповідності подачі тепла потребам в ньому застосовують центральне регулювання на джерелах тепла. Добитися високої якості теплопостачання, застосовуючи тільки центральне регулювання, не вдається, тому на теплових пунктах і у споживачів застосовують додаткове автоматичне регулювання. Втрата води на гаряче водопостачання безперервно змінюється, і для підтримки стійкого теплопостачання гідравлічний режим теплових мереж автоматично регулюють, а температуру гарячої води підтримують постійною і рівною 65 °С.

Сучасні централізовані системи теплопостачання є складним комплексом, що включає джерела тепла, теплові мережі з насосними станціями і тепловими пунктами і абонентські введення, оснащені системами автоматичного управління. Для забезпечення надійного функціонування таких систем необхідна їх ієрархічна побудова, при якій всю систему розчленовують на ряд рівнів, кожен з яких має своє завдання, що зменшується зазначенням від верхнього рівня до нижнього. Верхній ієрархічний рівень скла-

дають джерела тепла, наступний рівень – магістральні теплові мережі з РТП, нижній – розподільні мережі з абонентськими введеннями споживачів. Джерела тепла подають в теплові мережі гарячу воду заданої температури і заданого тиску, забезпечують циркуляцію води в системі і підтримку в ній належного гідродинамічного і статичного тиску. Вони мають спеціальні водопідготовчі установки, де здійснюється хімічне очищення і деаерація води. По магістральних теплових мережах транспортуються основні потоки теплоносія у вузли теплоспоживання. У РТП теплоносій розподіляється по районах і в мережах районів підтримується автономний гідравлічний і тепловий режими. До магістральних теплових мереж окремих споживачів приєднувати не варто, щоб не порушувати ієрархічності побудови системи. Для надійності теплопостачання необхідно резервувати основні елементи верхнього ієрархічного рівня. Джерела тепла повинні мати резервні агрегати, а магістральні теплові мережі мають бути закільцьовані із забезпеченням необхідної їх пропускної спроможності в аварійних ситуаціях. Розподільні теплові мережі, ТП і абонентські введення забезпечують розподіл теплоносія по окремих споживачах і складають нижчий ієрархічний рівень, який в більшості випадків не резервують. Ієрархічну побудову систем теплопостачання забезпечує їх керованість в процесі експлуатації.

Джерелом теплоти є комплекс устаткування і пристроїв, за допомогою яких здійснюється перетворення природних і штучних видів енергії в теплову енергію з потрібними для споживачів параметрами.

Потенційні запаси основних природних видів енергії в мільярдах тон умовного палива в світі складають: 1. Органічне паливо – $24,7 \cdot 10^3$; 2. Ядерне паливо (уран і торій) – $231 \cdot 10^3$; 3. Термоядерне паливо (дейтерій) – $56,1 \cdot 10^9$; 4. Геотермальна енергія – 500; 5. Промениста енергія Сонця (за рік) – $247 \cdot 10^3$; 6. Гідроенергія річок (за рік) – 3,35; 7. Енергія приливів і відливів (за рік) – 2,31; 8. Енергія вітру (за рік) – 7,92.

Для цілей теплопостачання практичне значення на найближчу перспективу матимуть органічне і ядерне паливо, геотермальна і сонячна енергія. До штучних видів енергії, які використовуються для вироблення теплоти на теплопостачання, відносяться «вторинні енергоресурси» промислових підприємств і електрична енергія.

В даний час найширше застосовуються джерела теплоти, що використовують органічні палива, – тверде, рідке і газоподібне. Основними джерелами теплоти є теплоелектроцентралі (ТЕЦ), що виробляють комбінованим способом електричну і теплову енергію, і котельні, що виробляють теплову енергію.

При комбінованому способі виробництва електроенергії і теплоти на БЕЦ витрачається менше палива в порівнянні з роздільним способом: виробленням електроенергії на конденсаційних електричних станціях (КЕС) і теплоти в котельних. Проте при цьому необхідні великі капітальні витрати на джерело теплоти і теплові мережі, тому по техніко-економічних міркуваннях теплові ТЕЦ застосовуються зазвичай при теплових навантаженнях 500÷800 МВт і вище, а котельні – при менших навантаженнях. Залежно від виду робочого тіла, використовуваного в циклі станції, ТЕЦ бувають паротурбінні, газотурбінні і парогазові. Переважне розповсюдження в даний час мають паротурбінні ТЕЦ, які мають високі техніко-економічні показники.

Вторинні енергоресурси (ВЕР) в даний час знаходять використання на деяких промислових підприємствах для вироблення теплоти на теплопостачання і електроенергії. ВЕР утворюються на промислових підприємствах побічно – в процесі виробництва при випуску основних видів продукції. До них відносять: фізичне тепло, надлишковий тиск відходів і продукції, а також горючі відходи, потенціал яких не використовується

в технологічних циклах. Вироблення теплоти і електроенергії за рахунок такого потенціалу дозволяє економити паливо на установках, що заміщаються, внаслідок чого підвищуються енергетичні показники промислових підприємств.

Застосування електроенергії для теплопостачання має певні переваги: можливість використання енергії безпосередньо у споживачів, відносна простота подачі і застосування, легкість регулювання і вимірювання величини навантаження, а також та обставина, що витрати на виробництво електроенергії оплачують споживачі тепла.

Необхідно відзначити, що електроенергія є найбільш досконалим видом енергії і вироблення її в даний час проводиться з великими витратами палива в порівнянні з витратами його при виробленні тепла: ККД КЕС складає $\approx 40\%$; котельних – $70\div 90\%$, тому пряма трансформація електроенергії в теплоту в різних електродкотлах і електронагрівачах енергетично недоцільна. Можливість застосування електроенергії для теплопостачання може розглядатися в особливих вкрай окремих випадках, пов'язаних з трудністю доставки палива або прокладки трубопроводів, при достатній потужності електричних станцій і ліній електропередач, при крайній неритмічності і короткочасності режимів роботи теплових споживачів, при значних провалах в графіках електроспоживання в ізольованих станціях і енергосистемах з важкорегулюєними джерелами.

Джерелами теплоти на ядерному паливі є атомні ТЕЦ і атомні котельні. Вони особливо перспективні для крупних централізованих систем теплопостачання, оскільки економічно доцільні при великих одиничних потужностях.

Сонячна енергія як джерело енергії має ряд переваг: чистоту, нескінченність в часі, «безкоштовність». Проте широке її застосування зустрічає технічні труднощі унаслідок малої щільності (питомій потужності) і неритмічності дії в часі, тому використання сонячної енергії можливе тільки в певних районах: на півдні України, в Середній Азії, Казахстані. Основний напрям робіт, що експериментально реалізуються останніми роками, - децентралізоване теплопостачання окремих будівель.

Окрім відмічених основних видів енергії для теплопостачання може використовуватися і низькотемпературна теплота (природна і штучна) будь-якого середовища (повітря, води, ґрунту) за допомогою теплових насосів. Останні підвищують низькотемпературний потенціал середовища до рівня, необхідного для теплопостачання, витрачаючи при цьому деяку кількість електричної, теплової або іншої енергії.

Мета. Метою роботи є обґрунтування доцільності переходу опалювальних систем на комбіновані джерела енергії, які можуть включати в себе як високотемпературне джерело, так і низькотемпературне джерело енергії для зменшення витрат на опалення адміністративних та виробничих приміщень, зменшення енергетичної залежності України, а також поліпшення екологічних показників. За нашою думкою актуальною була би розробка мало витратних способів модернізації вже існуючих систем теплопостачання, які споживають мінімально можливу кількість енергетичних ресурсів. До таких способів можна віднести компенсацію частини споживаних енергетичних ресурсів за рахунок використання відновлюваних джерел енергії, перерозподіл надлишкової енергії в існуючих системах теплопостачання.

Однак, всі пропоновані, на сьогоднішній день технологічні рішення мають значні капіталовкладення при впровадженні, наприклад теплонасосних установок, в існуючі системи опалення, виникає складність з бурінням свердловин та ємностей для організації доступу до низькопотенційної теплової енергії. Рішенням проблеми витрат може стати перехід на нове джерело тепла, доступ до якого не потребує значної реконструкції вихідної схеми теплопостачання. При аналізі систем опалення будівель було вияв-

лено, що будь-яка система опалення в неопалювальний період може грати роль джерела тепла. На підставі цього висновку пропонуємо дуальний спосіб гарячого водопостачання – кондиціонування будівлі з використанням теплонасосної установки. Цей спосіб відрізняється малими капітальними витратами, технічним результатом якого, є виключення теплових втрат від трубопроводів абонентського вводу, незалежність від централізованого джерела тепла, а також охолодження приміщення та утилізація надлишкової теплоти будівлі у неопалювальний період.

Для цього воду, яка йде на гаряче водопостачання, нагрівають до необхідної температури в конденсаторі теплонасосної установки за рахунок теплоти отриманої від охолодження приміщення (в даному разі – низько потенційного джерела енергії) в випарнику теплонасосної установки, і подають споживачам, причому в якості низькопотенційного джерела теплоти у випарнику використовують мережеву воду, яка циркулює в замкнутому контурі системи опалення будівлі (див. рис. 1 нижче).

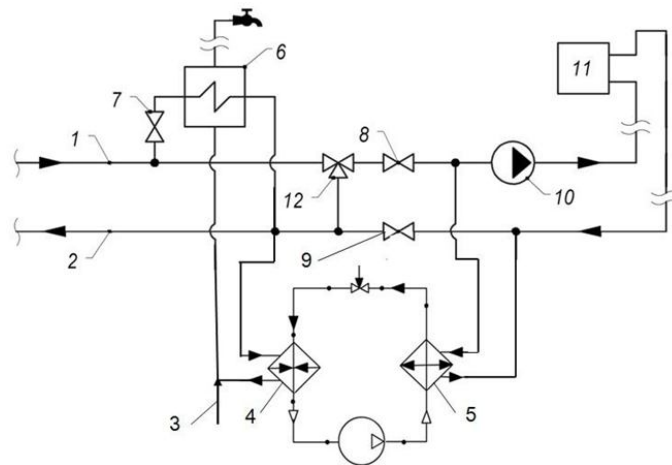


Рисунок 1 – Система гарячого водопостачання будівлі:

1 – вхідний трубопровід, 2 – зворотний трубопровід, 3 – трубопровід води для гарячого водопостачання, 4 – конденсатор теплонасосної установки, 5 – випарник теплонасосної установки, 6 – теплообмінник гарячого водопостачання, 7, 8, 9 – гідравлічна арматура, 10 – циркуляційний насос, 11 – опалювальний прилад, 12 – триходовий клапан

Гаряче водопостачання за рахунок охолодження приміщення реалізується в такий спосіб: у неопалювальний період, коли система опалення та гарячого водопостачання будівлі перекладається на режим гарячого водопостачання (ГВП). Для цього закривається запірна арматура 8 і відкривається арматура 9, тим самим створюючи закритий контур циркуляції всередині системи опалення будівлі ізольований від зовнішніх теплових мереж. У закритому контурі теплоносій, за допомогою циркуляційного насоса 10, подається в систему опалення. Проходячи опалювальні прилади 11, теплоносій забирає надлишкове тепло приміщень і охолоджує їх, після чого надходить у випарник теплонасосної установки 5, де охолоджується та передає зібране тепло холодоагенту, циркулюючому в контурі теплонасосної установки. Тепло, отримане холодоагентом, віддається в конденсаторі теплонасосної установки 4, в якому нагрівається вода, що йде з трубопроводу 3 води для гарячого водопостачання. Нагрів здійснюється до температури 55 °С, після чого вода подається споживачеві.

Одночасно із закриттям арматури 8 також проводиться закриття арматури 7 і триходового клапана 12, що призводить до зупинки циркуляції у вхідному 1 і зворотному 2 трубопроводах абонентського вводу будівлі, це повністю виключає теплові втрати від трубопроводів абонентського вводу. Таким чином, використовуючи в якості низькопотенційного джерела теплоти воду, яка циркулює в системі опалення будівлі в неопалювальний період, можна забезпечувати будівлю гарячою водою незалежно від централізованого джерела тепла при незначних капітальних витратах на тепловий та циркуляційний насоси. При цьому економічний ефект досягається за рахунок економії при переході на автономне джерело тепла, економії від відсутності теплових втрат від трубопроводів абонентського вводу, а також економії за рахунок скорочення витрат на кондиціонування приміщень [3, 4, 5, 6, 7].

Використання теплонасосних установок, крім локального застосування для окремого будинку, як це показано у попередньому випадку, також можливе і для підвищення ефективності в мережах тепlopостачання в цілому. Так, на півдні України впродовж опалювального періоду мають місце інтервали по декілька тижнів з температурою близькою до + 8 °С. В такі періоди недоцільно підтримувати в мережах температуру + 60...75 і навіть 90 °С. При зниженні температури теплоносія в теплових мережах зменшуються втрати теплової енергії, що викликано зменшенням перепаду температур між зовнішнім середовищем та теплоносієм.

Іншим способом енергоефективності може стати розробка нових концепцій та температурних графіків системи опалення, що в повній мірі відповідає забезпеченню стабільного опалення. Наприклад, температура в приміщеннях в денний час підтримується на рівні +17 °С, а в нічний час до +15 °С. Така стратегія опалення зменшує загальне споживання теплоти та пікове навантаження, але збільшує використання джерел відновлювальної енергетики або підвищує ефективність використання теплових насосів. Також такий температурний графік надає можливість переходу до низькотемпературного централізованого тепlopостачання, яке включає повторне використання відпрацьованого тепла від будівель та промисловості. Запропонований спосіб не забезпечує нагріву води для гарячого водopостачання та створення комфортних температур +20 °С в приміщеннях, що потрібно вирішувати автономними електропідігрівачами. Але значно скорочує споживання природного газу, пiчного рідкого палива, вугілля та деревини, а також дозволяє значно зменшити непродуктивні втрати теплоти в процесі її генерації та транспортуванні теплоносія. Окрім того, така стратегія дасть змогу для широкого впровадження низькотемпературних котлів, теплових акумуляторів та використання місцевих і альтернативних видів палив [8].

Питання підвищення ефективності централізованого тепlopостачання стикається з низкою наступних розбіжностей. Перша – це тип системи опалення споживача або з прямим підключенням до трубопроводу, або через теплообмінник. Друга – це втрати теплоти, які пов'язані з точками під'єднання клієнтів та їх відстані від котельні. Третя – відведення тепла від різних абонентів, які можуть мати різні характеристики енергоефективності та рівень споживання тепла. Серед інших – довжина та діаметр трубопроводів, умови навколишнього середовища, кількість контурів опалення та їх характеристики [9].

Побудова моделі за посиланням на ці специфічні особливості є трудомістким завданням, яке ускладнюється неможливістю виконання експериментів, оскільки система опалення в регіонах при холодних зимах належить до систем життєзабезпечення. Встановлено, що управління попиту за допомогою теплових акумуляторів є гарним методом управління централізованим опаленням. Це однозначно має інвестиційну приваба-

лівість та сприяє декарбонізації міських територій. Різні роботи показують, що можна досягти таких переваг: зменшити пікове навантаження до 30 %; зменшити потреби в первинній енергії до 5 %; значно зменшити шкідливі викиди та витрати палива до 10 % [10]. На рисунку 2 показана схема інтеграції теплових акумуляторів в систему центрального опалення.

При проектуванні нових теплових мереж може бути використана тритрубна система транспорту теплоносія. В цьому випадку по одному з трубопроводів теплоносієм подається споживачеві, а по двох інших повертається. У разі аварії пошкоджений трубопровід відключається, а для опалювання використовуються робочі. Можливий варіант тритрубної системи, коли два трубопроводи подаючі, а один зворотний. З точки зору стабільності гідравлічних режимів і ремонтпридатності тритрубна тепломагістраль доцільніша за двотрубну. Проте капітальні витрати на її будівництво на 30 % вище.



Рисунок 2 – Інтеграція теплових акумуляторів в систему центрального опалення

Сформульовано критерії ефективності використання коаксіальних труб для будівництва нових та модернізації наявних теплових мереж. Доведено, що капітальні витрати на будівництво, в порівнянні з двотрубною тепломережею, на 30 % нижче двотрубної системи постачання, а стійкість до зовнішніх чинників при експлуатації значно вища [11].

Залучення в енергетику місцевих видів палива, вторинних ресурсів та поновлюваних джерел енергії, рекультивация земель, чистота довкілля призведуть до створення нового екологічного бізнесу та конкуренції в теплоенергетичному секторі. Запропоноване розробленим проектом інноваційне рішення уніфікованої конструкції мобільного водогрійного теплового акумулятора МТА після його впровадження дозволить вирішити проблеми теплозабезпечення населених пунктів та окремих об'єктів з максимальною можливою ефективністю, а також значно зменшити шкідливі викиди. Використання МТА дозволяє побудувати гнучку схему теплозабезпечення при модернізації діючих та при будівництві нових джерел теплопостачання. Оптимізація конструкції МТА дозволяє використання виробів, що серійно виготовляються, спрямована на мінімізацію кількості складальних одиниць та їх уніфікацію, що дає змогу зменшити собівартість МТА, а також витрати на монтаж, наладку та експлуатацію. Усі складові частини та обладнання, які використані в проекті, є виключно українського виробництва [12].

На цей час запропоновано велику кількість технологій для майбутніх систем централізованого опалення, які значною мірою базуються на відновлюваних джерелах енергії та скидному теплі, яке зазвичай надходить від промисловості та надавачів де-

яких послуг - таких як переробка комунальних відходів, робота дата-центрів, метрополітену та інше. Для забезпечення енергетичної безпеки та екологічних цілей необхідно збільшити постачання енергії з відновлюваних джерел – енергії вітру, сонця, геотермальних і вторинних джерел, біомаси тощо.

Одним з таких питань підвищення ефективності роботи приватного гарячого водопостачання і опалення є заміна двоконтурного універсального котла, працюючого на мазуті, на двоконтурну сонячну установку [13] для гарячого водопостачання, геотермальний тепловий насос для опалення будівель [14] та вітроелектрогенератор [15] для електропостачання з цілодобовим комп'ютерним керуванням. Авторами була розроблена, нова технологічна схема теплоенергетичної установки для гарячого водопостачання і опалення приватного домоволодіння.

На рис. 3 представлена нова технологічна схема теплоенергетичної установки.

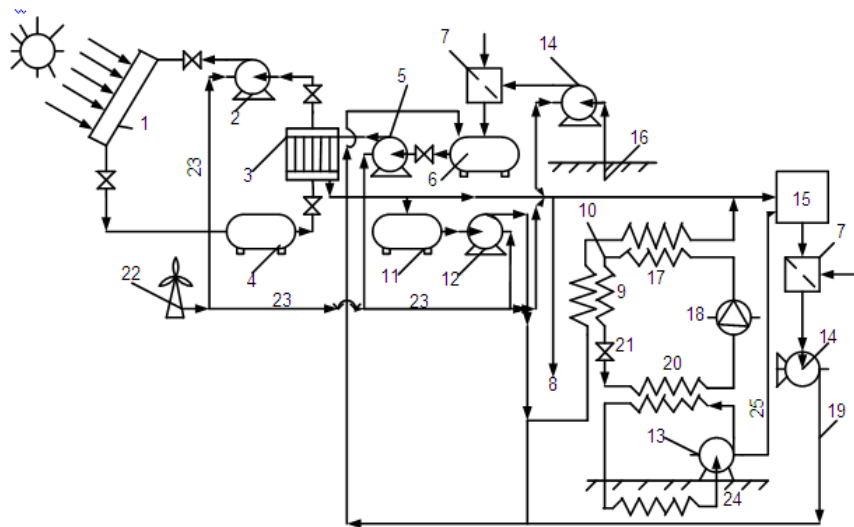


Рисунок 3 – Технологічна схема енергетичної установки для гарячого водопостачання та опалення приватного будинку

1 – двоконтурна сонячна установка; 2 – відцентровий насос; 3 – двоконтурний теплообмінний апарат; 4 – бак-акумулятор; 5 – відцентровий насос; 6 – бак-акумулятор; 7 – установки хімоводоочищення; 8 – аварійний злив теплоносія із установки; 9 – охолоджувач; 10 – ґрунтовий тепловий насос (ґрунт-вода); 11 – бак-акумулятор; 12 – відцентровий насос; 13 – відцентровий насос; 14 – відцентрові насоси; 15 – приватне домоволодіння; 16 – артезіанська свердловина; 17 – конденсатор; 18 – компресор; 19 – трубопровід оборотної води; 20 – випарник; 21 – дросельний вентиль; 22 – вітроелектрогенератор; 23 – лінії електропередач; 24 – тепловий контур ґрунтового теплового насоса; 25 – трубопровід подачі холодного теплоносія (режим кондиціонування)

Нова енергетична установка може працювати як сезонно, так і цілий рік. Принцип дії установки при сезонній роботі – у теплу пору року. Антифриз (тепловий агент) з бака-акумулятора 4 через перший контур теплообмінного апарату 3 циркуляційним насосом 2 подається в колектор сонячної установки 1, де нагрівається до необхідної температури і надходить назад в бак-акумулятор 4. Нагрітий антифриз віддає своє тепло у другому контурі теплообмінника 3 теплоносія (вода), що подається циркуляційним насосом 5 з бака-акумулятора 6, і підігріта надходить у бак-акумулятор 11. Артезіанська вода з свердловини 16 насосом 14 подається в установку хімоводоочищення 7, де очищається від багатьох солей і далі надходить в бак-акумулятор 6. Підігріта до необхідної

температури вода [16] другого контуру теплообмінника 3 подається в приватне домоволодіння 15 на гаряче водопостачання [17]. Коли температура води не задовольняє користувача 15, вода з бака-акумулятора 11 циркуляційним насосом 12 подається в другий контур охолоджувача 9 і далі другий контур конденсатора 17 ґрунтового теплового насоса 10, де догрівається до необхідної температури і надходить до користувача 15. Обратна вода від користувача 15 подається в установку хімоводоочищення 7, де очищається, і циркуляційним насосом 14 подається в бак-акумулятор 6, або, у разі недостатньої кількості води подається в другий контур охолоджувача 9 і далі в другий контур конденсатора 17 ґрунтового теплового насоса де догрівається і знову надходить користувачеві 15. У разі аварійної ситуації є можливість випустити теплоносій у каналізацію 8 (злив води із системи). У разі підвищення температури повітря на вулиці до некомфортної позначки відключається сонячна установка та включається в тепловому насосі [18] режим кондиціонування 25. Вода з ґрунтового теплового контуру циркуляційним насосом 13 подається в контур теплої підлоги, охолоджує площу підлоги та повітря в кімнатах будинку до комфортної температури. Принцип дії установки для цілорічної роботи. У теплу пору року принцип роботи установки показано вище. А в холодну пору року установка працює наступним чином. Вода з температурою $5\div 7$ °С теплового контуру теплового насоса циркуляційним насосом 13 подається до другого контуру випарника теплового насоса, де нагріває холодоагент першого контуру, який перетворюється на пару. Пар холодоагенту надходить у компресор, де стискається до високої 160 °С температури та тиску. Далі пара надходить у конденсатор теплового насоса, де віддає своє тепло другому контуру конденсатора, в який подається вода циркуляційним насосом 12 з бака-акумулятора 11 або циркуляційним насосом 14 від користувача 15. Таким чином, вода нагрівається спочатку у другому контурі охолоджувача, а потім у другому контурі конденсатора і надходить до користувача з температурою 75 °С. У разі аварійної ситуації є можливість випустити теплоносій у каналізацію (злив води із системи) [19].

