

ІТЕ ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Щоквартальний науково-практичний журнал

3'2023

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

Держвидання
Свідчення Міністерства інформації України
КВ № 3427 від 18.08.1998 р.
Свідчення 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. Горбунів, канд. техн. наук, доц., професор НТУ "ХПІ"

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ:

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

В. С. Ведь, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ІТПА НТУ "ХПІ"

П. О. Некрасов, д-р техн. наук, професор, зав.каф. ТЖПБ 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.Козьмидуба

В. А. Мальяренко, 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
üniversitet, Будапешт, Угорщина

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

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

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

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

П. 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;
зарєєстрований 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. Tovazhnyansky, 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 Centre -

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., Горбунов К. О.

Інтеграція роботи регенераторів скловарних печей.....	3
---	---

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Дзевочко О. М., Подустов М. О., Дзевочко А. І., Пашко А. І.

Аналіз методів очищення відхідних газів від двооксиду сірки	13
---	----

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Кунденко М. П., Мардзявко В. А., Руденко А. Ю.

Аналіз технології генерації НВЧ випромінення з визначенням адаптивного типу діодів для подальшого конструювання апаратів для знезараження.....	24
--	----

Чечуй О. Ф., Близнюк О. М., Масалітіна Н. Ю., Белінська А. П.,

Варанкіна О. О., Бєлих І. А., Дьякова Н. М.

Вплив рідких комплексних біотехнологічних препаратів на метаболізм нітрогену при формуванні продуктивних органів пшениці озимої.....	38
--	----

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

Застосування ВВКМ для виготовлення високотемпературних нагрівачів теплових вузлів з автоматичним регулюванням температури.....	56
--	----

СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Сініцина А. О., Карножицький П. П.

Буре вугілля – сировина для отримання водорозчинних сорбентів.....	67
--	----

Потаніна Т. В., Михайленко І. В.

Дослідження вибірок експериментальних даних на наявність викидів: порівняння методів.....	78
---	----

Сторінка редколегії.....	90
--------------------------	----

Затверджено Вченою радою НТУ «ХПІ» (протокол № 7 від 15.09.2023 р.)

Інтегровані технології та енергозбереження / Щоквартальний науково-практичний журнал. – Харків : НТУ «ХПІ», 2023. – № 3. – 92 с.

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

© Національний технічний університет «ХПІ», 2023

Селіхов Ю.А., к.техн.н., професор, Горбунов К.О., к.техн.н., професор

ІНТЕГРАЦІЯ РОБОТИ РЕГЕНЕРАТОРІВ СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: вогнетривка кладка; ванна скловарної печі; температурні поля; система випарного охолодження, додаткове охолодження, склепіння, подина.

Постановка задачі. Виробництво промислової продукції в Україні здійснюється із високими питомими витратами енергоресурсів. Витрати палива та його питома складова у собівартості продукції підприємств скляної промисловості значно перевищують аналогічні показники промислово розвинених країн, що суттєво знижує конкурентоспроможність вітчизняної продукції. У цих умовах енергозбереження визначено одним із пріоритетних напрямів державної політики України [1]. Високотемпературні теплотехнологічні комплекси та системи можуть суттєво відрізнятися як за своїм конструктивним виконанням, так і за цільовим призначенням. Однак наявність подібних робочих процесів, таких як горіння палива, приблизно однакові і температурний рівень процесів, складний тепло- та масообмін у робочій зоні технологічного реактора, наявність системи регенерації тепла дозволяє застосувати загальний підхід для оцінки їх роботи з метою вибору перспективних напрямів енергозбереження та вибору шляхів підвищення ефективності використання палива [2]. Загальні методологічні підходи, що знайшли застосування при аналізі роботи високотемпературних теплотехнологічних установок (ВТУ) у виробництві скломаси, дали можливість вибрати ефективні напрями у проведенні досліджень у галузі енергозбереження стосовно скляного виробництва з урахуванням характерних технологічних особливостей виробництва у сучасних економічних умовах. Ефективність роботи агрегатів визначається не тільки ступенем досконалості теплотехнічних систем, а й стійкістю елементів, які залежать від якості вогнетривких матеріалів, що застосовуються. Це зумовлює необхідність комплексного підходу до вирішення низки взаємозалежних завдань енергозбереження теплотехнології виробництва скломаси, параметричної діагностики та оптимального управління. Значно ускладнює проведення досліджень та обставина, що робота елементів комплексу жорстко пов'язана зі складними фізико-хімічними та технологічними процесами, що реалізуються у робочому просторі ВТУ під час виробництва скломаси.

В даний час агрегати ванного типу знаходять широке застосування при виробництві різних матеріалів, у тому числі при виробництві скла, яке відноситься до енерговитратних виробництв. Технологія виробництва скла включає операції, що реалізуються у певній послідовності як позаробочого простору реактора (підготовка шихти, формування, охолодження та термообробка виробу), так і безпосередньо в робочому просторі (нагрів, плавлення шихтових матеріалів з процесами силікато- та склоутворення, дегазація та гомогенізація скломаси), охолодження скломаси до заданої температури, видача скла на формувальну машину – студка).

З метою більш повного використання енергії палива та відходів теплової енергії до складу ВТУ включають елементи зовнішнього тепловикористання з додатково вбу-

дованими в структурну схему установки елементами, придатними також для отримання іншої технологічної продукції, наприклад гарячої води, пари, електроенергії.

З метою збільшення міжремонтних термінів і підвищення стійкості елементів скловарних печей, передусім стін варильного басейну, застосовуються різні способи охолодження вогнетривкої кладки [3, 4]. В даний час для охолодження склепіння та подини широко використовується повітряне охолодження. Повітряне охолодження призводить до підвищення стійкості вогнетривів стінового бруса, проте його застосування не вирішує проблему збільшення кампанії печей. У той же час при випарному охолодженні стійкість стінового бруса вже не є лімітуючим фактором тривалості кампанії печей, що є важливим аргументом на користь його застосування. У цьому випадку на поверхні елементів, що охолоджуються, утворюється шар в'язкої скломаси (гарнісаж), що перешкоджає його подальшому руйнуванню [5]. Система випарного охолодження переважно застосовується для охолодження зовнішньої поверхні варильного басейну скловарної печі.

Вогнетриви стін, що працюють в агресивному середовищі в діапазоні температур 1320–1650 °С в порівнянні з вогнетривами склепіння і подини, схильні до найбільш інтенсивного руйнування. Причому характерним є інтенсивне руйнування вогнетривів лише на рівні дзеркала скломаси. Це призводить до значного підвищення температури на зовнішній поверхні стін варильного басейну, що може перевищувати 300 °С.

Зі зростанням температури значно зростає швидкість корозії вогнетривів, яка може становити від 0,1–0,2 мм/добу для бакору та до 5–6 мм/добу для плавленого кварцу [6]. В цьому випадку суттєво збільшуються теплові втрати через огороження агрегатів, погіршуються умови роботи обслуговуючого персоналу. Зі зменшенням товщини вогнетривких блоків стін варильного басейну виникає реальна небезпека проривів розплаву скломаси [7]. У результаті це призводить до передчасного зупинення агрегатів для холодного ремонту, що негативно впливає на техніко – економічні показники роботи технологічних агрегатів. Таким чином, тривалість терміну експлуатації визначається, перш за все, стійкістю кладки стін варильного басейну, а міжремонтний період печей, незважаючи на застосування штучного охолодження, може досягати в залежності від сорту скломаси, що виплавляється, і застосовуваних вогнетривів від декількох місяців до 2–3 років [8] .

На основі техніко-економічних розрахунків було обґрунтовано і в подальшому реалізовано пропозиції та рекомендації щодо використання системи випарного охолодження (СВО) для скловарної печі при виробництві алюмоборосилікатного скла. Досліджено охолоджувані конструкції плоскої форми із встановленими в них екранними поверхнями із сталевих труб. Установка панелей, що охолоджуються, передбачена по периметру ванни із зовнішнього боку. Панелі є вертикальними екранами, звареними зі сталевих труб діаметром $d = 59 \times 8$ мм з ребрами, з'єднаними верхнім та нижнім колекторами. Екрани змонтовані в сталевому корпусі прямокутної форми, виготовленому із сталевих листів із заповненням міжтрубного простору спеціальним жаростійким бетоном, а між бетоном та зовнішньою металевою стінкою прокладка з ізоляційного матеріалу [8]. Для оцінки працездатності екранів СВО проведено діагностику температурного стану елементів в інтервалі температур 1550–1570 °С, відповідний режим варіння алюмоборосилікатного скла з урахуванням динаміки руйнування вогнетривкої кладки. Результати промислової експлуатації агрегату показали надійність роботи елементів системи, що дозволило знизити рівень температур зовнішньої поверхні стін варильного

басейну [9–10]. При цьому технологічний агрегат окрім скломаси виробляв і насичену водяну пару, що відкрило можливість реалізувати різні схеми енерготехнологічного комбінування [11, 12].

При використанні випарного охолодження забезпечується підвищення стійкості конструкцій, що охолоджуються, значно скорочуються витрати на будівництво та експлуатацію водного господарства для водопостачання промислових підприємств, відкривається можливість утилізувати тепло, що втрачається раніше при водяному охолодженні. Використання теплового потенціалу пари систем випарного охолодження різних технологічних агрегатів становить близько 30 % загальної економії палива на теплоутилізаційних установках підприємств чорної металургії.

Тому розробка нових конструктивних елементів системи охолодження склепіння та подини скловарної печі вважаємо актуальним завданням.

Мета статті. Удосконалити систему охолодження скловарної печі, збільшення терміну експлуатації вогнетривкої кладки склепіння регенератора скловарної печі; утилізація теплоти зовнішньої кладки склепіння регенератора, а також удосконалення системи її охолодження шляхом застосування водяного охолодження зовнішньої поверхні склепіння регенератора; економія палива, яке витрачається для нагріву такої ж кількості теплоносія у котельному устаткуванні. Регенератори скловарних печей працюють в умовах жорсткої технологічної залежності від режимних параметрів скловарної печі. Гази, які гріють, поступають в регенератор з температурою на рівні 1200–1400 °С та охолоджуються там до рівня 450–650 °С. Температура повітря безпосередньо на вході в насадку регенератора може складати 50–150 °С. В скловарних печах з підковоподібним напрямком факелу регенератори розміщують з вузького боку за фронтальною стінкою печі, а з подовжнім - уздовж подовжніх бокових стін під пальниками. На початку газового періоду різниця між температурою насадки і температурою димових газів сягає значних величин. Поступово прогрівається насадка настільки, що її температура досягає граничної межі для робочої температури вогнетривкої кладки. У цей час здійснюється перекид клапанів і у канали регенератора поступає повітря або димові гази. Відбувається поступова віддача тепла насадкою повітря (газам), які нагріваються до заданої температури. Насадка віддає акумульоване тепло, при цьому знижується температура повітря (газу) та через регенератор знову пропускають гази, які підігрівають насадку. Таким чином робота регенератора характеризується циклічними нестационарними тепловими режимами та періодичними коливаннями температури підігріву повітря. Вимоги теплового режиму печі до роботи регенератора обумовлені тим, що зниження температури підігріву повітря або газу приводить до зниження температури згоряння і несприятливо впливає на рівень температури в робочій зоні печі. Коли необхідно підтримувати температуру в печі достатньо високою, треба часто робити перекид клапанів. Таким чином, підтримування високої температури вогнетривкої кладки насадки регенератора дозволяє нам, при використанні двошарової ізоляції, підтримувати температуру на зовнішній поверхні склепіння регенератора на рівні 100–120 °С, тим самим зводяться до мінімуму втрати тепла крізь склепіння регенератора і досягається їх герметичність. Однак ця теплота ніяк не утилізувалась та втрачалась безповоротно, при цьому вона нагрівала повітря приміщення, де знаходиться регенератор, природною конвекцією і тепловим випромінюванням. При цьому має місце нерівномірне руйнування вогнетривкої кладки склепіння по площині, звідси і наявність нерівномірних те-

мпературних полів по всій площині зовнішньої поверхні склепіння. Тому на зовнішній поверхні склепіння регенератора спостерігається висока температура, яка може сягати понад 100–120 °С і вище. Величина абсолютних втрат теплоти залежить від конструкції печей, матеріалів та стану вогнетривкої кладки, теплового режиму, розмірів поверхонь, які віддають тепло. Вагомим фактором при експлуатації системи регенерації є забезпечення мінімального надлишку повітря, так як підсос повітря через вогнетривку кладку негативно впливає на теплову роботу агрегату. Для зменшення підсосу повітря необхідно використовувати газощільну кладку склепіння і стін регенераторів та газоходів, а також захисну обмазку. В деяких випадках регенератори мають занадто малі або занадто великі розміри насадки, мають місце також нещільності у стінках регенераторів або відсутня теплоізоляція. Жодна з відомих конструкцій не заснована на теплотехнічному розрахунку тих процесів, які спостерігаються в системі охолодження регенератора, тому всі вони вирішують ту чи іншу задачу не комплексно [13, 14].

Мета досягається за рахунок того, що уздовж всієї зовнішньої поверхні склепіння регенератора встановлено додаткове охолодження з розташованих по периметру всієї площини збірних модулів, кожний з яких складається з теплоізованого металевго коробу, в якому знаходиться оснащений клапаном тиску плаский металевий колектор площиною 1,2 м² (1,2 м х 1,0 м) і товщиною 10 мм з розвинутою поверхнею теплообміну, встановлений цією поверхнею щільно до зовнішньої поверхні металевго листа, який своєю нижньою поверхнею лежить на зовнішній поверхні склепіння регенератора. Збірні модулі мають трубопроводи підведення та відведення теплоносія, запірну арматуру, електронасоси, термопари для вимірювання температури теплоносія, систему автоматизованого управління, пульт керування. На рис.1 показано схему обладнання для охолодження зовнішньої поверхні склепіння регенератора скловарної печі [15].

На рис. 1 показано схему обладнання для охолодження зовнішньої поверхні склепіння регенератора скловарної печі, яка складається з піднасадочного каналу 1, насадки з вогнетривкої кладки 2, покладеної усередині регенератора з стінами 11, склепіння 3, металевих листів 4, які своєю нижньою поверхнею лежать на зовнішній поверхні склепіння 3 і розміщені на склепінні паралельно один одному, які змонтовані на спеціальних шарнірах 10, і на них встановлено додаткове охолодження з розташованих по всій площині металевих листів паралельно один одному збірних модулів, кожний з яких складається з теплоізованого металевго короба 7, в якому знаходиться плаский металевий колектор з розвинутою поверхнею теплообміну 5 і клапаном тиску з трубопроводами підведення 8 і відведення 6 теплоносія, встановлений своєю розвинутою поверхнею теплообміну щільно до зовнішньої поверхні металевго листа 4.

Додаткове охолодження працює таким чином. Після виходу регенератора скловарної печі на робочий режим включається додаткове охолодження зовнішньої поверхні його склепіння. Теплоносій подається за патрубками 8, що підводять його знизу в пласкі колектори 5 і під тиском насоса заповнює внутрішню порожнину колекторів, відбирає тепло зовнішньої поверхні металевго листа 4 і через патрубки 6 виходить з колекторів. Коли теплоносій є вода, то при збільшенні температури до 100 °С, вона може закипіти, тоді у цьому випадку спрацює клапан тиску, який вирівняє тиск у колекторі. Підігрітий теплоносій подається наприклад, на потреби теплопостачання, або у бак-акумулятор. Металевий лист у своїй нижній частині має загнуту кромку у вигляді трубопроводу 9, у який, у разі прориву колектора, може збиратись теплоносій і потім відводитися у бак-акумулятор або на подачу в насоси. Термопари, які встановлені в

трубопроводах, передають сигнал на автоматизовану систему управління про рівні температур теплоносія. При збільшенні температури теплоносія вище заданої, автоматика збільшує подачу теплоносія насосом. Автоматизована система управління забезпечує роботу додаткового охолодження без втручання людини, а у разі необхідності можливе ручне керування системою. Коли необхідно відремонтувати склепіння, то у цьому випадку металевий лист разом з збірним модулем зміщується у бік на шарнірі і відкривається доступ до його ремонту.

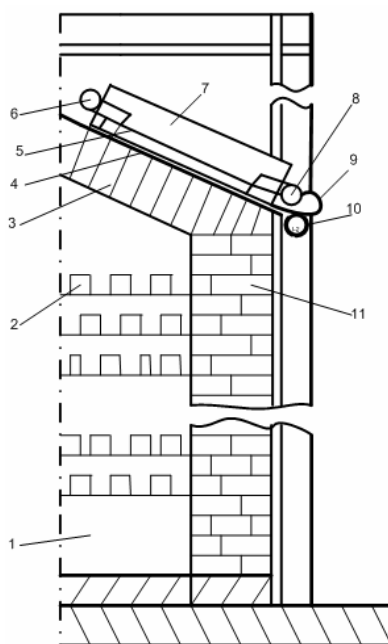


Рисунок 1 – Схема обладнання для охолодження зовнішньої поверхні склепіння регенератора скловарної печі

1 – піднасадочний канал, 2 – насадки з вогнетривкої кладки, 3 – склепіння, 4 – металевий лист, 5 – плоский металевий колектор, 6 – трубопроводи відведення теплоносія, 7 – теплоізолюваний металевий короб, 8 – трубопроводи підведення теплоносія, 9 – металевий лист з загнутою кромкою у вигляді трубопроводу, 10 – спеціальні шарніри, 11 – стіна з вогнетривкої кладки усередині регенератора

Висновки. Запропоноване нами додаткове водяне охолодження зовнішньої поверхні склепіння регенератора дозволяє: удосконалити систему охолодження зовнішньої поверхні склепіння регенератора скловарної печі шляхом застосування плоских колекторів з клапанами тиску, які мають трубопроводи підведення і відведення теплоносія і щільно без зазорів розміщені на металевих листах, які, в свою чергу теж щільно без зазорів лежать на зовнішній поверхні склепіння і змонтовані на спеціальних шарнірах, що дозволяє зменшити температуру поверхні до 30 °С і одночасно найбільш повно використати тепло зовнішньої поверхні склепіння регенератора, яке раніше не використовувалось, наприклад, для отримання гарячої води систем теплопостачання, а це в свою чергу дозволяє економити паливо, яке витрачається в котельні для нагрівання такої ж кількості теплоносія; забезпечити більш рівномірні температурні поля по всій площині склепіння регенератора, що, в свою чергу, дає можливість уповільнити процес руйнування вогнетривкої кладки склепіння регенератора; а встановлені у трубопрово-

дах термопары дають можливість слідкувати за зміною температури теплоносія в колекторах і в разі збільшення температури поверхні склепіння регенератора автоматика збільшує подачу теплоносія в трубопроводах, що в сукупності дозволяє збільшити термін експлуатації вогнетривкої кладки склепіння регенератора скловарної печі.

Література

1. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України. – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.
2. Интегрированные энергосберегающие теплотехнологии в стекольном производстве : Монография /Л.Л.Товажнянский, В.М. Кошельник и др. ; Под ред. В.М. Кошельника. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2008. – 628 с.
3. Кошельник В.М., Филиппов О.В., Кошельник А.В. О возможности применения опыта испарительного охлаждения металлургических агрегатов для стекловаренных печей // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1998. – Вып. 16. – С. 165–168.
4. Кошельник В.М., Киуила И.Г. Исследование и анализ теплового состояния стен варочного бассейна стекловаренной печи с испарительным охлаждением / Тез. доклада междунар. семинара «Научные основы конструирования металлургических печей». – Днепропетровск: ДМетАУ, 1993. – С. 18–19.
5. Кошельник В.М. Методика экспериментального исследования теплового состояния панелей системы испарительного охлаждения стекловаренной печи // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 1999. – №1. – С. 55–60.
6. Гойхман В.Ю., Руслов В.Н., Костыря В.А. Печная теплотехника в производстве стекла. – Харьков: Факт, 1997. – 288 с.
7. Энергосбережение при варке стекла / Г.М.Матвеев, В.В.Миронов, Э.М.Раскина, К.Е.Тарасевич // Стекло и керамика. – 1998. – №11. – С. 10–11.
8. Кошельник В.М., Долженко Е.Ю., Кошельник А.В., Киуила И.Г. Перспективные направления энерготехнологического комбинирования на основе стекловаренных печей // Интегровані технології та енергозбереження. – 1999. – №2. – С. 31–39.
9. Тепловые процессы в технологии силикатных материалов: Учебник для вузов / И.А. Булавин, И.А. Марков, А.Я. Рапопорт, В.К. Хохлов. – М.: Стройиздат, 1982. – 248 с.
10. Пиоро Л.С. Экономия топлива в производстве стекла. – К.: Наук. Думка, 1981 – 140 с.
11. Пат. 20031212106 України А 7 СОЗВ5/04. Ванна скловарної печі / Кошельник В.М., Селихов Ю.А., Кошельник О.В., Долженко О.Ю.; Заявл. 27.08.2003; Опубл. 15.12.2004, Бюл. №12. – 4 с.
12. Пат. 2003088002 України А С 03В5/04. Ванна для скловарної печі / Кошельник В.М., Селихов Ю.А., Кошельник О.В.; Заявл. 23.12.2003; Опубл. 17.01.2005, Бюл. №1. – 3 с.
13. Совершенствование конструктивных элементов системы охлаждения высокотемпературных агрегатов ванного типа / В.М. Кошельник, Ю.А. Селихов, А.В. Кошельник, Е.Ю. Долженко // Интегровані технології та енергозбереження. – 2004. – №2. – С. 22–27.

14. Повышение энергоэкологических показателей высокотемпературных плавильных агрегатов на основе усовершенствования систем водяного охлаждения / В.М. Кошельник, Ю.А. Селихов, А.В. Кошельник, Е.Ю. Долженко // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2004. – №4. – С. 51–56.

15. Пат. 2003109378 України А 7 СОЗВ5/237. Обладнання для охолодження регенераторів скловарних печей / Кошельник В.М., Селіхов Ю.А., Кошельник О.В.; Заявл. 17.10 2003; Опубл. 15.11 2004, Бюл. №11. 4 с.

Bibliography (transliterated)

1. Kovalko M.P., Denisyuk S.P. Energozberezhennya – prioritetnii napryamok derzhavnoї politiki Ukraini. – K.: UEZ, 1998. – 506 p.

2. Integrirovannye energosberegayushchie teplotekhnologii v stekolnom proizvodstve : Monografiya /L.L. Tovazhnyanskyy, V.M. Koshelnik i dr. ; Pod red. V.M. Koshelnika. – Kharkov : NTU «KhPI», 2008. – 628 p.