Висновки. Зробити модернізацію централізованого теплопостачання можна, визначивши найдоступніші енергозберігаючі інновації, які можуть в короткий термін значно підняти рівень і надійність централізованого теплопостачання:

1. Модернізація повинна мати інвестиційну та екологічну привабливість.
2. Трансформація енергетичної системи потребує впровадження нових технологій генерації теплової енергії, її зберігання та управління попитом і сприяти розгортанню інтегрованих енергетичних рішень.
3. Перехід на нову систему теплопостачання підвищить живучість та надійність, зменшить споживання традиційних паливно-енергетичних ресурсів і забезпечить стабільну роботу.
4. На рівні використання паливно-енергетичних ресурсів в довгостроковій перспективі централізоване теплопостачання повинно перейти на споживання альтернативних і відновлювальних джерел енергії.
5. При генерації теплоти – заміна морально застарілого котельного обладнання на сучасні зразки вітчизняного виробництва машинобудівних підприємств України дасть змогу знизити споживання енергетичних ресурсів до 30 % та скоротити питому енергоємність виробництва теплової енергії мінімум на 5 %. Це призведе до залучення державних та приватних інвестицій в теплоенергетичний сектор та технологічної модернізації виробництва.

6. При транспортуванні теплоносія – це адресна, дозована поставка теплоти або холоду споживачу за допомогою мобільних теплових акумуляторів.
7. Створення багатоконтурної системи опалення.
8. Використання тритрубною та коаксіальною систем транспорту, що скорочує непродуктивні втрати теплоти приблизно на 10–15 %.
9. Пропонуємо термомодернізацію будівель, в цьому потенціал енергозбереження до 30 %.

Література

1. Біла книга щодо трансформації централізованого теплопостачання в Україні: оцінка та рекомендації. Серпень 2020. – 30 с.
2. Конспект лекцій з дисципліни « Джерела теплопостачання та теплові мережі» / уклад.: Р.О. Клімов, Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. – 103 с.
3. Бурцева С.О., Постол Ю.О. Ефективність теплових насосів. Матеріали Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції «Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії». Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 33–34.
4. Щербаків С.В., Стручаєв М.І., Постол Ю.О. Енергоефективність в системах теплопостачання. Матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції «Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії». Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 6–8.
5. Постол Ю.О., Стручаєв М.І. Підвищення енергоефективності та енергозбереження використання низькопотенційних джерел енергії в органічному циклу Ренкіна. Матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції «Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії». Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 74–77.
6. Коваль С.Д., Постол Ю.О. Проблеми енергозбереження і автоматизації в системах теплопостачання будівель. Матеріали II Всеукраїнської наук.-практ. інтернет-конференції «Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії». Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 92–93.
7. Дідур В.А., Стручаєв М.І. Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві : навч. посібник, допущено М-вом аграр. політики / за ред. В.А. Дідура. К. : Аграрна освіта, 2008. 233 с.
8. Демченко В.Г., Коник А.В., Погорелова Н.Д. Розробки для підвищення ефективності теплопостачання в теплоенергетиці. Теплофізика та теплоенергетика, 2022, т. 44, №3 С. 73–83.
9. Демченко В.Г., Повышение эффективности работы систем централизованного теплоснабжения, Промышленная теплотехника. – 2015.– Т.36, №6.– С. 29–38.
10. Демченко В.Г., Коник А.В. (2020) Основні аспекти процесів теплоакмулювання. Одеса «Наукові праці», 2020. – Випуск 1 Том 84, С. 48–53.
11. Демченко В.Г., Дуняк О.В. Двотрубна теплова мережа з коаксіально розташованими трубопроводами Патент на корисну модель №105366 від 10.03.2016.
12. Демченко В.Г., Коник А.В. Мобільний тепловий акумулятор. Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті: матеріали XXII міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 20-21 травня 2021р.).– К.: Інтерсервіс, 2021. С. 298–302.

13. Yuriy A. Selikhov, Victor A. Kotsarenko, Jiří J. Klemeš, Petro O. Kapustenko/ The Performance of Plastic Solar Collector as Part of Two Contours Solar Unit/ CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 70, 2018, С. 2053–2058, Copyright © 2018, AIDIServizi S.r.l.
14. Овчаренко В.А. Овчаренко А.В. Використання теплових насосів //Холод М+Т, 2006, №2.– С. 34–36.
15. Даффи Дж., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. – М.: Мир,1977. – 420 с.
16. Бекман У., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии. М., Мир. 1987. – 224 с.
17. Сарнацкий Э.В. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. – М.: Стройиздат, 1990 – 324 с.
18. Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы: Пер. с англ. – М.:Энергоиздат, 1982. – 224 с.
19. Селіхов Ю.А. Горбунов К.О., Стасов В.А. Інтеграція роботи поновлюваних джерел енергії для гарячого водопостачання та опалювання будівель. // ІТЕ, №4 2021, С. 3–12.

Bibliography (transliterated)

1. Bila knyha shchodo transformatsii tsentralizovanoho teplopostachannia v Ukraini: otsinka ta rekomendatsii. Serpen 2020. – 30 p.
2. Konspekt lektsii z dystsypliny « Dzherela teplopostachannia ta teplovi merezhi» / uklad.: R.O. Klimov, Dniprodzerzhinsk: DDTU, 2016. – 103 p.
3. Burtseva S.O., Postol Yu.O. Efektyvnist teplovykh nasosiv. Materialy Vseukrainskoi nauk.-prakt. internet-konferentsii «Suchasni problemy innovatsiinoho rozvytku elektrychnoi inzhenerii». Melitopol: TDATU, 2020. P. 33–34.
4. Shcherbakov S.V., Struchaiev M.I., Postol Yu.O. Enerhoefektyvnist v systemakh teplopostachannia. Materialy II Vseukrainskoi nauk.-prakt. internet-konferentsii «Suchasni problemy innovatsiinoho rozvytku elektrychnoi inzhenerii». Melitopol: TDATU,– 2021.– P. 6–8.
5. Postol Yu.O., Struchaiev M.I. Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti ta enerhozberezhennia vykorystannia nyzkopotentsiinykh dzherel enerhii v orhanichnomu tsyklus Renkina. Materialy II Vseukrainskoi nauk.-prakt. internet-konferentsii «Suchasni problemy innovatsiinoho rozvytku elektrychnoi inzhenerii». Melitopol: TDATU.– 2021. P. 74–77.
6. Koval S.D., Postol Yu.O. Problemy enerhozberezhennia i avtomatyzatsii v systemakh teplopostachannia budivel. Materialy II Vseukrainskoi nauk.-prakt. internet-konferentsii «Suchasni problemy innovatsiinoho rozvytku elektrychnoi inzhenerii». Melitopol: TDATU, 2021. P. 92–93.
7. Didur V.A., Struchaiev M.I. Teplotekhnika, teplopostachannia i vykorystannia teploty v silskomu hospodarstvi : navch. posibnyk, dopushcheno M-vom ahrar. polityky / za red. V.A. Didura. K. : Ahrarna osvita, 2008. 233 p.
8. Demchenko V.H., Konyk A.V., Pohorielova N.D. Rozrobky dlia pidvyshchennia efektyvnosti teplopostachannia v teploenerhetytsi. Teplofizyka ta teploenerhetyka, 2022, t. 44,

№3 Р. 73–83.

9. Demchenko V.H., Povyshenye effektivnosti raboty system tsentralizovannoho teplosnabzheniya, Promyshlennaia teplotekhnika. – 2015.– Т.36, №6.– Р. 29–38.

10. Demchenko V.H., Konyk A.V. (2020) Osnovni aspekty protsesiv teploakumulivannia. Odesa «Naukovi pratsi», 2020. – Vypusk 1 Tom 84, P. 48–53.

11. Demchenko V.H., Duniak O.V. Dvotrubna teplova merezha z koaksialno rozshovanymy truboprovodamy Patent na korysnu model №105366 vid 10.03.2016.

12. Demchenko V.H., Konyk A.V. Mobilnyi teplovyi akumuliator. Vidnovliuvana enerhetyka ta enerhoefektyvnist u XXI stolitti: materialy XXII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Kyiv, 20–21 travnia 2021r.).– K.: Interservis, 2021. P. 298–302.

13. Yuriy A. Selikhov, Victor A. Kotsarenko, Jiří J. Klemeš, Petro O. Kapustenko/ The Performance of Plastic Solar Collector as Part of Two Contours Solar Unit/ CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 70, 2018, P. 2053–2058, Copyright © 2018, AIDIServizi S.r.l.

14. Ovcharenko V.A. Ovcharenko A.V. Vykorystannia teplovykh nasosiv //Kholod M+T, 2006, №2.– P. 34–36.

15. Daffy Dzh., Bekman U.A. Teplovyie protsessy s uspolzovanyem solnechnoi enerhyu. – M.: Myr, 1977. – 420 p.

16. Bekman U., Hylly P. Teplovoe akkumulyrovanye enerhyu. M., Myr. 1987.– 224 p.

17. Sarnatskyi Э.V. Systemi solnechnoho teplo- i khladosnabzheniya.– M.: Stroiyzdat, 1990 – 324 p.

18. Rei D., Makmaikl D. Teplovie nasosi: Per. s anhl.– M.:Enerhoizdat, 1982.– 224 p.

19. Selikhov Yu.A. Gorbunov K.O., Stasov V.A. Intehratsiia roboty ponovliuvanykh dzherel enerhii dlia hariachoho vodopostachannia ta opaliuvannia budivel. // ITE, №4 2021, P. 3–12.

УДК 662.997

Селіхов Ю.А., к.техн.н., доцент, Рищенко І.М., д.техн.н., професор,
Горбунов К.О., к.техн.н., доцент

ІНТЕГРАЦІЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Україна має величезний актив у вигляді існуючих мереж централізованого теплопостачання (ЦТ) та попиту на відповідні послуги. ЦТ трансформує європейський енергетичний сектор, залучає ефективні, локальні та відновлювані енергетичні ресурси там, де це раніше було неможливим. Однак, через стару матеріальну базу запчастин, недостатній рівень інвестицій та низький рівень управління, українські системи ЦТ є неефективними та такими, що не відповідають потребам споживачів. Досвід держав-членів Європейського Союзу в центральній Європі свідчить, що глибокі та послідовні реформи можуть вирішити поточні проблеми сектору теплопостачання, включають підвищення енергоефективності та економічної конкурентоспроможності, зміцнення еко-

логічної стійкості та посилення енергетичної безпеки.

Сектор ЦТ в Україні ще не зазнав структурного реформування, через яке вже пройшли інші галузі економіки: за останні 30 років якість послуг знизилася; субсидії зросли; стара матеріальна база розвалюється; з'являється питання чи варто продовжувати підтримку ЦТ. Як результат, сектор ЦТ України знаходиться в тяжкому стані, де фінансові, операційні та технічні проблеми посилюють одна одну. Необхідно докласти комплексні та добре сплановані зусилля задля створення умов для виходу із цього стану. Такі структурні реформи мають важливе значення для залучення інвестицій, необхідних для підвищення якості, ефективності та довгострокового потенціалу сектору ЦТ.

У статті розглянута можливість застосування сучасних технологічних рішень для модернізації систем теплопостачання з метою поліпшення їх ефективності, які можуть призвести до значного поліпшення послуг ЦТ, прозорості та фінансової стабільності.

Ключові слова: енергетичні ресурси, відновлювані джерела енергії, органічне паливо, автоматизована теплоенергетична установка, електроенергія, гаряча вода, гаряче повітря, опалення, приватне домоволодіння, електричний водонагрівник, геотермальний тепловий насос, вітроелектрогенератор, котельня малої потужності.

Селихов Ю.А., к.техн.н., доцент, Рищенко И.М., д.техн.н., професор,
Горбунов К.А., к.техн.н., доцент

ИНТЕГРАЦИЯ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Украина имеет огромный актив в виде существующих сетей централизованного теплоснабжения (ЦТ) и спроса на соответствующие услуги. ЦТ трансформирует европейский энергетический сектор, привлекает эффективные, локальные и возобновляемые энергетические ресурсы там, где это было невозможно. Однако, из-за старой материальной базы запчастей, недостаточного уровня инвестиций и низкого уровня управления, украинские системы ЦТ неэффективны и не отвечают потребностям потребителей. Опыт государств-членов Европейского Союза в центральной Европе показывает, что глубокие и последовательные реформы могут решить текущие проблемы сектора теплоснабжения, включая повышение энергетической эффективности и экономической конкурентоспособности, укрепление экологической устойчивости и усиление энергетической безопасности.

Сектор ЦТ в Украине еще не подвергся структурному реформированию, через которое уже прошли другие отрасли экономики: за последние 30 лет качество услуг снизилось; субсидии выросли; старая материальная база разваливается; возникает вопрос стоит ли продолжать поддержку ЦТ. Как результат, сектор ЦТ Украины находится в тяжелом состоянии, где финансовые, операционные и технические проблемы усугубляют друг друга. Необходимо приложить комплексные и хорошо спланированные усилия для создания условий выхода из этого состояния. Такие структурные реформы имеют важное значение для привлечения инвестиций, необходимых для повышения качества, эффективности и долгосрочного потенциала сектора ЦТ.

В статье рассмотрена возможность применения современных технологических

решений для модернизации систем теплоснабжения с целью улучшения их эффективности, которые могут привести к улучшению услуг ЦТ, прозрачности и финансовой стабильности.

Ключевые слова: энергетические ресурсы, возобновляемые источники энергии, органическое топливо, автоматизированная теплоэнергетическая установка, электроэнергия, горячая вода, горячий воздух, отопление, частное домовладение, электрический водонагреватель, геотермальный тепловой насос, ветроэлектрогенератор, котельная малой мощности.

Selikhov Yu.A., Rishchenko I.M, Gorbunov K.A.

INTEGRATION OF HEATING SYSTEM OPERATION

Ukraine has a huge asset in the form of existing district heating (DH) networks and demand for related services. DH is transforming the European energy sector, attracting efficient, local and renewable energy resources where this was not possible. However, due to the old material base of spare parts, insufficient level of investment and low level of management, Ukrainian DH systems are ineffective and do not meet the needs of consumers. The experience of European Union member states in central Europe shows that deep and sustained reforms can address the current challenges of the heating sector, including improving energy efficiency and economic competitiveness, strengthening environmental sustainability and enhancing energy security. The DH sector in Ukraine has not yet undergone the structural reform that other sectors of the economy have already gone through: over the past 30 years, the quality of services has decreased; subsidies have increased; the old material base is falling apart; The question arises whether it is worth continuing to support DH. As a result, Ukraine's DH sector is in dire straits, with financial, operational and technical problems compounding each other. Comprehensive and well-planned efforts must be made to create the conditions for exiting this state. Such structural reforms are essential to attracting the investment needed to improve the quality, efficiency and long-term potential of the district heating sector.

The article examines the possibility of using modern technological solutions to modernize heat supply systems in order to improve their efficiency, which can lead to improved district heating services, transparency and financial stability.

Keywords: energy resources, renewable energy sources, fossil fuels, automated heat and power plant, electricity, hot water, hot air, heating, private households, electric water heater, geothermal heat pump, wind power generator, low-power boiler house.

Лебедєв В.В., к.техн.н., доцент, Мірошніченко Д.В., д.техн.н., професор,
Лаврова І.О., к.техн.н., доцент, Черкашина Г.М. к.техн.н., професор

ВИВЧЕННЯ НЕПАЛИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПОХІДНИХ БУРОГО ВУГІЛЛЯ ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ БІТУМІВ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: бітуми, смола бурого вугілля, модифікація, властивості, адгезія, непаливне використання

Вступ. Сучасні технології непаливного використання бурого вугілля стосується напрямів, спрямованих на одержання воску, гуманих препаратів, адсорбентів, одержання цінних похідних у вигляді смол, гумінових речовин та ін. [1,2]. Оскільки кам'яне вугілля є природною високомолекулярною ароматичною сполукою, можна припустити, що його похідне – гудрон у вигляді смол від розкладання органічних речовин бурого вугілля, також може містити ароматичні структури та поверхнево-активні речовини, які можуть підвищувати адгезійні та пластичні властивості таких важливих речовин, як бітумів [3–6]. Виходячи з вищевикладеного та враховуючи низьку відносну в'язкість гудрону при розкладанні, були проведені дослідження щодо використання цього гудрону як пластифікатору бітумів на нафтовій основі.

Мета статті – вивчення непаливного застосування похідних бурого вугілля при модифікації бітумів.

В роботі використовували наступні матеріали:

- бітум нафтовий дорожній марки БНД 60/90 з температурою спалаху у відкритому тиглі 260 °С, температурою розм'якшення (за методом кільця і кулі) 48 °С;
- смола після буровугільної термодеструкції;
- відходи гумової крихти та порошку.

Температурні інтервали топлення визначали згідно ISO 3146 на латунному диску. Дослідження ударної в'язкості при температурі 20 °С проводили на маятниковому копрі згідно ISO 180. Ступінь зшивання бітумів визначали в ході дослідження піддавали екстракційної обробки в апараті Грефе.

Адгезійні властивості бітумних композитів визначалися за двома методиками:

– методика визначення зчеплення в'язучого з поверхнею мінерального матеріалу. Якість зчеплення оцінюють візуально за ступенем збереженості плівки бітумного в'язучого на зернах щебеню після його кип'ятіння в дистильованій воді.

– за методикою крайового кута змочування. Фактично адгезія і змочування – це дві сторони одного явища. Адгезія обумовлює взаємодію між твердою фазою та адгезивом, а змочування – це явище, що виникає в результаті цієї взаємодії. Крайовий кут є мірою змочування поверхонь [7]. Розрізняють три основні випадки залежно від значення рівноважного крайового кута: крайовий кут тупий ($180^\circ > \theta > 90^\circ$) – рідка фаза не змочує тверду; крайовий кут гострий ($90^\circ > \theta > 0^\circ$) – змочування або обмежене змочування; рівноважний крайовий кут не встановлюється, крапля розтікається в тонку плівку – повне змочування [8].

Обговорення результатів. Наведемо аналіз адгезійних властивостей бітумів, модифікованих смолою бурого вугілля, за методикою визначення зчеплення в'язучого з поверхнею мінерального матеріалу (рис. 1–4).

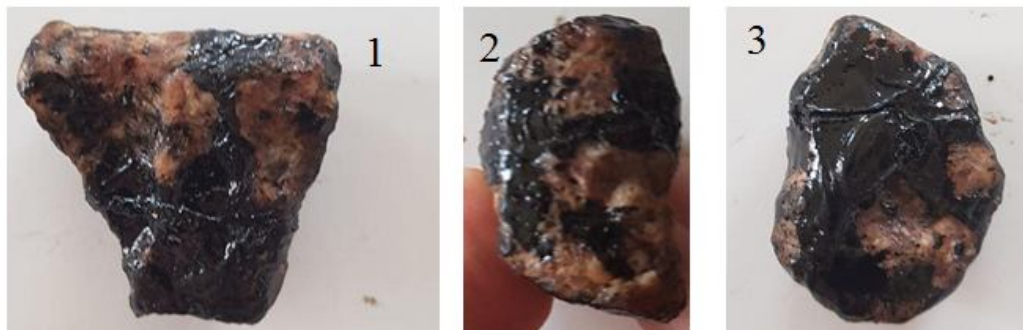


Рисунок 1 – Зразки №1, 2, 3 без додавання смоли бурого вугілля після термодеструкції

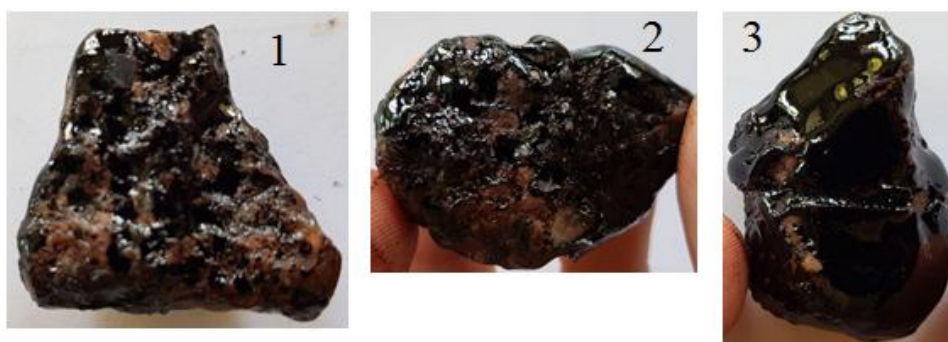


Рисунок 2 – Зразки №1, 2, 3 з додаванням 5 % смоли бурого вугілля після термодеструкції



Рисунок 3 – Зразки №1, 2, 3 з додаванням 7 % смоли бурого вугілля після термодеструкції

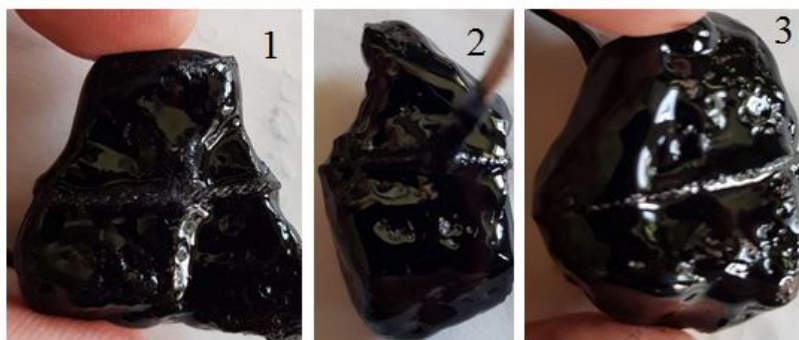


Рисунок 4 – Зразки №1, 2, 3 з додаванням 12 % смоли бурого вугілля після термодеструкції

Результати дослідів приведені нижче у вигляді графіку (рис. 5). Тим самим було показано, що по коефіцієнтам кореляції Пірсона лабораторні досліди можна відтворити у подальших дослідженнях, також величина достовірності апроксимації досить близька до 1, що показує мінімальну розбіжність у лабораторних опитах [9].

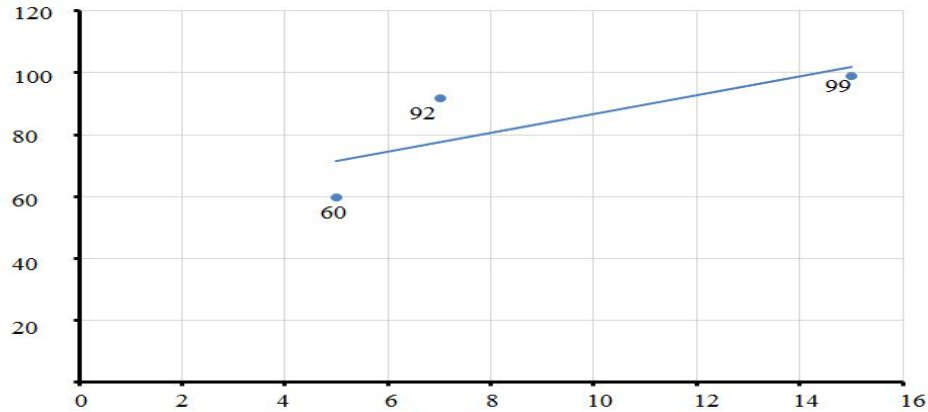


Рисунок 5 – Відношення вмісту смоли бурого вугілля після термодеструкції у битумі до площі покриття поверхні бітумом. Розрахований коефіцієнт кореляції Пірсона дорівнює 0.7697

Був проведений експеримент по визначенню крайового кута змочування бітума зі смолою бурого вугілля після термодеструкції та з відомими адгезійними добавками на чорному граніті, червоному граніті та склі у кількості 0,75 % мас. до маси наважки бітуму (рис. 6) [10].