3. Koshelnik V.M., Filipev O.V., Koshelnik A.V. O vozmozhnosti primeneniya opita isparitelnogo okhlazhdeniya metallurgicheskikh agregatov dlya steklovarennikh pechei // Vestnik Kharkovskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. – 1998. – Vip. 16.– P. 165–168.

4. Koshelnik V.M., Kiuila I.G. Issledovanie i analiz teplovogo sostoyaniya sten varochnogo basseina steklovarennoi pechi s isparitelnim okhlazhdeniem / Tez. doklada mezhdunar. seminaru «Nauchnie osnovi konstruirovaniya metallurgicheskikh pechei». – Dnepropetrovsk: DMetAU, 1993. – P. 18–19.

5. Koshelnik V.M. Metodika eksperimentalnogo issledovaniya teplovogo sostoyaniya panelei sistemi isparitelnogo okhlazhdeniya steklovarennoi pechi // Integrirovannye tekhnologii i energosberezhenie. – 1999. – №1.– P. 55–60.

6. Goikhman V.Yu., Ruslov V.N., Kostirya V.A. Pechnaya teplotekhnika v proizvodstve stekla. – Kharkov: Fakt, 1997. – 288 p.

7. Energozberezhenie pri varke stekla / G.M.Matveev, V.V.Mironov, E.M.Raskina, K.E.Tarasevich // Steklo i keramika. – 1998.– №11.– P. 10–11.

8. Koshelnik V.M., Dolzhenko Ye.Yu., Koshelnik A.V., Kiuila I.G. Perspektivnie napravleniya energotekhnologicheskogo kombinirovaniya na osnove steklovarennikh pechei // Integrovani tekhnologii ta yenergozberezhennya. – 1999. – №2. – P. 31–39.

9. Teplovie protsessi v tekhnologii silikatnikh materialov: Uchebnik dlya vuzov / I.A. Bulavin, I.A. Markov, A.Ya. Rapoport, V.K. Khokhlov.– M.: Stroizdat, 1982.– 248 p.

10. Pioro L.S. Ekonomiya topliva v proizvodstve stekla. – K.: Nauk. Dumka, 1981 – 140 p.

11. Пат. 20031212106 України А 7 SO3V5/04. Vanna sklovarnoї pechi / Koshelnik V.M., Selikhov Yu.A., Koshelnik O.V., Dolzhenko O.Yu.; Zayavl. 27.08.2003; Opubl. 15.12.2004, Byul. №12. – 4 p.

12. Пат. 2003088002 України А S 03V5/04. Vanna dlya sklovarnoї pechi / Koshelnik V.M., Selikhov Yu.A., Koshelnik O.V.; Zayavl.23.12.2003;Opubl. 17.01.2005, Byul.»1.– 3 p.

13. Sovershenstvovanie konstruktivnikh elementov sistemi okhlazhdeniya visokotemperaturnikh agregatov vannogo tipa / V.M. Koshelnik, Yu.A. Selikhov, A.V. Koshelnik, Ye.Yu. Dolzhenko // Integrovani tekhnologii ta yenergozberezhennya. – 2004. – №2. – P. 22–27.

14. Povishenie energoekologicheskikh pokazatelei vysokotemperaturnikh plavilnikh agregatov na osnove usovershenstvovaniya sistem vodyanogo okhlazhdeniya / V.M. Koshelnik, Yu.A. Selikhov, A.V. Koshelnik, Ye.Yu. Dolzhenko // Integrovani tekhnologii ta yenergozberezhennya. – 2004. – №4. – P. 51–56.

15. Pat. 2003109378 Ukraïni A 7 SO3V5/237. Obladnannya dlya okholodzhennya re-generatoriv sklovarnikh pechei / Koshelnik V.M., Selikhov Yu.A., Koshelnik O.V.; Zayavl. 17.10 2003; Opubl. 15.11 2004, Byul. №11. 4 p.

УДК 66.041: 666.1.031.2

Селіхов Ю.А., к.техн.н., професор, Горбунов К.О., к.техн.н., професор

ІНТЕГРАЦІЯ РОБОТИ РЕГЕНЕРАТОРІВ СКЛОВАРНИХ ПЕЧЕЙ

Матеріал статті відноситься до скляної промисловості, а саме до обладнання для охолодження склепіння регенераторів скловарних печей і може бути використаний під час будівництва нових або реконструювання діючих регенераторів.

При руйнуванні вогнетривів промислових скловарних печей відбувається інтенсивне зменшення товщини стінки варильного басейну, що призводить до значного підвищення температури зовнішньої поверхні стін і, відповідно, збільшення теплових втрат. Максимальне руйнування вогнетривкої кладки стін варильного басейну спостерігається на рівні дзеркала розплаву скломаси. Має місце неоднаковий її знос по висоті та периметру басейну. Швидкість руйнування кладки визначається стійкістю вогнетривів, що застосовуються, температурним режимом варіння скла, конструктивними особливостями агрегатів.

Технічною задачею статті є: збільшення терміну експлуатації вогнетривкої кладки склепіння регенератора скловарної печі; утилізація теплоти зовнішньої поверхні кладки склепіння регенератора, а також удосконалення системи її охолодження шляхом застосування водяного охолодження зовнішньої поверхні склепіння регенератора; економія палива, яке витрачається для нагріву такої ж кількості теплоносія у котельному устаткуванні.

Запропоноване охолодження зовнішньої поверхні склепіння регенератора дозволяє: зменшити температуру зовнішньої поверхні склепіння до рівня 30 °С і одночасно найбільш повно використати тепло зовнішньої поверхні склепіння регенератора, яке раніше не використовувалось, наприклад, для отримання гарячої води системи теплопостачання, а це дає можливість економити витрати палива, яке необхідно для роботи котельного устаткування для нагрівання такої ж кількості теплоносія; забезпечити більш рівномірний розподіл температурних полів по всій площині склепіння регенератора, шляхом застосування плоских колекторів спеціальної конструкції, що, в свою чергу, дає можливість уповільнити процес руйнування вогнетривкої кладки склепіння регенератора. Встановлені у трубопроводах термопари дають можливість слідкувати за зміною температури теплоносія в колекторах і в разі збільшення температури поверхні колекторів автоматика збільшує подачу теплоносія в трубопроводах. Колектори оснащені клапанами тиску, коли температура теплоносія в колекторі буде вище 100 °С він у колекторі може закипіти і тоді клапан тиску вирівнює тиск у колекторі.

Ключові слова: вогнетривка кладка; ванна скловарної печі; температурні поля; система випарного охолодження, додаткове охолодження, склепіння, подина.

Селихов Ю.А., к.техн.н., профессор, Горбунов К.А., к.техн.н., профессор

ИНТЕГРАЦИЯ РАБОТЫ РЕГЕНЕРАТОРОВ СТЕКЛОВАРЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Материал статьи относится к стекольной промышленности, а именно к оборудованию для охлаждения свода регенераторов стекловаренных печей и может быть использован при строительстве новых или реконструкции действующих регенераторов.

При разрушении огнеупоров промышленных стекловаренных печей происходит интенсивное уменьшение толщины стенки варочного бассейна, что приводит к значительному повышению температуры наружной поверхности стен и соответственно увеличению тепловых потерь. Максимальное разрушение огнеупорной кладки стен варочного бассейна наблюдается на уровне зеркала расплава стекломассы. Имеет место неодинаковый износ по высоте и периметру бассейна. Скорость разрушения кладки определяется устойчивостью применяемых огнеупоров, температурным режимом варки стекла, конструктивными особенностями агрегатов.

Технической задачей статьи является: увеличение срока эксплуатации огнеупорной кладки свода регенератора стекловаренной печи; утилизация теплоты наружной кладочной поверхности свода регенератора, а также усовершенствование системы ее охлаждения путем применения водяного охлаждения наружной поверхности свода регенератора; экономия топлива, расходуемого для нагрева такого же количества теплоносителя в котельном оборудовании.

Предлагаемое охлаждение наружной поверхности свода регенератора позволяет: уменьшить температуру наружной поверхности свода до уровня 30 °С и одновременно наиболее полно использовать тепло наружной поверхности свода регенератора, которое ранее не использовалось, например, для получения горячей воды системы теплоснабжения, а это дает возможность экономить расходы топлива, которое необходимо для работы котельного оборудования для нагрева такого же количества теплоносителя; обеспечить более равномерное распределение температурных полей по всей плоскости свода регенератора путем применения плоских коллекторов специальной конструкции, что, в свою очередь, дает возможность замедлить процесс разрушения огнеупорной кладки свода регенератора. Установленные в трубопроводах термопары позволяют следить за изменением температуры теплоносителя в коллекторах и в случае увеличения температуры поверхности коллекторов автоматика увеличивает подачу теплоносителя в трубопроводах. Коллекторы оснащены клапанами давления, когда температура теплоносителя в коллекторе будет выше 100 °С, он в коллекторе может закипеть и тогда клапан давления выравнивает давление в коллекторе.

Ключевые слова: огнеупорная кладка; ванна стекловаренной печи; температурные поля; система испарительного охлаждения, дополнительное охлаждение свод подина.

Selikhov Yu.A., Gorbunov K.A.

INTEGRATION OF OPERATION OF REGENERATORS OF GLASS FURNACES

The material of the article relates to the glass industry, namely to equipment for cooling the roof of regenerators of glass melting furnaces and can be used in the construction of new or reconstruction of existing regenerators.

When the refractories of industrial glass melting furnaces are destroyed, an intensive decrease in the wall thickness of the melting basin occurs, which leads to a significant increase in the temperature of the outer surface of the walls and, accordingly, an increase in heat losses. The maximum destruction of the refractory masonry of the walls of the melting basin is observed at the level of the mirror of the melted glass. There is uneven wear along the height and perimeter of the pool. The rate of destruction of the masonry is determined by the stability of the used refractories, the temperature regime of glass melting, and the design features of the units.

The technical task of the article is: to increase the service life of the refractory masonry of the glass furnace regenerator roof; utilization of the heat of the outer masonry surface of the regenerator roof, as well as improvement of its cooling system by using water cooling of the outer surface of the regenerator roof; saving fuel consumed to heat the same amount of coolant in boiler equipment.

The proposed cooling of the outer surface of the regenerator roof makes it possible to: reduce the temperature of the outer surface of the roof to the level of 30 °C and at the same time make the most of the heat of the outer surface of the regenerator roof, which has not been used before, for example, to obtain hot water from a heat supply system, and this makes it possible to save fuel costs, which are necessary for the operation of boiler equipment to heat the same amount of coolant; to ensure a more uniform distribution of temperature fields over the entire plane of the regenerator roof by using flat collectors of a special design, which, in turn, makes it possible to slow down the process of destruction of the refractory lining of the regenerator roof. The thermocouples installed in the pipelines make it possible to monitor the change in the temperature of the coolant in the collectors, and in the event of an increase in the surface temperature of the collectors, the automation increases the flow of the coolant in the pipelines. The collectors are equipped with pressure valves, when the temperature of the coolant in the collector is above 100 °C, it can boil in the collector and then the pressure valve equalizes the pressure in the collector.

Keywords: refractory masonry; glass furnace bath; temperature fields; evaporative cooling system, additional cooling, vault, bottom.

Дзевочко О.М., к. техн. наук, доцент, Подустов М.О., д. техн. наук, професор,
Дзевочко А.І., к. техн. наук, Пашко А.І., аспірант

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ВІД ДВООКСИДУ СІРКИ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ключові слова: методи очищення, відхідні гази, двооксид сірки.

Вступ. Двооксид сірки є одним із найпоширеніших компонентів шкідливих викидів в атмосферу. Великі його кількості викидаються в атмосферу у виробництві сірчаної кислоти, при спалюванні високосірчистого палива в теплоенергетичних установках, у сучасних виробництвах ПАР, наприклад, у відхідних газах, сірчано-кислотних виробництв вміст двооксиду сірки досягає 0,2–0,3 % [1].

Двооксид сірки є відповідальним за утворення кислотних дощів, які є однією з поширених форм забруднення в усьому світі. Перенос сполук сірки на великі відстані також призводить до відкладення двооксиду сірки в ґрунтах і водних шляхах [2].

Проблема повного уловлювання SO_2 на більшості промислових підприємств поки що не вирішена, незважаючи на велику кількість запропонованих та апробованих у виробничих умовах методів. Це пояснюється тим, що всі існуючі методи очищення відхідних газів від двооксиду сірки є дорогими і вибір того чи іншого з них залежить від одержуваних побічних продуктів, реалізація яких впливає на техніко-економічні показники процесу очищення.

Аналіз літературних даних. Усі відомі методи очищення відхідних газів від SO_2 можна розділити на три основні групи [3–5]:

1) аміачні методи, що дозволяють одночасно з очищенням відхідних газів від SO_2 отримувати сульфїт та бісульфїт амонію, які використовуються, як товарні продукти, або розкладаються кислотою з утворенням висококонцентрованого SO_2 та відповідної солі;

2) методи нейтралізації двооксиду сірки, що дозволяють одночасно отримувати сульфїти та сульфати. Ці методи забезпечують високий рівень очищення відхідних газів, але одержувані продукти мають обмежений попит у народному господарстві;

3) каталітичні методи, засновані на окисненні двооксиду сірки у присутності каталізаторів з отриманням розведеної сірчаної кислоти.

У загальному випадку абсорбційні методи діляться на розімкнені і циркуляційні схеми очищення. Вибір схеми залежить від можливості повторного використання абсорбенту: у розімкнених схемах немає стадії регенерації абсорбенту, тоді як циркуляційні схеми засновані на замкнутому циклі абсорбенту [6–8].

Основна частина. Проведемо аналіз основних методів очищення відхідних газів від двооксиду сірки.

Аміачні методи очищення відхідних газів. Аміачні методи очищення відхідних газів від двооксиду сірки засновані на взаємодії SO_2 з водними розчинами сульфїту амонію:



Якщо регенерація абсорбенту відбувається при нагріванні, схему включають обладнання для підведення тепла до системи, його відведення і рекуперації. Такі ускладнення схеми зумовлені необхідністю знизити енергію, що витрачається на процес.

Технологічне оформлення циркуляційних схем визначається фізико-хімічними особливостями процесу абсорбції [9, 10].

Отриманий бісульфіт амонію піддається розкладу кислотним, автоклавним, циклічним чи нециклічним методом.

Аміачно-кислотні методи є відносно економічними, але вимагають витрати дефіцитного продукту – аміаку. Солі, що отримуються при цьому, і товарний двооксид сірки не завжди компенсують витрати на очищення.

Розкладання бісульфіту амонію здійснюється за допомогою сірчаної, азотної чи фосфорної кислот. При цьому утворюються товарний двооксид сірки та солі амонію.

Аміачно-сірчано-кислотний метод полягає в обробці бісульфіту амонію сірчаною кислотою:

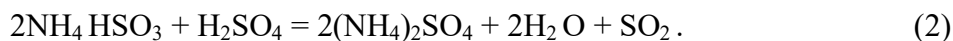


Схема аміачно-сірчано-кислотного методу очищення відхідних газів від SO_2 показана на рис. 1.

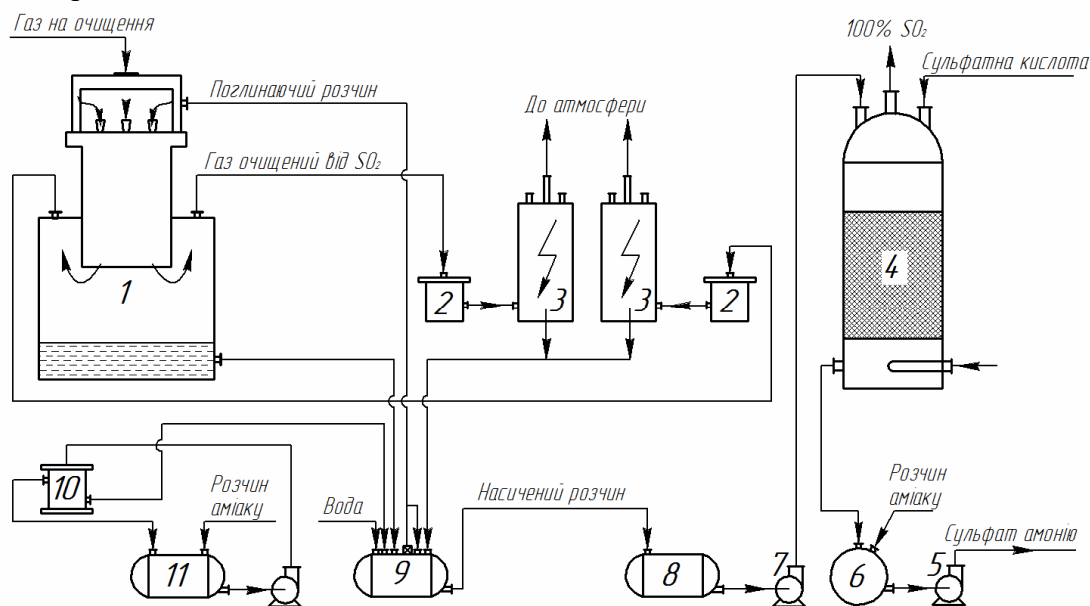


Рисунок 1 – Технологічна схема аміачно-сірчано-кислотного методу очищення відхідних газів від SO_2 з використанням АРТ

1 – АРТ; 2 – краплевідбійник; 3 – електрофільтри; 4 – колона розкладання; 5, 7 – насоси; 6 – збірка сульфату амонію; 8, 9, 11 – ємності; 10 – збірка аміачної води

Основним апаратом установки є абсорбер розпилювального типу (АРТ). Відхідний газ, що містить 0,1–0,3 % SO_2 надходить у верхню частину апарату АРТ1, який складається з трьох зон: розпилювальної, абсорбційної та сепараційної. У верхній розпилювальній зоні встановлено сім розпилювальних конусів. Газ, що очищається, надходить в апарат зверху і зі швидкістю 20–25 м/с проходить через розпилювальні кону-

си, до яких підводиться поглинальний розчин. За рахунок великої швидкості руху газу відбувається розпилення робочого розчину, внаслідок чого досягається тісний контакт між газовою та рідкою фазою.

Утворений сульфід та бісульфід амонію у вигляді розчину надходять у нижню сепараційну частину апарату. Тут, завдяки зменшенню швидкості потоку, краплі рідини відокремлюються від газу. Очищений від SO_2 газ проходить бризкоуловлювач 2, електрофільтри 3 і викидається в атмосферу.

Збирається в нижній частині АРТ сульфід-бісульфідний розчин амонію направляється до збірки 9. Сюди ж надходить конденсат з електрофільтрів і свіжий розчин аміаку з ємності 11. Поглинальний розчин, що стабілізується по концентрації, знову подається на зрошення АРТ. Коли концентрація сульфід-бісульфідних солей у поглинальному розчині досягає 500–600 г/л, його з ємності 9 періодично відводять у збірник 8, а звідти за допомогою відцентрового насоса 7 подають на зрошення колони розкладання 4.

Колона розкладання 4 являє собою циліндричний апарат насадкового типу, нижню частину якого через розподільчу трубу подається гостра пара, а зверху надходить 94 %-ва сірчана кислота.

100 %-ний двооксид сірки відводиться з колони і використовується для отримання сірчаної кислоти або спрямовується на склад.

Розчин сульфату амонію з кубової частини колони 4 надходить у ємність 6. Тут він нейтралізується аміачною водою до нейтрального або слаболужного середовища і відцентровим насосом 5 подається на склад готової продукції.

При використанні аміачно-фосфорно-кислотного способу очищення утворюються фосфорні добрива і SO_2 який може бути далі перероблений в сірчану кислоту. Розкладання сульфід-бісульфіту амонію фосфорною кислотою протікає за реакціями:

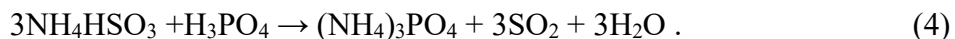


Схема процесу наведено на рис. 2.

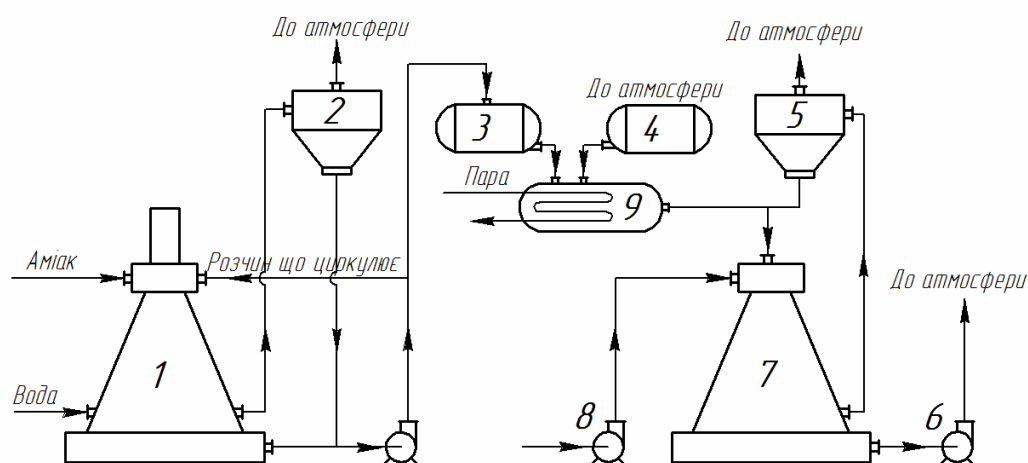
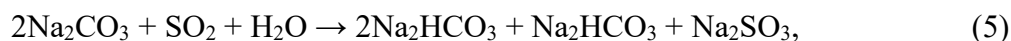


Рисунок 2 – Схема аміачно-фосфорно-кислотного методу очищення відхідних газів від SO_2

1 – абсорбер Вентурі, 2, 5 – краплеуловлювачі, 3 – збірник, 4 – ємність, 6 – насос, 7 – десорбер Вентурі, 8 – повітродувка, 9 – реактор

Відхідні гази, що містять до 0,3 % SO₂ надходять у скруббер Вентурі 1. У горловину скруббера подаються циркулюючий розчин сульфїт-бісульфїту амонію і газоподібний аміак. Очищений від двооксиду сірки газ проходить краплеуловлювач 2 і через трубу викидається в атмосферу. Частина циркулюючого розчину безперервно надходить у збірник 3, звідки направляється в реактор розкладання 9, з мішалкою і підігрівом. Сюди з ємності 4 подається фосфорна кислота. Продукти розкладання, що містять SO₂ і фосфат амонію, прямують у трубу Вентурі - десорбер 7, куди вдихається стиснене повітря. Десорбуємий SO₂ проходить краплевідділювач 5 і використовується далі для переробки в сірчану кислоту. Фосфат амонію насосом 6 також спрямовується на подальшу переробку.

Методи очищення відхідних газів, засновані на нейтралізації двооксиду сірки. Содовий метод заснований на поглинанні двооксиду сірки розчином соди [11]. Фактично процес отримання бісульфїту проходить через стадії утворення бікарбонату та сульфїту натрію:



Схему очищення відхідних газів від двооксиду сірки содовим методом наведено на рис. 3.

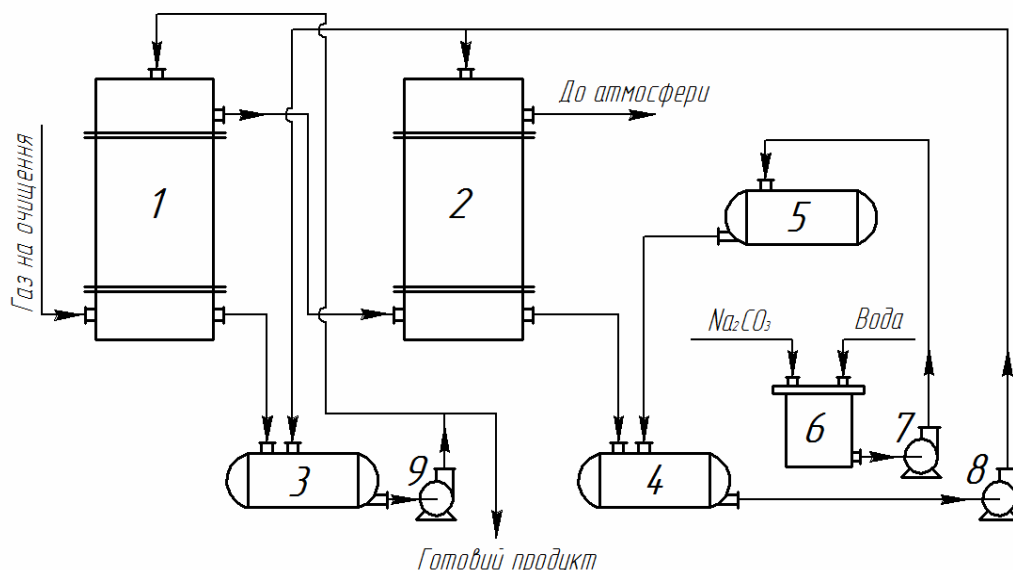


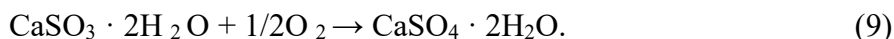
Рисунок 3 – Схема содового очищення відхідних газів від SO₂
1, 2 – абсорбційні башти; 3, 4 – збірник; 6 – розчинник соди; 7, 8, 9 – насоси

Установка складається з двох абсорбційних веж 1 та 2, заповнених насадкою. Газ послідовно проходить обидві башти, після чого виводиться в атмосферу. Зрошуючий розчин за допомогою циркуляційних насосів рухається протитечією газу. У міру поглинання SO₂ вміст бісульфїту натрію в розчині зростає.

При досягненні потрібного складу розчину готовий продукт виводиться із сис-

теми циркуляції вежі 1, а еквівалентна кількість свіжого розчину соди вводиться в систему циркуляції вежі 2.

Вапняний метод заснований на поглинанні двооксиду сірки з відхідних газів суспензією CaO [11]



Двооксид вуглецю, що міститься в газах, частково вловлюється вапняним молоком; карбонати кальцію, що утворюються, вступають далі в реакцію з двооксидом сірки, утворюючи сульфід кальцію.

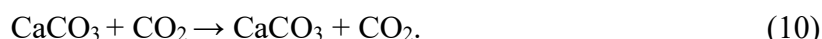


Схема вапняного методу очищення відхідних газів від SO_2 , показана на рис. 4.

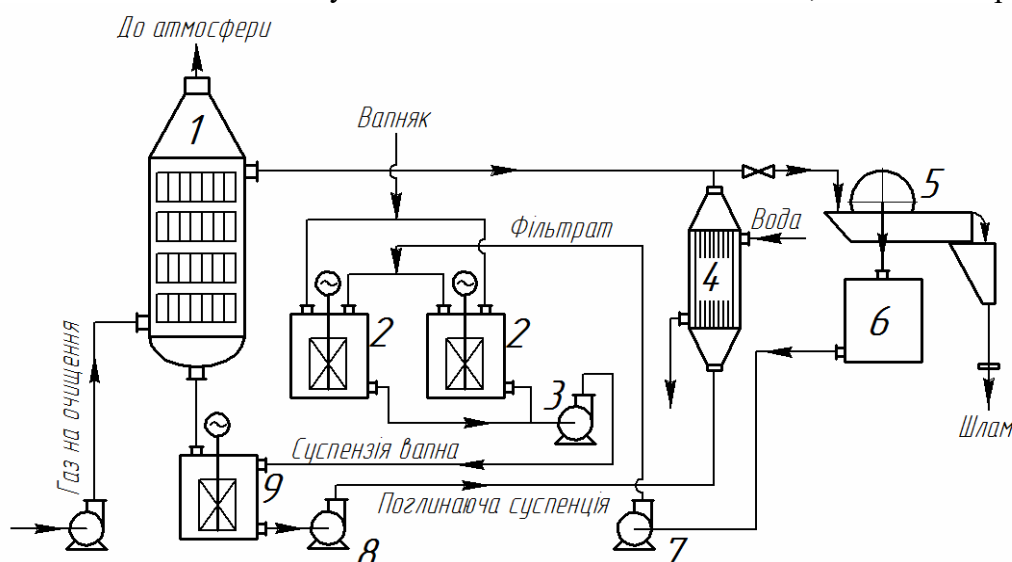


Рисунок 4 – Схема вапняного методу очищення відхідних газів від SO_2
1 – скруббер; 2 – ємності; 3 – насос; 4 – кристалізатор; 5 – вакуум-фільтр; 6 – збірка; 7 – насос; 8 – циркуляційний насос; 9 – збірка вапняного молока

Гази подаються на очищення за допомогою газодувки в скруббер 1, зрошуваний суспензією вапняного молока. Очищений газ викидають в атмосферу, а поглинальний розчин стікає з вежі в резервуар 9, звідки за допомогою насоса 8 його подають кристалізатор 4 і далі знову на зрошення скрубера.

У процесі роботи в циркулюючому розчині збільшується вміст сульфіту та сульфату кальцію, які кристалізуються з розчину та забивають насадку та комунікації. Для захисту системи від забивання встановлюють проміжний кристалізатор, в якому при охолодженні випадають кристали солей кальцію. Частина циркулюючої рідини, що містить кристали CaSO_4 і CaSO_3 періодично виводиться з системи і подається на вакуум-фільтр 5, де відбувається відділення кристалів. Сульфід та сульфат кальцію у вигляді шламу видаляються у відвал.

Фільтрат з вакуум-фільтра зливають у бак 6, звідки за допомогою насоса 7 його подають у ємність 2 на приготування свіжого поглинального розчину. Щоб склад і кі-

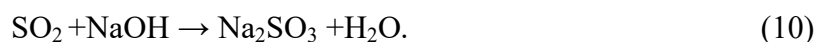
лькість зрошувального розчину залишалися незмінними, приймальний бак 9 за допомогою насоса 3 періодично подається свіжоприготовлений поглинальний розчин.

До переваг вапняного методу слід віднести порівняно невеликі капітальні витрати і можливість виготовлення технологічного обладнання з некорозивних матеріалів.

Крім того, необхідно відзначити простоту та надійність роботи установок, відносно невелику площу для їх спорудження. До недоліків методу слід віднести необхідність фільтрації шламу та наявність відходів у вигляді солей сульфіту та сульфату кальцію.

Існують схеми з використанням розчину гідроксиду натрію [12].

В цьому випадку протікає наступна реакція



При використанні розчину гідроксиду натрію як абсорбент, застосовуються як розімкнуті, так і циркуляційні схеми очищення.

На рис. 5 наведена схема розімкнутої схеми очищення відхідних газів.

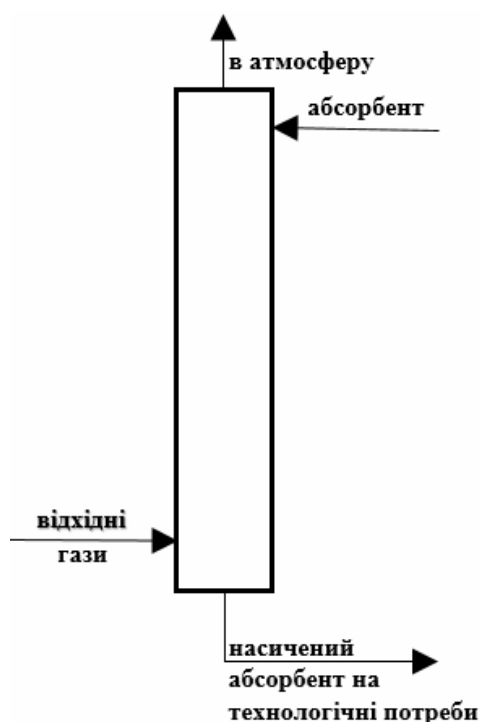


Рисунок 5 – Схема розімкнутих абсорбційних процесів

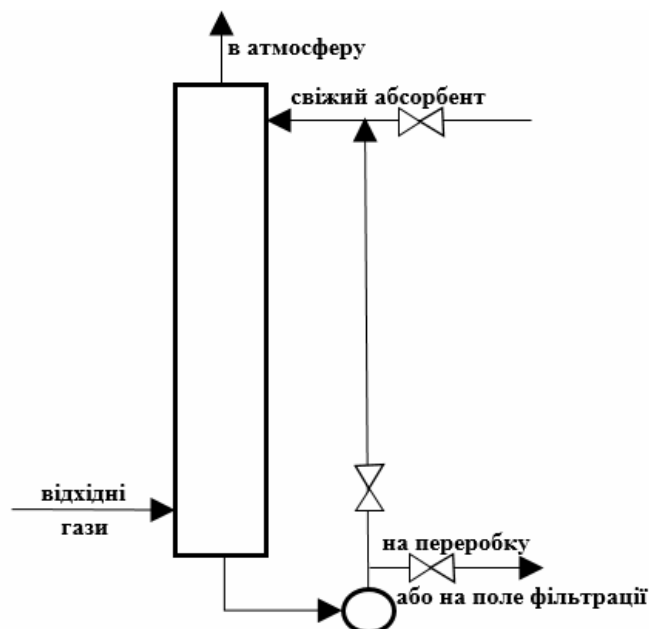


Рисунок 6 – Циркуляційна схема абсорбційних процесів

Як видно з рис. 5 відхідні гази подаються в абсорбер знизу, зверху протічечією подається абсорбент (розчин гідроксиду натрію). Насичений абсорбент прямує на технологічні потреби.

На рис. 6 наведена циркуляційна схема очищення відхідних газів. Відхідні гази також подаються знизу, зверху подається абсорбент. Подача свіжого абсорбенту проходить до заданого рівня в колоні. Після чого подача свіжого абсорбенту відключається, а циркуляційний насос подає насичений абсорбент на зрошування.

Робота циркуляційного насосу проходить до заданої концентрації сульфату натрію. Після чого насичений абсорбент подається на переробку або на поле фільтрації, а на зрошування подається свіжий абсорбент.

Розімкнені схеми відрізняються простотою апаратурного оформлення, а також малою енергією на очищення.

Циркуляційні схеми використовуються коли слабо насичений абсорбент не може використовуватися на технологічні потреби.

Каталітичні методи очищення відхідних газів. Такі схеми не потребують використання абсорбенту. Колона очищення заповнюється каталізатором. Для окислення SO_2 використовується ванадієвий каталізатор. Ступінь окислення в таких схемах недостатньо високий і тому вони застосовуються на першому етапі очищення. На другому етапі очищення застосовуються вище перелічені методи очищення [13].

У табл. 1 наведено порівняльні техніко-економічні показники методів очищення відхідних газів від двооксиду сірки.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика методів очищення відхідних газів від двооксиду сірки

Показники	Методи			
	Аміачно-сірчано-кислотний	Вапняний	Содовий	NaOH
Зміст SO_2 % до очищення	0,3–0,35	0,17–0,2	0,2–0,25	0,2–0,25
після очищення	0,05	0,04	0,04	0,04
Ступінь очищення, %	92	95	95	95
Витрата реагентів, кг на 1000 м ³ газу				
аміак	4,87	–	–	–
вапняк	–	7,6	–	–
Na_2CO_3	–	–	8,5	–
NaOH	–	–	–	6,7
Реагент не використовується				

Наведені дані вказують на велику різноманітність методів очищення відхідних газів від двооксиду сірки. Вибір того чи іншого методу очищення залежить від конкретних умов виробництва: необхідного ступеня очищення, потужності джерела викиду двооксиду сірки та складу відхідних газів, наявності сировини для приготування поглинальних розчинів, капітальних та експлуатаційних витрат на очищення, стійких ринків збуту утилізованих продуктів.

Висновки

1. Аналіз методів очищення показав, що у виробництві поверхнево-активних речовин (ПАР) краще використовувати нециклічні методи.

2. Як абсорбент можна вибрати розчин гідрооксиду натрію, який використовується у виробництві ПАР на стадії нейтралізації.

3. У разі вмісту невеликих кількостей сульфіту натрію в розчині гідроксиду натрію його можна використовувати як нейтралізуючий агент при нейтралізації продуктів сульфатування.

Література

1. Яворський В. Технологія сірки і сульфатної кислоти : Підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки. 2010. 404 с.
2. Priya V., Maheswari C., Krishnamyrthy K., Parameshwaran R. (2012). Modelling And Simulation of Gas Liquid Absorption Column for SO₂ Emission Control. Proceedings of National Conference on Frontiers in Applied Sciences and Computer Technology. Vol.2. PP. 10–15.
3. Вязовик В.М., Коржик Л.В., Столяренко Г.С. Технології очищення газів. – Черкаси: Вертикаль. 2010. 308 с.
4. Джигирей В.С., Сторожук В.М., Яцюк Р.А. Основи екології та охорони навколишнього середовища (Екологія та охорона природи) : Підручник. Львів : Афіша. 2001. 272 с.
5. Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г. Технічні засоби очищення газових викидів : Навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2005. 158 с.
6. Бучинський А.К., Коваленко В.С. Основи технології та техніки абсорбційних процесів : Навч. посіб. Дніпропетровськ : УДХТУ. 2004. 155 с.
7. Врагов А.П. Масообмінні процеси та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв : Навч. посіб. Суми : ВТД «Університетська книга». 2007. 284 с.
8. Zarzycki R., Chacuk A. Absorption: Fundamentals and Applications. Oxford : Pergamon press, 2013. 638 p.
9. Патент 13273 Україна, МКИ B01 D 53/14. Спосіб очистки відхідних газів від двооксиду сірки / Ю.М. Рубін, О.М. Котнин, В.С. Шуляк. № 4868867; Заявл. 18.07.90; Оубл. 28.02.97. Бюл. № 1. 3 с.
10. Патент 21848 Україна, МКИ B01 D 53/34. Спосіб очищення / Н.Г. Залогін, С.М. Шухер. № 94043173; Заявл. 19.04.94; Оубл. 30.04.98. Бюл. № 2. 8 с.
11. Крусір Г.В., Мадані М.М., Гаркович О.Л. Техніка та технології очищення газових викидів : Навч. посіб. Одеса : ОНАХТ-Одеса. 2017. 207 с.
12. Foster N.S. (1997). Sulfonation and Sulfation Processes. The Chemithon Corporation. Seattle, WA 98106 – USA. 36 p.
13. Северин Л.І., Петрук В.Г., Безвозюк І.І., Васильківський І.В. Природоохоронні технології. Частина 1. Захист атмосфери : навчальний посібник/ Вінниця : ВНТУ. 2012. 388 с.

Bibliography (transliterated)

1. Iavorskyi V. Tekhnolohiia sirky i sulfatnoi kysloty : Pidruchnyk. Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. 2010. 404 p.
2. Priya V., Maheswari C., Krishnamyrthy K., Parameshwaran R. (2012). Modelling And Simulation of Gas Liquid Absorption Column for SO₂ Emission Control. Proceedings of National Conference on Frontiers in Applied Sciences and Computer Technology. Vol.2. PP. 10–15.
3. Viazovyk V.M., Korzhyk L.V., Stoliarenko H.S. Tekhnolohii ochyshchennia haziv. – Cherkasy: Vertykal. 2010. 308 p.

4. Dzhyhyrei V.S., Storozhuk V.M., Yatsiuk R.A. Osnovy ekolohii ta okhorony navkolyshnoho seredovyscha (Ekolohiia ta okhorona pryrody) : Pidruchnyk. Lviv : Afisha. 2001. 272 p.
5. Ratushniak H.S., Lialiuk O.H. Tekhnichni zasoby ochyshchennia hazovykh vykydiv : Navch. posib. Vinnytsia : VNTU, 2005. 158 p.
6. Buchynskiy A.K., Kovalenko V.S. Osnovy tekhnolohii ta tekhniky absorbttsiinykh protsesiv : Navch. posib. Dnipropetrovsk : UDKhTU. 2004. 155 p.
7. Vrahov A.P. Masoobminni protsesy ta obladnannia khimichnykh i naftererobnykh vyrobnytstv : Navch. posib. Sumy : VTD «Universytetska knyha». 2007. 284 p.
8. Zarzycki R., Chacuk A. Absorption: Fundamentals and Applications. Oxford : Pergamon press, 2013. 638 p.
9. Patent 13273 Ukraina, MKY V01 D 53/14. Sposib ochystky vidkhidnykh haziv vid dvoosydu sirky / Yu.M. Rubin, O.M. Kotnyn, V.S. Shuliak. № 4868867; Zaiavl. 18.07.90; Oubl. 28.02.97. Biul. № 1. 3 p.
10. Patent 21848 Ukraina, MKY V01 D 53/34. Sposib ochyshchennia / N.H. Zalohin, S.M. Shukher. № 94043173; Zaiavl. 19.04.94; Oubl. 30.04.98. Biul. № 2. 8 p.
11. Krusir H.V., Madani M.M., Harkovych O.L. Tekhnika ta tekhnolohii ochyshchennia hazovykh vykydiv : Navch. posib. Odesa : ONAKhT-Odesa. 2017. 207 p.
12. Foster N.S. (1997). Sulfonation and Sulfation Processes. The Chemithon Corporation. Seattle, WA 98106 – USA. 36 p.
13. Severyn L.I., Petruk V.H., Bezvoziuk I.I., Vasylykivskiy I.V. Pryrodookhoronni tekhnolohii. Chastyna 1. Zakhyst atmosfery : navchalnyi posibnyk/ Vinnytsia : VNTU. 2012. 388 p.

УДК 66.02 : 66.074

Дзевочко О.М., к. техн. наук, доцент, Подустов М.О., д. техн. наук, професор,
Дзевочко А.І., к. техн. наук, Пашко А.І., аспірант

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ВІД ДВООКСИДУ СІРКИ

Показано, що двооксид сірки є одним з найпоширеніших компонентів шкідливих викидів в атмосферу. Наведено, що велика кількість SO_2 викидається в атмосферу у виробництвах сірчаної кислоти, при спалюванні палива в теплоенергетичних установках, у сучасних виробництвах поверхнево-активних речовин.

Показано, що двооксид сірки є відповідальним за утворення кислотних дощів, які є однією з поширених форм забруднення в усьому світі.

Наведено, що усі відомі методи очищення відхідних газів поділяються на три основні групи: аміачні методи, методи нейтралізації SO_2 , каталітичні методи.

У загальному випадку абсорбційні методи поділяються на розімкнені і циркуляційні схеми очищення.

Показано, що аміачно-кислотні методи є економічними, але вимагають витрати дефіцитного продукту – аміаку. Аміачно-сірчано-кислотний метод полягає в обробці бісульфіту амонію сірчаною кислотою.

При використанні аміачно-фосфорно-кислотного способу очищення утворюються фосфорні добрива і SO_2 який може бути далі перероблений в сірчану кислоту.

Содовий метод заснований на поглинанні двооксиду сірки суспензією CaO .

Наведено, що при використанні розчину гідроксиду натрію як абсорбенту застосовуються як розімкнуті, так і циркуляційні схеми очищення.

Показано, що каталітичні методи очищення відхідних газів не потребують використання абсорбенту. Однак необхідно використовувати дороговартісний каталізатор. Найчастіше такий метод застосовують на першому етапі очищення, а на другому – вище перелічені методи очищення.

Наведена таблиця з порівняльними техніко-економічними показниками, вибір того чи іншого методу очищення залежить від конкретних умов виробництва.

Показано, що для виробництва поверхнево-активних речовин краще використовувати розімкнені схеми очищення, які відрізняються простотою апаратурного оформлення, а також малою витратою енергії на очищення.

Наведено, що абсорбентом можна вибрати розчин гідроксиду натрію. У разі вмісту невеликих кількостей сульфату натрію в розчині гідроксиду натрію його можна використовувати як нейтралізуючий агент при нейтралізації продуктів сульфатування.

Ключові слова: методи очищення, відхідні гази, двооксид сірки.

Девочко А.М., к. техн. наук, доцент, Подустов М.А., д. техн. наук, професор,
Девочко А.И., к. техн. наук, Пашко А.И., аспирант

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ ОТ ДИОКСИДА СЕРЫ

Показано, что диоксид серы является одним из наиболее распространенных компонентов вредных выбросов в атмосферу. Представлено, что большое количество SO_2 выбрасывается в атмосферу в производствах серной кислоты, при сжигании топлива в теплоэнергетических установках, в современных производствах поверхностно-активных веществ.

Показано, что двуоксид серы ответственен за образование кислотных дождей, которые являются одной из распространенных форм загрязнения во всем мире.

Известно, что все известные методы очистки отходящих газов делятся на три основные группы: аммиачные методы, методы нейтрализации SO_2 , каталитические методы.

В общем случае абсорбционные методы делятся на разомкнутые и циркуляционные схемы очистки.

Показано, что аммиачно-кислотные методы экономичны, но требуют расхода дефицитного продукта – аммиака.

Аммиачно-серно-кислотный метод заключается в обработке бисульфита аммонией серной кислотой.

При использовании аммиачно-фосфорно-кислотного способа очистки образуются фосфорные удобрения и SO_2 , который может быть далее переработан в серную кислоту.

Содовый метод основан на поглощении диоксида серы суспензией CaO .