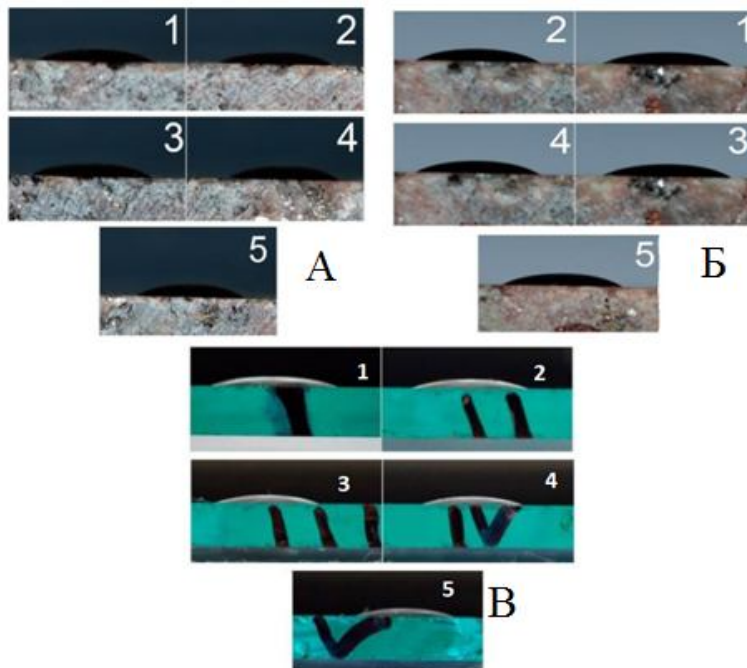


Рисунок 6 – Краплі досліджуваних зразків: А - на червоному шліфованому граніті №1; Б – на червоному шліфованому граніті №2; В – на склі

Результати визначень крайового кута змочування бітуму з адгезійними добавками на червоному граніті, та склі наведені у таблиці (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати визначень крайового кута змочування

Зразок	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Скло	15° 4'	17° 13'	18° 3'	17° 56'	19° 12'	20° 15'
Червоний граніт №1	25° 55'	25° 15'	26° 33'	29° 18'	26° 12'	26° 22'
Червоний граніт №2	26° 6'	24° 52'	24° 31'	25° 14'	25° 10'	26° 10'

За розрахунками та економічним обґрунтуванням для подальших дослідів був обраний зразок № 2. Надалі дану адгезійну добавку досліджували у концентраціях 3 %, 4 %, 5 %, 6 % від загальної маси бітуму та вимірювався крайовий кут змочування отриманих зразків на червоному граніті та склі: 1 – концентрація смоли бурого вугілля після термодеструкції 6 %, 2 – концентрація смоли бурого вугілля після термодеструкції 5 %, 3 – концентрація смоли бурого вугілля після термодеструкції 4 %, 4 – концентрація смоли бурого вугілля після термодеструкції 3 %, 5 – чистий бітум марки БНД 60/90 (рис. 7).

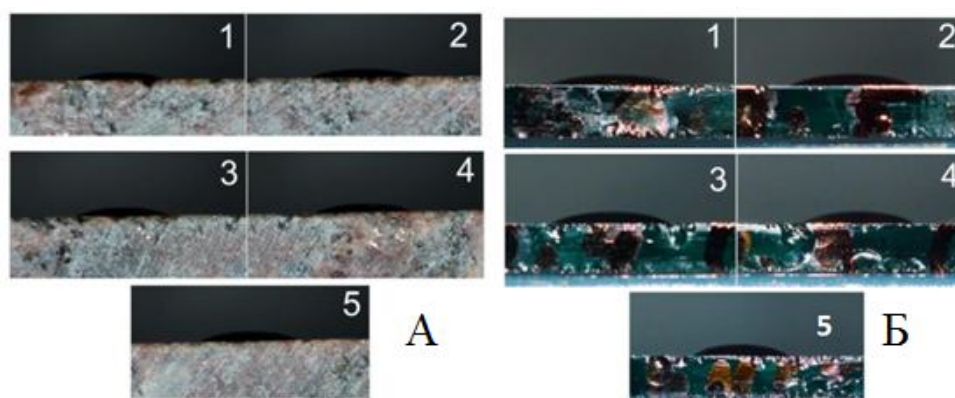


Рисунок 7 – Краплі досліджуваних зразків:
А – на червоному шліфованому граніті; Б – на склі

Результати визначень крайового кута змочування бітуму з адгезійними добавками у різних концентраціях на червоному граніті та склі наведені у таблиці (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати визначень крайового кута змочування

Концентрація	3 %	4 %	5 %	6 %	Бітум чистий
Червоний граніт	19°43'	20°9'	20°18'	19°35'	24°31'
Скло	24°37'	21°47'	20°46'	15°31'	28°37'

Результати випробувань досліджуваних зразків полімер-модифікованих бітумів (ПМБ) при їх модифікації відходами гумовим порошком та гумовою крихтою на предмет температури топлення та термостійкості протягом 2 годин представлені в таблиці 3 [11].

Таблиця 3 – Теплофізичні властивості ПМБ при додаванні смоли бурого вугілля після термодеструкції

Композиція, % мас.	Температура топлення, °С	Термостійкість впродовж 2 годин, °С
1. Нафтовий бітум	50	50
2. Відходи гумової крихти – 20 Смола бурого вугілля після термодеструкції – 5	55	60
3. Відходи гумової крихти – 30 Смола бурого вугілля після термодеструкції – 5	65	80
4. Відходи гумової крихти – 40 Смола бурого вугілля після термодеструкції – 5	75	100
5. Відходи гумового порошку – 20 Смола бурого вугілля після термодеструкції – 5	58	65
6. Відходи гумового порошку – 30 Смола бурого вугілля після термодеструкції – 5	69	85
7. Відходи гумового порошку – 40 Смола бурого вугілля після термодеструкції – 5	78	105

З результатів аналізу даних таблиці 3 видно, що при підвищенні вмісту відходів гумової крихти у досліджених композиціях підвищується температура топлення та термостійкість впродовж 2 годин. Найбільш високі значення термо-фізичних характеристик досліджених ПМБ спостерігаються для зразків №4 та №7.

Далі були проведені дослідження щодо визначення оптимального складу ПМБ при додаванні смоли бурого вугілля після термодеструкції [12]. Оптимальний склад оцінювали за величиною ударної в'язкості (a , кгс/см²) і ступення зшивання (X ,%). Результати досліджень наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Властивості ПМБ з додаванням смоли бурого вугілля після термодеструкції

Композиція, % мас.	a , кгс/см ²	X , %
1. Нафтовий бітум	4	0,22–0,25
2. Відходи гумової крихти – 20 Смола бурого вугілля після термодеструкції – 5	6,5	0,17–0,19
3. Відходи гумової крихти – 30 Смола бурого вугілля після термодеструкції – 5	8,5	0,16–0,18
4. Відходи гумової крихти – 40 Смола бурого вугілля після термодеструкції – 5	10	0,12–0,14
5. Відходи гумового порошку – 20 Смола бурого вугілля після термодеструкції – 5	7,5	0,14–0,17
6. Відходи гумового порошку – 30 Смола бурого вугілля після термодеструкції – 5	10,5	0,12–0,15
7. Відходи гумового порошку – 40 Смола бурого вугілля після термодеструкції – 5	12	0,10–0,12

З таблиці 4 видно, що ПМБ № 4 та № 7 мають високі фізико-механічні властивості. Аналіз результатів експериментів показав, що досліджувані показники якості зразків композицій, до складу яких входять відходи гумового порошку мають підвищений комплекс, як термо-фізичних, так і фізико-механічних характеристик. Це пов'язано, очевидно, з тим, що в результаті термодеструкції гумового порошку процес набухання відбувається швидше, порівняно з гумовою крихтою розміром 2,5–4,5 мм. Однак процес деструкції та диспергування в обох випадках відбувається, природно, не повністю, а в обсязі набряклих гумових частинок знаходяться смоли та поліароматичні компоненти, що впливають на значення як термо-фізичних, так і фізико-механічних характеристик.

Таким чином, встановлено, що оптимальний склад для створення ефективних ПМБ з підвищеним комплексом термо-фізичних і фізико-механічних характеристик – 40 % мас гумового порошку та 5 % мас. смоли бурого вугілля після термодеструкції.

Висновки. Узагальнюючи дослідження напряму непаливного використання похідних бурого вугілля у вигляді рідких продуктів - гудронових смол бурого вугілля після термодеструкції для модифікації бітумних матеріалів варто відмітити помірність одержаних результатів в порівнянні з існуючими напрямками одержання ПМБ. Про модифікації бітумів первинними та вторинними полімерами вдається значно вище покращити їх адгезійні та експлуатаційні характеристик в порівнянні зі смолами бурого вугілля після термодеструкції. Застосування смол бурого вугілля після термодеструкції набагато менш ефективно з приводу покращення еластичності, термостійкості та зниження крихкості бітумних композицій в порівнянні з застосуванням термопластичних та термоеластомерних модифікаторів при одержанні ПМБ.

Література

1. Lebedev V.V. The Rational Use of Lignite Resources. Advances in Environmental Research: Scientific monograph / D. Miroshnichenko, S. Pyshyev, B. Korchak, M. Shved, K. Lebedeva, A. Cherkashina, D.Savchenko, N. Klochko, T. Tykhomyrova, L. Lysenko, J. McDonald, A.R.T. Joyette, D. M. de Souza Abessa, L. Alves Maranhão, L. Buruaem Moreira, R. F. Carelli Fontes, L. Gomes de Oliveira, M. Ueda de Carvalho, A. Julieta Ratzka, M. Palmolina, A. Sudomo, M. Mandira Budi Utomo, L. Augusta Geraldine Pieter, A. Wresta, A. A. Dwi Rahayu, M. Ihos, R. A. Armstrong, E. G. Kolomytz, Y. J. Choi, K. Seo, K. S. Lee. – New York, USA: “ Nova Science Publishers”, 2023. – V. 97. – 247 p. – P. 5–33. <https://novapublishers.com/shop/advances-in-environmental-research-volume-97/>.
2. Lavrova I.O., Demidov I.M., Cherkashina G.M., Lebedev V.V., Zabiyaка N.A. Comparative analysis of the impact of synthetic additives and phosphatide concentrate on the adhesive properties of road petroleum bitumen // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. – 2023. – №1. – P. 18–25.
3. Cherkashina A., Lavrova I., Lebedev V. Development of a bitumen-polymer composition, resistant to atmospheric influences, based on petroleum bitumen and their properties study // *Materials Science Forum*. – 2021. – №1038. – P. 352–358.
4. Cherkashina A., Lavrova I., Lebedev V., Tykhomyrova T. Design and Research of Bituminous Compositions Modified by Rubber Brittle Waste // *Materials Science Forum*. – 2022. – №1066. – P. 183–188.
5. Abdullin A.I., Emelyanycheva E.A. A study of properties of road Petroleum bitumen modified with polymer additives // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. – 2018. – Vol. 53(3). – P. 422–429.

6. Al-Rabiah A.A., Abdelaziz O.Y., Montero E.M., Aazam M.S. Effect of styrenebutadienestyrene copolymer modification on properties of Saudi bitumen // *Pet. Sci. Technol.* – 2016. – Vol. 34. – P. 321–327.
7. Kumar Y., Singh S.K., Oberoi D., Kumar P., Mohanty P., Ravindranath S.S. Effect of molecular structure and concentration of styrene-butadiene polymer on upper service temperature rheological properties of modified binders // *Constr. Build. Mater.* – 2020. – Vol. 249. – P. 118790.
8. Xingyu Y., Huimin C., Houzhi W., Chenguang S., Jun Y. The feasibility of using epoxy asphalt to recycle a mixture containing 100% reclaimed asphalt pavement (RAP) // *Construction and Building Materials.* – 2022. – №319. – P. 126122.
9. Pyshyev S.V., Grytsenko Y.B., Nykulyshyn I.Y., Gnativ Z.Y. The production of indene-koumarone resins for modification of oil road-bitumen // *Journal of Coal Chemistry.* – 2014. – Vol. 5–6. – P. 41–48.
10. Pyshyev S., Grytsenko Y., Bilushchak H., Pyshyeva R., Danyliv N. Production of Indene-coumarone Resins as Bitumen Modifiers // *Petroleum and Coal.* – 2015. – Vol. 4. – P. 303–314.
11. Pyshyev S., Gunka V, Grytsenko Y, Bratychak M. Polymer modified bitumen: Review. *Chemistry and Chemical Technology* (2016)10 (4s):631–636.
12. Pyshyev S., Gunka V., Grytsenko Y., Shved M., Kochubei V. Oil and gas processing products to obtain polymers modified bitumen // *International Journal of Pavement Research and Technology.* – 2017. – Vol. 10 (4). – P. 289–296.

Bibliography (transliterated)

1. Lebedev V.V. The Rational Use of Lignite Resources. *Advances in Environmental Research: Scientific monograph / D. Miroshnichenko, S. Pyshyev, B. Korchak, M. Shved, K. Lebedeva, A. Cherkashina, D.Savchenko, N. Klochko, T. Tykhomyrova, L. Lysenko, J. Mc Donald, A.R.T. Joyette, D. M. de Souza Abessa, L. Alves Maranhão, L. Buruaem Moreira, R. F. Carelli Fontes, L. Gomes de Oliveira, M. Ueda de Carvalho, A. Julieta Ratzka, M. Palmolina, A. Sudomo, M. Mandira Budi Utomo, L. Augusta Geraldine Pieter, A. Wresta, A. A. Dwi Rahayu, M. Ihos, R. A Armstrong, E. G. Kolomytz, Y. J. Choi, K. Seo, K. S. Lee.* – New York, USA: “Nova Science Publishers”, 2023. – V. 97. – 247 p. – P. 5–33. <https://novapublishers.com/shop/advances-in-environmental-research-volume-97/>.
2. Lavrova I.O., Demidov I.M., Cherkashina G.M., Lebedev V.V., Zabiyyaka N.A. Comparative analysis of the impact of synthetic additives and phosphatide concentrate on the adhesive properties of road petroleum bitumen // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii.* – 2023. – №1. – P. 18–25.
3. Cherkashina A., Lavrova I., Lebedev V. Development of a bitumen-polymer composition, resistant to atmospheric influences, based on petroleum bitumen and their properties study // *Materials Science Forum.* – 2021. – №1038. – P. 352–358.
4. Cherkashina A., Lavrova I., Lebedev V., Tykhomyrova T. Design and Research of Bituminous Compositions Modified by Rubber Brittle Waste // *Materials Science Forum.* – 2022. – №1066. – P. 183–188.
5. Abdullin A.I., Emelyanycheva E.A. A study of properties of road Petroleum bitumen modified with polymer additives // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy.* – 2018. – Vol. 53(3). – P. 422–429.

6. Al-Rabiah A.A., Abdelaziz O.Y., Montero E.M., Aazam M.S. Effect of styrenebutadienestyrene copolymer modification on properties of Saudi bitumen // *Pet. Sci. Technol.* – 2016. – Vol. 34. – P. 321–327.

7. Kumar Y., Singh S.K., Oberoi D., Kumar P., Mohanty P., Ravindranath S.S. Effect of molecular structure and concentration of styrene-butadiene polymer on upper service temperature rheological properties of modified binders // *Constr. Build. Mater.* – 2020. – Vol. 249. – P. 118790.

8. Xingyu Y., Huimin C., Houzhi W., Chenguang S., Jun Y. The feasibility of using epoxy asphalt to recycle a mixture containing 100% reclaimed asphalt pavement (RAP) // *Construction and Building Materials.* – 2022. – №319. – P. 126122.

9. Pyshyev S.V., Grytsenko Y.B., Nykulyshyn I.Y., Gnativ Z.Y. The production of indene-koumarone resins for modification of oil road-bitumen // *Journal of Coal Chemistry.* – 2014. – Vol. 5–6. – P. 41–48.

10. Pyshyev S., Grytsenko Y., Bilushchak H., Pyshyeva R., Danyliv N. Production of Indene-coumarone Resins as Bitumen Modifiers // *Petroleum and Coal.* – 2015. – Vol. 4. – P. 303–314.

11. Pyshyev S., Gunka V, Grytsenko Y, Bratychak M. Polymer modified bitumen: Review. *Chemistry and Chemical Technology* (2016)10 (4s):631–636.

12. Pyshyev S., Gunka V., Grytsenko Y., Shved M., Kochubei V. Oil and gas processing products to obtain polymers modified bitumen // *International Journal of Pavement Research and Technology.* – 2017. – Vol. 10 (4). – P. 289–296.

УДК 678

Лебедєв В.В., Мірошніченко Д.В., Лаврова І.О., Черкашина Г.М.

ВИВЧЕННЯ НЕПАЛИВНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ПОХІДНИХ БУРОГО ВУГІЛЛЯ ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ БІТУМІВ

У статті показані дослідження з вивчення непаливного застосування похідних бурого вугілля для модифікації бітумів. В роботі використовували бітум нафтовий дорожній марки БНД 60/90 з температурою спалаху у відкритому тиглі 260 °С, температурою розм'якшення (за методом кільця і кулі) 48 °С, смолу після буровугільної термодеструкції та відходи гумової крихти та порошку. Виходячи з того, що найбільш актуальні технології непаливного використання бурого вугілля стосується напрямів, спрямованих на одержання воску, гуманних препаратів, адсорбентів, одержання цінних похідних у вигляді смол, ГР та ін., було проведено оцінка саме непаливного застосування похідних бурого вугілля для модифікації бітумів. Аналіз результатів експериментів показав, що досліджувані показники якості зразків композицій, до складу яких входять відходи гумового порошку мають підвищений комплекс, як термо-фізичних, так і фізико-механічних характеристик. Це пов'язано, очевидно, з тим, що в результаті термодеструкції гумового порошку процес набухання відбувається швидше, порівняно з гумовою крихтою розміром 2,5–4,5 мм. Однак процес деструкції та диспергування в обох випадках відбувається, природно, не повністю, а в обсязі набряклих гумових частинок знаходяться смоли та поліароматичні компоненти, що впливають на значення як термо-фізичних, так і фізико-механічних характеристик. Таким чином, встановлено, що оп-

тимальній склад для створення ефективних полімер-модифікованих бітумів з підвищеним комплексом термо-фізичних і фізико-механічних характеристик – 40 % мас гумового порошку та 5 % мас. смоли бурого вугілля після термодеструкції. Показано, що результати лабораторних досліджень довели перспективність використання смоли бурого вугілля після термодеструкції для модифікації дорожніх бітумів. Узагальнюючи дослідження напряму непаливного використання похідних бурого вугілля у вигляді рідких продуктів - гудронових смол бурого вугілля після термодеструкції для модифікації бітумних матеріалів варто відмітити помірність одержаних результатів в порівнянні з існуючими напрямками одержання полімер-модифікованих бітумів. Про модифікації бітумів первинними та вторинними полімерами вдається значно вище покращити їх адгезійні та експлуатаційні характеристик в порівнянні зі смолами бурого вугілля після термодеструкції. Застосування смол бурого вугілля після термодеструкції набагато менш ефективно з приводу покращення еластичності, термостійкості та зниження крихкості бітумних композицій в порівнянні з застосуванням термопластичних та термоеластомерних модифікаторів при одержанні полімер-модифікованих бітумів.

Ключові слова: бітуми, смола бурого вугілля, модифікація, властивості, адгезія, непаливне використання.

Лебедев В.В., Мирошніченко Д.В., Лаврова І.О., Черкашина А.Н.

ИЗУЧЕНИЕ НЕТОПЛИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДНЫХ БУРОГО УГЛЯ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ БИТУМОВ

В статье показаны исследования по изучению нетопливного применения производных бурых углей для модификации битумов. В работе использовали битум нефтяной дорожной марки БНД 60/90 с температурой вспышки в открытом тигле 260 °С, температурой размягчения (по методу кольца и шара) 48 °С, смолу после буроугольной термодеструкции и отходы резиновой. и порошка. Исходя из того, что наиболее актуальные технологии нетопливного использования бурого угля касается направлений, направленных на получение воска, гуманных препаратов, адсорбентов, получение ценных производных в виде смол, ГР и др., была проведена оценка именно нетопливного применения производных бурых углей для модификации битумов. Анализ результатов экспериментов показал, что исследуемые показатели качества образцов композиций, в состав которых входят отходы резинового порошка имеют повышенный комплекс, как термофизических, так и физико-механических характеристик. Это связано, очевидно, с тем, что в результате термо-деструкции резинового порошка процесс набухания происходит быстрее, по сравнению с резиновой крошкой размером 2,5–4,5 мм. Однако процесс деструкции и диспергирования в обоих случаях происходит, естественно, не полностью, а в объеме отечных резиновых частиц находятся смолы и полиароматические компоненты, влияющие на значение как термофизических, так и физико-механических характеристик. Таким образом, установлено, что оптимальный состав для создания эффективных полимер-модифицированных битумов с повышенным комплексом термофизических и физико-механических характеристик – 40 % масс резинового порошка и 5 % масс. смолы бурых углей после термодеструкции. Показано, что результаты лабораторных исследований доказали перспективность использования смолы бурого угля после термодеструкции для модификации дорожных битумов. Обобщая исследования направления нетопливного использования производных бурых углей в виде жидких продуктов – гудроновых смол бурого угля после термодеструкции для модификации

битумных материалов следует отметить умеренность полученных результатов по сравнению с существующими направлениями получения полимер-модифицированных битумов. О модификации битумов первичными и вторичными полимерами удастся значительно выше улучшить их адгезии и эксплуатационные характеристики по сравнению со смолами бурого угля после термодеструкции. Применение смол бурого угля после термодеструкции гораздо менее эффективно по поводу улучшения эластичности, термостойкости и снижения хрупкости битумных композиций по сравнению с применением термопластичных и термоэластомерных модификаторов при получении полимер-модифицированных битумов.

Ключевые слова: битумы, смола бурых углей, модификация, свойства, адгезия, нетопливное использование.

Lebedev V.V., Miroshnichenko D.V., Lavrova I.O. Cherkashina A.N.

STUDY OF NON-FUEL APPLICATION OF BROWN COAL DERIVATIVES FOR BITUME MODIFICATION

The article shows research into the non-fuel use of brown coal derivatives for the modification of bitumen. The work used petroleum road grade bitumen BND 60/90 with a flash point in an open crucible of 260 °C, a softening temperature (using the ring and ball method) of 48 °C, resin after lignite thermal destruction and rubber waste. and powder. Based on the fact that the most relevant technologies for the non-fuel use of brown coal concern areas aimed at obtaining wax, humane preparations, adsorbents, obtaining valuable derivatives in the form of resins, GR, etc., an assessment was made of the non-fuel use of brown coal derivatives for modification bitumen. Analysis of the experimental results showed that the studied quality indicators of the composition samples, which include waste rubber powder, have an increased complex of both thermophysical and physical-mechanical characteristics. This is obviously due to the fact that, as a result of thermal destruction of rubber powder, the swelling process occurs faster compared to crumb rubber with a size of 2.5–4.5 mm. However, the process of destruction and dispersion in both cases does not occur completely, of course, and the volume of edematous rubber particles contains resins and polyaromatic components that affect the value of both thermophysical and physical-mechanical characteristics. Thus, it has been established that the optimal composition for creating effective polymer-modified bitumens with an increased complex of thermo-physical and physical-mechanical characteristics is 40 % by weight of rubber powder and 5 % by weight. brown coal resins after thermal destruction. It is shown that the results of laboratory studies have proven the prospects of using brown coal tar after thermal destruction for the modification of road bitumen. Summarizing research into the direction of non-fuel use of brown coal derivatives in the form of liquid products – tar resins of brown coal after thermal destruction for the modification of bitumen materials, it should be noted that the results obtained are moderate in comparison with existing directions for the production of polymer-modified bitumens. Modification of bitumen with primary and secondary polymers makes it possible to significantly improve their adhesion and performance characteristics compared to brown coal resins after thermal destruction. The use of brown coal resins after thermal destruction is much less effective in improving the elasticity, heat resistance and reducing the fragility of bitumen compositions compared to the use of thermoplastic and thermoelastomer modifiers in the production of polymer-modified bitumens.

Keywords: bitumen, brown coal tar, modification, properties, adhesion, non-fuel use.

Шутинський О.Г., к.техн. н., доцент, Снурніков Д.В., аспірант

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ КОНТРОЛЕРІВ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: автоматична система, контролер, контур регулювання, надійність.