Приведено, что при использовании раствора гидроксида натрия в качестве абсорбента применяются как разомкнутые, так и циркуляционные схемы очистки.

Показано, что каталитические методы очистки отходящих газов не требуют использования абсорбента. Однако необходимо использовать дорогостоящий катализатор. Чаще такой метод применяют на первом этапе очистки, а на втором – выше перечисленные методы очистки.

Приведена таблиця со сравнительными технико-экономическими показателями, выбор того или иного метода очистки зависит от конкретных условий производства.

Показано, что для производства поверхностно-активных веществ лучше использовать разомкнутые схемы очистки, отличающиеся простотой аппаратного оформления, а также малым расходом энергии на очистку.

Представлено, что абсорбентом можно выбрать раствор гидроксида натрия. При содержании небольших количеств сульфита натрия в растворе гидроксида натрия его можно использовать как нейтрализующий агент при нейтрализации продуктов сульфатирования.

Ключевые слова: методы очистки, отходящие газы, двуоксид серы.

Dzevochko O., Podustov M., Dzevochko A., Pashko A.

ANALYSIS OF WASTE GASES CLEANING METHODS FROM SULFUR DIOXIDE

It is shown that sulfur dioxide is one of the most common components of harmful emissions into the atmosphere. It is stated that a large amount of SO₂ is emitted into the atmosphere in the production of sulfuric acid, during fuel combustion in thermal power plants, and in modern production of surface-active substances.

It has been shown that sulfur dioxide is responsible for the formation of acid rain, which is one of the most common forms of pollution around the world.

It is stated that all known methods of waste gas purification are divided into three main groups: ammonia methods, SO₂ neutralization methods, catalytic methods.

In general, absorption methods are divided into open and circulation cleaning schemes.

It is shown that ammonia-acid methods are economical, but require consumption of a scarce product - ammonia.

The ammonia-sulfuric-acid method consists in treating ammonium bisulfite with sulfuric acid.

When using the ammonia-phosphoric-acid cleaning method, phosphoric fertilizers and SO₂ are formed, which can be further processed into sulfuric acid.

The sodium method is based on the absorption of sulfur dioxide by a CaO suspension.

It is indicated that when using a solution of sodium hydroxide as an absorbent, both open and circulating cleaning schemes are used.

It is shown that catalytic methods of waste gas purification do not require the use of an absorbent. However, it is necessary to use an expensive catalyst. Most often, this method is used at the first stage of cleaning, and at the second - the cleaning methods listed above.

The table with comparative technical and economic indicators is presented, the choice of one or another cleaning method depends on specific production conditions.

It is shown that for the production of surface-active substances it is better to use open cleaning schemes, which are distinguished by the simplicity of the equipment design, as well as the low consumption of energy for cleaning.

It is stated that sodium hydroxide solution can be chosen as an absorbent. If the sodium hydroxide solution contains small amounts of sodium sulfite, it can be used as a neutralizing agent in the neutralization of sulfation products.

Keywords: cleaning methods, waste gases, sulfur dioxide.

Кунденко М.П.¹, д.техн.н., професор, Мардзявко В.А.², аспірант,
Руденко А.Ю.², аспірант

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ГЕНЕРАЦІЇ НВЧ ВИПРОМІНЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯМ АДАПТИВНОГО ТИПУ ДІОДІВ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО КОНСТРУЮВАННЯ АПАРАТІВ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ

¹ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

² Державний біотехнологічний університет, Харків

Ключові слова: діод, генератор імпульсних напруг, зерно, НВЧ випромінювання, діод Ріда.

Постановка проблеми. Розвиток сучасного агропромислового комплексу тісно пов'язаний з вирішенням питань підвищення якості продукції у всіх технологічних процесах, зокрема в процесі зберігання. Перспективним для застосування залишається електрофізичний метод обробки зернової продукції, розвиток даного методу крокує з розвитком напівпровідникової техніки та методів компоновки, що можуть забезпечити якісне використання елементів та з'єднань НВЧ ланцюгів, забезпечення адаптивного контролю параметричних складових системи з можливістю їх корегування [1–2].

Дослідження питання вдосконалення розглядалися в роботі [3], де визначалися методики підсумовування потужностей та адаптивного поєднання діодів в загальну систему в резонатор при максимальній потужності випромінювання.

Слід зауважити потреби установок у високоефективних генераторах надвисокої частоти (НВЧ) з високим ККД схем генерування з урахуванням теплових втрат в діодах. Для зменшення теплових втрат в процесі роботи діоду слід адаптувати процес генерації імпульсу вихідної потужності та моменту так званого терморелаксу.

Для ефективного виконання технологічного процесу слід використовувати генератори частотою 20 ГГц та вище, однак важливою складовою також є потужність випромінювання. В роботі Сілі І. І. [4] вказується про потреби використання випромінювання потужністю 600 Вт для знезараження клубнів картоплі, виходячи з чого можна сказати, що потрібно раціонально оцінювати параметри потужності опромінення НВЧ зважаючи на біофізичні особливості всіх агрокультур.

Мета: аналіз технології генерації НВЧ випромінювання за параметром ККД імпульсного генератора.

Аналіз попередніх досліджень. Конструювання та проектування електромеханічних засобів, що базуються на використанні НВЧ пов'язують з використанням напівпровідникових генераторів та діодних підсилювачів. Використання даних елементів дозволяє отримувати значення потрібних для використання параметрів потужності та частоти від 1 Вт з частотними показниками від 29 до 50 ГГц, чи навпаки. Радіотехніка такого типу дозволяє використовувати напівпровідникову техніку в розробці високостабільних потужних імпульсних

генераторів [5].

В процесі використання діоди поділяють на декілька типів, що базуються на особливостях напівпровідників, котрі використовуються в діоді: до першого типу можна віднести напівпровідники, які базуються на ефекті Ганна; до другого відносять напівпровідники, що використовують проліт електронів в області дрейфу з множенням заряду, перспективними для такого типу є діоди Ріда або двопролітний лавинно-пролітний діод (ЛПД).

Використання в діодах такзваного «ефекту Ганна», базується на використанні іонізуючих процесів в атомарній структурі твердого тіла під впливом сильних електричних полів. Він може спричинити появу додаткових електронів і дірок, які можуть впливати на провідність та інші електронні властивості матеріалу. Ефект Ганна виявляється, коли напруженість електричного поля в міжатомному просторі стає настільки великою, що відбувається значна тунельна іонізація. Досить яскраво це представляється в сполуках *GaAs*, *InP*. Такий ефект можливо спостерігати й в інших сполуках, де можливо два мінімуми в структурі кристалу діода [6–7].

Описати роботу системи бази діода з арсеніду галію *n*-типу можна відносно носіїв заряду, котрі знаходяться в сильному електромагнітному полі, рухливість якого залежить від напруженості поля $\mu = \mu(\epsilon)$. Статична провідність напівпровідника враховують в диференційному законі Ома:

$$i = en\mu\epsilon = \sigma_0\epsilon, \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{диф}} = \frac{\partial i}{\partial \epsilon} = en\mu + en\epsilon \frac{\partial \mu}{\partial \epsilon} = \sigma_0 \left(1 + \frac{\epsilon}{\mu} \frac{\partial \mu}{\partial \epsilon} \right). \quad (2)$$

У відповідності з диференціальним законом Ома (2) провідність напівпровідника прив'язується до напруженості поля, зміни якого можуть корегувати диференціальну проникність в позитивне або негативне значення.

Спостерігати даний ефект можливо при використанні зокрема арсеніду галію *n*-типу. Даний ефект отримується при використанні рівномірно легованого металу, що використовується як і в будові звичайного діоду рис. 1.

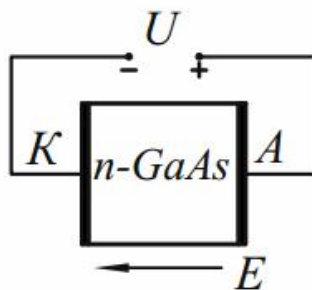


Рисунок 1 – Схема замінення з використанням арсеніду галію *n*-типу

Протікання процесів в даній системі пояснюються графіками рис. 2 (а, б) та рис. 3 (а, б) [8].

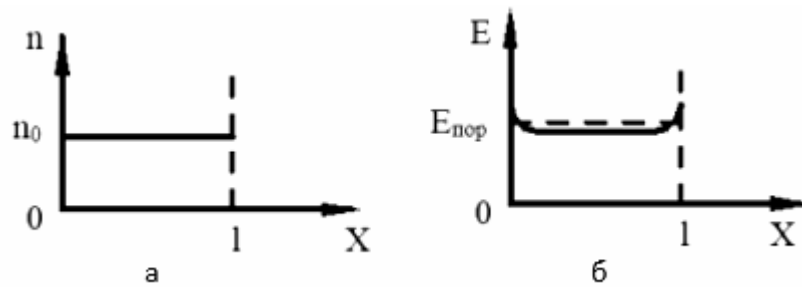


Рисунок 2 – Концентрація розподілу електронів й напруженості електромагнітного поля в кристалі: *а* – концентрація електронів в напівпровіднику, що поміщений в електромагнітному полі; *б* – зміна напруженості в об'ємі всього напівпровідника по в електромагнітному полі

Процес, який протікає в діоді (див. рис. 1), пояснює процес підсилення, котрий відбувається циклічним повторенням утворень доменів біля катода та рухом в сторону анода з подальшою руйнацією, що дозволяє збільшити I_{max} .

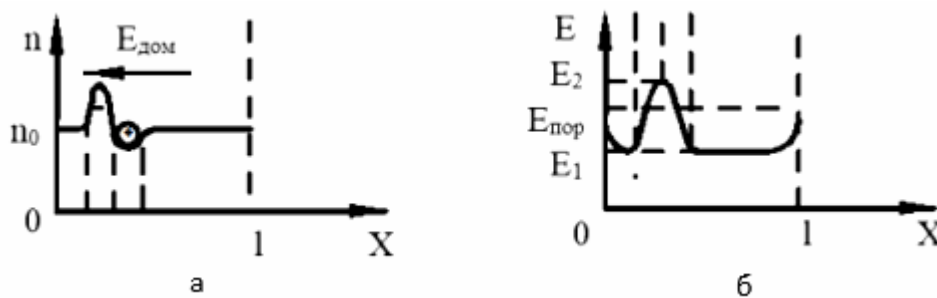


Рисунок 3 – Розподіл носіїв зарядів та напруженості в кристалі при утворенні домену: *а* – з урахуванням власного електромагнітного поля $E_{дом}$; *б* – показники напруженості поля в домені E_2 та E_1 за його межами

Пояснення роботи діода з ефектом Ганна дає можливість використання таких діодів в промисловості та в процесі генерації НВЧ випромінювання в установках для знезараження. Один з варіантів використання даного діода, котрий проаналізований вище, базується на використанні параметру довжини кристалу в своїй конструкції, що має назву пролітного режиму.

Основними параметрами діоду Ганна є частота коливань, вихідні потужності та коефіцієнт корисної дії. Даний діод отримав широке застосування в генерації НВЧ випромінювання, діапазон можливостей становить від 1 до 90 ГГц.

Діоди другого типу – ЛПД. Конструкція ЛПД базується на використанні від'ємного опору в діапазоні надвисоких частот, утворення якого відбувається в процесі множення носіїв заряду та їх проході через напівпровідник. Рух заряджених частинок з утворенням надлишкових носіїв в області дрейфу в момент лавинного пробію відбувається в зоні впливу прикладеної напруги. За рахунок виникнення такого процесу відбувається збільшення струму та зменшення напруги, тому виникнення провідності з від'ємним показником дає змогу використовувати це в установках для генерації НВЧ випромінювання [8–9].

Вперше дослідження в цьому напрямку було проведено 60-х роках в Німеччині вченим В. Шотткі. Діоди які використовувалися для порівняння, мали свої певні конструктивні особливості, за якими їх можна поділити як:

- діод Ріда;
- діод з різким несеміричним переходом;
- діод з двома дрейфовими областями;
- діод з двошаровою базою;
- діод з тришаровою базою.

В дослідженнях вказують на перспективу використання інжекційно-прогонного діоду (ІНД) [10]. Діод ІНД має більше схожості з діодом з двошаровою базою. ІНД має більше переваг над діодом Ріда (табл. 1).

З перелічених переваг та якостей, що роблять ІНД діод перспективним у розвитку та застосуванні у виробництві відображаються й головні недоліки, котрі насамперед обмежують його застосування. В апаратах для знезараження зернової продукції даний діод типу ІНД застосовувати нелогічно, адже низький ККД даного діода є значним негативним показником, логічно використовувати подібний за властивостями двошвидкісно пролітний діод або модернізований діод Ріда.

В процесі генерування ЛПД застосовують в поєднанні з резонатором, що дає можливість генерування в НВЧ діапазоні в неперервному режимі з ККД 10 % при цьому верхньою межею в частотному діапазоні є 300 ГГц. Такий генератор має можливість регулювання частоти за допомогою зміни постійної напруги або використання змін власної частоти резонатора.

Якщо розглядати проблему ефективності роботи потрібно сконцентрувати увагу на процесі роботи діода в режимі генератора, в якому відбір потужності відбувається від терміналу.

Таблиця 1 – Переваги ІНП

Перевага в процесі використання	Пояснення та обґрунтування
Відсутність затримки	Мінімізовано час наростання лавини, що аргументується застосуванням даних приладів для виконання конструкторських завдань при генерації малих потужностей з залученням низького ККД.
Менший шум при переході через бар'єр	Інжекція носіїв заряду через бар'єр значно краща ніж в ЛПД
Більша потужність та менша величину мінімального сигналу	Така особливість переваг пояснюється конструктивними особливостями самого приладу

Модифікація діода Ріда можлива при застосуванні бар'єру Шотткі. Загалом бар'єр Шотткі представляє собою фізичний процес, що протікає з насиченням напівпровідника металевою основою, що провокує утворення носіїв та додаткового опору поля, якість подолання якого залежить від параметрів бар'єра та затраченої сили [11].

Діод Ріда модифікують за допомогою заміщення шару p^+ на металевий шар контакту. Така конструктивна особливість збільшує ККД шляхом зменшення накопичення неосновних носіїв, що є притаманним діоду Ріда [12–13].

Проаналізоване вище є складовою подальшого удосконалення устаткування для знезаражуючих технологій агропродукції. Використання застарілої напівпровідникової технології є стримуючим фактором, отже можливе прискорення використання даного типу знезараження та стимуляції. На даний момент головним питанням є покращення ефективності обробки установкою, тому необхідно зосередитись на підвищенні ККД генеруючої установки НВЧ. ККД можливо збільшити за рахунок правильного вибору генеруючого діода, що підвищує продуктивність генератора НВЧ. Обрання діода відбувається за параметрами у відповідності з класовими типами та має концентруватися на відповідних параметрах потрібного класу. Основними параметрами для діода Ганна є робочий діапазон частот; мінімальна безперервна вихідна потужність генеруючого сигналу в робочому діапазоні частот; робочий струм діода; опір діода [14]. Діоди Ріда мають наступні параметри: вихідна потужність P , номінальний робочий струм I_0 , температурний коефіцієнт потужності ТКП, температурний коефіцієнт частоти ТКЧ, а також параметр самого діода (допустима величина струму $I_{\text{доп}}$, пробивна напруга $U_{\text{пр}}$, ємність корпусу C_k , індуктивність діода, ємність $p-n$ переходу C).

Але використання діодних генераторів передбачає використання певних схем підсилення з загально відомим конструктивними особливостями та використання в них складової для отримання оптимальної потужності необхідного діапазону при встановленні оптимальних умов для діода в максимумі ККД генерації.

Виклад основного матеріалу. При розгляданні проблеми підвищення ККД генерування НВЧ для обробки сільськогосподарської продукції виникає питання ККД самого діодного елемента.

Загалом втрати в напівпровідникових діодах пов'язані з втратами зворотних струмів, що описується за допомогою апроксимації реальної вольт-амперної характеристики (ВАХ). Залежність даного типу втрат показана на рис. 4, гілку характеристики ВАХ діода апроксимуємо за допомогою двох прямих, за початкові значення прямої беруться початкове падіння напруги на вентилі діода U_0 (напруга відсічки або порогова напруга) та середнє значення диференційного опору на робочій ділянці характеристики R_d . Диференційний опір визначається як $R_d = \tan \alpha$, а отже це тангенс похилої прямої, що проходить крізь дві точки ВАХ. За таким принципом апроксимують й зворотну гілку характеристики ВАХ. Параметрами зворотної гілки служать зворотній струм $I_{\text{зв}}$ та середня динамічна провідність G_d , котру визначають як $G_d = \tan \beta$.

Посилаючись на рис. 4, за яким відбувається апроксимація прямої гілки ВАХ, описується напрямок напруги в діоді в прямому напрямі за формулою:

$$u_{\text{в.п.}} = U_0 + R_d i_{\text{в.п.}} \quad (3)$$

Наступним кроком є визначення середньої потужності за період $P_{\text{п}}$, при протіканні прямого струму:

$$P_{\text{п}} = \frac{1}{T} \int_0^{\lambda} u_{\text{в.п.}} i_{\text{в.п.}} dt \quad (4)$$

Кінцевим рівнянням для $P_{\text{п}}$ буде рівняння:

(5)

Рисунок 4 – Вольт-амперна характеристика діода

Аналізуючи кінцевий варіант формули (5) видно, що потужність втрат прямого струму поділяється на дві складові $P_{\text{п.ср.}}$ та $P_{\text{пд.}}$. Потужність $P_{\text{п.ср.}}$ залежить від середнього значення струму через діод, $P_{\text{пд}}$ кратна квадрату діючого значення. Загальні твердження ведуть до умов правильності обрання діоду, адже коефіцієнт кривої струму залежить від ряду причин. Крива струму значно залежить від шляху його проходження, режиму роботи діода та співвідношення втрат середнього значення струму. В номінальній роботі в сумі втрат виокремлюються втрати середнього значення струму, а в режимі перенавантаження втрати визначає діючий струм [14–16].

Втрати потужності в діоді при протіканні зворотного струму розраховуються за таким же алгоритмом з використанням апроксимації ВАХ діода (див. рис. 4), миттєве значення струму визначається за формулою (6):

(6)

Посилаючись на рис. 4, можна без великих проблем визначити середнє значення потужності $P_{зв}$, користуючись формулою (7):

(7)

Формула (7) показує, що втрати в діоді на зворотній гілці залежать від середнього та від діючого значення напруги. Загалом на втрати зворотного струму приходиться 5–10 % загальних втрат в кремнієвих діодах. Розглядаючи втрати в високовольтних діодах, можна відмітити, що такі втрати зростають з додатковим зростанням температури в зоні $p-n$ переходу [17–18]. Тоді розрахунок прийме вигляд (8):

$$P_{зв.л} = U_{л.в.зв} i_{зв} + R_{дф.зв} i_{зв}^2, \quad (8)$$

де $R_{дф.зв}$ – диференціальний опір в зоні лавинного прольоту в ВАХ ($R_{дф.зв} = tg\delta$).

Використовуючи формул (8), можна розрахувати середнє значення потужності $P_{зв.л}$ в періодичному режимі роботи або в процесі однократного імпульсу.

До третьої гілки втрат можливо віднести комутаційні втрати. Загалом вважається, що комутаційні втрати виникають в інтервалах часу увімкнення та вимкнення діода. Перехідний процес, що протікає, не є миттєвим, а має певний часовий проміжок в діапазоні від одиниці до десятків мікросекунд [20–21].

На рис. 5, а вказано зміни струму й напруги діодів в інтервалі включення $t_{вк}$ та в інтервалі часу зворотного відновлення $t_{зв.в}$. В процесі включення вентиля із-за перехідних процесів в $p-n$ переходу прямої напруги встановлюється не відразу. В процесі роботи пристрою в інтервалі часу вмикання при наростанні струму через вентиль може збільшитися пряма напруга, що обумовлює миттєві значення потужності достатньо великого діапазону.

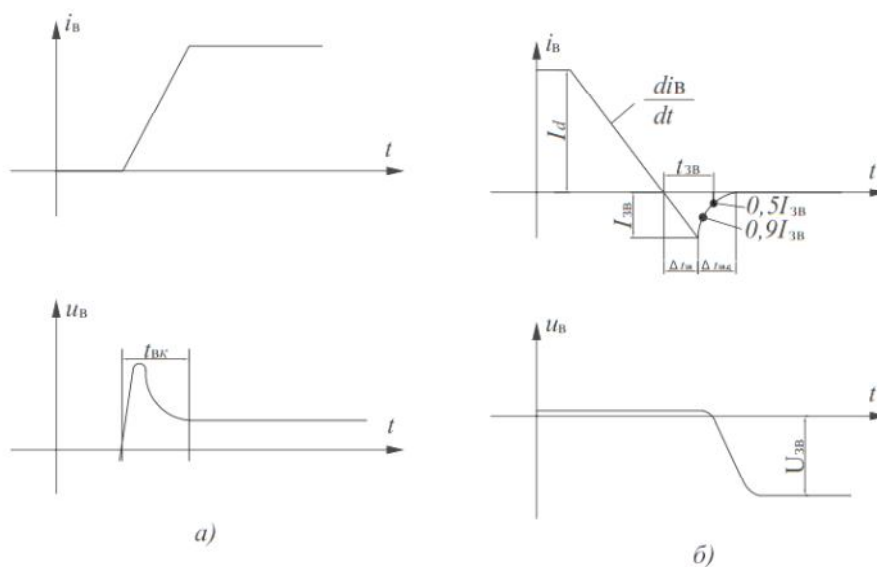


Рисунок 5 – Криві миттєвого значення струму та напруги для перехідних процесів:
а) вмикання; б) вимкнення

Розглядаючи процес вимикання діода, можна сказати, що замикаюча здатність відновлюється за проміжок часу, яка супроводжується процесом спадання прямого струму $i_B \rightarrow 0$, таким чином в продовж певного відрізка часу ($\Delta t_{зв}$) діод має пропускну здатність.

На рис. 5,б відображено перехідний процес відновлення запірної функції за інтервал часу $\Delta t_{зв.с}$. В продовж протікання перехідного процесу відновлення відбувається скачкоподібне зростання опору, що в призмі закону Ома пояснює подальшу стабілізацію зворотного струму до нормальних значень [22].