Для оцінки поведінки автоматичної системи в експлуатаційних умовах використовується поняття надійності системи. При експлуатації автоматична система може піддаватися впливу: механічних навантажень (вібрацій, ударів, постійного прискорення); електричних навантажень (напруги, електричного струму, потужності); навколишніх умов (температура, вологість, тиск) [1].

Вплив зазначених факторів проявляється у вигляді відхилень параметрів системи від номінальних (розрахункових) значень. Ці відхилення можуть бути настільки значними, що система стає непридатною до використання, так як виникнення великих відхилень параметрів від розрахункових значень при експлуатації системи призводить до аварії.

Коли система перестає задовольняти пропонованим до неї вимогам, систему вважають відмовленою [2]. Отже, надійність є однією з характеристик якості системи, тому вона, як і інші характеристики системи (точність, швидкодію), повинна оцінюватися кількісно на основі аналізу технічних параметрів системи в експлуатаційних умовах.

Так як на окремі технічні параметри системи впливають різні фактори (схемні, конструктивні, виробничі та експлуатаційні) і врахувати їх аналітично при детермінованому підході до аналізу системи неможливо, то кількісна оцінка надійності системи можлива тільки на основі теорії ймовірностей або її спеціальних розділів (теорії випадкових процесів і математичної статистики) [3].

Таким чином, надійність являє собою важливу проблему сучасної техніки на стадії експлуатації апаратури, і на стадії її проектування. Особливість будь-якої автоматичної системи полягає в тому, що при відмові обмеженої кількості її елементів настає відмова всієї системи [4]. Це може привести до тяжких наслідків, бо сучасні системи вирішують важливі задачі, їх апаратура відрізняється великою вартістю.

Розрахувати надійність контуру регулювання – це означає визначити кількісні характеристики надійності контуру на основі відомих характеристик його складових елементів [5].

Була проведена перевірка впливу контролера на надійність контуру регулювання. При розрахунку контурів регулювання, які складаються з кількох елементів, ймовірність безвідмовної роботи контуру (P_c) визначається як добуток ймовірностей безвідмовної роботи окремих елементів [6].

$$P_c = P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

де N – кількість елементів контуру; P_i – ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента.

Однак на практиці частіше використовується середня інтенсивність відмов λ_i для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи, оскільки цей параметр можна знайти в паспортах приладів [7].

$$\lambda_i = \frac{1}{T_i},$$

де T_i – середній час безвідмовної роботи.

Тоді ймовірність безвідмовної роботи контуру регулювання можна обчислити за допомогою наступної формули [8]:

$$P_c = \prod_{i=1}^N P_i = \prod_{i=1}^N e^{-\lambda_i t}, \quad (2)$$

де t – час роботи елемента контуру; λ_i – середня інтенсивність відмови для i -го елемента; N – кількість елементів у контурі.

Під час розрахунку ймовірності безвідмовної роботи контуру регулювання необхідно враховувати, що середня тривалість роботи контуру протягом року становить 300 днів, а контур працює цілодобово ($300 \cdot 24 = 7200$ годин на рік) [9].

Було розглянуто контур регулювання температури і порівняємо ймовірність безвідмовної роботи контуру, розробленого з використанням локальних засобів та контуру, що використовує контролер ПЛК Eaton XC-303, протягом 1 року [10–12].

1а – термопара Eaton E58SC-12;

1б – прилад Диск-250;

1в – електронний регулятор Р-17;

КМ20 – пускач ПБР-2М;

1г – виконавчий механізм МЕО-250/10-0,25-92.

$$P_{1a}(t) = e^{-3,3 \cdot 10^{-6} \cdot 7200} = 0,977;$$

$$P_{1б}(t) = e^{-7,2 \cdot 10^{-7} \cdot 7200} = 0,951$$

$$P_{1в}(t) = e^{-3,51 \cdot 10^{-6} \cdot 7200} = 0,972$$

$$P_{КМ20}(t) = e^{-7,5 \cdot 10^{-6} \cdot 7200} = 0,947$$

$$P_{1г}(t) = e^{-4,6 \cdot 10^{-6} \cdot 7200} = 0,967$$

$$P_c(t) = P_{1a}(t) \cdot P_{1б}(t) \cdot P_{1в}(t) \cdot P_{КМ20}(t) \cdot P_{1г}(t);$$

$$P_c(t) = 0,827.$$

(3)

1а – термопара Eaton E58SC-12;

2в – контролер ПЛК Eaton XC-303;

КМ20 – магнітний пускач ПБР-2М;

1б – виконавчий механізм МЕО-250/10-0,25-92.

$$P_{1a}(t) = e^{-3,3 \cdot 10^{-6} \cdot 7200} = 0,977;$$

$$P_{1б}(t) = e^{-9,8 \cdot 10^{-7} \cdot 7200} = 0,993;$$

$$P_{KM20}(t) = e^{-7,5 \cdot 10^{-6} \cdot 7200} = 0,947;$$

$$P_{16}(t) = e^{-4,6 \cdot 10^{-6} \cdot 7200} = 0,967.$$

Значення ймовірності безвідмовної роботи контуру, розробленого з використанням локальних засобів і контролеру ПЛК Eaton XC-303, розраховане за формулою (3) і має наступне значення:

$$P_C(t) = P_{1a}(t) \cdot P_{16}(t) \cdot P_{KM20}(t) \cdot P_{16}(t);$$

$$P_C^H(t) = 0,977 \cdot 0,993 \cdot 0,947 \cdot 0,967 = 0,889. \quad (4)$$

Порівняємо обчислені значення ймовірностей. Приймаючи ймовірність безвідмовної роботи контуру, розробленого з використанням локальних засобів, на рівень 100% протягом 1 року, визначимо ефективність впровадження контролера ПЛК Eaton XC-303.

$$\frac{0,889 \cdot 100\%}{0,827} - 100\% = 7,49\%.$$

Висновок. Використання контролера ПЛК Eaton XC-303 збільшує надійність контуру регулювання на 7,49 %. З розрахунку видно, що застосування контролера підвищує надійність, тому використання контролерів в системах автоматизації доцільно.

Література

1. Залужний А.М. Теорія надійності пристроїв та систем управління : навч. посіб. Житомир : ЖІТІ, 2002. 320 с.
2. Заміховський Л.М., Калявін В.П. Основи теорії надійності і технічної діагностики систем : навч. посіб. Івано-Франківськ: Полум'я, 2004. 360 с.
3. Заміховський Л.М. Діагностування комп'ютеризованих систем управління : конспект лекцій. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2019. 125 с.
4. Заміховський Л.М., Зікратий С.В., Штаєр Л.О. Основи теорії надійності і технічної діагностики систем : практикум. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. 192 с.
5. Міляєв Ю.П., Нечипоренко О.М. Основи надійності технічних систем : навч. посіб. Київ, 2008. С. 242–245.
6. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Нормування показників надійності технічних засобів : навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2010. 129 с.
7. Реньов В.О., Шутинський О.Г. Методичні вказівки до виконання практичних завдань з дисципліни "Надійність і діагностування систем керування". Розділ 1 "Аналітичні методи оцінки показників надійності автоматичних систем та їх елементів" для студентів спеціальності "Автоматизоване управління технологічними процесами". Харків: ХТУБА, 2010. 32 с.
8. Основи теорії надійності систем управління і автоматики : навч. посіб. Вінниця: ВДТУ, 2002. 65 с.

9. Промислові засоби автоматизації. Ч. 1 : навч. посіб. / А.К. Бабіченко та ін. Харків: НТУ "ХПІ", 2001. 470 с.

10. Промислові засоби автоматизації. Ч. 2 : навч. посіб. / А.К. Бабіченко та ін. Харків: НТУ "ХПІ", 2003. 658 с.

11. Мікропроцесорні засоби автоматизації в автоматизованих системах керування технологічними процесами : підручник / А.К. Бабіченко та ін. Харків: ТОВ "Водний спектр Джи-Ен-Пі", 2016. 440 с.

12. Реньов В.О., Корсун В.С., Валентинов В.В., Кундо Ю.А., Шутинський О.Г. Методичні вказівки до виконання практичних завдань з дисципліни "Надійність і діагностування систем керування". Розділ 11 "Методи експериментального оцінювання законів і показників надійності автоматичних систем та їх елементів" для студентів спеціальності "Автоматизоване та комп'ютерно-інтегровані технології". Харків: ХНУБА, 2012. 24 с.

Bibliography (transliterated)

1. Zaluzhnyi A.M. Teoriia nadiinosti prystroiv ta system upravlinnia : navch. posib. Zhytomyr : ZhITI, 2002. 320 p.

2. Zamikhovskiy L.M., Kaliavin V.P. Osnovy teorii nadiinosti i tekhnichnoi diahnostryky system : navch. posib. Ivano-Frankivsk: Polum'ia, 2004. 360 p.

3. Zamikhovskiy L.M. Diahnostuvannia kompiuteryzovanykh system upravlinnia : konspekt lektsii. Ivano-Frankivsk : IFNTUNH, 2019. 125 p.

4. Zamikhovskiy L.M., Zikratiy S.V., Shtaiyer L.O. Osnovy teorii nadiinosti i tekhnichnoi diahnostryky system : praktykum. Ivano-Frankivsk: IFNTUNH, 2014. 192 p.

5. Miliaiev Yu.P., Nechypenko O.M. Osnovy nadiinosti tekhnichnykh system : navch. posib. Kyiv, 2008. P. 242–245.

6. Vasilevskiy O.M., Podzharenko V.O. Normuvannia pokaznykiv nadiinosti tekhnichnykh zasobiv : navch. posib. Vinnytsia: VNTU, 2010. 129 p.

7. Renov V.O., Shutynskiy O.H. Metodichni vказivky do vykonannia praktychnykh zavdan z dystsypliny "Nadiinist i diahnostuvannia system keruvannia". Rozdil 1 "Analitichni metody otsinky pokaznykiv nadiinosti avtomatychnykh system ta yikh elementiv" dlia studentiv spetsialnosti "Avtomatyzovane upravlinnia tekhnolohichnymy protsesamy". Kharkiv: KhTUBA, 2010. 32 p.

8. Osnovy teorii nadiinosti system upravlinnia i avtomatyky : navch. posib. Vinnytsia: VDTU, 2002. 65 p.

9. Promyslovi zasoby avtomatyzatsii. Ch. 1 : navch. posib. / A.K. Babichenko ta in. Kharkiv: NTU "KhPI", 2001. 470 p.

10. Promyslovi zasoby avtomatyzatsii. Ch. 2 : navch. posib. / A.K. Babichenko ta in. Kharkiv: NTU "KhPI", 2003. 658 p.

11. Mikroprotsesorni zasoby avtomatyzatsii v avtomatyzovanykh systemakh keruvannia tekhnolohichnymy protsesamy : pidruchnyk / A.K. Babichenko ta in. Kharkiv: TOV "Vodnyi spektr Dzhi-En-Pi", 2016. 440 p.

12. Renov V.O., Korsun B.C., Valentynov V.V., Kundo Yu.A., Shutynskiy O.H. Metodichni vказivky do vykonannia praktychnykh zavdan z dystsypliny "Nadiinist i diahnostuvannia system keruvannia". Rozdil 11 "Metody eksperymentalnoho otsiniuvannia zakoniv i pokaznykiv nadiinosti avtomatychnykh system ta yikh elementiv" dlia studentiv

spetsialnosti "Avtomatyзовane ta komp'uterno- intehrovani tekhnolohii". Kharkiv: KhNUBA, 2012. 24 p.

УДК 621.396

Шутинський О.Г., к.техн.н., доцент, Снурніков Д.В., аспірант

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ КОНТРОЛЕРІВ

Для оцінки поведінки автоматичної системи в експлуатаційних умовах використовується поняття надійності системи. При експлуатації автоматична система може піддаватися впливу: механічних навантажень (вібрацій, ударів, постійного прискорення); електричних навантажень (напруги, електричного струму, потужності); навколишніх умов (температура, вологість, тиск).

Вплив зазначених факторів проявляється у вигляді відхилень параметрів системи від номінальних (розрахункових) значень. Ці відхилення можуть бути настільки значними, що система стає непридатною до використання, так як виникнення великих відхилень параметрів від розрахункових значень при експлуатації системи призводить до аварії.

Коли система перестає задовольняти пропонованим до неї вимогам, систему вважають відмовленою. Отже, надійність є однією з характеристик якості системи, тому вона, як і інші характеристики системи (точність, швидкодію), повинна оцінюватися кількісно на основі аналізу технічних параметрів системи в експлуатаційних умовах.

Так як на окремі технічні параметри системи впливають різні фактори (схемні, конструктивні, виробничі та експлуатаційні) і врахувати їх аналітично при детермінованому підході до аналізу системи неможливо, то кількісна оцінка надійності системи можлива тільки на основі теорії ймовірностей або її спеціальних розділів (теорії випадкових процесів і математичної статистики).

Таким чином, надійність являє собою важливу проблему сучасної техніки на стадії експлуатації апаратури, і на стадії її проектування. Особливість будь-якої автоматичної системи полягає в тому, що при відмові обмеженої кількості її елементів настає відмова всієї системи. Це може привести до тяжких наслідків, бо сучасні системи вирішують важливі задачі, їх апаратура відрізняється великою вартістю.

Розрахувати надійність контуру регулювання – це означає визначити кількісні характеристики надійності контуру на основі відомих характеристик його складових елементів.

Була проведена перевірка впливу контролера на надійність контуру регулювання. При розрахунку контурів регулювання, які складаються з кількох елементів, ймовірність безвідмовної роботи контуру (P_c) визначається як добуток ймовірностей безвідмовної роботи окремих елементів.

Ключові слова: автоматична система, контролер, контур регулювання, надійність.

Шутинский А.Г., к.техн.н., доцент, Снурников Д.В., аспирант

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНТРОЛЛЕРОВ

Для оценки поведения автоматической системы в условиях эксплуатации используется понятие надежности системы. В процессе эксплуатации автоматическая система может подвергаться: механическим нагрузкам (вибрации, удары, постоянное ускорение); электрическим нагрузкам (напряжение, электрический ток, мощность); условиям окружающей среды (температура, влажность, давление).

Влияние этих факторов проявляется в виде отклонений параметров системы от номинальных (расчетных) значений. Эти отклонения могут быть настолько значительными, что система приходит в негодность, так как возникновение больших отклонений параметров от расчетных значений в процессе эксплуатации системы приводит к аварии.

Когда система перестает соответствовать предъявляемым к ней требованиям, система считается нерабочей. Поэтому надежность является одной из характеристик качества системы, поэтому, как и другие характеристики системы (точность, скорость), должны быть количественно оценены на основе анализа технических параметров системы в условиях эксплуатации.

Поскольку на отдельные технические параметры системы влияют различные факторы (схематические, конструктивные, производственные и эксплуатационные) и их невозможно учесть аналитически при детерминированном подходе к анализу системы, количественная оценка надежности системы возможна только на основе теории вероятностей или ее специальных разделов (теории случайных процессов и математической статистики).

Таким образом, надежность является важной проблемой современной техники как на этапе эксплуатации оборудования, так и на этапе его проектирования. Особенность любой автоматической системы заключается в том, что при выходе из строя ограниченного числа ее элементов выходит из строя вся система. Это может привести к серьезным последствиям, ведь современные системы решают важные задачи, их оборудование стоит дорого.

Расчитать надежность контура управления – означает определить количественные характеристики надежности контура на основе известных характеристик составляющих его элементов.

Проверено влияние контроллера на надежность контура управления. При расчете цепей управления, состоящих из нескольких элементов, вероятность безотказной работы контура (P_c) определяется как произведение вероятностей безотказной работы отдельных элементов.

Ключевые слова: автоматическая система, контроллер, контур регулирования, надежность.

Shutinsky O.G., Snurnikov D.V.

INCREASING THE RELIABILITY OF AUTOMATIC SYSTEMS WHEN USING CONTROLLERS

In order to evaluate the behavior of the automatic system, the understanding of the reliability of the system is established in the operational minds. In the case of operation, the system of automatic transmission can be applied to: mechanical ventilation (vibraciy, strike, post-mortem proradiance); electric navantezhen (naprugi, electric struma, push); navkolishnih umov (temperature, vologist, vise).

The inclusion of significant factors is manifested in the visual parameters of the system of nominal (developmental) values. Ci vidhilenya can be the buti nastiliki znasilnym, scho sistema staje neadtistannyj do vikoristannya, so as the vinikennya of the great vidhileni of the parameters of the system of development can be brought to an accident.

If the system ceases to be satisfied with the provisions of the system, the system is to be brought into view. On the basis of the analysis of the technical parameters of the system in the experimental minds, it is necessary to assess the quality of the system on the basis of the analysis of the technical parameters of the system in the experimental minds.

Thus, since it is impossible to integrate the technical parameters of the system (schematic, constructive, production and experiment) and the analysis of the system on the basis of the theory of methods and special distributions (theories of human processes and mathematical statistics).

In this way, reliability is an important problem of modern technology at the stage of infrastructure operation, and at the stage of design. The peculiarity of the automatic system is that in the case of the vidmovi obdemarcated kilkosti and the elements of the vidmov of all systems. It is possible to lead to grave problems, because the system is responsible for the implementation of important tasks, and the infrastructure is to be seen by the great war

The development of the regulatory contour is the meaning of the value of the characteristics of the contour on the basis of the characteristics of the warehouse elements.

The controller was redirected to the control circuit. In the process of developing the contours of regulation, which are stored with the quality of the elements, the work-free circuit (P_c) is vided as an additional work-free structure.

Keywords: automatic system, controller, control loop, reliability.

Белих І.А., к.біол.н., доцент, Самойленко С.І., к.техн.н., доцент, Близнюк О.М., д.техн.н., професор, Масалітіна Н.Ю., к.техн.н., доцент, Белінська А.П., к.техн.н., доцент, Варанкіна О.О., к.техн.н., доцент, Чечуй О.Ф., к.біол.н., доцент, Звягінцева О.В. к.біол.н., доцент

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЛІФЕРАТИВНОЇ АКТИВНОСТІ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В БІОТЕХНОЛОГІЇ ДРІЖДЖІВ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ЇЇ ВИЗНАЧЕННЯ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: бродіння, дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, життєздатність клітин, нефелометрія, проліферативна активність, технологічний процес, ферментаційний процес, чиста культура мікроорганізмів.

Вступ

Органолептичні та фізико-хімічні показники таких продуктів, як вино, спирт, пиво, квас, хлібопекарські дріжджі, а також ефективність технологічних операцій визначаються не тільки якістю вихідної сировини, а також інтенсивністю обмінних процесів дріжджової культури. Фізіолого-біохімічний стан дріжджів та здатність їх адаптації до умов конкретного середовища суттєво впливають на швидкість та глибину споживання сухих речовин середовища, мікробіологічну та колоїдну стабільність продукту, утворення як основних продуктів спиртового бродіння, так і вторинних та побічних компонентів, формують ароматичний та смаковий профіль готового напою [1].

Проліферативні процеси, що протікають у дріжджовій клітині, досить легко піддаються регуляції. Тому, знаючи залежність між конкретними умовами навколишнього середовища та тими чи іншими сторонами життєдіяльності дріжджової культури, можна цілеспрямовано змінювати її зростання, розвиток та обмін речовин. Створення та підтримання певних умов культивування дріжджів дозволяє керувати ходом ферментаційного процесу [1].

У процесі виробництва, залежно від прийнятої технології розведення чистої культури, здійснення бродіння сусла, знімання, зберігання та підготовки до наступного циклу ферментації дріжджі піддаються різним видам несприятливих впливів. Виділяють стресові фактори, що визначаються складом середовища (концентрацією сухих речовин, вмістом кисню, спирту, вуглекислоти, дефіцитом поживних компонентів, наявністю токсичних речовин) [2, 3] та умовами проведення вище перелічених процесів (температурним режимом, осмотичним та гідростатичним тиском, електромагнітним випромінюванням) [2, 3, 4].

Кожен із розглянутих факторів може впливати самостійно, але найчастіше в сукупності з іншими, що посилює проблеми, які існують на підприємстві, пов'язані з життєвою активністю дріжджів. Усі ці фактори вимагають від технологів застосовувати різні способи активації дріжджів для нормального протікання технологічного процесу та отримання готового продукту з відповідними стандарту органолептичними та фізико-хімічними показниками [5].

Для активзації життєдіяльності росту та розвитку дріжджової культури, використовують різні способи і прийоми.

Дослідження існуючих рішень проблеми

У біотехнологічній промисловості виділяють три основні шляхи зміни проліферативних та технологічних властивостей дріжджів: фізичний [4, 5, 6], хімічний [7, 8, 9, 10] та комбінацію фізичних і хімічних факторів [5, 11].

Перша група способів підвищення життєвої активності дріжджів включає види фізичної обробки як одиничними факторами: температурою, випромінюванням (оптичним, ультрафіолетовим, ультразвуковим), електромагнітним полем, електричним струмом (постійним або змінним), гідро- або аероіонізацією, так і комплексним їх впливом: молекулярним киснем та магнітним полем); негативно зарядженими частинками (включаючи кисень в іонній формі) та струмом постійної частоти. Також до фізичних методів активації життєдіяльності дріжджів, крім ряду вищенаведених, віднесено лазерну та механічну обробку [6].

До другої групи включають використання ферментів, антимікробних препаратів, мінеральних речовин (цинку, заліза, міді, селену) [7, 8, 9], вітамінів, спеціальних підживлень для дріжджів, мінеральних добавок (діоксиду кремнію, солей амонію, марганцю, калію, магнію, фосфору, цинку, селену) [7, 8, 9], органічних (кисню, гідролізатів, автолізатів мікробної клітинної біомаси, органічних кислот, різних видів рослинної сировини, продуктів та відходів переробки молока), мінерально-органічних комплексів солей (поєднання неорганічних солей, амінокислот, вітамінів та біомаси мікроорганізмів, суміш інактивованих дріжджів із природними мінералами) [7, 8, 9]. В літературі описано використання цитратів металів як біологічно активних стимуляторів для дріжджових клітин, що дозволяє інтенсифікувати процес зброджування сусла [10].

Доведено доцільність використання для стимуляції проліферативної активності дріжджів та активізації процесу ферментації на прикладі пивного сусла, факторів росту (вітамінів) [1] та активаторів бродіння – екзогенних речовин [10, 11, 12].

Крім цього, виділяють третю групу способів, що є комбінацією в різних поєднаннях фізичних та хімічних [5, 11].

Незважаючи на те, що фізичні методи активації проліферативної активності клітин не передбачають використання хімічних речовин, і це є їх перевагою, вони не знайшли широкого застосування у промисловості, тому що вимагають спеціальної, апаратури, їх складно застосувати щодо великих обсягів виробництва.

Одним із способів, зміни фізіолого-біохімічних та технологічних властивостей дріжджів у практиці пивоварної, спиртової, виноробної, дріжджової промисловості є застосування комерційних препаратів для підживлення субстратів.

Нами був проаналізований міжнародний ринок препаратів, які випускаються для підживлення дріжджів [12]. У табл. 1 наведено склад цих препаратів. Аналізуючи рецептуру препаратів, необхідно звернути увагу на те, що у складі багатьох із них присутні мінеральні речовини у вигляді солей та синтетичні вітаміни.

Поряд з препаратами для підживлення, що випускаються в промислових масштабах, пропонується використання інших, значно дешевших, стимуляторів і активаторів метаболізму дріжджів, і тим самим, прискорення технологічних процесів і підвищення якості готового продукту. Джерелом ростових речовин та біостимуляторів для дріжджів є в більшості випадків сировина рослинного та тваринного походження [1, 10–16]. Як допоміжні речовини, часто використовують відходи або продукти їх переробки різних галузей промисловості: солодової (витяжка із солодових паростків), пивоварної (надлишкові пивні дріжджі та препарати, що одержують з них – гідролізати, автолізати, плазмолізати, ферментолізати, пивна дробина) [14], крохмале-патокової (картопляна добавка) [15], молочної (сироватка) [16], виноробної (шкірка та насіння винограду),

спиртової (гідролізна барда, післяспиртова барда, залишкові дріжджі), продукти та відходи сільського господарства [17]. Розглянуто вплив екстрактів плодів глоду та шишини на процеси бродіння, також встановлено позитивний вплив екстрактів на технологічні властивості дріжджів [18].