Максимум значення зворотного струму $I_{зв}$ в діоді обумовлене так званим ефектом накопичення носіїв заряду неосновної ланки в структурі $p-n$ переходу. Накопичення заряду залежить передусім від струму в період вимкнення I_d , а також від швидкості його спадання в процесі регенерації di_B/dt . Можливо стверджувати, що основна доля

втрат діодів оснований на втратах комутаційного характеру в процесі вимкнення. Розрахунок середнього значення комутаційних втрат:

$$P_{\text{ср.вик.}} \approx \frac{U_{\text{зв}} I_{\text{зв.м}} \Delta t_{\text{зв.с}}}{6T}. \quad (9)$$

Відповідно, формула (6) виведена, виходячи з лінійної апроксимації кривих $i_{\text{в}}(t)$ і $u_{\text{в}}(t)$ в інтервалі $\Delta t_{\text{зв.с}}$.

Комутаційні втрати грають значну роль й повинні бути враховані тільки при роботі діода в перетворювачах високої та надвисокої частоти ($f = 400$ Гц).

Розглядаючи ЛПД структуру, можливо стверджувати, що втрати зворотного струму є не актуальними для даного типу напівпровідників. Це пояснюється принципом роботи та метою використання структурної особливості конструкції ЛПД. Оптимізацію даного процесу генерації пов'язують з пролітною зоною. Час прольоту залежить безпосередньо від довжини пролітної зони $l_{\text{пр}}$ та дрейфової швидкості насичення $v_{\text{нас}}$ [23–24]:

$$t_{\text{прл}} = \frac{l_{\text{пр}}}{v_{\text{нас}}}. \quad (10)$$

Насамперед актуальність застосування діода в процесі генерування, як сказано раніше залежить від його особливостей в конструкції насамперед ЛПД розрізняють за (7): однопролітна $p^+ - n - n^+$ структура; двопролітна $p^+ - p - n - n^+$ структура; структура $p^+ - p - i - n^+$ (діод Ріда). Розглядаючи процес роботи ЛПД можна стверджувати, що в процесі генерування в діоді одночасно буде подаватись зворотна напруга $U_{\text{зв}}$, котра матиме значення, близькі до напруги пробою, та напруга НВЧ $u(t)$. На відрізку часу, коли змінна напруга проходить максимум, на відрізку $p - n$ переходу досягається крайнього значення $E_{\text{кр}}$ та на ділянці $l_{\text{пр}}$ починається лавинне множення заряду. Залежно від довжини пролітної частини та НВЧ напруги згусток може рухатись або в прискорювальному, або в гальмувальному полі НВЧ. Значну роль відіграють періоди, в яких перебуває згусток носіїв заряду. Загалом можливо розрізнити додатний та від'ємний період. Додатним вважається період, коли на проміжку часу електрони НВЧ напруги максимально прискорюються в зоні дії НВЧ поля, а в від'ємному відбувається зворотній процес, тобто процес гальмування. Розглянуті види роботи ЛПД звуться пролітним режимом *IMPATT* (*Impact Avalanche Transit Time*).

До недоліку структури $p^+ - n - n^+$ відноситься зменшення напруження електричного поля в зоні n^+ порівняно з насиченням поля, що впливає на швидкість руху електронів, котра є меншою за швидкість насичення.

Висновки. Процес підвищення генерації НВЧ випромінювання базується на конструктивних особливостях діода, які обумовлюють ККД генератора. Основні втрати установки концентрує зона прольоту діода. Якщо розглядати зону прольоту в процесі генерації, одну третину загальної площі прольоту займає шар множення, що зумовлює зменшення подачі напруги НВЧ, частина якої залишається в області множення, чим зменшує подачу енергії до НВЧ поля.

На основі цього ККД діода в даному режимі роботи не може перевищувати 15%. Можливість зменшення втрат цілковито залежить від модифікації структури діода на базі $p^+-p-i-n^+$, в результаті чого підвищення ККД генеруючої установки НВЧ випромінювання доцільне заміною звичайного ЛПД на діод Ріда, модифікація якого обмежує пролітну зону на діапазон (0,15...0,2 мкм). Генератори, що базуються на використанні таких діодів, збільшують ККД в діапазоні сантиметрових хвиль до 40 %. В процесі знезараження потрібно використовувати високі частоти, а отже зміниться й діапазон хвиль та проникаючий вплив на клітину, що обумовлює виникнення необхідності у збільшенні потужності джерела.

Використання двопробного діоду нівелює попередній недолік за рахунок збільшення дрейфових ділянок, що дає можливість збільшити потужність енергії на виході. Збільшення потужності та можливість керування в зоні обробки дає перевагу та якість знезаражуючої дії при використанні НВЧ полів в сільському господарстві в процесі обробки зернових.

Література

1. Бондаренко І. Мікроелектроніка НВЧ. Ч.2. Напівпровідникові елементи та пристрої НВЧ: навч. посібник для студентів ЗВО. Харків : ХНУРЕ, 2019. 172 с.
2. Кунденко М., Вахоніна Л., Руденко А. Аналіз проблеми якості обробки в установках для електромагнітної обробки зернової продукції // Інженерія природокористування. 2022. Т. 1, № 23. С. 40–45.
3. Ефект Ганна. URL: <https://uchil.net/?cm=92588> (дата звернення: 23.08.2023).
4. Sili I. Parameters of the impulse generator based on impatt diodes for the potato's pests extermination purpose // Scientific bulletin of the Tavria Agrotechnological State University. 2018. Vol. 8, no. 2. URL: <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2018-2-49> (дата звернення: 23.08.2023).
5. Семікіна Т.В., Слободян Н.В. Фізична електроніка. Конспект лекцій. Частина І «Випрямні та спеціальні діоди: основні параметри, особливості функціонування. Діоди надвисоких частот». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 94 с.
6. Стороженко И.П., Кайдаш М.В. Варизонный AlGaInAs-диод Ганна // Вакуумная и твердотельная электроника. 2016. Т. 7, № 3. С. 52–57.
7. Стороженко І.П., Аркуша Ю.В. Про підвищення потужності коротких діодів Ганна на основі варизонного InGaPAs // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. 2019. № 31. С. 62–78.
8. Чміль А.І., Лазарюк К.О. Методи передпосівної обробки насіння кукурудзи в електромагнітному полі // Енергетика і автоматика. 2015. № 4. С. 227–234.
9. Твердотільна електроніка: навч. посібник для студентів ЗВО / І. Бондаренко та ін. Харків : ХНУРЕ, 2020. 236 с.
10. Грищенко Я.С. Дослідження діодних НВЧ перетворювачів частоти : магістерська робота. Харків, 2020. 111 с.
11. Лавинно-пролетный диод. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/3666/ЛАВИННО (дата звернення: 23.08.2023).
12. Філінюк М.А., Барабан М.В. Аналіз сучасних досягнень створення інформаційних пристроїв на основі одноперехідних транзисторних структур // Інформаційні технології та комп'ютерна техніка. 2012. № 2. С. 1–10.

13. Осадчук В., Осадчук О. Напівпровідникові прилади з від'ємним опором: Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2006. 162 с.
14. Куш С.М., Прогонов Д.О., Смирнов В.П. Теорія сигналів. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи. Частина 2. Спектральний аналіз періодичних сигналів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 36 с.
15. Татарчук Д.Д., Кобак М.М., Молчанов В.І. Мікрохвильова електроніка: навч. посіб. Київ : Аверс, 207. 125 с.
16. Семікіна Т.В., Слободян Н.В. Навчальний посібник модулю «Фізична електроніка» конспект лекцій частина I «Випрямні та спеціальні діоди: основні параметри, особливості функціонування. Діоди надвисоких частот». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 94 с.
17. Kundenko M., Rudenko A., Iegorova O., Iegorov O. and Mardziavko V. Model of Pulses Propagation in Cellular Structures of Fibers. 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 323-328.
18. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних та програмних систем: монографія / Ю. Я. Бобало та ін. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2011. 300 с.
19. Осадчук В.С, Осадчук О.В. Напівпровідникові прилади з від'ємним опором. Вінниця : ВНТУ, 2006. 162 с.
20. Твердотільна електроніка: навч. посібник для студентів ЗВО. / Бондаренко І.М та ін. Харків : ХНУРЕ, 2020. 236 с.
21. Напівпровідникові та феритові НВЧ-пристрої / О. О. Дробахін та ін. Дніпро : РВВ ДНУ, 2013. 104 с.
22. Achour Y., Starzyński J., Jakubiuk K. New Architecture of Solid-State High-Voltage Pulse Generators. Energies. 2022. Vol. 15, no. 13. P. 4823. URL: <https://doi.org/10.3390/en15134823> (date of access: 23.08.2023).
23. Шихненко М. Стартер-генератор підвищеної енергоефективності на основі вентильно-індукторної машини : дис. ... канд. : 05.09.01. Київ, 2021. 205 с.
24. On the theory of a pulse laser with microwave pumping / В. В. Семенець et al. // Radiotekhnika. 2019. Vol. 4, no. 199. P. 97–103. URL: <https://doi.org/10.30837/rt.2019.4.199.12> (дата звернення: 23.08.2023).

Bibliography (transliterated)

1. Bondarenko I. Mikroelektronika NVCh. Ch.2. Napivprovidnykovi elementy ta prystroi NVCh: navch. posibnyk dlia studentiv ZVO. Kharkiv : KhNURE, 2019. 172 s.
2. Kundenko M., Vakhonina L., Rudenko A. Analiz problemy yakosti obrobky v ustanovkakh dlia elektromahnitnoi obrobky zernovoi produktsii // Inzheneriia pryrodokorystuvannia. 2022. T. 1, № 23. P. 40–45.
3. Efekt Hanna. URL: <https://uchil.net/?cm=92588> (data zvernennia: 23.08.2023)
4. Sili I. Parameters of the impulse generator based on impatt diodes for the potato's pests extermination purpose // Scientific bulletin of the Tavria Agrotechnological State University. 2018. Vol. 8, no. 2. URL: <https://doi.org/10.31388/2220-8674-2018-2-49> (data zvernennia: 23.08.2023).

5. Semikina T.V., Slobodian N.V. Fizychna elektronika. Konspekt leksii. Chastyna I «Vypriamni ta spetsialni diody: osnovni parametry, osoblyvosti funktsionuvannia. Diody nadvysokykh chastot». Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022. 94 p.
6. Storozhenko Y.P., Kaidash M.V. Varizonnnyy AlGaInAs-diod Ganna // Vakuumnaya i tverdotel'naya elektronika. 2016. T. 7, № 3. P. 52–57.
7. Storozhenko I.P., Arkusha Yu.V. Pro pidvyshchennia potuzhnosti korotkykh diodiv Hanna na osnovi varizonnogo InGaPAs // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. 2019. № 31. P. 62–78.
8. Chmil A.I., Lazariuk K.O. Metody peredposivnoi obrobky nasinnia kukurudzy v elektromahnitnomu poli // Enerhetyka i avtomatyka. 2015. № 4. P. 227–234.
9. Tverdotilna elektronika: navch. posibnyk dlia studentiv ZVO / I. Bondarenko ta in. Kharkiv : KhNURE, 2020. 236 p.
10. Hryshchenko Ya.S. Doslidzhennia diodnykh NVCh peretvoriuvachiv chastity: mahisterska robota. Kharkiv, 2020. 111 p.
11. Lavinno-proletnyy diod.
URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_physics/3666/ЛАВИННО (data zvernennia: 23.08.2023).
12. Filyniuk M.A., Baraban M.V. Analiz suchasnykh dosiahnen stvorennia informatsiinykh prystroiv na osnovi odnoperekhidnykh tranzystornykh struktur // Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna tekhnika. 2012. № 2. P. 1–10.
13. Osadchuk V., Osadchuk O. Napivprovidnykovi prylady z vidiemnym oporom. Navchalnyi posibnyk. Vinnytsia: VNTU, 2006. 162 p.
14. Kushch S. M., Prohonov D. O., Smyrnov V.P. Teoriia syhnaliv. Metodychni vkazivky do praktychnykh zaniat ta samostiinoi roboty. Chastyna 2. Spektralnyi analiz periodychnykh syhnaliv. Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2019. 36 p.
15. Tatachuk D.D., Kobak M.M., Molchanov V.I. Mikrokhvylova elektronika: navch. posib. Kyiv : Avers, 207. 125 p.
16. Semikina T. V., Slobodian N. V. Navchalnyi posibnyk moduliu «Fizychna elektronika» konspekt leksii chastyna I «Vypriamni ta spetsialni diody: osnovni parametry, osoblyvosti funktsionuvannia. Diody nadvysokykh chastot». Kyiv : KPI im. Ihoria Sikorskoho,, 2022. 94 s. [Semikina T.V., Slobodian N.V. Training manual of the module "Physical electronics" lecture notes part I "Rectifiers and special diodes: basic parameters, features of operation. Diodes of ultra-high frequencies". Kyiv: KPI named after Igor Sikorsky, 2022. 94 p.
17. Kundenko M., Rudenko A., Iegorova O., Iegorov O. and Mardziavko V. Model of Pulses Propagation in Cellular Structures of Fibers. 2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), Kyiv, Ukraine, 2022, pp. 323–328.
18. Matematychni modeli ta metody analizu nadiinosti radioelektronnykh, elektrotekhnichnykh ta prohramnykh system: monohrafiia / Yu. Ya. Bobalo ta in. Lviv : Vyd-vo Lviv. politekhniky, 2011. 300 p.
19. Osadchuk V.S, Osadchuk O.V. Napivprovidnykovi prylady z vidiemnym oporom. Vinnytsia : VNTU, 2006. 162 p.
20. Tverdotilna elektronika: navch. posibnyk dlia studentiv ZVO / Bondarenko I.M ta in. Kharkiv : KhNURE, 2020. 236 p.
21. Napivprovidnykovi ta ferytovi NVCh-prystroi / O. O. Drobakhin ta in. Dnipro : RVV DNU, 2013. 104 p.

22. Achour Y., Starzyński J., Jakubiuk K. New Architecture of Solid-State High-Voltage Pulse Generators. *Energies*. 2022. Vol. 15, no. 13. P. 4823. URL: <https://doi.org/10.3390/en15134823> (data zvernennia: 23.08.2023).

23. Shykhnenko M. Starter-henerator pidvyshchenoi enerhoefektyvnosti na osnovi ventylno-induktornoi mashyny: dys. ... kand. : 05.09.01. Kyiv, 2021. 205 p.

24. On the theory of a pulse laser with microwave pumping / V. V. Semenets et al. *Radiotekhnika*. 2019. Vol. 4, no. 199. P. 97–103. URL: <https://doi.org/10.30837/rt.2019.4.199.12> (data zvernennia: 23.08.2023).

УДК 62–93

Кунденко М.П., Мардзявко В.А., Руденко А.Ю.

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ГЕНЕРАЦІЇ НВЧ ВИПРОМІНЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯМ АДАПТИВНОГО ТИПУ ДІОДІВ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО КОНСТРУЮВАННЯ АПАРАТІВ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ

Потреба в пошуку актуального методу знезараження зернової продукції як ніколи актуально стоїть в наш час. Потреби агровиробників повинні уособлюватися в багатофункціональних приладах, що дають можливість впливати не тільки на аспект знезараження, а й дозволяти б стимулювати біологічні процеси. До такої методики відносять використання надвисокочастотного (НВЧ) випромінювання. Установки, що використовуються для вирішення питань знезараження мають одну головну схожу рису, а саме використання в системі генерації діодів. Розглядаючи основну типову конструкцію генератора НВЧ, можливо спостерігати основну проблему втрат корисної дії системи генерації – це втрати в діодах. Для якісного використання та впровадження потрібно враховувати якість обробки зернової продукції, високих показників можна досягти за рахунок використання радіотехніки. Модернізація загалом відбувається методом заміни застарілої генеруючої частини установки на нову з кращими технічними показниками та більшою варіативністю діапазонів частот та потужностей. Насамперед, про що це нам говорить – кожна сільськогосподарська культура має власні радіо-фізичні характеристики, цей фактор важливий для збільшення ефективності обробки. Дослідження показують, що гнучкість та керованість установки для обробки сільськогосподарської забезпечується використанням модернізованих діодів. В роботі досліджено основні види діодів, що використовуються в генеруючих установках, описано основні три зони втрат, загалом та безпосередньо в лавинно-пролітному діоді (діод Ріда). При дослідженні втрат, поверхнево розглянуто матеріали котрі використовують в напівпровідниковій техніці, з метою покращення провідності діода. На основі проведеного дослідження зроблено обґрунтовані висновки відповідно до теми дослідження. Базовим елементом установки є використання імпульсних генераторів, але використання застарілих генераторів є нераціональним та безглуздим. Зрозуміло, що успіх цього методу обробки залежить від розвитку радіотехніки. Постійні зусилля в цьому напрямку допоможуть зберегти та покращити ефективність цієї технології.

Ключові слова: діод, генератор імпульсних напруг, зерно, НВЧ випромінювання, діод Ріда.

Кунденко Н.П., Мардзявко В.А., Руденко А.Ю.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ГЕНЕРАЦИИ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ АДАПТИВНОГО ТИПА ДИОДОВ ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО КОНСТРУИРОВАНИЯ АППАРАТОВ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ

Потребность в поиске актуального метода обеззараживания зерновой продукции как никогда актуальна в наше время. Потребности агропроизводителей должны олицетворяться в multifunctional приборах, позволяющих влиять не только на аспект обеззараживания, но и позволяющих стимулировать биологические процессы. К такой методике относят использование сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения. Установки, используемые для решения вопросов обеззараживания, имеют одну главную схожую черту, а именно использование в системе генерации диодов. Рассматривая основную типовую конструкцию генератора СВЧ, можно наблюдать основную проблему потерь полезного действия системы генерации – это потери в диодах. Для качественного использования и внедрения следует учитывать качество обработки зерновой продукции, высоких показателей можно добиться за счет использования радиотехники. Модернизация в целом происходит методом замены устаревшей генерирующей части установки новой с лучшими техническими показателями и большей вариативностью диапазонов частот и мощностей. В первую очередь, о чем это нам говорит – каждая сельскохозяйственная культура имеет собственные радиофизические характеристики, этот фактор важен для увеличения эффективности обработки. Исследования показывают, что гибкость и управляемость установки для сельскохозяйственной обработки обеспечивается использованием модернизированных диодов. В работе исследованы основные виды диодов, используемых в генерирующих установках, описаны основные три зоны потерь, в целом и непосредственно в лавинно-пролетном диоде (диод Рида). При исследовании потерь поверхностно рассмотрены материалы, используемые в полупроводниковой технике, с целью улучшения проводимости диода. На основе проведенного исследования сделаны обоснованные выводы в соответствии с темой исследования. Базовым элементом установки является использование импульсных генераторов, но использование устаревших генераторов нерационально и бессмысленно. Понятно, что успех этого обработки зависит от развития радиотехники. Постоянные усилия в этом направлении помогут сохранить и улучшить эффективность этой технологии.

Ключевые слова: диод, генератор импульсных напряжений, зерно, СВЧ излучение, диод Рида.

Kundenko M.P., Mardzyavko V.A., Rudenko A.Yu.

ANALYSIS OF THE TECHNOLOGY OF GENERATING MICROWAVE RADIATION WITH THE DEFINITION OF AN ADAPTIVE TYPE OF DIODES FOR THE FURTHER DESIGN OF DEVICES FOR DISINFECTION

The need to find an actual method of decontamination of grain products is more relevant than ever in our time. The needs of agro-producers should be embodied in multifunctional devices that give the opportunity to influence not only the aspect of disinfection, but

also would allow to stimulate biological processes. This technique includes the use of ultra-high-frequency (UHF) radiation. Installations used to solve decontamination issues have one main similar feature, namely the use of diodes in the generation system. Considering the main typical design of the microwave generator, it is possible to observe the main problem of the losses of the useful effect of the generation system - these are the losses in the diodes. For high-quality use and implementation, it is necessary to take into account the quality of processing of grain products, high indicators can be achieved due to the use of radio equipment. Modernization generally occurs by replacing the outdated generating part of the installation with a new one with better technical performance and greater variability of frequency and power ranges. First of all, what this tells us is that each crop has its own radio-physical characteristics, this factor is important for increasing processing efficiency. Studies show that the flexibility and controllability of the plant for agricultural processing is ensured by the use of modernized diodes. The paper examines the main types of diodes used in generating units, describes the main three loss zones, in general and directly in the avalanche diode (Reed diode). During the study of losses, the materials used in semiconductor technology were superficially considered in order to improve the conductivity of the diode. On the basis of the conducted research, reasonable conclusions were made in accordance with the topic of the research. The basic element of the installation is the use of pulse generators, but the use of outdated generators is irrational and pointless. It is clear that the success of this processing method depends on the development of radio technology. Continued efforts in this direction will help preserve and improve the effectiveness of this technology.

Keywords: diode, pulse voltage generator, grain, microwave radiation, Reed diode.

Чечуй О.Ф.¹, к. біол.н., доцент; Близнюк О.М.², д.техн.н., професор,
Масалітіна Н.Ю.², к.техн.н., доцент, Белінська А.П.², к.техн.н., доцент,
Варанкіна О.О.², к.техн.н., доцент; Бєлих І.А.², к.біол.н., доцент,
Дьякова Н. М., ст. викл.

ВПЛИВ РІДКИХ КОМПЛЕКСНИХ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ НА МЕТАБОЛІЗМ НІТРОГЕНУ ПРИ ФОРМУВАННІ ПРОДУКТИВНИХ ОРГАНІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

¹Державний біотехнологічний університет, Харків

²Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

Ключові слова: біотехнологія у рослинництві, мікроелементи, мікроелементи, ультрамікроелементи, малат, сукцинат, аспаратамінортансфераза, аланінаминотрансфераза, Нітроген, *Triticum eastivum L.*

Вступ

Важливим завданням біотехнологій у рослинництві є агровиробництво якісної рослинної зернової продукції в оптимальній для споживача кількості [1]. Україна є одним із потужних імпортерів зерна пшениці, проте, нині, не усі виробничі земельні ділянки є придатними для біотехнологічного виробництва рослинної продукції [2], тому актуальним є виявлення потенційних продуктивних генетичних ресурсів зернових культур при застосуванні більш широкого асортименту мінеральних добрив, зокрема, азотних, одним із важливих компонентів яких є Нітроген [3]. До важливих у харчовому відношенні зернових культур провідне місце займає пшениця озима, оптимальна забезпеченість якої Нітрогеном за внесення азотних мінеральних добрив є запорукою формування якості зернової продукції [4, 5]. Актуальним на даний час є з'ясування впливу поверхневої обробки агропосівів рослин інноваційною групою добрив – рідкими комплексними біотехнологічними препаратами, оскільки до складу яких входять кілька солей мінерального та органічного генезу, що одночасно діють на рослини [6–8]. Так, біологічний ефект на останні макроелементів на біохімічні показники агропосіви є достатньою вивченим [9], в той час як мікро- та ультрамікроелементів, – на стадії з'ясування, тому інноваційним є розробка нових експериментальних рідких комплексних добрив [10], виготовлених на основі суміші останніх у поєднанні із органічними кислотами – малатом та сукцинатом [11, 12], які використовуються у харчовій промисловості, а у рослинах – приймають участь в важливих фізіологічних процесах їх життєдіяльності, таких як, фотосинтез, фотодихання, цикл Кребса, гліоксилатний цикл [13].