Таблиця 1 – Склад препаратів для підживлення дріжджів [12]

Найменування препарату	Виробник	Склад препарату
Алкотен	Murphy & Son LTD, Великобританія	Суміш амінокислот та вітамінів групи В
Допомога для дріжджів		Екстракт автолізованих дріжджів з цинком та міддю
Іст-Віт		Суміш неорганічних речовин, мікроелементів (цинку, марганцю, калію, магнію, йоду), вітамінів (В1, В2, В6, Н), міоінозиту, похідних вітамінів РР та В5, амінокислот
Істлайф екстра		Суміш пептонів, 13 амінокислот, мінералів та 7 вітамінів
Родію Зумесит		Суміш фосфату діамонію та метабісульфіту калію
Сульфат цинку		98,5 % гепегідрату цинка ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)
Екстра Хідер		Суміш неорганічних солей, вітамінів та мікроелементів у поєднанні з пропіленглікольальбінатом
Істекс	I.E.Siebel Son's Company, США	Суміш фосфату діамонію, сульфатів марганцю та цинку
Іноферм	Институт Энології, Франція	Сульфат амонію та тіамін
Тіамін		Вітамін В1
Фермівіт В		Інактивовані дріжджі, целюлоза та інертні оболонки
Істфілд	S.C. Core SA, Румунія	Суміш неорганічних речовин (фосфату діамонію, метабісульфіту калію, сульфатів марганцю та цинку), амінокислот (аланіну, лейцину, серину), дисперганту
Вітамон® Комбі	Ербсле Гайзенхайм АГ, Німеччина	Фосфат діамонію та тіамін
Вітамон® СЕ		Фосфат діамонію, вітамін В1, клітинні стінки дріжджів, целюлоза
Вітамон Ульт-ра		Суміш автолізату дріжджів, фосфату діамонію та тіаміну
ВітаФерм® Ультра Ф3		Дезактивовані дріжджі (джерело амінокислот, пептидів, маннопротеїнів та інших адсорбуючих полімерів, вітамінів, ненасичених жирних кислот та стеролів), фосфат діамонію, вітамін В1
Хай-Віт	Hydralko Hydrocolloide GmbH, Німеччина	Суміш неорганічних речовин (фосфату діамонію, сульфатів марганцю та цинку), вітамінів групи В, амінокислот (аспарагінової, аспартамової, глутамінової) та пептону

Широке застосування знаходять органічні кислоти [1, 20], особливо, бурштинова кислота, яка є природним метаболітом живих організмів, що підвищує енергетичні та антиоксидантні можливості клітини [21].

Зміна складу поживного середовища може проводитися не тільки збагаченням будь-якими добавками безпосередньо перед проведенням ферментації, але й іншими прийомами, причому на більш ранніх стадіях технологічного процесу: частковою або повною заміною основної вихідної сировини на нетрадиційну для даного виробництва (наприклад, використання топінамбуру) [23], обробкою сировини механічним [4, 6] або біохімічним способами [9, 12].

У виробництвах, де одним із основних видів сировини є вода, її обробка з метою пом'якшення, знезараження, вилучення токсичних елементів, також впливає на хімічний склад суслу і надалі – життєву активність дріжджів. Досліджено ефективність застосування електрохімічно активованої води для регідратації сухих спиртових дріжджів виду *Saccharomyces cerevisiae*. Встановлено, що регідратовані в католіті та аноліті дріжджі при подальшому культивуванні мали кращий фізіологічний стан за усіма показниками, зокрема, збільшувалася кількість клітин, які активно розмножувались в експоненціальній фазі [24].

Мета та основні задачі дослідження

Метою роботи була розробка складу комплексного вітамінного препарату та оцінка його впливу на проліферативну активність дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*).

Для вирішення даної мети були поставлені наступні задачі:

- провести постановку експерименту по культивуванню культури дріжджів *S. cerevisiae* та обрати біологічно активні речовини для підвищення проліферативної активності клітин;
- дослідити вплив біологічно активних речовин (комплексний препарат бурштинової та аскорбінової кислот, фолієвої кислот) на проліферативну активність клітин *S. cerevisiae*;
- провести порівняльний аналіз впливу різних концентрацій препаратів бурштинової/аскорбінової та фолієвої кислот на ріст дріжджової культури.

Матеріали та методи досліджень

В роботі застосовувались основні загальноприйняті методи досліджень і культивування клітин, що використовуються для біотехнологічної промисловості, а саме: культивування дріжджів; оцінка життєздатності по колонієутворенню на агаризованих середовищах (чашковий метод Коха); нефелометричний метод для визначення проліферативної активності дріжджів [19].

Об'єктом дослідження були дріжджі *S. cerevisiae*, виробництва ПРАТ «Компанія Ензим», торгова марка «Львівські дріжджі», «Дріжджі швидкодійучі» 006 5 24.02.17.

Дріжджі вирощували у лабораторних біореакторах місткістю 1 дм³ фірми «BIOSTAT® A plus», при температурі 28 °С, протягом 180 хвилин. Відбір проб для аналізу проводили кожні 30 хвилин. Витрата повітря на аерацію становила 0,2 – 0,5 дм³/хв., частота обертання мішалки – 20 об./хв.

Підрахунок дріжджів у культуральній рідині проводили за допомогою камери Горяєва [19].

Як поживне середовище використовували 20 % розчин сахарози.

Як біологічно активні речовини, використовували комплексний препарат бурштинової і аскорбінової кислот та фолієвої кислоти.

Комплексний препарат бурштинової (150 мг) та аскорбінової кислоти (20 мг), виробник ТОВ Фармаком, Україна, м. Харків.

Препарат фолієвої кислоти 1 мг. Виробник ПрАТ «Технолог», Україна, м. Умань.

Початкова концентрація дріжджових клітин становила $5 \cdot 10^6$ КУО/мл.

Зміну кінетики росту клітин дріжджів досліджували оптичними методами за допомогою фотоелектроколориметра КФК-2 [19, 25]. Проліферативну активність культури клітин дріжджів досліджували нефелометричним методом за зміною інтенсивності розсіяного світлового потоку [25].

Статистичну обробку отриманих даних проводили з використанням «Statistica V.6.» програмного забезпечення.

Результати дослідження

Для проведення експерименту з використанням комплексного препарату бурштинової та аскорбінової кислот, готували розведення клітинних культур $5 \cdot 10^6$ КУО/мл.

В першій серії експериментів досліджували зміну проліферативної активності дріжджів з додаванням різної концентрації комплексного препарату бурштинової та аскорбінової кислот відповідно (0,001/0,00015 мг/мл; 0,0015/0,0002 мг/мл; 0,002/0,00025 мг/мл; 0,0025/0,0003 мг/мл; 0,003/0,0004 мг/мл).

На рис. 1 представлені кінетичні криві росту дріжджів *S. cerevisiae* на середовищі з 20 % складом сахарози та додаванні препарату бурштинової та аскорбінової кислот різних концентрацій. Температура культивування 28 °С, час культивування складав 180 хв.

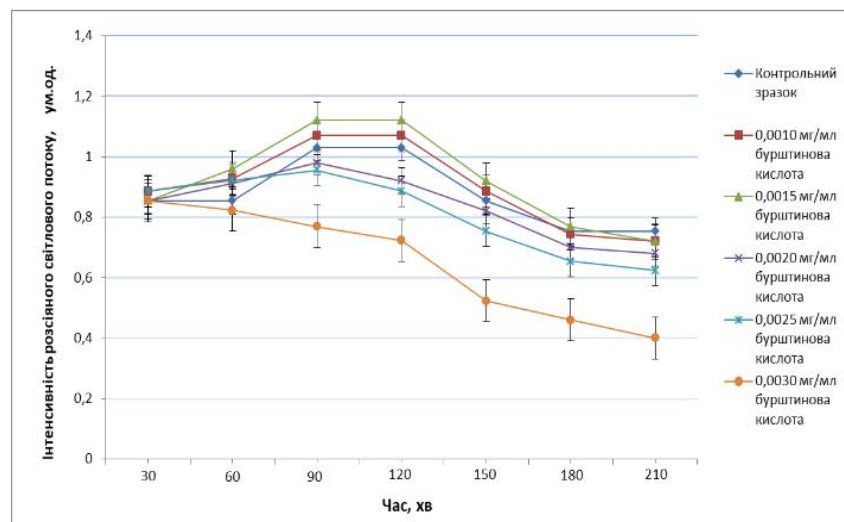


Рисунок 1 – Кінетичні криві росту періодичної культури дріжджів *S. cerevisiae* при додаванні бурштинової кислоти різної концентрації

Кінетичні криві росту, окрім четвертого, п'ятого та шостого зразка, мали S-подібну форму, з добре вираженими лаг-фазою, фазою прискореного росту, експоненціальною фазою, фазою сповільненого росту, стаціонарною фазою та фазою відмирання.

У контрольному зразку дріжджів, без додавання бурштинової кислоти, активація проліферації розпочиналась на 60 хв., процес активного поділу клітин відбувався до 90 хв., далі розпочиналась стаціонарна фаза росту, після чого спостерігалось відмирання клітин [22].

Кінетична крива росту клітин дріжджів другого зразка, в якому концентрація бурштинової та аскорбінової кислот складала 0,0010/0,00015 мг/мл, мала виражену S-подібну форму, що складалася з лаг-фази, фази прискореного росту, фази експоненціального росту, стаціонарної фази та фази відмирання [39]. На відміну від контрольного зразка, у другому зразку поділ клітин розпочався на 30 хв. та продовжувався до 90 хв. культивування культури, далі спостерігалась фаза стаціонарного росту, після 120 хв. розпочалося поступове відмирання клітин. Таким чином, додавання бурштинової кислоти, навіть, в невеликій концентрації активує процес поділу клітин дріжджів [22].

Після додавання 0,0015/0,0002 мг/мл бурштинової/аскорбінової кислот до третього зразка, активація проліферативної активності відбулася на 60 хв. і продовжилася до 90 хв. В цьому зразку була найбільша інтенсивність розсіяного світлового потоку. Це означає, що комплексний препарат бурштинової та аскорбінової кислот в концентрації 0,0015/0,0002 мг/мл мав найбільший вплив на поділ клітин, як видно з графіку. Цей зразок також має S-подібну криву, що складалася з лаг фази, фази прискореного росту експоненціальної фази, фази сповільненого росту, стаціонарної та фази відмирання клітин [22].

Ріст клітин дріжджів відбувався і у третьому зразку при додаванні 0,0020/0,00025 мг/мл бурштинової/аскорбінової кислот. Але на відміну від попереднього зразка та контролю, активність поділу клітин була нижчою. Кінетична крива росту складалася лише з експоненціальної фази та фази відмирання, та не мала лаг-фази та стаціонарної фази [22].

У кривій росту п'ятого зразка (при додаванні 0,0025/0,0003 мг/мл бурштинової/аскорбінової кислот) спостерігалась відсутність лаг фази, одразу розпочався поділ клітин, але, на відміну від четвертого зразка, відмирання клітин розпочалося відразу після досягнення максимального поділу, воно не було різким та мало більш плавний процес.

Додавання 0,0030/0,0004 мг/мл бурштинової кислоти до шостого зразка привело до інгібування росту культури клітин дріжджів. На початку зростання культури ніяких процесів не відбувалось, але вже на 60 хв. культивування розпочався процес відмирання клітин, який тривав до закінчення процесу культивування клітин дріжджів. Запропонована концентрація препарату виявилася зavelикою та призвела до пригнічення проліферативної активності дріжджів.

Активацію проліферації клітин дріжджів бурштиновою кислотою можна пояснити тим, що вона є інтермедіатом циклу Кребса та має вплив на швидкий ресинтез АТФ, що робить її стимулятором вироблення енергії. Бурштинова кислота також підвищує ферментативну активність ферменту фосфофруктокінази, що прискорює зброджування мальтози [1, 22].

Аскорбінова кислота, що входить до складу комплексного препарату, завдяки своїй антиоксидантній активності, допомагає дезактивувати вільні радикали, сприяючи збереженню цілісності клітинних структур і самої клітини [1].

Проаналізувавши результати експерименту можна зробити висновок, що бурштинова кислота сумісно з аскорбіновою в певній кількості є активатором проліферації клітин дріжджів *S. cerevisiae*, що корелюється з результатами, отриманими раніше [22]. Але для того, щоб отримати бажаний результат необхідно використовувати відповідну

концентрацію кислоти. Як видно з рис. 1 активація поділу клітин відбувається при концентраціях бурштинової кислоти 0,0010–0,0015 мг/мл.

Найбільш оптимальна концентрація дріжджів для активації поділу клітин – $1 \cdot 10^8$ КУО/мл.

В другій серії експериментів досліджували вплив фолієвої кислоти різних концентрацій (0,004 мг/мл; 0,006 мг/мл; 0,008 мг/мл; 0,01 мг/мл; 0,02 мг/мл) на кінетику росту дріжджів.

На рис. 2 представлені кінетичні криві росту дріжджів *S. cerevisiae* у середовищі сахарози при додаванні фолієвої кислоти різних концентрацій. Температура культивування 28 °С, час культивування 180 хв.

Криві росту окрім четвертого, п'ятого та шостого зразків, мали S-подібну форму, з добре вираженими лаг-фазою, фазою прискореного росту, експоненціальною фазою, фазою сповільненого росту, стаціонарною та фазою відмирання.

У контрольному зразку активація проліферації розпочалася на 60 хв., пік активного поділу клітин відбувся на 90 хв., далі слідувала фаза стаціонарного розвитку клітин, після 120 хв. розпочалася фаза відмирання клітин [21].

Кінетична крива росту клітин дріжджів у другому зразку мала S-подібну форму, що складалася з лаг-фази, фази прискореного росту, експоненціальної фази, фази сповільненого росту, стаціонарної фази та відмирання клітин. На відміну від контрольного зразка, поділ клітин розпочався вже на 30 хв. культивування дріжджів. Відмирання клітин розпочалося через 30 хвилин. Таким чином, додавання фолієвої кислоти в концентрації 0,004 мг/мл активує процес проліферації клітин дріжджів *S. cerevisiae* [21].

Третій зразок мав S-подібну криву, що складалася з лаг фази, фази прискореного росту, експоненціальної фази, фази сповільненого росту, стаціонарної та фази відмирання. При додаванні 0,006 мг/мл фолієвої кислоти у третьому зразку активація проліферативної активності відбулася на 30 хв. і продовжилася до 90 хв. далі розпочалася стаціонарна фаза, яка тривала до 120 хв. Саме в цьому зразку спостерігалась найбільша інтенсивність розсіяного світлового потоку, це означає, що фолієва кислота у концентрації 0,006 мг/мл мала найбільший вплив на проліферативну активність клітин [21].

Активація проліферації клітин дріжджів також відбулась у четвертому зразку при додаванні 0,008 мг/мл фолієвої кислоти. Але, на відміну від попередніх зразків активність поділу клітин була нижчою. Крива росту не мала лаг-фази та стаціонарної фази, а складалася лише з експоненціальної фази та фази відмирання [21].

У кінетичній кривій росту п'ятого зразка після додавання 0,01 мг/мл фолієвої кислоти одразу розпочався поділ клітин, який тривав до 90 хв, далі спостерігалась стаціонарна фаза та відмирання клітин [21].

Додавання 0,02 мг/мл фолієвої кислоти до шостого зразка привело до інгібування росту культури клітин дріжджів. Процес відмирання клітин розпочався на 60 хв. та тривав до закінчення процесу культивування клітин дріжджів. Концентрація фолієвої кислоти 0,02 мг/мл інгібує проліферативну активність дріжджів, в результаті чого зменшується приріст біомаси [21].

Відновлена форма фолієвої кислоти приймає участь у синтезі ДНК, амінокислот та утворенні нових клітин, що є результатом збільшення біомаси дріжджів [1, 21].

Пригнічення росту клітин можна пояснити тим, що поживних речовин у вигляді сахарів, не достатньо для великої концентрації фолієвої кислоти, через те, що в її присутності відбувається швидке розщеплення сахарів через деякий час клітинам немає чим житись, тому і відбувається процес інгібування.

Проаналізувавши результати експерименту можна зробити висновок, що фолієва кислота в певній кількості є активатором проліферації клітин дріжджів *S. cerevisiae*. Але для того, щоб отримати бажаний результат необхідно використовувати відповідну концентрацію кислоти. Бо як видно на рис. 2 активація поділу клітин відбувається лише при концентрації 0,006 мг/мл та в незначній мірі при концентрації 0,004 мг/мл.

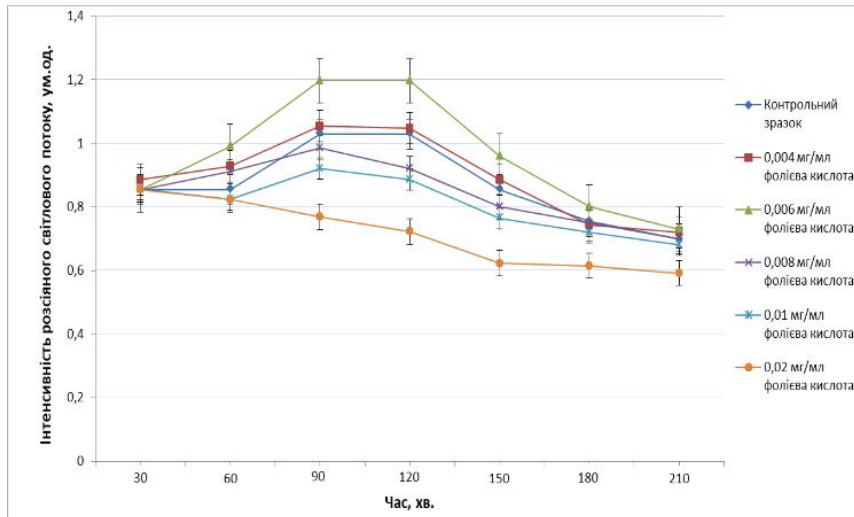


Рисунок 2 – Кінетичні криві росту періодичної культури дріжджів *S. cerevisiae* при додаванні фолієвої кислоти різної концентрації

Це пояснює той факт, що культивування клітин дріжджів повинно відбуватися на багатofакторних поживних середовищах, так як використання лише одного джерела вуглеводів недостатньо для активного процесу розмноження клітин дріжджів. Експериментальне дослідження показує, що біологічно активні речовини мають концентрації, які позитивно впливають на клітини, та критичні межі, додавання яких запускають протилежні процеси – інгібування росту та розвитку клітин, що в результаті приводить до їх відмирання [1, 21].

Найбільш оптимальна концентрація дріжджів для активації поділу клітин (при температурі культивування 28 °С, поживне середовище з 20 % вмістом сахарози) – $1 \cdot 10^8$ КУО/мл.

Порівнюючи між собою максимальні показники росту клітин дріжджів у двох групах можна зробити висновок, що фолієва кислота на відміну від бурштинової/аскорбінової кислот викликала більш активний процес поділу клітин дріжджів. Активний поділ клітин у першому та другому експерименті спостерігався протягом 60 хв.

Наступним кроком було об'єднання препаратів бурштинової/аскорбінової (0,0015/0002 мг/мл) та фолієвої кислот (0,006 мг/мл) та розрахунок питомої швидкості росту дріжджів *S. cerevisiae*. У процесі проведення експерименту було встановлено, що найбільша питома швидкість росту клітин спостерігалась у комплексному препараті, до складу якого входили три органічні кислоти. Експериментально доведено, що питома швидкість розмноження дріжджів, у комплексному препараті підвищилася в середньому на 30–35 % відносно контрольного зразка. Підвищення питомої швидкості росту на 20–25 % дріжджів спостерігалось також і в середовищі з фолієвою кислотою, додавання бурштинової/аскорбінової кислот не значно підвищувало питому швидкість (приблизно на 10 %) росту культури дріжджів *S. cerevisiae*.

Таким чином, біологічно активні речовини мають певні концентрації, які активують поділ клітин і сприяють їх активному розвитку та критичні межі, додавання яких призводить до інгібування розвитку та росту дріжджових клітин.

На рис. 3 представлені графіки порівняльної характеристика препаратів фолієвої кислоти бурштинової/аскорбінової кислоти.

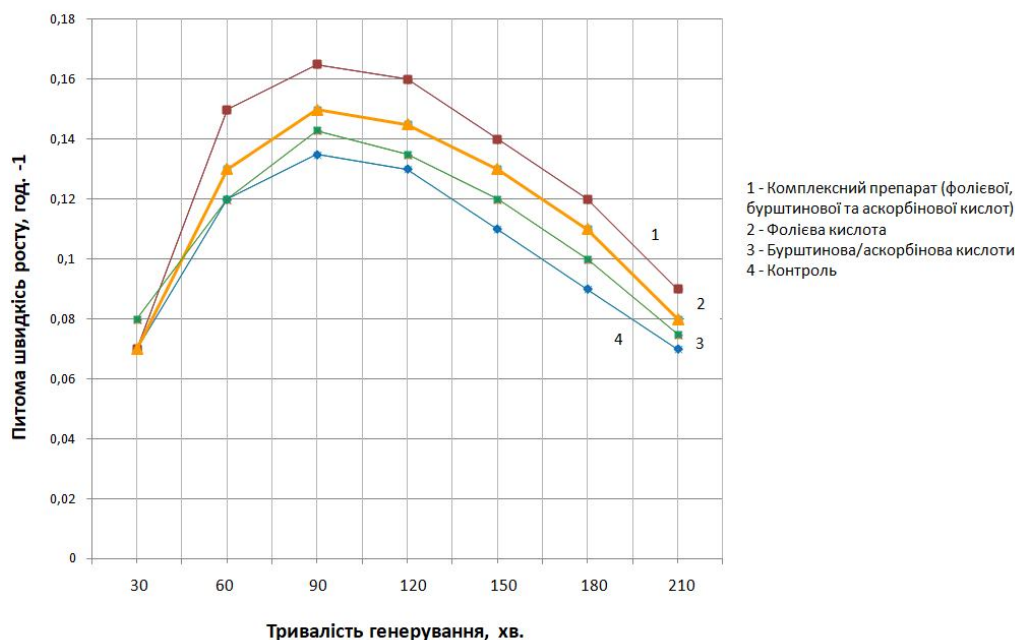


Рисунок 3 – Графіки питомої швидкості росту клітин дріжджів під дією препаратів фолієвої кислоти, бурштинової та аскорбінової кислот

Висновки

Досліджено вплив біологічно активних речовин на проліферативну активність клітин *S. cerevisiae*. Було встановлено концентрації та доказано регулюючу дію препаратів фолієвої кислоти, бурштинової та аскорбінової кислот на проліферативну активність клітин дріжджів.

Проведено порівняльний аналіз впливу різних концентрацій біологічно активних речовин на ріст культури мікроорганізмів. Встановлено найбільш оптимальні концентрації препаратів для активації поділу клітин дріжджів: комплексний препарат бурштинова/аскорбінова кислоти – 0,0015/0002 мг/мл; фолієва кислота – 0,006 мг/мл.

Рекомендовано застосовувати комплексний препарат бурштинової, аскорбінової та фолієвої кислот для підвищення проліферативної активності дріжджів в біотехнологічній, біофармацевтичній та харчовій промисловості.

Література

1. Косів Р.Б., Паляниця Л.Я., Березовська Н.І., Харандюк Т.В. Інтенсифікація зброджування високогустинного пивного суслу за участю вітамінів // Харчова наука і технологія. № 10, Т. 3. 2016. С. 39–44.