Формування продуктивних характеристик пшениці озимої починається на ранніх стадіях утворення фотосинтетичних тканин рослини за участі фотосинтетичних нітрогенномісних сполук – пігментів, інтенсивність ростових процесів при цьому залежить від забезпеченості посівів хімічними сполуками як органічного, так й мінерального походження [14], тому застосування рідких комплексних біотехнологічних препаратів із вищенаведеним складом на одній із критичних стадій розвитку рослин – стадії кушіння є обґрунтованим та актуальним. Показниками метаболізму Нітрогену у пше-

ниці є аспартатамінотрансфераза та аланін амінотрансфераза, вміст хімічних форм цього елементу, а також вміст хлорофілу. Отже, дослідженню впливу органохелатів у складі експериментальних рідких комплексних біотехнологічних препаратів на показники метаболізму Нітрогену за умов експерименту присвячено матеріал даної наукової роботи.

Дослідження існуючих рішень проблеми

Хімічною основою рідких комплексних біотехнологічних добрив, що використовуються в агровиробництві, є NPK у різному співвідношенні, розчини яких застосовуються як окремо, так й у поєднанні із мікро- та ультрамікроелементними, а також органічними сполуками. Розроблені таким чином рідкі комплексні добрива, є мультикомпонентними, оскільки кожна хімічна сполука вже має дві складові – аніонну та катіонну, а комплекси яких містять біогенні мінеральні елементи, хелатовані три-, ди- та монокарбоновими органічними кислотами у доступній для рослин формі, тому можуть виявляти певну біологічний ефект на рослини [15, 16]. Досліджено, що колоїдні розчини органохелатів біогенних елементів з карбоновими кислотами мають розмір наночастинок до 100 нм, завдяки чому відбувається перехід мікроелементів в іонну форму, тому використання нанометалів може забезпечити повноцінність потрапляння хімічних компонентів у клітини рослин, а, відтак, й оптимізувати метаболічні процеси пшениці озимої [17, 18]. Одним із засобів на основі наночастинок металів, є рідкий біотехнологічний препарат мультикомпонентний препарат «аватар-2», який містить 15 мікро- та ультрамікроелементів та застосований в наших експериментах, а також комбінування останнього із сукцинатом та малатом. Мінеральні елементи у рослинах приймають участь у важливому їх фізіологічному процесі – мінеральному живленні [19], макроелементи є складовими органічних показників якості рослин, зокрема, N – протеїнів, амінокислот, нуклеїнових кислот, амідів, алкалоїдів, нуклеозидів, фосфоліпідів, глікозидів ціаногенних, фітогормону індолілоцтової кислоти, тіаміну, P – нуклеїнових кислот, фосфоровмісних пептидів, фосфогліцеринової кислоти, рибулозобіфосфату, K і Na – ензимів K-Na-АТРаз, Mg – магнієвмісних ензимів, Ca – кальмодуліну та біомембран, S – амінокислот цистеїну, метіоніну, селенометіоніну, трипептиду глутатіону, ацетилкоензиму, в той час як мікроелементи – ензимів [20]. Збалансоване поєднання макро-, мікро- та ультрамікроелементів у рідких комплексних біотехнологічних препаратах є запорукою оптимальної інтенсивності перебігу біохімічних процесів у оброблених цими розчинами посівах пшениці озимої [21]. Мінеральні елементи зерна пшениці мають високу поживну цінність для споживачів [22, 23].

Ключовими ензимами метаболізму Нітрогену пшениці озимої є аспартатамінотрансфераза (ЕС 2.6.1.1, АсАТ) та аланінамінотрансфераза (ЕС 2.6.1.2, АлАТ): перший ензим каталізує реакцію перенесення аміно-групи між аспарагіновою кислотою та α -кетоглутаратом, другий – транспорт аміногрупи між аланіном та α -кетоглутаратом із синтезом пірувату та глутамату, кофактором цих ензимів є пірідоксальфосфат [24, 25]. Продукти ензиматичних реакцій використовуються у кількох біохімічних процесах у рослин пшениці, таких як, утворення амінокислот шляхом амінування кетокислот, накопичення глутаміна, окиснення в циклі Кребса із синтезом аденозинтрифосфатів та відновних еквівалентів тощо [26]. Регуляція активності ключових ензимів метаболічних шляхів, зокрема, азотного, є рівень вільних радикалів у рослинах, тому досліджено ТБК-активних сполук у пшениці озимої в умовах експерименту. Сумарний пул Нітро-

гену у рослинах складається з двох типів: протейновий азот та не протейновий. Пул останнього є сумою таких форм Нітрогена, як, до прикладу, амонійний NH_4 , аміачний NH_3 , амінний NH_2 , нітратний NO_3 та ін, кожна з наведених форм Нітрогену відіграє важливу роль у метаболізмі рослин [27].

Одним із критичних періодів формування продуктивних органів пшениці озимої є фаза кушіння та виходу трубку, причому перша забезпечує ступінь оптимальної густоти продуктивних стебел, а на другій відбувається закладка квіток у колосках, що крелює із збільшенням молодого колосу за розміром [28]. Актуальним є вивчення ключових показників метаболізму на ранніх етапах формування продуктивних органів пшениці озимої саме середньостиглих низькостеблових сортів рослини. З огляду на вищенаведене, впливає актуальність даної роботи, що потребує науково-обґрунтованих експериментальних досліджень.

Мета та основні задачі дослідження

Метою роботи є з'ясування впливу рідких комплексних біотехнологічних препаратів на метаболізм нітрогену на ранніх стадіях формування продуктивних органів пшениці озимої на основі аналізу наукових літературних даних та власних досліджень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити активність аспартатамінотрансферази, аланінамінотрансферази та вмісту ТБК-активних продуктів за в листі пшениці озимої за біотехнологічних умов експерименту;
- дослідити вміст аміачного азоту та хлорофілу за біотехнологічних експерименту.

Матеріали та методи досліджень

В роботі використовували наступні рідкі комплексні біотехнологічні препарати:

- 1) « $\text{N}_3\text{:P}_{18}\text{:K}_{18}$ » виробництва ЗАТ «Черкасзот» (Україна) із додаванням суміші, що містить $\text{Ca } 1,9\%$, $\text{Mg } 0,32\%$, $\text{S } 0,8\%$;
- 2) «аватар_м-2, що містив $\text{N}_3\text{:P}_{18}\text{:K}_{18} \text{ Ca } 1,9\text{Mg } 0,32 \text{ S } 0,8$ + «аватар-2» – B, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, V, Ni, Ti, La, Se, Ge, J, Si, Ag
- 3) «аватар_м-2-м, що містив $\text{N}_3\text{:P}_{18}\text{:K}_{18} \text{ Ca } 1,9\text{Mg } 0,32 \text{ S } 0,8$ + «аватар-2» – B, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, V, Ni, Ti, La, Se, Ge, J, Si, Ag + L-малат.
- 4) «аватар_м-2-ст, що містив $\text{N}_3\text{:P}_{18}\text{:K}_{18} \text{ Ca } 1,9\text{Mg } 0,32 \text{ S } 0,8$ + «аватар-2» – B, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo, V, Ni, Ti, La, Se, Ge, J, Si, Ag + сукцинат натрію.

Препарат «аватар-2» розроблено Українським НДІ нанотехнологій та ресурсозбереження КНУ, в ході виготовлення якого органохелати біогенних елементів отримували з їх колоїдних розчинів шляхом хелатування наночастинок розміром 45-80 нм мадатом або сукцинатом. Перша позначка_м в умовні нзві біотехнологічного препарату відображає основу створенні останніх – наявність мікроелементів у відповідних розчинах. Малато- та сукцинатохелати мікроелементів отримували з їх колоїдних розчинів хелатуванням наночастинок розміром 45-80 нм. Експерименти проводили на виробничих ділянках Роганського стаціонару Державного біотехнологічного університету, ґрунт – переважно чорнозем звичайний, малогумусний важкосуглинковий на карбонатному лесі, попередник – горох, гербіцид – Імперіал виробництва ТОВ «Агроекоплюс», активними речовинами якого є імазамокс та імазаріп лінії Tor-laghning. Розмір обраних

експериментальних ділянок становить 0,45 м² облікової площі, розташування рендомізованим методом при трикратній повторюваності варіантів.

В роботі використовували пшеницю озиму (*Triticum aestivum* L.) сорту Шулин-дінка генерації Еліта, створений шляхом біотехнологічного селекційного поєднання морфологічно однорідних ліній з гібридною популяції Харківська 23 та Леукулум 19, цей сорт пшениці озимої є середньостиглим, низькостебловим із середнім рівнем адаптації до знижених температу доквілля. Мінеральні добрива вносили у систему ґрунтрослини у співвідношення мікроелементів 3:2:1 в дозі N₆₀P₃₀K₁₅: N₃₀P₁₅ K_{7,5} – в основне удобрення та N₃₀P₁₅K_{7,5} – на початковій стадії відновлення вегетації.

Рідкі комплексні біотехнологічні препарати застосовували шляхом передсівної обробки насіння, а також екзогенної обробки посівів рослин у фазу кушіння у час формування другого вузла кушіння. Аналіз середніх зразків здійснювали у фазу початку виходу в трубку (етап ВВСН 28-34). Листки пшениці озимої для аналізу відбирали разом із листовими пластинами, а також міжвузлами піхв.

Активність АсАТ та АлАТ визначали реакцією із 2,4-дінітрофенілгідрозином у лужному середовищі за внесення субстратно-буферного розчину, що містив фосфатний буфер, аспарагінову кислоту та 2-оксоглутарат, реакції проводили у лужному середовищі за методом Raitman S., модифікованим для рослинного матеріалу за допомогою фотоелектроколориметру КФК-2 при γ 540 нм згідно [29]. Активність першого ензиму виражали в мкМ пірувату /(год · г сирої тканини), другого – в мкМ оксалоацетату /(год · г сирої тканини).

Вміст ТБК-активних продуктів визначали із реакцією з 2-біобарбітуровою кінлотою після осадження протеїнів трихлороцтовою кислотою із додаванням бутанолу до безбілкових розчинів за допомогою спектрофотометру СФ-26 при γ 532 нм згідно [30], результати дослідження виражали у нМ малонового діальдегіду / г тканини.

Вміст аміачного азоту визначали за полумікрометодом шляхом титрування сірчаною кислотою після спалювання наважки згідно [31], результати дослідження виражали у мкг NH₃ /мл гомогенату.

Вмісту хлорофілу загальний визначали в етанольних фільтратах при внесенні за допомогою фотоколориметру КФК-2 при γ 650 нм згідно [32], результати дослідження виражали у мг/г тканини.

Отримані у біотехнологічних дослідженнях експериментальні дані оброблені із використанням пакету програми методів біостатистики Biostat 10 із визначенням М-середнього та sem-похибки середнього. Вірогідність розбіжностей між групами варіантів оцінювали непараметричними методами з використанням критерію Wilcoxon-Manni-Witney [33].

Результати дослідження

Синтез протеїнів у пшениці озимій потребує постійно поповнення фонду вільних амінокислот, ключовими субстратами для чого є піруват, оксалоацетат та α-оксоглутарат, що здійснюється за участю ключових ензимів метаболізму Нітрогену – аспаратамінотрансфераза (ЕС 2.6.1.1, АсАТ) та аланінамінотрансфераза (ЕС 2.6.1.2, АлАТ). У табл. 1 наведені результати впливу рідких комплексних біотехнологічних препаратів на активність ключових ензимів метаболізму азоту та на загальний вміст цього елементу за агрохімічного фону N₆₀P₃₀K₁₅ у вузлах кушіння та листі пшениці озимої.

Виявлено тенденцію до підвищення активності АсАТ, в той час суміші макро-елементів на ензиматичну активність іншого ензиму, навпаки, в середньому, на 23% за впливу комплексу NPKCaMgS на посіви пшениці озимої. Відбувається підвищення активності АсАТ, в середньому, на 41 %, а АлАСТ – на 36,3% за препарату Аватар_м-2 у листі пшениці озимої. Виявлено зниження активності обох ключових ензимів метаболізму Нітрогену за впливу комплексу препарату Аватар_м-2-м, в середньому, на 27,2 % та 32,5%, відповідно, що свідчить про сталізацію мікроелементами метаболічного спрямування продуктів та субстратів за метадобічного стану клітин листя пшениці озимої. Ці дані спонукають до проведення подальших наших експериментів, пов'язаних із з'ясуванням дії окремих йонів та органічних кислот на метаболічні процеси рослин. За впливу Аватар_м-2-ст відбувається зниження активності АлАТ, в середньому 26,6 %, в той час прояв сукцитату на активність АсАТ виявився більш істотним – в середньому на 48,3 %, адже біотехнологічний препараті Аватар_м-2-ст містить сукцинат, в той час як Аватар_м-2-м – яблучну кислоту.

Таблиця 1 – Вплив рідких комплексних біотехнологічних препаратів на активність ключових ензимів метаболізму азоту та на загальний вміст цього елементу за агрохімічного фону $\text{N}_{60}\text{P}_{30}\text{K}_{15}$ в листі пшениці озимої, $M \pm \text{sem}$, $n=5$

Фактори впливу	АсАТ, мкМ пірувату / (год · г сирої тканини)	АлАТ, мкМ оксалоацетату / (год · г сирої тканини)	ТБК-активні продукти, нМ малонового діальдегіду / г
Контроль	11,08 ± 0,67	6,73 ± 0,40	42,27 ± 6,88
РКД-макро	14,16 ± 0,78	8,30 ± 0,25*	36,41 ± 2,66*
Аватар _м -2	16,51 ± 0,16*	9,28 ± 0,54*	29,18 ± 2,95*
Аватар _м -2-м	8,43 ± 0,32*	4,46 ± 0,17*	72,04 ± 8,53*
Аватар _м -2-ст	7,64 ± 0,41*	5,28 ± 0,34	61,75 ± 7,14*

* $p \leq$ порівняно із результати контрольних вимірювань

В реакціях АлАТ утворюється піруват – ключовий субстрат глікогеногенезу, підвищення якого може сприяти активації синтезу вуглеводів, необхідних для ростових процесів. Ензими АсАТ та АлАТ відіграють ключову роль у метаболізмі аспартату, аланіну та глутамату, крім того, ці два ензими використовуються для утворення амідів – аспарагіну і глутаміну, тому підвищення їх активності є умовою накопичення цих амідів в якості резерву NH_4^+ . Синтез амінокислот за рахунок α -кетокислот здійснюється в реакціях, які активуються системою глутамінсинтаза/оксалоацетатамінотрансфераза. В листі пшениці на стадіїх кушення-виходу в трубку активно відбувається фото дихальні процеси, в яких безпосередню роль відіграють органічні кислоти.

Малат, що входить до складу препарату Аватар_м-2-м, виконує у клітинах листя пшениці озимої утворюється в малатсинтазній реакції, окислюється до оксалоацетату за дії NAD-малатдегідрогенази (L-малат: NAD^+ -оксидоредуктаза, EC 1.1.1.37), цей ензим наявний у пероксисомах листя як фотосинтезуючого органу пшениці озимої, де приймає участь у транспортуванні H^+ малату, що забезпечує функціонування NADH-гідроксипіруватредуктази [34]. Малат у мітохондріях фотосинтетичних клітин пшениці озимої синтезується в фумарату за приєднання води, після чого окиснюється за дії NAD-малатдегідрогенази за допомогою NAD^+ утворюється оксалоацетат [35]. Малат

також є джерелом ацетил-CoA – проміжного метаболіту, що поєднує шляхи метаболізму протеїнів, ліпідів та вуглеводів у листі пшениці озимої. Органічна кислота сукцинат, що входить до складу препарату Аватар_м-2-ст, у клітинах листа пшениці озимої перетворюється на γ -аміномасляну кислоту та полі феноли, інгібування електронтранспортного ланцюга у хлоропластах листа пшениці озимої призводить до підвищення вмісту сукцинату, який у цитозолі клітини рослини включається до синфазної реакції разом із гліюксилатом. Підвищення вмісту малату та сукцинату може відбуватися внаслідок неповного окиснення, що обумовлено пригніченням мітохондріального дихального ланцюга за умов активного фотосинтезу [36].

Синтез амінокислот на світлі пов'язаний із функціонуванням фотодихального метаболізму Нітрогену за участі NH_3 , синтезованого шляхом конденсації серин-гліцин, а також системи глутамінсинтетаза-глутаматсинтаза [37]. Синтез амінокислот поєднаний із фотодиханням в листі пшениці озимої, є одним із шляхів метаболізму Нітрогену, причому, фотодихальним інтермедіатом для синтезу гліцину є гліюксилат, а джерелом 2-оксикислот для утворення аланіну, глутамату та аспартату є синтазні реакції [38].

Нітрогеновмісні продукти цих ензиматичних реакцій використовуються у кількох біохімічних процесах у рослин пшениці, таких як, утворення амінокислот шляхом амінування кетокислот, накопичення глутаміна, окиснення в циклі Кребса із синтезом аденозинтрифосфатів та відновних еквівалентів. В реакціях АлАТ утворюється піруват – ключовий субстрат глюкогогенезу, підвищення якого може сприяти активації синтезу вуглеводів, необхідних для ростових процесів. Ензими АсАТ та АлАТ відіграють ключову роль у метаболізмі аспартату, аланіну та глутамату, крім того, ці два ензими використовуються для утворення амідів – аспарагіну і глум аміну, тому підвищення їх активності є умовою накопичення цих амідів в якості резерву NH_4^+ . Синтез амінокислот за рахунок α -кетокислот здійснюється в реакціях, які активуються системою глутамінсинтаза/оксалоацетатамінотрансфераза.

Доведено зменшення вмісту ТБК-активних продуктів як за впливу РКД-макро, в середньому, на 16,2 % та Аватар_м-2 – на 43,7 % відносно контрольних даних. Виявлено збільшення вмісту продуктів, що реагують із біобарбітуровою кислотою, за впливу аватар_м-2-м, в середньому, у 1,62 рази, а аватар_м-2-ст – на 54,37 % по відношенню до контрольних значень. Виявлено [39–42] антиоксидантний ефект таких ультрамікроелементів, як La, Se, Mn, Ge, V, Ag, Si, Ti, а разом із малатом та сукцинатом спричиняють регуляцію активності досліджених ензимів, оскільки активність останніх зменшується при одночасного підвищення вмісту ТБК-активних продуктів, що, ймовірно, пов'язано із синтезом достатнього пулу проміжних інтермедіатів метаболізму для забезпечення оптимального перебігу фізіологічних процесів у клітинах листа пшениці озимої за умов експерименту. У рототі [43] в експериментах із впливом йонів Cd на активність ензимів АсАТ та АлТ у рослині сої на ранніх стадіях утворення паростку, показано підвищення ензиматичної активності, що пояснюється розвитком стресу, спричиненого дією важкого металу. Такий метаболічний стан можна було пояснити адаптацією метаболічного стану, проте, активність ензимів, що є алостеричними у метаболізмі Нітрогену, відбувається зменшення активності цих діагностичних критеріїв за впливу препарату Аватар_м-2-м та Аватар_м-2-ст, що свідчить про використання пірувату, оксоглутарату та глутамату при оптимізації біохімічних процесів. Джерелом NH_4 для синтезу аланіну та аспартату в листі пшениці озимої також є пере амінування феліаланіну та тирозину, що каталізується для фенілаланінаміакліазою та тирозинаміакліазою, відповідно, крім того,

внаслідок дії останньої синтезується кумарова кислота – попередник полі фенолів: кавової, сина пової та ферулової кислот, кавова кислота використовується для синтезу хлорогенової кислота – одного з компонентів системи полі фенол-поліфенолоксидаза, в якій відбувається активне дезамінування амінокислот. Акцептором H_2 в реакціях дезамінування амінокислот є хінони, які у цій системі генерують активні форми O_2 , зокрема, H_2O_2 [44], тому збільшення вмісту ТБК-активних продуктів за впливу препаратів Аватар-2 свідчить про оптимізації процесів вільно радикального окислення ліпідів, що впливає на оптимальний метаболізм амінокислот в листі пшениці озимої за біотехнологічних умов експерименту.

Фіксація NH_3 у листі має лімітуюче значення у перетворенні амінослот, інтенсивність включення якого в останні відбувається за дії ензимів метаболізму глутаміну, одним із яких є глутамінсинтаза (ГС, ЕС 6.3.1), яка каталізує процес асиміляції глутаміну та аміаку. Фіксація іншої форми Нітрогену – NH_4 здійснюється за дії другого ензиму метаболізму глутаміну – глутаматдегідрогенази [45]. У табл. 2 наведено результати впливу рідких комплексних біотехнологічних препаратів на вміст аміачного азоту та хлорофілу за умов експерименту в листі пшениці озимої за умов експерименту.

Таблиця 2 – Вплив рідких комплексних біотехнологічних препаратів на вміст аміачного азоту та хлорофілу за агрохімічного фону $N_{60}P_{30}K_{15}$ в листі пшениці озимої, $M \pm sem$, $n=3-5$

Фактори впливу	Аміачний азот, мкг/мл	Хлорофіл, мкг /г
Контроль	238,04 $\pm$ 11,60	12,78 $\pm$ 2,64
РКД-макро	227,17 $\pm$ 23,50	18,32 $\pm$ 3,35*
Аватар _м -2	252,01 $\pm$ 17,65*	27,64 $\pm$ 4,11*
Аватар _м -2-м	246,15 $\pm$ 24,93	24,02 $\pm$ 3,82*
Аватар _м -2-ст	242,83 $\pm$ 15,77	20,44 $\pm$ 6,27*

* $p \leq$ порівняно із результати контрольних вимірювань

Концентрація NH_3 за впливу препарату РКД-макро має тенденцію до зниження, що може бути пов'язання із використанням мікроелементів на окислювальні процеси відновних еквівалентів та утворення пулу непротеїногенних кислоти, окільти такі метаболічні шляхи притаманні зерновим рослинах, за впливу Аватар_м-2 – збільшення показника, в середньому на 42 %, а за Аватар_м-2-м та Аватар_м-2-ст – концентрація не змінюється, що свідчить про регуляторний ефект малату та сукцинату на активацію та ступінь використання цієї форми Нітрогену в альтернативних процесах перетворення амінокислот, включаючи, ймовірно, непротеїногенні.

Фіксація глутаміну за дії ензиму ГС – важлива метаболічна регуляції балансу N / C органічних сполук [46]. До останніх належить важливий фотосинтетичний пігмент зелених частин зернових культур. Нітроген є компонентом пірольних кілець, що формують порфіринові ядра основного фотосинтетичного пігменту пшениці озимої – хлорофілу [47], тому актуальним є визначення останнього в зелених органах рослин пшениці озимої. Вміст хлорофілу за впливу препарату РКД-макро підвищується, в середньому, у, за впливу Аватар_м-2– у 2,8 разів, в той час, вплив кислот у складі препаратів Аватар_м-2-м та Аватар_м-2-ст – по-різному виявляється, але напрямок зниження вмі-

ту цього показника відносно препарату Аватар_м-2 знижується, проте, у порівнянні із контролем підвищує цей критерій, в середньому, у 1,9 та 1,7 разів, відповідно.

Ключовим ензимом обміну хлорофілу та нітратовмісних сполук, що приймають участь у стадіях фото дихання рослин типу C₃, як й об'єкт наших досліджень, є 1,5-рибулофокарбоксигенеза, або РУБІСКО. У хлоропластах листя комплекси протеїнів приймають участь у збиранні світла, транспортуванні H_2O від води до відновленого нуклеотиду NADP та синтезі макроергу АТР. У листі посівів пшениці озимої на світлі тілакоїди хлоропласти містять прилизно 39-56 Молей / Моль хлорофілу. З'ясовано відновний розподіл N між клітинними компонентами листя пшениці озимої, який складає, %: хлоропласти – 7,8, мітохондрії – 4,8, – пероксисоми – 2,7, цитозоль – 9,3, клітинні стінки – 11,6 [48].

Синтез хлорофілу поєднаний із метаболізмом гліколату у листі пшениці озимої, вихідна сполука для його утворення – α -амінолевуленат синтезується шляхом конденсації гліцину та сукциніл-СoА – продуктів гліколатного шляху та циклу Кребса – з глутамату, а останній синтезується за фото дихального метаболізму. Підвищення вмісту хлорофілу за впливу рідких комплексних добрив пояснюється оптимізацією перебігу фотосинтезу за хімічних компонентів біотехнологічних препаратів. Нітраний азот є резервною формою Нітрогену в литі пшениці озимої, метаболізм якого за реакцією $\text{NO}_3 \rightarrow \text{NO}_2$ здійснюється за дії ензиму нітратредуктази (НР, EC 1.6.6.1), причому серед форм Нітрогену, який рослини споживають із ґрунту, NO_3 є домінуючою, цей ензим є Мо-вмісним, дія якого пов'язані із фотосинтезом, причому, NO_3 метаболічного фонду локалізовані у цитозолі зернових культур – внутрішньоклітинному компартменті прояву дії НР, а NO_3 резервного фонду – у вакуолях, на вміст цієї форми Нітрогену впливають фітогормони, наприклад, цитокініни [49, 50].

Молідбен приймає активну участь в регуляції активності нітратредуктази у листі пшениці озимої [51]. Загальний вміст Нітрогену в органах пшениці озимої є суманою величиною, оскільки поділяється на протеїновий та непротеїновий, а останній входить як до складу біомолекул, таких як алкалоїди, фітогормони, нуклеотиди та інші органічні нітрогеновмісні сполуки, а також у вільній формі є компонентом внутрішньоклітинних солей у рослини [52].

Компоненти, що входять до складу препарату аватар_м-2, сприяють регуляції фізіологічних процесів на клітинному рівні, останні майже у повній мірі проходять крізь напівнепроникну біомембрану клітин. У дослідженнях, проведених із листям інших рослин [53, 54] за дії наночастинок металів виявлено їх взаємодію із рецепторними протеїнами біомембрани мітохондрій та гліоксисом. Автори роботи [55] виявили вплив на інтенсивність перерозподілу ліпідних фракцій за дії наночастинок металів.

Висновки

На основі результатів аналітичного огляду літературних джерел та проведених власних досліджень зроблено висновки щодо ефективності інокуляції насіння сої біотехнологічними препаратами:

- визначити активність аспартатамінотрансферази, аланінамінотрансферази та вмісту ТБК-активних продуктів за в листі пшениці озимої за біотехнологічних умов експерименту;
- дослідити вміст аміачного азоту та хлорофілу за біотехнологічних експерименту.

Доведено, що впливу цих комплексних препаратів відбувається позитивний ефект наночастинок халатованих металів із органічними кимлотами малат або сукцинатам – компонентами досліджених біотехнологічних препаратів на метаболізм Нітрогену в листі пшениці озимої на критичній стадії її органогенезу – трубкування при формуванні продуктивних органів рослини, а відтак, на утворення якості рослини. Нині нами продовжуються біотехнологічні прийоми, спрямовані на з'ясування агрохімічного ефекту рідких комплексних добрив із різними хімічними компонентами у неоднакового співвідношенні та їх вплив на метаболічні процеси рослин за біотехнологічних умов виробництва останніх.

Література

1. Камінський В.Ф., Сайко В.Ф., Сушко М.В. 2017. Наукові ефекти використання виробничих ресурсів у різних моделях технологій використання зернових культур: монограф. Київ: Вініченко, 2017. 580 с.
2. Вплив збройної агресії та воєнних дій на сучасний стан ґрунтового покриву, оцінка шкоди та збитків, заходи з відновлення / С.А. Балюк, А.В. Кучер, М.О. Солоха, В.Б. Солов Харків: ННЦ ІГА, 2022. 148 с.
3. Царенко О.М. Управління якістю агропромислової продукції: навч. посіб. Суми: ВТД Університетська книга, 2016. 431 с.
4. Ткачук К.С. Азотний обмін та адаптація рослин до умов живлення / К.С. Ткачук, Т.З. Богдан. Київ: Аверс, 2000. 201 с.
5. Марцінішин Ю.Д., Пида С.В. Біохімічний склад зерна пшениці м'якої (*Triticum aestivum* L.) за дії добрив. Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Серія: Біологія, 2021. Т. 81, № 1-2. С. 90–98. Doi: 10.25128/2078-2357.21.1-2.12.
6. Циков В.С. Ефективність застосування макро- та мікродобрив при вирощуванні кукурудзи / В.С. Циков, М.І. Дудка, О.М. Шевченко, С.С. Носов. Бюлетень Ун-ту зернового господарства. Дніпропетровськ: БУЗГ, 2017, Т. 1, № 1. С. 75–79.
7. Динамічні процеси розвитку органічного виробництва в Україні: монограф. / І.В. Гончарук, С.Я. Ковальчук, Я.Г. Цицюра, С.М. Лутковська. Вінниця: ВНАУ, 2020. 472 с.
8. Булигін С.Ю. Мікродобрива важливий резерв підвищення урожайності сільськогосподарських культур / С.Ю. Булигін, А.У. Фатєєв, Л.Ф. Демішев. Вісник аграрної науки, 2000, № 11. С. 13–15.
9. Труфанов О. Мікроелементи, хелати, мікродобрива / О. Труфанов. Пропозиція, 2013, № 5 (215). С. 63–65.
10. Петриченко В.П. Рідкі азотні добрива на кукурудзі – основа стабільних врожаїв / В.П. Петриченко. Агроном, № 7. С. 31–34.
11. Igamberdiev A.U., Bykova N.V. Role of organic acids in the integration of cellular redox metabolism of redox signaling in photosynthetic tissues of higher plants // Free Radical Biology and Medicine, 2018. Vol. 122. P. 74–85. Doi 10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.016.
12. López-Bucio J., Nieto Jacobo M.F., Ramirez-Rodriguez V.V. Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soil/ Plant Science. 2001. Vol. 60, № 1. P. 1–13. Doi 10.1016/S0168-9452(00)00347-2.
13. Чечуй О.Ф. Біохімія рослин: навч. посіб. Харків: ХНАУ ім. В.В. Докучаєва, 2021. 168 с.

14. Панфілова А.В. Наростання надземної маси та формування врожайності зерна пшениці озимої в умовах південного степу України / А. В.Панфілова. Аграрні інновації. 2023, №17. С. 107–112. Doi: /<https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17>.
15. Гангур В.В., Кочерга А.А., Пипко О., Лень О.І. Ефективність мікродобрив за умов обробки насіння та листового підживлення посівів пшениці. Вісник Полтавської державної аграрної академії, 2022, № 2. С. 46–51. Doi 10.31210/visnyk2021.02.05.
16. Шевчук М.Й., Веремєєнко С.І., Лопушняк В.І. Агрохімія: підруч. – Луцьк: Надстир'я, 2012. 468 с.
17. Лопатко К. Використання біологічних властивостей наночастинок металів, при вирощуванні зернових / К. Лопатко. Metrology, 2011, Vol. 138. Р. 98–106.
18. Каленська С.М. Науково-практичні рекомендації по застосуванню препаратів на основі водних розчинів наночастинок біогенних металів для вирощування озимої пшениці / С.М.Каленська, К.Г. Копитко, Є.Г. Афтандіянц. Науковий вісник нац.-го ун-ту біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. Київ, 2010. Вип. 144. Ч.1. С. 20–28.
19. Chen, H-Huang, L. Effect of Nitrogen fertilizer application rate on nitrate reductase activity in maize. Applied Ecology and Environmental Research. 2020. 18(1). Р. 2879–2894. Doi: https://dx.doi.org/10.15666/aeer/1802_28792894.
20. Gleason F. Plant Biochemistry / F. Gleason, R. Chollet. – Jones&Bartlet Publishers, 2012. 248 p.
21. Ринькис Г.Я. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами / Ноллендорф. – Рига: Зинатне, 1992. 304 с.
22. Nieder R., Benbi D.K., Reichl F.X. Microelementss and their role in human health. Components and human health. Dordrecht:Springer, 2018. 374 p.
23. Проваторов Г., Проваторова В. Годівля сільськогосподарських тварин. Суми: Університетська книга, 2019. 510 с.
24. Kendziorrek, M., Paszkowski, A., Zagdanska B. Differential regulation of alanine aminotransferase homologues by abiotic stress in wheat (Triticum aestivum L.) seedling/ Plant Cell Rep. 2012, Vol. 31. Р. 1105–1117. Doi 10.1007/s00299-012-1231-2.
25. Maciaga, M., Czok, M., Paszkowski, A. Biochemical characterization of aspartate aminotransferase allozymes from common wheat / Central Eur. Biol. 2013. Vol. 2 (12). Р. 1183–1193. Doi 10.2478/s11535-013-0240-7.
26. Сибірна Н.О. Механізми біохімічних реакцій: навч. посіб. Н.О.Сибірна, Я.П.Чайка, Н.І.Климишин. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2011. 319 с.
27. Звонар А.М. Вплив погодних умов року та сортових особливостей на споживання азоту та формування якості зерна. Вісник аграрної науки Примор'я, 2020. Вип. 3. С. 87–95. Doi: 10.3152/2313-092X/2020-3-5(107).
28. Ольховський Г. Ф. Детальний метод визначення структури врожаю пшениці озимої / Г. Ф. Ольховський, М. М. Бобро О. Ф. Чечуй. Вісник аграрної науки. – 2019. № 12. С. 92–99.
29. Reitman, S.,A., Frenkel, S. 1966. Colorimetric methods for the determination of serum glutamic oxalactic and glutamic pyruvic transaminas. Amer/ Journal Clin. Pathol, 28 (1). Р. 56–63.
30. Hognes D., M., Delong Y., M, Forney C., F. Prance R., K. 1977. Improving the thiobarbituric acid reactive substrates assay for estimating lipid peroxidation in plant tissue containinf anthocyanin and other interfering compound. Planta, Vol. 207. Р. 604–611.

31. Методы биохимического исследования растений. Под ред. А. И. Ермакова. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.

32. Макрушин М.М. Фізіологія рослин /М.М. Макрушин, Є.М. Макрушина, Н. В. Петерсон, М. М. Меньшиков / За ред.. проф. М.М.Макрушина: підруч. Вінниця: Новамкнига, 2006. 416 с.; Присядський Ю.Г. Фотосинтез: метод-посіб. Вінниця: ДоНУ, 2016. 68 с.

33. Антаментова Л.О, Утевська О. М. Статистика для біологів. Харків: Видавництво «НТМТ», 2014. 331 с. / Atramentova L. O., Utevska O. M. Statistika dlia biologiv. Kharkiv: Vydavnistvo «NTMT», 2014. 331 p.

34. Husic, D.H., Tolbert, N.E. Hydroxypyruvate reductase and NADP:glyoxylate reductase in Algae: partial purification and characterization from *Chlamydomonas reinhardtii* / Arch.Biochem. and Biophys. 1987. Vol. 252, № 2. P. 396–408.

35. Dao, O., Kuhnet, F., Weber A.P.M., Peltier G., Li-Beisson Y. Physiological functions of malate shuttles in plant and alae / Trend in Plant Science. 2022. Vol. 27, I. 5. P. 488–501. Doi 10.1016/j.tplants.2021.11.007.

36. Huang, A.H.C. Metabolism in plant leaves / Recent Adv. Phynochem. 1982. Vol. 16. P. 85–123.

37. Lancien, M., Gadal, P., Hodges, M. Enzyme redundancy and the importance 2-oxoglutarate in higher plants ammonium assimilation / Plant Physiol. 2000. Vol. 123. P. 817–824.

38. López-Bucio, J., Nieto-Jacobo, M.F., Ramirez-Rodrigues, V.V. Organic acids metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils / Plant Science/ 2001. Vol. 6 (1). P. 1–13. Doi 10.1016/S0168-9452/00/ 00347-2.

39. Jeng, F., An Y., Zhang, H., Zhang, M. The effects of La(III) on the peroxidation of membrane lipids in wheat seedling leaves under osmotic stress. Biol. Trace Elem. Rec.1999, Vol. 69, 2, P. 141–150 doi 10.0007/BF02783865.

40. Grzanka, M., Smoleń S., Kovačik P. Effect of vanadium on the uptake and distribution of organic and inorganic forms of iodine in sweetcorn plants during early-stage development/ Agronomy. 2020. 10 (11). P. 1666–1674. Doi 3390/agronomy/10111660.

41. Yan L., Longyu H., Gunliang Z., Qingmei L. Zeping J. Mechanism and application of germanium in plant growth. 2015. Vol. 23, 8/ P. 931–937. Doi 10.13390/j.cnki.cjea.150314.

42. Carbajal-Vázquez N.H., Gómez-merino F.C., Alcántar-González E. G/ Titanium increases the antioxidant activity and macronutrient concentration in tomato seedling exposed to salinity in hydroponics / Plants. 2022, Vol. 11, 8. P. 1036–1042. Doi 10.3390/plants11081036.

43. Бездудная Е.Ф. Влияние солей тяжелых металлов на активность аминотрансфераз в прорастающих семенах сои *Glycine max* L. / Е. Ф. Бездудная. Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Серія:Біологія. 2007, № 768. С. 10–14.

44. Del Rio L.A., Sandalino L.M., Corpas F.J. Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in leaves. Production, scavenging, and role in cell signaling / Plant Physiol. 2001. Vol. 241. P. 330–335.

45. Чумикина Л.В. Активность ферментов обмена глутамина в прорастающем зерне тритикале / Л.В. Чумикина, Л.И. Арапова, В.В. Колпакова, А.Ф. Топунов. Физиология растений и генетика. 2013. Т. 45, № 5. С. 390–398.

46. Shapiro B.S., Stadtman E.R. The regulation of glutamine synthesis in microorganism / B.S. Shapiro, E.R. Stadtman. *Ann.Rev.Microbiol.* 1970.Vol. 24. P. 504–522.
47. Кірізий Д.А., Шегеда І.М. Розподіл азоту в донорно-акцепторній системі рослин та його роль у продукційному процесі. *Физиология и генетика растений*, 2019. Т.51, № 2. С. 114–132. Doi:10/15047/frg 2019.02.114.
48. Evans J.R. The nitrogen cost of photosynthesis / J.R. Evans / *Journal Exper/ Botany*. 2019. Vol.10. P. 7–15. Doi 10.1093/jeb/ery366.
49. Chen H.-Huang L. Effect of nitrogen fertiliver application rate on nitrate reductase activity in maize / L. Chen H.-Huang / *Applied ecology and Environmental Research*. 2020. Vol. 18, 2. P. 2879–2894/ doi 10.15666/aeer/1802_28792894.
50. Колісник А.В., Мусієнко М.М. Особливості нітратредуктазної активності у вищих рослинах. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2009, Т.41, № 1. С. 16–27.
51. Львов Н. П. Молибден в ассимиляции азота у растений и микроорганизмов. К.: Вища школа, 1989. 86 с.
52. Излаймов С. Ф. Азотный обмен растений. К.: Вища школа, 1986. 320 с.
53. Таланкова-Середа Т.Є. Вплив наночастинок металів на ефективність морфогенетичних процесів м'яти перцевої (*Mentha Piperita* L.) у культурі in vitro / Т.Є. Таланкова-Середа. *Агроекологічний журнал*, 2016, № 2. С. 149–155.
54. Стефанюк В.Й. Продуктивність стевії залежно від застосування мікродобрива «аватар» / В.Й. Стефанюк, В.М. Балан, А.В. Фурса. *Біоенергетика*, 2020, 2 (16). С. 26–29.
55. Znao L., Lu L., Wang A., Zhang H., Huang M., Wu H., Xing B., Wang Z., Li R. Nanotechnology in agriculture: use of nanomaterials to poromote plant growth and stress tolerance/ *J. Agric. Food. Chem.* 2020. Vol. 68, 7. P. 1935–1947.Doi 10.1021/acs.jafc.9b06615.

Bibliography (transliterated)

1. Kaminskyi V.F., Saiko V.F., Sushko M. V. 2017. *Naukovi efekty vykorys-tannia vyrobnychkh resursiv u riznykh modeliakh tekhnolohii vykorystannia zernovykh kul-tur: monohraf.* Kyiv: Vinichenko, 2017. 580 p.
2. Vplyv zbroinoi ahresii ta voiennykh dii na suchasnyi stan gruntovoho pokryvu, otsinka shkody ta zbytkiv, zakhody z vidnovlennia / S.A.Baliuk, A.V.Kucher, M.O. Solokha, V.B.Solov Kharkiv: NNTs IHA, 2022. 148 p.
3. Tsarenko O.M. *Upravlinnia yakistiu ahropromyslovoi produktsii: navch.posib.* Sumy: VTD Universytetska knyha, 2016. 431 p.
4. Tkachuk K.S. *Azotnyi obmin ta adaptatsiia roslyn do umov zhyvlennia* / K.S. Tkachuk, T.Z. Bohdan. Kyiv: Avers, 2000. 201 p.
5. Martsynyshyn Yu.D. Pyda S.V. *Biokhimichni sklad zerna pshenytsi miakoi (Triticum aestuvum L.) za dii dobryv.* *Nauk.zap.Ternop.nats.ped.un-tu. Serii: Biolohiia*, 2021. Т.81, №1-2. S. 90–98. Doi: 10.25128/2078-2357.21.1-2.12.
6. Tsykov V.S. *Efetyvnist zastosuvannia makro- ta mikrodobryv pry vyroshchuvanni kukurudzy* /V.S. Tsykov, M.I. Dudka, O.M. Shevchenkro, S.S. Nosov. *Biuletен Un-tu zernovoho hospodarstva.* Dnipropetrovsk: BUZH, 2017, Т. 1, № 1. P. 75–79.

7. Dynamichni protsesy rozvytku orhanichnogo vyrobnytstva v Ukraini: monohraf. / I.V. Honcharuk, S.Ia. Kovalchuk, Ya.H. Tsytsiura, S.M. Lutkovska. Vinnytsia: VNAU, 2020. 472 p.
8. Bulyhin S.Iu. Mikrodobryva vazhlyvyi rezerv pidvyshchennia urozhainosti silskohospodarskykh kultur / S.Iu. Bulyhin, A.U. Fatieiev, L.F.Demishev. Visnyk ahrarnoi nauky, 2000, №11. P. 13–15.
9. Trufanov O. Mikroelementy, khelaty, mikrodobryva /O. Trufanov. Propozytsiia, 2013, № 5 (215). P. 63–65.
10. Petrychenko V.P. Ridki azotni dobryva na kukurudzi – osnova stabilnykh vrozhaiv / V. P. Petrychenko. Ahronom, № 7. P. 31–34.
11. Igamberdiev A.U., Bykova N.V. Role of organic acids in the integration of cellular redox metabolism of redox signaling in photosynthetic tissues of higher plants // Free Radical Biology and Medicine, 2018. Vol.122. P. 74–85. Doi 10.1016/j.freeradbiomed.2018.01.016.
12. López-Bucio J., Nieto Jacobo M.F., Ramirez-Rodriguez V.V. Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soil/ Plant Science. 2001. Vol. 60, № 1. P. 1–13. Doi 10/1016/S0168-9452(00)00347-2.
13. Chechui O.F. Biokhimiia roslyn: navch.posib. Kharkiv: KhNAU im. V.V. Dokuchaieva, 2021. 168 p.
14. Panfilova A.V. Narostannia nadzemnoi masy ta formuvannia vrozhaivosti ze-rna pshenytsi ozymoi v umovakh pivdennoho stepu Ukrainy / A.V.Panfilova. Ahrarni innovatsii. 2023, №17. P. 107–112. Doi: /https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.17.
15. Hanhur V.V., Kocherha A.A., Pypko O., Len O.I. Efektyvnist mikrodobryv za umov obrobky nasinnia ta lystkoho pidzhyvlennia posviv pshenytsi. Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii, 2022, № 2. S. 46–51. Doi 10.31210/visnyk2021.02.05.
16. Shevchuk M.I., Veremeienko S.I, Lopushniak V.I. Ahrokhimiia: pidruch. – Lutsk: Nadstyria, 2012. 468 p.
17. Lopatko K. Vykorystannia biolohichnykh vlastyvostei nanochastynok metaliv, pry vyroshchuvanni zernovykh / K. Lopatko. Metrology, 2011, Vol. 138. P. 98–106.
18. Kalenska S.M. Naukovo-praktychni rekomendatsii po zastosuvanni preparativ na osnovi vodnykh rozchyniv nanochastynok biohennykh metaliv dlia vyroshchuvannia ozymoi pshenytsi / S.M.Kalenska, K.H. Kopytko, Ye.H. Aftandiliants. Naukovyi visnyk nats.-ho un-tu bioresursiv i pryrokorystuvannia Ukrainy. Seriia: Tekhnika ta enerhetyka APK. Kyiv, 2010. Vyp. 144. Ch.1. P. 20–28.
19. Chen, H-Huang, L. Effect of Nitrogen fertiliver application rate on nitrate reductase activity in maize. Applied Ecology and Environmental Research. 2020. 18(1). P. 2879–2894. Doi: https://dx.doi.org/10.15666/aeer/1802_28792894.
20. Gleason F. Plant Biochemistry / F. Gleason, R. Chollet. – Jones&Bartlet Publishers, 2012. 248 p.
21. Rynkys H.Ia. Sbalansyrovannoe pytanye rastenyi makro- y mikroelementamy / Nollendorf. – Ryha: Zynatne, 1992. 304 p.
22. Nieder R., Benbi D.K., Reichl F.X. Mikroelementss and their role in human health. Components and human health. Dordrecht:Springer, 2018. 374 p.
23. Provatorov H., Provatorova V. Hodivlia silskohospodarskykh tvaryn. Sumy: Universytetska knyha, 2019. 510 p.