2. Gasch A.P., Werner-Washburne M. The genomics of yeast responses to environmental stress and starvation // *Functional & integrative genomics*. 2002. Vol. 2 (4–5). P. 181–192.
3. Hohmann S., Mager W.H. *Yeast Stress Responses*. Berlin: Springer-Verlag, 2003. 389 p.
4. Маринченко Л.В., Ніжельська О.І., Маринченко В.О. Стимуляція накопичення біомаси та бродильної активності культури дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* за допомогою надвисокочастотного електромагнітного випромінювання // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2011. № 3. С. 68–73.
5. Мелетьєв А.Є., Тодосійчук С.Р., Кошова В.М. Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв. Вінниця: Нова Книга, 2007. 392 с.
6. Лавренчук Г.Й., Бундюк Л.С., Чоботько Г.М., Гурандо Г.М. Модифікаційний вплив низькоінтенсивних електромагнітних хвиль міліметрового діапазону на клітини *in vitro*, опромінюваних іонізуючою радіацією // *Фізика живого*. 2007. № 1. С. 113–124.
7. Кошова В.М., Яжло В.С., Каплуненко В.Г., Огородник Ю.І. Підвищення бродильної активності пивоварних дріжджів за допомогою наноаквахелату цинку // *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2015. 4/10 (76). С. 40–44.
8. Трегуб Н.С., Капрельянц Л.В. Кінетичні параметри накопичення біомаси *Lactobacillus acidophilus* на середовищах із селеном // *Наукові праці*. 2014. В. 46, Т. 2. С. 112–115.
9. Eszenyi P., Sztrik A., Babka B. Elemental, nano-sized (100–500 nm) Selenium production by probiotic lactic acid bacteria // *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*. 2011. Vol. 1, N 2. P. 74–79.
10. Mudrak T., Kuts A., Kovalchuk S., Kurylenko R., Bondar N. Selection of the complex of enzyme preparation for the hydrolysis of the constituents of grain at the fermentation of the wort of high // *Food Science and Technology*. 2018. № 12 (2). P. 19–25.
11. Ковальчук С.С., Мудрак Т.О. Інноваційна технологія зброджування висококонцентрованого суслу із зернової сировини // *Prospects and priorities of research in science and technology: collective monograph*. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2020. P. 60–100.
12. Белих І.А., Самойленко С.І., Варанкіна О.О., Ларінцева Н.В., Висеканцев І.П. Вплив деяких екзогенних речовин на проліферативну активність продуцентів в біотехнології // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Сер.: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів. Харків : НТУ «ХПІ». 2018. № 18 (1294). С. 74–79.
13. Hammond, J., K. Smart. *Yeast growth and nutrition [Text]*. // *Brewing Yeast Fermentation Performance*. Oxford, UK: Oxford Brookes University Press, 2000. P. 77–85.
14. Карпутіна М.В., Романова З.М., Сидор В.М. Сучасні способи активації процесів розмноження та ферментації пивоварних дріжджів [Електронний ресурс]: К.: НУХТ, 2012. 8 с.
15. Дробот В. І., Ба сок Б. І., Ободович М. О., Семенко О. Ю. Спосіб активації пресованих хлібопекарських дріжджів. Пат. 54219 Україна, МПК С 12 N 1/18 заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій (Україна). № 2002064865; заявл. 13.08.2002; опубл. 17.02.2003, Бюл. № 2. 8 с.
16. Ткаченко Л.В., Вітряк О.П. Перспективи використання молочної сироватки для інтенсифікації біотехнологічних процесів // *Міжнародна науково-практична інтернет-конференція: Наукові дослідження та їх практичне застосування. Сучасний стан та*

шляхи розвитку 3–15 жовтня 2013р. Режим доступу: <http://www.sworld.com.ua/konfer32/645.pdf>.

17. Hammond J. Yeast growth and nutrition. *Brewing Yeast Fermentation Performance*. Oxford, UK: Oxford Brookes University Press, 2000. P. 77–85.

18. Лебеденко Т.Є., Кожевнікова В.О., Соколова Н.Ю. Удосконалення процесу активації дріжджів шляхом використання фітодобавок // Біопроцеси, біотехнологія харчових продуктів, БАР. Т. 9, № 2, 2015. С. 25–35.

19. Мельничук М.Д., Кляченко О.Л., Бородай В.В., Коломієць Ю.В., Корзун Д.Ю., Київ: ФОП Загальна (промислова) біотехнологія: навчальний посібник 2014. 252 с.

21. Белих І.А., Варанкіна О.О., Самойленко С.І. Дослідження впливу фолієвої кислоти на проліферативну активність культури дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* Проблеми та досягнення сучасної біотехнології: матеріали І міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (25 березня 2021 р., м. Харків). Електрон. дані. Х. : НФаУ, 2021. 389 с.

22. Белих І.А., Яремінець Н.С., Самойленко С.І., Ларінцева Н.В. Вплив бурштинової кислоти на біотехнологічний процес культивування дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* // Materialy XIV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji “Naukowa mysl informacyjnej powieki 2018”. Przemysl : Nauka i studia. Vol. 5. P. 59–64.

23. Погожих, М.І., Гніцевич В.А., Слащева А.В. Оптимізація концентрації добавки топінамбура і кратності подрібнення модельних фаршевих систем: зб. наук. пр. // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування у підприємствах харчування. Економічні проб лемі торгівлі. Х.: ХДУХТ, 2005. Ч. 1. С. 81–86.

24. Паляниця Л.Я., Березовська Н.І., Косів Р.Б., Зуб Н.О. Вплив умов регідратації сухих дріжджів на їх активність // Вісник Львівської політехніки. В. 1, № 1. 2018. С. 88–93.

25. Мураєва О.О. Конспект лекцій з дисципліни «Фізико-хімічні методи аналізу води» Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. 64 с.

Bibliography (transliterated)

1. Kosiv R.B., Palianytsia L.Ia., Berezovska N.I., Kharandiuk T.V. Intensyfikatsiia zbrodzhuvannia vysokohustynnoho pyvnoho susla za uchastiu vitaminiv // Kharchova nauka i tekhnolohiia. № 10, Т. 3. 2016. P. 39–44.

2. Gasch A.P., Werner-Washburne M. The genomics of yeast responses to environmental stress and starvation // *Functional & integrative genomics*. 2002. Vol. 2 (4–5). P. 181–192.

3. Hohmann S., Mager W.H. *Yeast Stress Responses*. Berlin: Springer-Verlag, 2003. 389 p.

4. Marynchenko L.V., Nizhelska O.I., Marynchenko V.O. Stymuliatsiia nakopychenia biomasy ta brodylnoi aktyvnosti kultury drizhdzhiv *Saccharomyces cerevisiae* za dopomohoiu nadvysokochastotnoho elektromahnitnoho vyprominiuvannia // Naukovi visti NTUU «KPI». 2011. № 3. P. 68–73.

5. Meletiev A.Ie., Todosiichuk S.R., Koshova V.M. Tekhnokhimichni kontrol vyrobnytstva solodu, pyva i bezalkoholnykh napoiv. Vinnytsia: Nova Knyha, 2007. 392 p.

6. Lavrenchuk H.I., Bundiuk L.S., Chobotko H.M., Hurando H.M. Modyfikatsiinyi vplyv nyzkointensyvnykh elektromahnitnykh khvyl milimetrovoho diapazonu na klityny in vitro, oprominiuvanykh ionizuiuchoiu radiatsiieiu // *Fizyka zhyvoho*. 2007. № 1. P. 113–124.

7. Koshova V.M., Yazhlo V.S., Kaplunenko V.H., Ohorodnyk Yu.I. Pidvyshchennia bro-dylnoi aktyvnosti pyvovarnykh drizhdzhiv za dopomohoiu nanoakvkhelatu tsynku // Skhid-no-yevropeyskyi zhurnalпередovykh tekhnolohii. 2015. 4/10 (76). P. 40–44.
8. Trehub N.S., Kapreliants L.V. Kinetychni parametry nakopychennia biomasy *Lactobacillus acidophilus* na seredovyshchakh iz selenom // Naukovi pratsi. 2014. Vyp. 46, Tom 2. P. 112–115.
9. Eszenyi P., Sztrik A., Babka B. Elemental, nano –sized (100–500 nm) Selenium production by probiotic lactic acid bacteria // International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics. 2011. Vol. 1, N 2. P. 74–79.
10. Mudrak T., Kuts A., Kovalchuk S., Kyrylenko R., Bondar N. Selection of the complex of enzyme preparation for the hydrolysis of the constituents of grain at the fermentation of the wort of high // Food Science and Technology. 2018. №12 (2). P. 19–25.
11. Kovalchuk S.S., Mudrak T.O. Innovatsiina tekhnolohiia zbrodzhuvannia vysokokontsentrovanoho susla iz zernovoi syrovyny // Prospects and priorities of research in science and technology : collective monograph. Riga, Latvia : Baltija Publishing, 2020. P. 60–100.
12. Bielykh I.A., Samoilenko S.I., Varankina O.O., Larintseva N.V., Vysekantsev I.P. Vplyv deiakykh ekzohennykh rehovyn na proliferatyvnu aktyvnist produtsentiv v biotekhnolohii // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Ser.: Innovatsiini doslidzhennia u naukovykh robotakh studentiv. Kharkiv : NTU «KhPI». 2018. № 18 (1294). P. 74–79.
13. Hammond, J., K. Smart. Yeast growth and nutrition [Text] // Brewing Yeast Fermentation Performance. — Oxford, UK: Oxford Brookes University Press, 2000. P. 77–85.
14. Karputina M.V., Romanova Z.M., Sydor V.M. Suchasni sposoby aktyvatsii protsesiv rozmnozhenia ta fermentatsii pyvovarnykh drizhdzhiv [Elektronnyi resurs]: K.: NUKhT, 2012. 8 p.
15. Drobot V. I., Ba sok B. I., Obodovych M. O., Semenko O. Yu. Sposib aktyvatsii presovanykh khlibopekarskykh drizhdzhiv: Pat. 54219 Ukraina, MPK S 12 N 1/18 / zaiavnyk ta patentovlasnyk Natsionalnyi universytet kharchovykh tekhnolohii (Ukraina). – № 2002064865; zaiavl. 13.08.2002; opubl. 17.02.2003, Biul. № 2. 8 p.
16. Tkachenko L.V., Vitriak O.P. Perspektyvy vykorystannia molochnoi syrovatky dlia intensyfikatsii biotekhnolohichnykh protsesiv // Mizhnarodna nauково-praktychna internet-konferentsiia: Naukovi doslidzhennia ta yikh praktychne zastosuvannia. Suchasnyi stan ta shliakhy rozvytku 3–15 zhovtnia 2013 r. Rezhym dostupu: <http://www.sworld.com.ua/konfer32/645.pdf>.
17. Hammond J. Yeast growth and nutrition. Brewing Yeast Fermentation Performance. Oxford, UK: Oxford Brookes University Press, 2000. P. 77–85.
18. Lebedenko T.Ie., Kozhevnikova V.O., Sokolova N.Iu. Udoshkonalennia protsesu aktyvatsii drizhdzhiv shliakhom vykorystannia fitodobavok // Bioprotsesy, biotekhnolohiia kharchovykh produktiv, BAR. T. 9, № 2. 2015. P. 25–35.
19. Melnychuk M.D., Kliachenko O.L., Borodai V.V., Kolomiets Yu.V., Korzun D.Iu., Kyiv: FOP Zahalna (promyslova) biotekhnolohiia: navchalnyi posibnyk 2014. 252 p.
21. Bielykh I.A., Varankina O.O., Samoilenko S.I. Doslidzhennia vplyvu foliievoi kysloty na proliferatyvnu aktyvnist kultury drizhdzhiv *Saccharomyces cerevisiae* Problemy ta dosiahnennia suchasnoi biotekhnolohii: materialy I mizhnarodnoi nauk.-prakt. internet-konf. (25 bereznia 2021 r., m. Kharkiv). Elektron. dani. Kh. : NFaU, 2021. 389 p.
22. Bielykh I.A., Yareminets N.S., Samoilenko S.I., Larintseva N.V. Vplyv burshtynovoi kysloty na biotekhnolohichni protses kulyvuvannia drizhdzhiv *Saccharomyces*

cerevisiae // *Materialy XIV Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji "Naukowa mysl informacyjnej powieki 2018"*. Przemysl : Nauka i studia. Vol. 5. P. 59–64.

23. Pohozykh, M.I., Hnitsevych V.A., Slashcheva A.V. Optyimizatsiia kontsentratsii doba-vky topinambura i kratnosti podribnennia modelnykh farshevykh system [Tekst]: zb. nauk. pr. // *Prohresyvni resursozberihaiuchi tekhnolohii ta yikh ekonomichne obgruntuvannia u pidpriemstvakh kharchuvannia*. Ekonomichni prob lemy torhivli. Kh.: KhDUKht, 2005. Ch. 1. P. 81–86.

24. Palianytsia L.Ia., Berezovska N.I., Kosiv R.B., Zub N.O. Vplyv umov rehidratatsii sukhykh drizhdzhiv na yikh aktyvnist // *Visnyk Lvivskoi politekhniki*. V. 1, № 1. 2018. P. 88–93.

25. Muraieva O.O. Konspekt leksii z dystsypliny «Fyzyko-khimichni metody analizu vody» Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova. Kharkiv : KhNUMH im. O.M. Beketova, 2015. 64 p.

УДК 579.6;542.8

Белих І.А., к.біол.н., доцент, Самойленко С.І., к.техн.н., доцент, Близнюк О.М., д.техн.н., професор, Масалігіна Н.Ю., к.техн.н., доцент, Белінська А.П., к.техн.н., доцент, Варанкіна О.О., к.техн.н., доцент, Чечуй О.Ф., к.біол.н., доцент, Звягінцева О.В. к.біол.н., доцент

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЛІФЕРАТИВНОЇ АКТИВНОСТІ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В БІОТЕХНОЛОГІЇ ДРІЖДЖІВ ТА ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ЇЇ ВИЗНАЧЕННЯ

У роботі розглянуто вирішення питань, пов'язаних із підвищенням ефективності технологічних процесів та забезпеченням випуску готової продукції високої якості, що є актуальним для виробництв, заснованих на використанні дріжджів *S. cerevisiae*. У роботі описано основні причини необхідності регулювання обміну речовин дріжджової культури, розглянуті існуючі на практиці та запропоновані прийоми підвищення проліферативної активності.

Проліферативні процеси, що протікають у дріжджовій клітині, досить легко піддаються регуляції. Тому, знаючи залежність між конкретними умовами навколишнього середовища та тими чи іншими сторонами життєдіяльності дріжджової культури, можна цілеспрямовано змінювати її зростання, розвиток та обмін речовин. Створення та підтримання певних умов культивування дріжджів дозволяє керувати ходом ферментаційного процесу.

Досліджено вплив біологічно активних речовин на проліферативну активність клітин *S. cerevisiae*. Було встановлено концентрації та доказано регулюючу дію препаратів бурштинової та фолієвої кислот на проліферативну активність клітин дріжджів. Проведено порівняльний аналіз впливу різних концентрацій екзогенних речовин на ріст культури мікроорганізмів. Було встановлено найбільш оптимальні концентрації препаратів для активації поділу клітин дріжджів: бурштинова/бурштинова кислоти – 0,0015/0,0002 мг/мл; фолієва кислота – 0,006 мг/мл.

Розрахована питома швидкість розмноження дріжджів під час культивування у 20 % розчині сахарози з препаратами бурштинової/аскорбінової та фолієвої кислот. Встановлено, що найбільша питома швидкість росту клітин спостерігалась у комплексному препараті, до складу якого входили три органічні кислоти. Експериментально доведено, що питома швидкість розмноження дріжджів, у комплексному препараті під-

вищилася в середньому на 30–35 % відносно контрольного зразка. Підвищення питомої швидкості росту на 20–25 % дріжджів спостерігалось також і в середовищі з фоліевою кислотою, додавання бурштинової/аскорбінової кислот не значно підвищувало питому швидкість (приблизно на 10 %) росту культури дріжджів *S. cerevisiae*.

Доведено, що біологічно активні речовини мають певні концентрації, які активують поділ клітин і сприяють їх активному розвитку та критичні межі, при яких відбувається інгібування розвитку та росту дріжджових клітин.

Ключові слова: бродіння, дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, життєздатність клітин, нефелометрія, проліферативна активність, технологічний процес, ферментаційний процес, чиста культура мікроорганізмів.

Белых И.А., к.биол.н., доцент, Самойленко С.И., к.техн.н., доцент, Близнюк О.Н., д.техн.н., профессор, Масалитина Н.Ю., к.техн.н., доцент, Варанкина А.А., к.техн.н., доцент, Чечуй О.Ф., к. биол.н., доцент, Звягинцева О.В. к.биол.н., доцент

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЛИФЕРАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* В БИОТЕХНОЛОГИИ ДРОЖЖЕЙ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЕЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В работе рассмотрено решение вопросов, связанных с повышением эффективности технологических процессов и обеспечением выпуска готовой продукции высокого качества, актуальным для производств, основанных на использовании дрожжей *S. cerevisiae*. В работе описаны основные причины необходимости регулирования обмена веществ дрожжевой культуры, рассмотрены существующие на практике и предложены приемы повышения пролиферативной активности.

Проллиферативные процессы, протекающие в дрожжевой клетке, легко поддаются регуляции. Поэтому, зная зависимость между конкретными условиями окружающей среды и теми или иными сторонами жизнедеятельности дрожжевой культуры, можно целенаправленно изменять ее рост, развитие и обмен веществ. Создание и поддержание определенных условий культивирования дрожжей позволяет управлять ходом ферментационного процесса.

Исследовано влияние биологически активных веществ на пролиферативную активность клеток *S.cerevisiae*. Были установлены концентрации и доказано регулирующее действие препаратов янтарной и фолиевой кислот на пролиферативную активность клеток дрожжей. Проведен сравнительный анализ влияния различных концентраций экзогенных веществ на рост культуры микроорганизмов. Были установлены наиболее оптимальные концентрации препаратов для активации деления клеток дрожжей: янтарная/аскорбиновая кислоты – 0,0015/0,0002 мг/мл; фолиевая кислота – 0,006 мг/мл.

Рассчитана удельная скорость размножения дрожжей при культивировании в 20 % растворе сахарозы с препаратами янтарной/аскорбиновой и фолиевой кислот. Установлено, что наибольшая удельная скорость роста клеток наблюдалась в комплексном препарате, в состав которого входили три органические кислоты. Экспериментально подтверждено, что удельная скорость размножения дрожжей в комплексном препарате повысилась в среднем на 30–35 % относительно контроля. Повышение удельной скорости роста на 20–25 % дрожжей наблюдалось также и в среде с фолиевой кислотой, добавление янтарной/аскорбиновой кислот не значительно повышало удельную скорость (приблизительно на 10 %) роста культуры дрожжей *S. cerevisiae*.

Установлено, что биологически активные вещества имеют определенные концен-

нтрации, которые активируют деление клеток и способствуют их активному развитию и критические границы, при которых происходит ингибирование развития и роста дрожжевых клеток.

Ключевые слова: брожение, дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, жизнеспособность клеток, нефелометрия, пролиферативная активность, технологический процесс, ферментационный процесс, чистая культура микроорганизмов.

Bielykh I.A., Samoilenko S.I., Bliznjuk O.N., Masalitina N.Yu., Belinska A.P.,
Varankina O.O., Chechui H.F., Zviahintseva O.V.

STUDY OF THE PROLIFERATIVE ACTIVITY OF *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* IN YEAST BIOTECHNOLOGY AND PHYSICO-CHEMICAL METHODS OF ITS DETERMINATION

The article discusses the solution of issues related to increasing the efficiency of technological processes and ensuring the release of high-quality finished products, relevant for production based on the use of *S. cerevisiae* yeast. The paper identifies major reasons for the need to regulate yeast culture metabolism, considers existing practice and proposes methods of changing its metabolic activity. The purpose of the research is to create the classification of the supplements / preparations from different origin to improve yeast vital activity by adjusting its culture medium composition with the use of complex hierarchical faceted method.

The proliferative processes taking place in the yeast cell are quite easily regulated. Therefore, knowing the dependence between the specific conditions of the environment and certain aspects of the yeast culture's vital activity, it is possible to purposefully change its growth, development and metabolism. Creating and maintaining certain conditions for the cultivation of yeast allows you to control the course of the fermentation process.

The influence of biologically active substances on the proliferative activity of *S. cerevisiae* cells was investigated. Concentrations were determined and the regulatory effect of succinic and folic acid preparations on the proliferative activity of yeast cells was proven. A comparative analysis of influence of different concentrations of exogenous substances on microorganisms culture growth was carried out. The most optimal concentrations of drugs for activation of yeast cell division were determined: succinic acid/ascorbic acid – 0.0015/0.0002 mg/ml; folic acid – 0.006 mg/ml.

Specific growth rate of yeast during cultivation in 20 % sucrose solution with succinic/ascorbic and folic acid preparations was calculated. It was established that the highest specific rate of cell growth was observed in the complex preparation, which included three organic acids. It was established that the specific rate of yeast reproduction in the complex preparation increased by an average of 30–35 % relative to the control sample. Increase in specific growth rate by 20–25 % of yeast was also observed in the medium with folic acid, the addition of succinic/ascorbic acids did not significantly increase specific rate (by approximately 10 %) of the growth of the *S. cerevisiae* yeast culture. It has been established that biologically active substances have certain concentrations that activate cell division and contribute to their active development and critical limits at which the development and growth of yeast cells are inhibited.

Keywords: fermentation, *Saccharomyces cerevisiae* yeast, cell viability, nephelometry, proliferative activity, technological process, fermentation process, pure culture of microorganisms.

Гурін І.В.¹ к.техн.н., Невлюдов І.Ш.² д.техн.н., професор,
Овчаренко В.Є.² д.техн.н., професор, Токарева О.В.² к.техн.н., професор

СТРУМОПІДВІД ДЛЯ РЕЗИСТИВНИХ ВВКМ НАГРІВАЧІВ

¹ Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут», Харків

² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Ключові слова: струмопідвід, нагрівач, вуглець-вуглецевий композиційний матеріал, перехідний опір, титановий дріт.

Вуглець-вуглецевий композиційний матеріал (ВВКМ) має унікальний комплекс технічних характеристик, які відрізняють його від сучасних конструкційних матеріалів [1]. Електричні властивості ВВКМ дають можливість використовувати його як конструкційний матеріал для виготовлення резистивних нагрівачів, що працюють у діапазоні температур від 400°C до 2500 °C у вакуумі або захисній атмосфері [2].

В конструкції електротермічного двигуна [3] перетворення електричної енергії в теплову відбувається за допомогою резистивного нагрівача з ВВКМ. Робота нагрівача протікає у складних умовах на гранично допустимих температурах для матеріалів, з яких виготовлена теплова камера двигуна. Термін служби нагрівача визначає час роботи всього електротермічного двигуна, тому збільшення цього терміну є важливим завданням забезпечення надійності всієї рухової установки [4]. Необхідність створення нагрівального елемента, що має високі термічні характеристики, тривалий термін експлуатації, малу масу, хімічну стійкість до агресивних середовищ і швидкий час розігріву є актуальною задачею на сьогоднішній день.

Для вимірювання температури всередині теплової камери двигуна зазвичай застосовують контактні методи вимірювання за допомогою резистивних або термоелектричних датчиків [5]. Робочий діапазон таких датчиків повинен бути гарантовано вище вимірюваної температури об'єкта. Окрім цього, датчики, встановлені в об'єкті в певному місці, неминуче мають якусь теплову інерційність, та їх розміщення створює певні технологічні труднощі, ускладнює конструкцію двигуна і знижує надійність усієї системи [6].

У зв'язку з цим, для визначення температури всередині теплової камери двигуна, було запропоновано використовувати резистивні властивості нагрівача з ВВКМ, а саме зміну опору нагрівача з ВВКМ із зростанням температури. Використання інтегральної оцінки температури нагрівача з ВВКМ, яка ґрунтується на зміні опору нагрівача із зростанням температури і фактично полягає у вимірюванні сили електричного струму, що протікає через нагрівач, вимагає забезпечення точних значень електричного опору самого нагрівача та електричного опору в місті контакту струмопідводу з нагрівачем.

Електричні контактні з'єднання застосовуються в усіх електричних ланцюгах і апаратах та є їх важливими елементами [7]. Від стану електричних контактів залежить безаварійна робота електрообладнання, а також ще і точність вимірювання температури нагрівача [8,9].

Особливістю конструкції нагрівача є необхідність підводу електричного струму до двох ламелей резистивного елемента нагрівача з ВВКМ, які знаходяться з однієї

сторони нагрівача (рис. 1). Крім того слід враховувати, що температура в зоні з'єднання струмопроводів з резистивним елементом нагрівача під час роботи двигуна може змінюватися від -100°C у вимкненому стані до $+400^{\circ}\text{C}$ у включеному.



Рисунок 1 – Експериментальні зразки нагрівачів

Проведені лабораторні випробування виявили, що роз'ємні з'єднання титанового дроту з резистивним елементом нагрівача з ВВКМ та розбірні з'єднання (болтові, винтові, клинові) по різних причинах не можуть забезпечити вимоги по стабільності контактної опору. З нерозбірних з'єднань тільки зварювальні з'єднання показали стабільні показники електричного контактної опору. Для підтвердження цього були проведені дослідження, які обумовлені низкою причин:

- необхідністю врахування фактичного значення величини опору нагрівача з урахуванням перехідного електричного опору контакту у місці зварювального з'єднання титанового дроту з резистивним елементом нагрівача з ВВКМ, яке пов'язано з виділенням великої кількості тепла;
- необхідністю дослідження впливу технології електродугового зварювання в середовищі аргону на величину перехідного опору;
- необхідністю визначення значення статичної нестабільності перехідного електричного опору у місці з'єднання.

Електричний опір нагрівача зі струмопідводом має складати $3,8 \pm 0,2$ Ом [3]. Значення допуску на опір визначено рядом факторів, в тому числі фізичними властивостями ВВКМ, технологією механічної обробки, способом нанесення захисного покриття, опором зварювального з'єднання та інше.

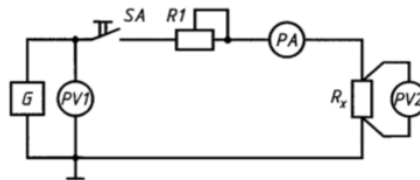
Для вимірювання опору контакту та дослідження статичної нестабільності перехідного опору контакту були виготовлені зразки нагрівачів у вигляді двозаходової спіральної конструкції з розрізним фланцем, в якому виконані два різьбових отвори для встановлення та зварювання до нього титанового дроту діаметром 2,5 мм зі сплаву ВТ1-00. Для збільшення механічної міцності з'єднання на одному кінці струмопідводу також сформовано різьбу. Застосування різьбового з'єднання з наступним зварюванням дозволяє збільшити здатність витримувати осьове механічне навантаження. Вирішальну роль відіграє площа контакту титану в нагрівачі, яка збільшується майже вдвічі за рахунок поверхні різьби, що зменшує перехідний електричний опір. Кількість виготовлених зразків – вісім одиниць. Для дослідження задіяно п'ять нагрівачів.

Для зварки стиків між титановим дротом та резистивним елементом нагрівача з ВВКМ застосувалась зварка TIG (Tungsten Inert Gas) поверхневою дугою в середовищі аргону, який подавався між місцем зварювання та не витратним вольфрамовим елект-

родом [10, 11]. В якості присадочного матеріалу був використаний дріт з матеріалу ВТ1-00 діаметром 0,5 мм. Перед зваркою присадочний матеріал та зразки нагрівачів були просушені в пічці на протязі 60 хвилин при температурі 120°C. Застосування інертного газу виключає необхідність використання флюсу в якості захисту, тому даний метод ефективний для зварювання титанових струмопідводів з резистивним елементом нагрівача з ВВКМ, як матеріалів активних до кисню.

При механічних випробуваннях зварювального з'єднання титанового дроту з нагрівачем було встановлено, що відрив дроту від нагрівача відбувається з залишками ВВКМ і перехідного шару карбиду титану, що утворюється при зварюванні і може впливати на додатковий електричний опір нагрівача. Теплового деформування нагрівача з ВВКМ у зоні зварювання не відбувається [12].

Вимір перехідного опору проводився за допомогою непрямого методу вольтметра-амперметра, який полягає у визначенні значення падіння напруги на контактному переході при заданому значенні струму [8,9]. Схему вимірювального стенду наведено на рис. 2.



G – джерело струму; SA – вимикач; R1 – змінний резистор; PA – амперметр; PV1, PV2 – вольтметри; Rx – опір вимірюваного контакту.

Рисунок 2 – Схема вимірювального стенду

Вимір опору перехідного контакту проводився при постійному струмі. Напруга електричного ланцюга було встановлено $10 \pm 0,01$ В, значення сили струму – не більше $2,7 \pm 0,01$ А згідно з вимогами технічних умов на цей тип нагрівача.

Похибка амперметра та похибка вольтметра PV1 у межах $\pm 0,01$ %. Повний вхідний опір вольтметра має бути більшим за внутрішній опір джерела струму не менше ніж на один порядок. Похибка вольтметра PV2 не більше $\pm 0,01$ %. Повний вхідний опір вольтметра має бути більшим за значення вимірюваного опору контакту не менше ніж на два порядки. Опір контакту можна також вимірювати чотирьохпровідним підключенням (струмового та потенційного) до виводів досліджуваного виробу за допомогою цифрового мультиметру.

Експериментальні дослідження та вимірювання проводилося в наступній послідовності:

- виміряно електричний опір резистивного нагрівача, виготовленого з ВВКМ без встановлення струмопідводів, методом опосередкованого відліку цифровим вимірювачем Е7-8, який забезпечує вимірювання електричного опору в діапазоні $10^{-3} \dots 10^6$;

- у різьбові отвори нагрівача встановлено два титанові струмопідводи, які по торцях були зварені з фланцем нагрівача електродуговим зварюванням у середовищі аргону;

- виміряно електричний опір резистивного нагрівача з привареними струмопідводами, підключивши чотирьохпровідні затискачі вимірювача Е7-8 до двох струмопід-

водів, якомога ближче до корпусу нагрівача та виставивши в Е7-8 необхідне значення струму та напруги.

Величина перехідного опору визначалася для кожного зразка як різниця між вимірюваннями до і після приварювання струмопідведення. Результати вимірювань і розрахунків наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення опорів нагрівачів

№ зразка	1	2	3	4	5
R без виводів	3,784	3,731	3,738	3,692	3,614
R з виводами	3,870	3,815	3,824	3,777	3,698
R* перехідне двох контактів	0,086	0,084	0,086	0,085	0,084

*Середнє арифметичне за результатами 10 вимірювань кожного зразка протягом місяця.

Результати проведених досліджень доводять, що встановлення титанових струмопідводів методом зварювання збільшує значення опору резистивного елемента нагрівача з ВВКМ за рахунок хімічної реакції між сплавом титана та резистивним елементом і появи додаткового слою карбиду титану. Таким чином, електричний опір резистивного елемента нагрівача з ВВКМ при його виготовленні, до приварки двох титанових дротів струмопідведення, має бути зменшений з врахуванням перехідного електричного опору двох зварювальних контактів.

Література

1. О некоторых возможностях газофазных методов для изготовления углерод-углеродных тепловых узлов для выращивания монокристаллов / В.А. Гурин, И.В. Гурин, Ю.Е. Мурин, С.Г. Фурсов, В.В. Колосенко, А.А. Корнеев, А.В. Григорьев, А.Н. Буколов // Вопросы атомной науки и техники. – 1998, № 4 (76), С. 46–55.
2. Study on corrosion properties of carbon-carbon composites / Yu.A. Gribanov, I.V. Gurin, V.V. Gujda, A.N. Bukolov, V.V. Kolosenko // Problems of atomic science and technology. – 2020, № 1 (125), P. 154–160.
3. Малогабаритний нагрівач з вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу / Гурін І.В., Овчаренко В.Є., Токарева О.В. // XXII International Scientific and Practical Conference «Multidisciplinary academic research, innovation and results», June 07–10, 2022, Prague, Czech Republic, 2022. P. 726–728
4. Development of the heating element from carbon-carbon composite material and electrothermal thruster temperature control system / V.E. Ovcharenko, E.V. Tokareva, I.V. Gurin // Problems of atomic science and technology. – 2018, № 2 (114), p. 133–137.
5. Теплометрия: теорія, метрологія, практика. Монографія у трьох книгах. / Т.Г. Грищенко, Л.В. Декуша, Л.І. Воробйов [та ін.]; за ред. д-р техн. наук Т.Г. Грищенко. Кн. 1: Методи та засоби вимірювання теплового потоку – К.: Інститут технічної теплофізики НАН України, 2017. – 438 с.
6. Дослідження стабільності електричного опору високотемпературного резистивного нагрівача під час роботи з газоподібним аміаком / Овчаренко В.Є., Токарева О.В., Гурін І.В. // XII International scientific and practical conference «Actual issues of the

development of science and ensuring the quality of education», March 28–31, 2023, Florence, Italy. International Science Group. 2023. P. 407–408.

7. Семенец В.В. Технология межсоединений электронной аппаратуры: учеб. для вузов / В.В. Семенец, Джон Кратц, И.Ш. Невлюдов, В.А. Палагин. – Х.: «СМИТ», 2005. – 432 с.

8. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин: навчальний посібник / Д.М.Нестерчук, С.О.Квітка, С.В.Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 206 с.

9. Основи метрології та засоби вимірювань: навчальний посібник / Д.М. Нестерчук, С.О. Квітка, С.В. Галько. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2017. – 256 с.

10. ДСТУ ГОСТ 10157:2019. Аргон газоподібний та рідкий. Технічні умови. – К.: УкрНДНЦ, 2019. – 22 с.

11. Сварка плавлением титана и его сплавов (Обзор) / Блащук В.Е., Шеленков Г.М. // Автоматическая сварка. – 2005, № 2 (622), С. 38–46.

12. Тепловое деформирование углерод-углеродных композиционных материалов с различными схемами армирования при термоциклировании / Л.И. Грачева // Проблемы прочности. – 2007, № 3. – С. 118–133.

Bibliography (transliterated)

1. O nekotorykh vozmozhnostyakh gazofaznykh metodov dlya izgotovleniya uglerod-uglerodnykh teplovykh uzlov dlya vyrashchivaniya monokristallov / V.A. Gurin, I.V. Gurin, Yu.E. Murin, S.G. Fursov, V.V. Kolosenko, A.A. Korneev, A.V. Grigorev, A.N. Bukolov // Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. – 1998, № 4 (76), P. 46–55.

2 Study on corrosion properties of carbon-carbon composites / Yu.A. Gribanov, I.V. Gurin, V.V. Gujda, A.N. Bukolov, V.V. Kolosenko // Problems of atomic science and technology. – 2020, № 1 (125), P. 154–160.

3. Malohabarytnyy nahriyach z vuhlets-vuhletsevoho kompozytsiynoho materialu / Hurin I.V., Ovcharenko V.Ye., Tokarieva O.V. // XXII International Scientific and Practical Conference «Multidisciplinary academic research, innovation and results», June 07–10, 2022, Prague, Czech Republic, 2022. P. 726–728.

4. Development of the heating element from carbon-carbon composite material and electrothermal thruster temperature control system / V.E. Ovcharenko, E.V. Tokareva, I.V. Gurin // Problems of atomic science and technology. – 2018, № 2 (114), P. 133–137.

5. Теплотрија: теорија, метрологија, практика. Монографија у тријох књигах. Т.Н. Хришченко, Л.В. Декуша, Л.И. Воробыов [та ин.]; за ред. др. техн. наук Т.Н. Хришченко. Кн. 1: Методы та засобы вимірювання теплового потоку – К.: Інститут технічної теплофізики NAN України, 2017. – 438 с.

6. Doslidzhennya stabilnosti elektrychnoho oporu vysokotemperaturnoho rezystyvnoho nahriyacha pid chas robiti z hazopodibnym amiyakom / Ovcharenko V.Ye, Tokarieva O.V., Hurin I.V. // XII International scientific and practical conference «Actual issues of the development of science and ensuring the quality of education», March 28–31, 2023, Florence, Italy. International Science Group. 2023. P. 407–408.

7. Semenets V.V. Tekhnologiya mezhsoedineniy elektronnoy apparatury: ucheb. dlya vuzov / V.V. Semenets, John Kratz, I.Sh. Nevlyudov, V.A. Palagin. – Kh.: "SMIT", 2005. – 432 p.

8. Metody i zasoby vymirjuvan' elektrychnykh ta neelektrychnykh velychyn: navchal'nyy posibnyk / D.M.Nesterchuk, S.O.Kvitka, S.V.Halko. – Melitopol: Vydavnychy-polihrafichnyy tsentr "Liukh", 2017. – 206 p.

9. Osnovy metrolohiyi ta zasoby vymirjuvan': navchal'nyy posibnyk / D.M.Nesterchuk, S.O.Kvitka, S.V.Halko. – Melitopol: Vydavnychy-polihrafichnyy tsentr "Liukh", 2017. – 256 p.

10. DSTU GOST 10157:2019. Argon hazopodibnyy ta ridkyy. Tekhnichni umovy. – K.: UkrNDNTs, 2019. – 22 p.

11. Svarka plavleniyem titana i ego splavov (Obzor) / Blashchuk V.E., Shelenkov G.M. // Avtomaticheskaya svarka. – 2005, № 2 (622), P. 38–46.

12. Teplovoye deformatsionnoye uglek-ugleknykh kompozitsionnykh materialov s razlichnymi skhemami armirovaniya pri termotsiklirovanii / L.I. Gracheva // Problemy prochnosti. – 2007, № 3. – P. 118–133.

УДК 621.365.4

Гурін І.В. к.техн.н., Невлюдов І.Ш. д.техн.н., професор,
Овчаренко В.Є. д.техн.н., професор, Токарева О.В. к.техн.н., професор

СТРУМОПІДВІД ДЛЯ РЕЗИСТИВНИХ ВВКМ НАГРІВАЧІВ

В статті обґрунтовано необхідність врахування перехідного електричного опору зварювального контакту між титановим струмопідводом та резистивним елементом нагрівача з вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу (ВВКМ) при його виготовленні.

Вуглець-вуглецевий композиційний матеріал має унікальний комплекс технічних характеристик, які дають можливість використовувати його як конструкційний матеріал для виготовлення резистивних нагрівачів, що працюють у діапазоні температур від 400 °С до 2500 °С у вакуумі або захисній атмосфері. Застосування нагрівачів з ВВКМ в теплових камерах електротермічних двигунів для перетворення електричної енергії в теплову дає змогу використовувати їх для визначення температури всередині теплової камери двигуна. Використання інтегральної оцінки температури нагрівача з ВВКМ, яка ґрунтується на зміні опору нагрівача із зростанням температури і фактично полягає у вимірюванні сили електричного струму, що протікає через нагрівач, вимагає забезпечення точних значень електричного опору самого нагрівача та електричного опору в місті контакту струмопідводу з нагрівачем.

Особливістю конструкції нагрівача є необхідність підводу електричного струму до двох ламелей резистивного елемента нагрівача з ВВКМ, які знаходяться з однієї сторони нагрівача. Для зварки стиків між титановим дротом та резистивним елементом нагрівача застосувалась зварка TIG поверхневою дугою в середовищі аргону, який подавався між місцем зварювання та не витратним вольфрамовим електродом.

Проведені лабораторні випробування виявили, що роз'ємні з'єднання титанового дроту з резистивним елементом нагрівача з ВВКМ та розбірні з'єднання (болтові,

вінтові, клинові) по різних причинах не можуть забезпечити вимоги по стабільності контактної опору. З нерозбірних з'єднань тільки зварювальні з'єднання показали стабільні показники електричного контактної опору.

Електричний опір нагрівача зі струмопідводом має складати $3,8 \pm 0,2$ Ом. Значення допуску на опір визначено рядом факторів, в тому числі фізичними властивостями ВВКМ, технологією механічної обробки, способом нанесення захисного покриття, опором зварювального з'єднання та інше.

При механічних випробуваннях зварювального з'єднання титанового дроту з нагрівачем було встановлено, що відрив дроту від нагрівача відбувається з залишками ВВКМ і перехідного шару карбіду титану, що утворюється при зварюванні і може впливати на додатковий електричний опір нагрівача. Теплового деформування нагрівача з ВВКМ у зоні зварювання не відбувається.

Результати проведених досліджень доводять, що встановлення титанових струмопідводів методом зварювання збільшує значення опору резистивного елемента нагрівача з ВВКМ за рахунок хімічної реакції між сплавом титана та резистивним елементом і появи додаткового шару карбіду титану. Таким чином, електричний опір резистивного елемента нагрівача з ВВКМ при його виготовленні, до приварки двох титанових дротів струмопідведення, має бути зменшений з врахуванням перехідного електричного опору двох зварювальних контактів.

Ключові слова: струмопідвід, нагрівач, вуглець-вуглецевий композиційний матеріал, перехідний опір, титановий дріт.

Гурин І.В. к.техн.н., Невлюдов І.Ш. д.техн.н., професор,
Овчаренко В.Е. д.техн.н., професор, Токарева Е.В. к.техн.н., професор

ТОКОПОДВОД ДЛЯ РЕЗИСТИВНИХ УУКМ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

В данній статті обосновується необхідність урахування перехідного електричного опору контактної опору між титановим токопідводом і резистивним елементом нагрівача з УУКМ при його виготовленні.

Углерод-углеродний композиційний матеріал має унікальний набір технічних характеристик, які дозволяють використовувати його як конструктивний матеріал для створення резистивних нагрівачів, що працюють в діапазоні температур від 400°C до 2500°C в вакуумі або захисній атмосфері. Використання УУКМ в теплових камерах електротермічних двигачів для перетворення електричної енергії в теплову дозволяє використовувати їх для вимірювання температури всередині теплової камери двигача. Використання інтегральної оцінки температури нагрівача з УУКМ, заснованої на зміні опору нагрівача з підвищенням температури і фактично заключається в вимірюванні сили електричного струму, що протікає через нагрівач, вимагає забезпечення точних значень електричного опору самого нагрівача і електричного опору в місці контакту токопідвода з нагрівачем.

Особливістю конструкції нагрівача є необхідність підведення електричного струму до двох ламелей резистивного елемента нагрівача з УУКМ, які розташовані з однієї сторони нагрівача. Для зварки з'єднань між титановим

проводом и резистивным элементом нагревателя использовалась сварка TIG (Tungsten Inert Gas) с поверхностной дугой в среде аргона, который подавался между местом сварки и нерасходным вольфрамовым электродом.

Результаты лабораторных испытаний показали, что разъемные соединения титанового провода с резистивным элементом нагревателя из УУКМ и разборные соединения (болтовые, винтовые, клиновые) по разным причинам не могут обеспечить требования к стабильности контактного сопротивления. Из неразборных соединений только сварные соединения продемонстрировали стабильные показатели электрического контактного сопротивления.

Электрическое сопротивление нагревателя с токоподводом должно составлять $3,8 \pm 0,2$ Ом. Значение допуска на сопротивление определено рядом факторов, в том числе физическими свойствами УУКМ, технологией механической обработки, способом нанесения защитного покрытия, сопротивлением сварного соединения и другими.

При механических испытаниях сварного соединения титанового провода с нагревателем было установлено, что отрыв провода от нагревателя происходит с остатками УУКМ и переходного слоя титанового карбида, который образуется при сварке и может влиять на дополнительное электрическое сопротивление нагревателя. Теплового деформирования нагревателя из УУКМ в зоне сварки не происходит.

Результаты проведенных исследований подтверждают, что установка титановых токоподводов методом сварки увеличивает значение сопротивления резистивного элемента нагревателя из УУКМ за счет химической реакции между титановым сплавом и резистивным элементом и появления дополнительного слоя карбида титана. Таким образом, электрическое сопротивление резистивного элемента нагревателя из УУКМ при его изготовлении, до сварки двух титановых проводов для токоподвода, должно быть уменьшено с учетом переходного электрического сопротивления двух сварных контактов.

Ключевые слова: токоподвод, нагреватель, углерод-углеродный композиционный материал, переходное сопротивление, титановый провод.

Hurin I., Nevlyudov I, Ovcharenko V., Tokarieva O.

CURRENT LEADS FOR RESISTIVE CCCM HEATERS

The article justifies the necessity of taking into account the transient electrical resistance of the welding contact between the titanium current lead and the resistive element of the heater made of carbon-carbon composite material (CCCM) during its manufacturing.

Carbon-carbon composite material possesses a unique set of technical characteristics that make it suitable as a structural material for manufacturing resistive heaters operating in the temperature range from 400°C to 2500°C in a vacuum or protective atmosphere. The use of CCCM heaters in the thermal chambers of electrothermal engines to convert electrical energy into thermal energy allows them to be employed for temperature measurement inside the engine's thermal chamber. The utilization of an integrated temperature assessment of the CCCM heater, which relies on the resistance change of the heater with increasing temperature and essentially involves measuring the electrical current passing through the heater, requires ensuring accurate values of both the electrical resistance of the heater itself and the electrical resistance at the point of contact with the current lead.

The design of the heater has a particular feature, which is the need to supply electrical current to two lamellas of the resistive element of the CCCM heater, located on one side of the heater. For welding the joints between the titanium wire and the resistive element of the heater, TIG welding with a surface arc in an argon environment was applied, with argon being supplied between the welding point and the non-consumable tungsten electrode.

Laboratory tests revealed that detachable connections of the titanium wire to the resistive element of the CCCM heater and separable connections (such as bolts, screws, and wedges) cannot meet the requirements for contact resistance stability for various reasons. Among non-detachable connections, only welded joints demonstrated stable electrical contact resistance characteristics.

The electrical resistance of the heater with current leads should be 3.8 ± 0.2 Ohms. The tolerance value for resistance is determined by several factors, including the physical properties of CCCM, the technology of mechanical processing, the method of applying protective coatings, the resistance of the welding joint, and others.

During mechanical tests of the welding joint between the titanium wire and the heater, it was observed that the wire detachment from the heater occurs with residues of CCCM and a transitional layer of titanium carbide, which forms during welding and can contribute to additional electrical resistance of the heater. Thermal deformation of the CCCM heater in the welding zone does not occur.

The results of the conducted research demonstrate that the installation of titanium current leads by welding increases the resistance value of the resistive element of the CCCM heater due to the chemical reaction between the titanium alloy and the resistive element, leading to the formation of an additional layer of titanium carbide. Therefore, the electrical resistance of the resistive element of the CCCM heater during its manufacturing, before welding two titanium wires for current leads, should be reduced, taking into account the transitional electrical resistance of the two welding contacts.

Keywords: current leads, heater, carbon-carbon composite material, transitional resistance, titanium wire.

Красніков І.Л., к.техн.н., доцент, Бабіченко А.К., к.техн.н., доцент,
Снурніков Д.В., аспірант

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВИБІР СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: База даних, СУБД MySQL, MySQL Workbench, дистанційне навчання; реляційна модель даних; клієнт-серверна архітектура.

Вступ

Стрімкий розвиток інформаційного простору вимагає від кожного спеціаліста володіння знаннями та навиками роботи з інформаційними системами, основаними на базах даних. Бази даних дозволяють ефективно зберігати та обробляти величезні обсяги інформації, яка з'являється щоденно у різних галузях людської діяльності. Знання про роботу з базами даних допомагають аналізувати та витягати цінну інформацію з даних. Це важливо для прийняття обґрунтованих рішень у різних галузях, включаючи бізнес, виробництва, науку, освіту, медицину, громадську сферу та ін. [1].

Дисципліна "Організація баз даних" входить до навчальних планів підготовки фахівців у сфері як інформаційних технологій так і інженерних спеціальностей. Зміст цієї дисципліни може виглядати різним для студентів комп'ютерних та інженерних спеціальностей через їхні особливі потреби та акценти в навчанні. Так для студентів комп'ютерних спеціальностей, які вже мають досвід програмування та розробки програмних додатків, дисципліна може фокусуватися на розробці та інтеграції програмних продуктів з базами даних [2]. Вони можуть навчатися проектуванню баз даних для підтримки конкретних програмних застосунків. Для інженерів, які працюють в галузі інженерії або наукових досліджень, навчання може включати аналіз використання баз даних в інженерних проєктах та наукових дослідженнях. Вони можуть дізнатися, як зберігати та аналізувати дані, пов'язані з інженерними системами. В їхньому випадку навчання може акцентувати увагу на аспектах безпеки та захисту даних, оскільки вони здатні створювати програмні продукти, які вимагають захисту від несанкціонованого доступу та злому [3]. Тим не менш сучасний фахівець, незалежно від роду його діяльності, повинен володіти теоретичним знаннями в галузі теорії баз даних і мати практичні навички проектування баз даних і роботи з ними [4].

Загальна характеристика існуючих моделей та технологій баз даних

На початку навчання необхідно сформулювати поняття моделі об'єкта. Це поняття є необхідним у математиці, фізиці, інформатиці, але його трактування відрізняється на різних етапах навчання. Зокрема, під час вивчення баз даних модель об'єкта подається у вигляді сукупності даних і зв'язків між ними. Під моделлю даних розуміють логічну структуру, що зберігається в базі даних. До класичних моделей подання даних належать ієрархічна, мережева і реляційна моделі. Останнім часом з'явилися і використовуються постріляційна, багатовимірна та об'єктно-орієнтована моделі даних. Модель даних можна розглядати як сукупність таких складових: структура даних для відображення відносин між користувачем і базою даних; допустимі операції, які виконуються

над структурою даних і становлять основу мови даних розглянутої моделі даних; механізм контролю її цілісності [5].

Реляційна модель даних є однією з найбільш поширених та стійких моделей у теперішній час. Основною перевагою цієї моделі є простота і доступність для розуміння користувачем. Єдиною використовуваною інформаційною конструкцією є "таблиця". Реляційна модель даних має строгі правила проєктування, що базуються на математичному апараті теорії множин та реляційної алгебри. Зміни в програмному забезпеченні при заміні реляційної бази даних мінімальні; для організації запитів і написання прикладного програмного забезпечення немає необхідності знати конкретну організацію бази даних у зовнішній пам'яті.

При вивченні баз даних, основаних на реляційній моделі даних можна виділити такі навчальні елементи: дані, сутності, зв'язки, атрибути, нормальні форми (1НФ, 2НФ, 3НФ, 4НФ Бойса-Кодда, 5НФ), архітектуру бази даних, систему управління базою даних (СУБД), реляційну алгебру, реляційне числення, кортеж, відношення, потужність відношення, реляційну базу даних, універсальне відношення, первинний ключ, зовнішній ключ, функціональну залежність, детермінант, концептуальне проєктування баз даних, декомпозицію на базі функціональних залежностей, проєктування методом "сутності-зв'язки" (ER-проєктування), мову запитів SQL [6].

Під час навчання роботі з базами даних необхідно враховувати той факт, що практично всі сучасні бази даних побудовані з використанням клієнт-серверних технологій. Клієнт-серверна система – це розподілена система, в якій одні комп'ютери (клієнти) взаємодіють з іншими комп'ютерами (серверами) для обміну даними та ресурсами через комп'ютерну мережу. Сервер і клієнт виконують різні функції, які розподілені між ними. Сервер зберігає базу даних, обробляє запити від клієнтів і надає їм необхідну інформацію або ресурси. Сервер відповідає за безпеку та цілісність даних, що зберігаються на ньому. Він керує доступом до ресурсів, які він надає клієнтам, і розподіляє їхнє використання між багатьма клієнтами. Клієнт формує запити до сервера, запитуючи конкретні дані або ресурси, приймає та отримує відповіді від сервера і відображає інформацію користувачу. Загалом, сервер надає ресурси та послуги, а клієнт взаємодіє з сервером та користується цими ресурсами для досягнення певних цілей користувача [7].

Реалізація можливостей клієнт-серверних технологій в процесі навчання роботі з базами даних має ряд особливостей і переваг:

Використання клієнт-серверної архітектури дозволяє розділити завдання між сервером і клієнтами, що сприяє паралельній обробці даних і, таким чином, зменшує час відповіді сервера та підвищує продуктивність роботи з базами даних.

Клієнтські системи можуть бути налаштовані під конкретні потреби користувачів, що робить їх більш ефективними для виконання навчальних завдань.

База даних може використовуватися кількома різними клієнтськими системами одночасно, що дозволяє розділити доступ до даних між користувачами та об'єднати їхню роботу.

Взаємодія з сервером надає користувачам можливість активно керувати процесом обробки даних і отримувати інформацію в режимі реального часу.

Навчання роботі з віддаленою базою даних може бути ефективним і корисним для студентів, оскільки вони навчаються маніпулювати даними за допомогою SQL-запитів, що є основою для роботи з базами даних.

Результати досліджень функціональних можливостей існуючих програмних продуктів інструментів навчання

Під час вивчення дисципліни " Організація баз даних" актуальним є питання вибору безкоштовного і водночас ефективного програмного продукту, який побудований за клієнт-серверною архітектурою, підтримує реляційну модель бази даних, може працювати з сучасними CASE-засобами (Computer Aided Software/system Engineering) проектування баз даних та не вимагає значних ресурсів обладнання.

Усім цим вимогам у повній мірі відповідає продукт відомої компанії Oracle СУБД MySQL. Згідно з даними DB-Engines Ranking [8], які наведені на рис.1, у 2023 році ця СУБД займає за популярністю друге місце у світі. По своєму функціоналу вона дещо поступається СУБД PostgreSQL, але вона є більш зрозумілою і легкою в адмініструванні [9].

416 systems in ranking, November 2023

Rank			DBMS	Database Model	Score		
Nov 2023	Oct 2023	Nov 2022			Nov 2023	Oct 2023	Nov 2022
1.	1.	1.	Oracle +	Relational, Multi-model	1277.03	+15.61	+35.34
2.	2.	2.	MySQL +	Relational, Multi-model	1115.24	-18.07	-90.30
3.	3.	3.	Microsoft SQL Server +	Relational, Multi-model	911.42	+14.54	-1.09
4.	4.	4.	PostgreSQL +	Relational, Multi-model	636.86	-1.96	+13.70
5.	5.	5.	MongoDB +	Document, Multi-model	428.55	-2.87	-49.35

Рисунок 1 – Рейтинг популярності СУБД у світі за даними DB-Engines Ranking

Безкоштовна версія MySQL називається "MySQL Community Edition" та доступна для вільного завантаження для різних платформ, таких як MS Windows, Linux, macOS та деяких інших за посиланням <https://dev.mysql.com/downloads/mysql/>. Ця версія за своїм функціоналом не поступається ні за якими критеріями комерційним системам [10].

Як основні можливості MySQL можна відзначити [11]:

- високу надійність і швидкодію;
- наявність відкритих вихідних текстів;
- сумісність з багатьма прикладними програмами;
- багатопотокове використання ресурсів;
- інтерфейси для мов C, C++, Java, Perl, PHP, Python і Tcl;
- привілеї та система паролів;
- підтримку великих баз даних;
- є системою "клієнт-сервер".

Недоліки системи, до яких відносяться деякі обмеження при виконанні складних запитів та при створенні аналітичних звітів, що вимагає високого навантаження та великої кількості одночасних запитів, не є критичними для цілей навчання.

Доступ до сервера MySQL при виконанні лабораторних та практичних занять студенти можуть отримувати віддалено через консольний клієнт (mysql.exe), який є частиною СУБД MySQL. За допомогою цього клієнта студенти можуть повноцінно працювати з базою даних, яка розміщена на сервері викладача, створювати та змінювати нові бази даних, виконувати запити на мові SQL, керувати привілеями та інше. Викладач має змогу індивідуально керувати привілеями кожного користувача.

Для підключення до сервера MySQL з консольного клієнта `mysql` (`mysql.exe`) потрібно знати: IP-адресу або доменне ім'я сервера, порт (стандартне значення 3306), логін і пароль. Ці значення передаються як параметри клієнта `mysql`.

У разі успішного підключення користувач бачить наступне повідомлення:

```

MySQL 8.0 Command Line Client

Enter password: ****
Welcome to the MySQL monitor.  Commands end with ; or \g.
Your MySQL connection id is 17
Server version: 8.0.32 MySQL Community Server - GPL

Copyright (c) 2000, 2023, Oracle and/or its affiliates.

Oracle is a registered trademark of Oracle Corporation and/or its
affiliates. Other names may be trademarks of their respective
owners.

Type 'help;' or '\h' for help. Type '\c' to clear the current input statement.

mysql>

```

Також для користувачів доступна безкоштовна версія GUI (graphical user interface) клієнта, MySQL Workbench Community Edition, який доступний для вільного завантаження за посиланням <https://dev.mysql.com/downloads/workbench/>.

MySQL Workbench Community Edition – інтегроване середовище для проектувальників, розробників і адміністраторів баз даних, що реалізує функції візуального проектування, розробки та експлуатації баз даних MySQL. Workbench Community Edition є повнофункціональним продуктом, що має всі можливості комерційного варіанта – MySQL Workbench Standard Edition [12].

На рис. 2 показано вид одного із екранів програми, де викладач може бачити усі поточні підключення студентів, та керувати їх привілеями.

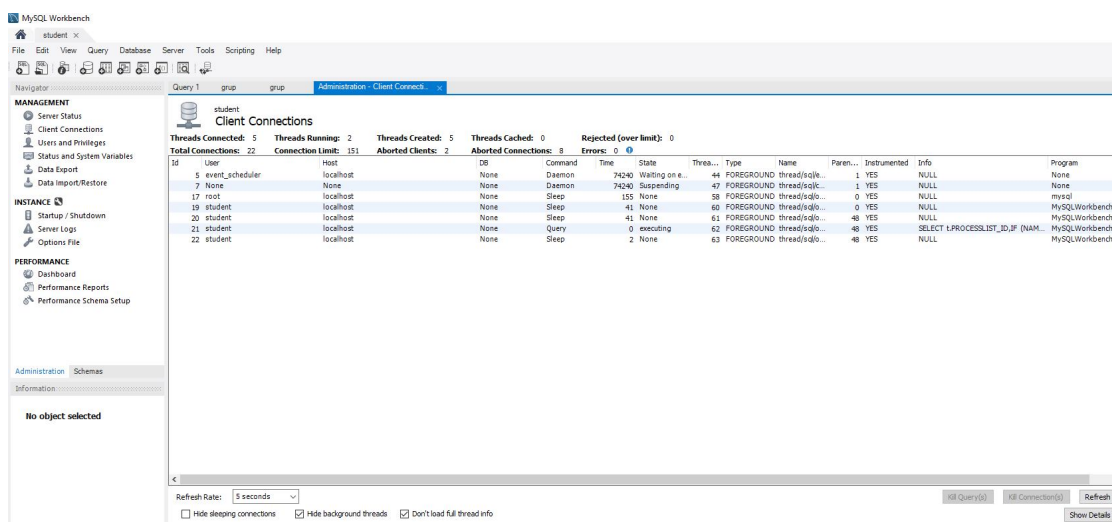


Рисунок 2 – Вікно керування підключеннями клієнтів у програмі MySQL Workbench

До основних функцій програми MySQL Workbench, що є важливими в процесі навчання можна віднести [12]:

- диспетчер підключень, що дає змогу створювати та керувати підключеннями до сервера MySQL;
- можливість створювати та моделювати бази даних за допомогою графічного інтерфейсу в нотаціях: IDEF1X, IE, Connect to Columns, UML та Classic;
- механізм зв'язування таблиць БД, зокрема "багато до багатьох";
- підтримка процесів Reverse Engineering (відновлення схеми БД з наявної на сервері БД) та Forward Engineer(відтворення бази даних на MySQL сервері з моделі);
- збереження схеми БД у вигляді DDL-скрипта та відновлення з нього;
- редактор SQL запитів, що дає змогу надсилати їх серверу та отримувати відповідь у вигляді таблиці. Workbench надає SQL-редактор з підсвічуванням синтаксису, автодоповненням і можливістю виконання SQL-запитів безпосередньо з інтерфейсу;
- можливість редагування даних у таблиці у візуальному режимі;
- збереження схеми БД у різних графічних форматах;
- адміністративні функції Workbench дозволяють керувати базами даних, створювати резервні копії, відновлювати дані, налаштовувати доступ до бази даних, переглядати системну інформацію та багато іншого.

Тобто ця безкоштовна СУБД ефективно формує компетентності студентів як інженерних так і комп'ютерних спеціальностей при роботі с базами даних. Можливості CASE-засобу MySQL Workbench дозволяють формувати у студентів здатність до створення концептуальної, логічної та фізичної моделей, навчають генерувати код бази даних за створеною моделлю і автоматично створювати базу даних на сервері MySQL.

Висновки

В існуючих складних умовах освітній процес в Україні здійснюється у змішаній або дистанційній формі. Досягнути якісного освітнього процесу в таких умовах можливо досягнути лише за наявності у закладів вищої освіти електронного ресурсу, де науково-педагогічні працівники та здобувачі вищої освіти можуть працювати злагоджено та системно. За результатами досліджень встановлено, що таким ресурсом при вивченні освітньої компоненти «Організація баз даних» може бути безкоштовний програмний продукт СУБД MySQL Community Edition фірми Oracle. Ця програма має клієнт-серверну архітектуру, підтримує реляційну модель даних та незважаючи на деякі недоліки є простою в адмініструванні і не вимогливою до обладнання.

Література

1. Булатецька Л. Методичні особливості вивчення концептуального проектування баз даних при підготовці майбутніх фахівців. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. 2020. №41. С. 5–9.
2. Погромська Г. Викладання баз даних на комп'ютерних спеціальностях як елемент підготовки студентів-інформатиків до професійної діяльності. Збірник наукових праць Уманського державного педагогічного університету. 2013. №3. С. 215–222.
3. Шаров С. В. Методичні підходи до викладання технології проектування та адміністрування баз даних. Удосконалення освітньо-виховного процесу в закладі вищої освіти : збірник науково-методичних праць ТДАТУ. 2023. Вип. 26. С. 281–287.

4. Saidov J. D. Study of the process of database and creation in higher education // International scientific and practice conference on “International experience in increasing the effectiveness of distance education: problems and solutions”. Guliston, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/5R96C>.
5. Савчук Т.О. Організація баз даних і знань. Вінниця: ВДТУ, 2009. – 439 с.
6. Балик Н.Р., Мандзюк В.І. Базы даних MySQL: Навчальний посібник. – Тернопіль: Навчальна книга – Богдан, 2010.– 160 с.
7. Carneiro J. A Review on Tools for Teaching Database Systems Online // Kriativ.Tech. 2020. No. 8. DOI: <https://doi.org/10.31112/kriativ-tech-2020-08-42>.
8. DB-Engines Ranking, 2023. [Online]. Available: <https://db-engines.com/en/ranking>. (date of access: 16.11.2023).
9. Chord Sutim, Daranee Hormdee. MySQL vs. PostgreSQL in Cluster Model for SCADA System in Power Substation, 6th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2011).
10. MySQL – the official website of the MySQL project. URL: <https://www.mysql.com/> (date of access: 16.11.2023).
11. MySQL Reference Manual. URL: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.2/en/> (date of access: 16.11.2023).
12. MySQL Workbench Reference Manual. URL: <https://dev.mysql.com/doc/workbench/en/> (date of access: 16.11.2023).

Bibliography (transliterated)

1. Bulatetska L. Metodychni osoblyvosti vyvchennia kontseptualnoho proektuvannia baz danykh pry pidhotovtsi maibutnikh fakhivtsiv. Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo. 2020. №41. P. 5–9.
2. Pohromska H. Vykladannia baz danykh na kompiuternykh spetsialnostiakh yak element pidhotovky studentiv-informatykyv do profesiinoi diialnosti. Zbirnyk naukovykh prats Umanskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu. 2013. №3. P. 215–222.
3. Sharov S. V. Metodychni pidkhody do vykladannia tekhnolohii proiektuvannia ta administruvannia baz danykh. Udoshkonalennia osvitho-vykhovnoho protsesu v zakladi vyshchoi osvity : zbirnyk naukovo-metodychnykh prats TDATU. 2023. Vyp. 26. P. 281–287.
4. Saidov J. D. Study of the process of database and creation in higher education // International scientific and practice conference on “International experience in increasing the effectiveness of distance education: problems and solutions”. Guliston, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/5R96C>.
5. Savchuk T.O. Orhanizatsiia baz danykh i znan. Vinnytsia: VDTU, 2009. – 439 p.
6. Balyk N.R., Mandziuk V.I. Bazy danykh MySQL: Navchalnyi posibnyk. – Ternopil: Navchalna knyha – Bohdan, 2010.–160 p.
7. Carneiro J. A Review on Tools for Teaching Database Systems Online // Kriativ.Tech. 2020. No. 8. DOI: <https://doi.org/10.31112/kriativ-tech-2020-08-42>.
8. DB-Engines Ranking, 2023. [Online]. Available: <https://db-engines.com/en/ranking>. (date of access: 16.11.2023).

9. Chord Sutim, Daranee Hormdee. MySQL vs. PostgreSQL in Cluster Model for SCADA System in Power Substation, 6th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2011).

10. MySQL – the official website of the MySQL project. URL: <https://www.mysql.com/> (date of access: 16.11.2023).

11. MySQL Reference Manual URL: <https://dev.mysql.com/doc/refman/8.2/en/> (date of access: 16.11.2023).

12. MySQL Workbench Reference Manual. URL: <https://dev.mysql.com/doc/workbench/en/> (date of access: 16.11.2023).

УДК 004.65

Красніков І.Л., к.техн.н., доцент, Бабіченко А.К., к.техн.н., доцент,
Снурніков Д.В., аспірант

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВИБІР СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ БАЗАМИ ДАНИХ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Визначено актуальність вивчення дисципліни «Організація баз даних» для студентів комп'ютерних та інженерних спеціальностей та показані їх особливі потреби та акценти в навчанні.

Дано визначення моделі даних, які зберігається в базі даних. Розглянуті особливості реляційної моделі даних, основною перевагою якої над іншим є простота і доступність для розуміння користувачем та наявність досить простого і одночасно потужного математичного апарату теорії множин та реляційної алгебри. Виділені основні навчальні елементи вивчення баз даних, оснований на реляційній моделі даних.

Дана характеристика клієнт-серверної архітектури сучасних СУБД. Відзначені переваги клієнт-серверних технологій в процесі навчання роботі з базами даних.

Результати досліджень функціональних можливостей існуючих програмних продуктів для роботи з базами даних показали доцільність вибору в якості інструменту навчання СУБД MySQL Community Edition, яка є безкоштовною та за своїм функціоналом не поступається ні за якими критеріями комерційним системам. Недоліки системи, до яких відносяться деякі обмеження при виконанні складних запитів та при створенні аналітичних звітів, що вимагає високого навантаження та великої кількості одночасних запитів, не є критичними для цілей навчання. Доступ до серверу MySQL може здійснюватися як із консольного клієнту, який працює із будь-якою із сучасних операційних систем, так і з багатьох GUI-клієнтів. В роботі дана характеристика програмного продукту MySQL Workbench Community Edition, який пропонується фірмою Oracle для безкоштовного використання як у складі серверу MySQL, так і у якості окремого GUI-клієнта.

В результаті проведених досліджень було зроблено висновок, що безкоштовна СУБД MySQL Community Edition разом із GUI-клієнтом MySQL Workbench Community Edition у повні мірі формує компетентності студентів як інженерних так і

комп'ютерних спеціальностей при роботі з базами даних і може бути використана при вивченні освітньої компоненти «Бази даних» в умовах дистанційної форми освіти.

Ключові слова: База даних, СУБД MySQL, MySQL Workbench, дистанційне навчання; реляційна модель даних; клієнт-серверна архітектура.

Красников І.Л., к.техн.н., доцент, Бабиченко А.К., к.техн.н., доцент,
Снурников Д.В., аспірант

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ВЫБОР СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Определена актуальность изучения дисциплины "Организация баз данных" для студентов компьютерных и инженерных специальностей и показаны их особые потребности и акценты в обучении.

Дано определение модели данных, которые хранятся в базе данных. Рассмотрены особенности реляционной модели данных, основным преимуществом которой над другим является простота и доступность для понимания пользователем и наличие достаточно простого и одновременно мощного математического аппарата теории множеств и реляционной алгебры. Выделены основные учебные элементы изучения баз данных, основанных на реляционной модели данных.

Дана характеристика клиент-серверной архитектуры современных СУБД. Отмечены преимущества клиент-серверных технологий в процессе обучения работе с базами данных.

Результаты исследований функциональных возможностей существующих программных продуктов для работы с базами данных показали целесообразность выбора в качестве инструмента обучения СУБД MySQL Community Edition, которая является бесплатной и по своему функционалу не уступает ни по каким критериям коммерческим системам. Недостатки системы, к которым относятся некоторые ограничения при выполнении сложных запросов и при создании аналитических отчетов, что требует высокой нагрузки и большого количества одновременных запросов, не являются критичными для целей обучения. Доступ к серверу MySQL может осуществляться как из консольного клиента, работающего с любой из современных операционных систем, так и из многих GUI-клиентов. В работе дана характеристика программного продукта MySQL Workbench Community Edition, который предлагается фирмой Oracle для бесплатного использования как в составе сервера MySQL, так и в качестве отдельного GUI-клиента.

В результате проведенных исследований был сделан вывод, что бесплатная СУБД MySQL Community Edition вместе с GUI-клиентом MySQL Workbench Community Edition в полной мере формирует компетентности студентов как инженерных так и компьютерных специальностей при работе с базами данных и может быть использована при изучении образовательной компоненты "Базы данных" в условиях дистанционной формы образования.

Ключевые слова: База данных, СУБД MySQL, MySQL Workbench, дистанционное обучение; реляционная модель данных; клиент-серверная архитектура.

Krasnikov I.L., Babichenko A.K., Snurnykov D.V.

GENERAL CHARACTERISTICS AND SELECTION OF A DATABASE MANAGEMENT SYSTEM IN DISTANCE LEARNING

The relevance of studying the discipline "Databases" for students of computer and engineering specialties is determined and their special needs and emphasis in learning are shown.

The definition of the data model stored in the database is given. The features of the relational data model are considered, the main advantage of which is simplicity and accessibility for the user to understand and the availability of a fairly simple and at the same time powerful mathematical apparatus of set theory and relational algebra. The main educational elements of studying databases based on the relational data model are highlighted.

The client-server architecture of modern DBMSs is described. The advantages of client-server technologies in the process of learning to work with databases are noted.

The results of the study of the functionality of existing software products for working with databases have shown the expediency of choosing MySQL Community Edition as a training tool, which is free and in its functionality is not inferior to commercial systems by any criteria. The disadvantages of the system, which include some limitations when executing complex queries and creating analytical reports that require a high load and a large number of simultaneous queries, are not critical for training purposes. The MySQL server can be accessed both from a console client running any of the modern operating systems and from many GUI clients. The paper describes the software product MySQL Workbench Community Edition, which is offered by Oracle for free use both as part of the MySQL server and as a separate GUI client.

As a result of the study, it was concluded that the free MySQL Community Edition DBMS together with the MySQL Workbench Community Edition GUI client fully develops the competencies of students of both engineering and computer specialties in working with databases and can be used in the study of the educational component "Databases" in the context of distance education.

Keywords: Database, MySQL DBMS, MySQL Workbench, distance learning; relational data model; client-server architecture.