24. Kendziorek, M., Paszkowski, A., Zagdanska B. Differential regulation of alanine aminotransferase homologues by abiotic stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedling/ *Plant Cell Rep.* 2012, Vol. 31. P. 1105–117. Doi 10.1007/s00299-012-1231-2.
25. Maciaga, M., Czekop, M., Paszkowski, A. Biochemical characterization of aspartate aminotransferase allozymes from common wheat / *Central Eur. Biol.* 2013. Vol. 2 (12). P. 1183–1193. Doi 10.2478/s11535-013-0240-7.
26. Sybirna N.O. *Mekhanizmy biokhimichnykh reaktsii: navch. posib.* N.O.Sybirna, Ya.P.Chaika, N.I.Klymyshyn. – Lviv: LNU im. I. Franka, 2011. 319 p.
27. Zvonar A.M. Vplyv pohodnykh umov roku ta sortovykh osoblyvosti na spozhyvannia azotu ta formuvannia yakosti zerna. *Visnyk ahraryoi nauky Prymoria*, 2020. Vyp. 3. P. 87–95. Doi: 10.3152/2313-092X/2020-3-5(107).
28. Olkhovskiy H.F. Detalnyi metod vyznachennia struktury vrozhaiu pshenytsi ozymoi / H.F. Olkhovskiy, M.M. Bobro O.F. Chechui. *Visnyk ahraryoi nauky.* – 2019. № 12. P. 92–99.
29. Reitman, S.A., Frenkel, S. 1966. Colorimetric methods for the determination of serum glutamic oxalactic and glutamic pyruvic transaminas. *Amer/ Journal Clin. Pathol*, 28 (1). P. 56–63.
30. Hognes D.M., Delong Y.M, Forney C.F. Prance R.K. 1977. Improving the thio-barbituric acid reactive substrates assay for estimating lipid peroxidation in plant tissue containing anthocyanin and other interfering compound. *Planta*, Vol. 207. P. 604–611.
31. *Metody biokhimichnoho doslidzhennia roslyn.* Pid red. A. Y. Yermakova. L.: Ahro-promyzdat, 1987. 430 p.
32. Makrushyn M. M. *Fiziologiya roslyn* /M.M. Makrushyn, Ye.M. Makrushyna, N. V. Peterson, M. M. Menshykov / Za red.. prof. M.M.Makrushyna: pidruch. Vinnytsia: Novamknyha, 2006. 416 p.; Prysidskiy Yu.H. *Fotosintez: metod-posib.* Vinnytsia: DoNU, 2016. 68 p.
33. Antamentova L.O, Utevska O.M. *Statytyka dlia biologiv.* Kharkiv: Vydavnytstvo «NTMT», 2014. 331 p. / Atramentova L. O., Utevska O. M. *Statistika dlia biologiv.* Kharkiv: Vydavnytstvo «NTMT», 2014. 331 r.
34. Husic, D.H., Tolbert, N.E. Hydroxypyruvate reductase and NADP:glyoxylate reductase in *Algae*: partial purification and characterization from *Chlamydomonas reinhardtii* / *Arch.Biochem. and Biophys.* 1987. Vol. 252, № 2. P. 396–408.
35. Dao, O., Kuhnet, F., Weber A.P.M., Peltier G., Li-Beisson Y. Physiological functions of malate shuttles in plant and algae / *Trend in Plant Science.* 2022. Vol. 27, I. 5. P. 488–501. Doi 10.1016/j.tplants.2021.11.007.
36. Huang, A.H.C. Metabolism in plant leaves / *Recent Adv. Phynchem.* 1982. Vol. 16. P. 85–123.
37. Lancien, M., Gadal, P., Hodges, M. Enzyme redundancy and the importance 2-oxoglutarate in higher plants ammonium assimilation / *Plant Physiol.* 2000. Vol. 123. P. 817–824.
38. López-Bucio, J., Nieto-Jacobo, M.F., Ramirez-Rodrigues, V.V. Organic acids metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils / *Plant Science/* 2001. Vol. 6 (1). P. 1–13. Doi 10.1016/S0168-9452/00/ 00347-2.
39. Jeng, F., An Y., Zhang, H., Zhang, M. The effects of La(III) on the peroxidation of membrane lipids in wheat seedling leaves under osmotic stress. *Biol. Trace Elem. Rec.*1999, Vol. 69, 2, P. 141–150 doi 10.0007/BF02783865.

40. Grzanka, M., Smoleń S., Kovačik P. Effect of vanadium on the uptake and distribution of organic and inorganic forms of iodine in sweetcorn plants during early-stage development/ *Agronomy*. 2020. 10 (11). P. 1666–1674. Doi 3390/agronomy/10111660.
41. Yan L., Longyu H., Gungliang Z., Qingmei L. Zeping J. Mechanism and application of germanium in plant growth. 2015. Vol. 23, 8/ P. 931–937. Doi 10.13390/j.cnki.cjea.150314.
42. Carbajal-Vázquez N.H., Gómez-merino F.C., Alcántar-González E. G/ Titanium increases the antioxidant activity and macronutrient concentration in tomato seedling exposed to salinity in hydroponics / *Plants*. 2022, Vol. 11, 8. P. 1036–1042. Doi 10.3390/plants11081036.
43. Bezdudnaia E.F. Vliyanye solei tiazhelykh metallov na aktivnost aminotransferaz v prorstaiushchikh semenakh soy Glycine max L. / E. F. Bezdudnaia. *Visnyk Kharkivs-koho natsionalnoho universytetu imeni V.N.Karazina. Seriya:Biologiya*. 2007, № 768. P. 10–14.
44. Del Rio L.A., Sandalino L.M., Corpas F.J. Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in leaves. Production, scavenging, and role in cell signaling / *Plant Physiol*. 2001. Vol. 241. P. 330–335.
45. Chumykyna L.V. Aktivnost fermentov obmela hlutamynav prorstaiushchem zerny trytkale / L.V. Chumykyna, L.Y. Arabova, V.V. Kolpakova, A.F. Topunov. *Fyziologiya rastenyi y hnenetyka*. 2013. T. 45, № 5. P. 390–398.
46. Shapiro B.S., Stadtman E.R. The regulation of glutamine synthesis in microorganism / B.S. Shapiro, E.R. Stadtman. *Ann.Rev.Microbiol*. 1970.Vol. 24. P. 504–522.
47. Kirizyi D. A., Sheheda I.M. Rozpodil azotu v donorno-aktseptornii systemi roslin ta yoho rol u produktsiinomu protsesi. *Fyziologiya y hnenetyka rastenyi*, 2019. T.51, № 2. P. 114–132. Doi:10/15047/frg 2019.02.114.
48. Evans J.R. The nitrogen cost of photosynthesis / J.R. Evans / *Journal Exper/ Botany*. 2019. Vol.10. P. 7–15. Doi 10.1093/jeb/ery366.
49. Chen H.-Huang L. Effect of nitrogen fertilizer application rate on nitrate reductase activity in maize / L. Chen H.-Huang / *Applied ecology and Environmental Research*. 2020. Vol. 18, 2. P. 2879–2894/ doi 10.15666/aeer/1802_28792894.
50. Kolisnyk A.V., Musiienko M.M. Osoblyvosti nitratreduktaznoi aktivnosti u vyshchikh roslinakh. *Fyziologiya y byokhymiya kulturnykh rastenyi*. 2009, T.41, № 1. P. 16–27.
51. Lvov N.P. Molybden v assymyliatsiy azota u rastenyi y mykroorhanyzmov. K.: Vyshcha shkola, 1989. 86 p.
52. Yzlaimov S.F. Azotnyi obmin roslyn. K.: Vyshcha shkola, 1986. 320 p.
53. Talankova-Sereda T.Ie. Vplyv nanochastynok metaliv na efektyvnist morfohetychnykh protsesiv miaty pertsevoi (*Mentha Piperita* L.) u kulturi in vitro / T.Ie. Talankova-Sereda. *Ahroekologichnyi zhurnal*, 2016, № 2. P. 149–155.
54. Stefaniuk V.Y. Produktivnist stevii zalezho vid zastosuvannia mikrodobryva «avatar» / V.Y. Stefaniuk, V.M. Balan, A.V. Fursa. *Bioenerhetyka*, 2020, 2 (16). P. 26–29.
55. Zhao L., Lu L., Wang A., Zhang H., Huang M., Wu H., Xing B., Wang Z., Li R. Nanotechnology in agriculture: use of nanomaterials to promote plant growth and stress tolerance/ *J. Agric. Food. Chem*. 2020. Vol. 68, 7. P. 1935–1947. Doi 10.1021/acs.jafc.9b06615.

УДК 631.811.98: 632.15.068:631.811.98

Чечуй О.Ф.¹, к. біол.н., доцент; Близнюк О.М.², д.техн.н., професор,
Масалітіна Н.Ю.², к.техн.н., доцент, Белінська А.П.², к.техн.н., доцент,
Варанкіна О.О.², к.техн.н., доцент; Бєлих І.А.², к.біол.н., доцент, Дьякова Н.М., ст. викл.

ВПЛИВ РІДКИХ КОМПЛЕКСНИХ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРЕПАРАТІВ НА МЕТАБОЛІЗМ НІТРОГЕНУ ПРИ ФОРМУВАННІ ПРОДУКТИВНИХ ОРГАНІВ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Досліджено вплив комплексних препаратів на метаболізм Нітрогену на ранніх стадіях органогенезу пшениці озимої. Визначено активність ключових ензимів азотного обміну, ТБК-активних продуктів, концентрацію NH_3 , вміст хлорофілу за умов експерименту. Виявлено тенденцію до підвищення активності АсАТ, в той час суміші макроелементів на ензиматичну активність іншого ензиму, навпаки, в середньому, на 23 % за впливу макроелементного комплексу на посіви пшениці озимої. Відбувається підвищення активності АсАТ, в середньому, на 41 %, а АлАСТ – на 36,3 % за препарату Аватар_м-2 у листі пшениці озимої. Виявлено зниження активності обох ключових ензимів метаболізму Нітрогену за впливу комплексу препарату Аватар_м-2-м, в середньому, на 27,2 % та 32,5 %, відповідно, що свідчить про сталізацію мікроелементами метаболічного спрямування продуктів та субстратів за метадобічного стану клітин листя пшениці озимої. За впливу Аватар_м-2-ст відбувається зниження активності АлАТ, в середньому 26,6%, в той час прояв сукцитату на активність АсАТ виявився більш істотним – в середньому на 48,3 %, адже біотехнологічний препараті Аватар_м-2-ст містить сукцинат, в той час як Аватар_м-2-м – яблучну кислоту. В реакціях АлАТ утворюється піруват – ключовий субстрат глікогеногенезу, підвищення якого може сприяти активації синтезу вуглеводів, необхідних для ростових процесів рослини. Ензими АсАТ та АлАТ відіграють ключову роль у метаболізмі аспартату, аланіну та глутамату, крім того, ці два ензими використовуються для утворення амідів – аспарагіну і глутаміну, тому підвищення їх активності є умовою накопичення цих амідів в якості резерву NH_4^+ . Концентрація NH_3 за впливу Аватар_м-2 підвищується на 42 %, а за Аватар_м-2-м та Аватар_м-2-ст концентрація не змінюється, що свідчить про регуляторний ефект малату та сукцинату на активацію та ступінь використання цієї форми Нітрогену в альтернативних процесах перетворення амінокислот. Вміст хлорофілу за впливу препарату РКД-макро підвищується, в середньому, у, за впливу Аватар_м-2– у 2,8 разів, в той час, вплив кислот у складі препаратів Аватар_м-2-м та Аватар_м-2-ст – по-різному виявляється, але напрямок зниження вмісту цього показника відносно препарату Аватар_м-2 знижується, проте, у порівнянні із контролем підвищує цей критерій, в середньому, у 1,9 та 1,7 разів, відповідно. Зроблено висновок щодо оптимізації метаболізму Нітрогену в листі пшениці озимої за дії наночастинок хелатованих металів із органічними кислотами малатом та сукцинатом на критичній стадії її органогенезу – трубкування в процесі формування продуктивних пшениці озимої.

Ключові слова: біотехнологія, рідкі комплексні препарати, мінеральні елементи, метаболізм Нітрогену, малат, сукцинат, аспаратамінотрансфераза, аланінаминотрансфераза, *Triticum aestivum* L.

Чечуй О.Ф.¹, к. биол.н., доцент; Близнюк О.Н.², д.техн.н., профессор,
Масалитина Н.Ю.², к.техн.н., доцент, Белинская А.П.², к.техн.н., доцент,
Варанкина О.А.², к.техн.н., доцент; Белых И.А.², к.биол.н., доцент,
Дьякова Н.М.², ст. преп.

ВЛИЯНИЕ ЖИДКИХ КОМПЛЕКСНЫХ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА МЕТАБОЛИЗМ НИТРОГЕНА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ ПШЕНИЦЫ ОЗИМОЙ

Исследовано влияние комплексных препаратов на метаболизм Нитрогена на ранних стадиях органогенеза озимой пшеницы. Определены активность ключевых энзимов азотного обмена, ТБК-активных продуктов, концентрация NH_3 , содержание хлорофилла в условиях эксперимента. Выявлена тенденция к повышению активности АсАТ, в то же время смеси макроэлементов на энзиматическую активность другого энзима, наоборот, в среднем, на 23 % при влиянии макроэлементного комплекса на посевы озимой пшеницы. Происходит повышение активности АсАТ, в среднем, на 41 %, а АлАСТ – на 36,3 % препарата Аватар_м-2 в листьях озимой пшеницы. Выявлено снижение активности обоих ключевых энзимов метаболизма Нитрогена при влиянии комплекса препарата Аватар_м-2-м, в среднем, на 27,2 % и 32,5 %, соответственно, что свидетельствует о стабилизации микроэлементами метаболического направления продуктов и субстратов при методическом состоянии клеток листа пшеницы озимой. При влиянии Аватар_м-2-ст происходит снижение активности АлАТ, в среднем 26,6 %, в то время проявление сукцитата на активность АсАТ оказалось более существенным – в среднем на 48,3 %, ведь биотехнологический препарат Аватар_м-2-ст содержит сукцинат, в то время как Аватар_м-2-м – яблочную кислоту. В реакциях АлАТ образуется пируват – ключевой субстрат глюкогеногенеза, повышение которого может способствовать активации синтеза углеводов, необходимых для ростовых процессов растения. Энзимы АсАТ и АлАТ играют ключевую роль в метаболизме аспартата, аланина и глутамата, кроме того, эти два энзима используются для образования амидов – аспарагина и глутамина, поэтому повышение их активности является условием накопления этих амидов в качестве резерва NH_4^{4+} . Концентрация NH_3 при влиянии Аватар_м-2 повышается на 42 %, а при Аватар_м-2-м и Аватар_м-2-ст концентрация не изменяется, что свидетельствует о регуляторном эффекте малата и сукцината на активацию и степень использования этой формы Нитрогена в альтернативных процессах превращения аминокислот. Содержание хлорофилла при влиянии препарата РКД-макро повышается, в среднем, в, при влиянии Аватар_м-2- в 2,8 раз, в то время, влияние кислот в составе препаратов Аватар_м-2-м и Аватар_м-2-ст – по-разному оказывается, но направление снижения этого показателя относительно препарата Аватар_м-2 снижается, однако, по сравнению с контролем повышает этот критерий, в среднем, в 1,9 и 1,7 раз, соответственно. Сделан вывод об оптимизации метаболизма Нитрогена в листьях озимой пшеницы при действии наночастиц хелатированных металлов с органическими кислотами малатом и сукцинатом на критической стадии ее органогенеза – трубки в процессе формирования продуктивных пшеницы озимой.

Ключевые слова: биотехнология, жидкие комплексные препараты, минеральные элементы, метаболизм Нитрогена, малат, сукцинат, аспаратаминотрансфераза, аланинаминотрансфераза, *Triticum aestivum* L.

Chechui H.F., Bliznjuk O.M., Masalitina N.Yu., Belinska A.P., Varankina O.O., Belykh I.A., Dyakova N.M.

INFLUENCE OF BIOTECHNOLOGICAL COMPLEX PREPARATIONS OF LIQUID ON NITROGEN METABOLISM IN PRODUCTIVE ORGANS OF THE WHEAT WINTER FORMATION

The influence of complex preparations on nitrogen metabolism in the early stages of winter wheat organogenesis was studied. The activity of key enzymes of nitrogen metabolism, TBA-active products, NH_3 concentration, and chlorophyll content under the experimental condition were determined. There is a tendency to increase the activity of AsAT, while the mixture of macronutrients on the enzymatic activity of another enzyme, on the contrary, on average, by 23 % under the influence of the macroelements complex on winter wheat crops. There was an increase in the activity of AsAT by 41 % on average, and AlAT by 36.3 % with Avatar_m-2 in winter wheat leaves. A decrease in the activity of both key enzymes of nitrogen metabolism under the influence of Avatar_m-2-m complex was found, on average, by 27.2 % and 32.5 %, respectively, which indicates the stabilization of the metabolic direction of products and substrates by trace elements in the metabolic state of winter wheat leaf cells. Under the influence of Avatar_m-2-st, there is a decrease in AlAT activity, on average 26.6 %, while the effect of succinate on the activity of AlAT was more significant – on average 48.3 %, because the biotechnological preparation Avatar_m-2-st contains succinate, while Avatar_m-2-m contains malic acid. AlAT reactions produce pyruvate, a key substrate of glucogenesis, whose increase can help activate the synthesis of carbohydrates necessary for plant growth. The enzymes AsAT and AlAT play a key role in the metabolism of aspartate, alanine, and glutamate, and the first two enzymes are used to form amides such as asparagine and glutamine, so increasing their activity is a condition for the accumulation of these amides as a reserve of NH_4^+ . The concentration of NH_3 under the influence of Avatar_m-2 increased by 42 %, while under Avatar_m-2-m and Avatar_m-2-st the concentration did not change, indicating the regulatory effect of malate and succinate on the activation and degree of use of this form of Nitrogen in alternative processes of amino acid conversion. The chlorophyll content under the influence of LCP-macro increases, on average, by 2.8 times, under the influence of Avatar_m-2- by 2.8 times, while the effect of acids in the composition of Avatar_m-2-m and Avatar_m-2-st is manifested differently, but the direction of decrease in this indicator relative to Avatar_m-2 decreases, however, compared to the control, it increases this criterion, on average, by 1.9 and 1.7 times, respectively. It has been concluded that the optimization of nitrogen metabolism in winter wheat leaves under the action of chelated metal nanoparticles with organic acids malate and succinate at the critical stage of its organogenesis – tubing in the process of formation of productive winter wheat.

Keywords: biotechnology, liquid complex preparations, mineral elements, Nitrogen metabolism, malate, succinate, aspartate aminotransferase, alanine aminotransferase, chlorophyll, *Triticum aestivum* L.

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

ЗАСТОСУВАННЯ ВВКМ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ НАГРІВАЧІВ ТЕПЛОВИХ ВУЗЛІВ З АВТОМАТИЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ТЕМПЕРАТУРИ

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

² Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

Ключові слова: тепловий вузол, нагрівач, вуглець-вуглецевий композиційний матеріал, система автоматичного регулювання, температура.

На сьогоднішній день вуглець-вуглецевий композиційний матеріал (ВВКМ) знаходить широке застосування завдяки високій температурі сублімації, стійкості до термічних і механічних навантажень, хімічній і радіаційній стійкості, низькій щільності, достатньому електричному опору для виготовлення резистивних нагрівачів. До переваг виробів з ВВКМ слід віднести їх низьку питому вагу ($1,35\text{--}1,85\text{ г/см}^3$), високі механічні властивості в широкому діапазоні температур ($-100^\circ\text{C} \text{--} +2200^\circ\text{C}$), високу стійкість до термічних ударів, здатність зберігати свою форму та геометричні розміри під час термоцикування [1, 2].

В ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» розроблено технологію та спеціальне технологічне обладнання для промислового виробництва виробів з композиційних матеріалів на основі вуглецю. Електричні властивості цих композиційних матеріалів, а саме їх питомий опір, дозволяють створювати нагрівальні елементи для високотемпературних вакуумних печей або печей з інертною атмосферою, які працюють при температурах до 2200°C [3–7].

Метою представленої роботи є обґрунтування доцільності використання високотемпературних нагрівачів з ВВКМ для теплових вузлів камер ростової установки вирощування великогабаритних монокристалів кремнію та вдосконалення системи автоматичного регулювання температури нагрівача.

В даний час одержання особливо чистих напівпровідникових монокристалів кремнію проводиться у високотемпературних електровакуумних печах опору модифікованим методом із застосуванням погрузного обертаючого формоутворювача із розплаву. В якості нагрівача використовують вуглеграфітові матеріали з робочою температурою до $2000\text{--}2500^\circ\text{C}$. Геометричні розміри вирощених монокристалів визначаються геометричними розмірами формоутворюючого пристрою та теплового вузла. Залежно від області використання застосовуються кристали з діаметром до 300 мм і більше. Режими теплових процесів, що протікають при вирощуванні кристалів, визначаються технологічним процесом залежно від складу вихідної сировини та вимагають високої рівномірності нагріву робочої зони, високої точності та стабільності підтримки температурного режиму нагрівача [8].

Аналіз конструкції установки «Редмет-30», обраної як базова, показав, що в ній використовується нагрівач збірного типу. Нагрівач складається з графітових пластин, які за допомогою спеціальних графітових перемичок з різьбовими отворами та графіто-

вих болтів збираються в циліндричну, точніше – багатогранну, конструкцію необхідних розмірів по діаметру та висоті. Пластини, перемички та болти виготовляються з особливо чистих графітів. Основним недоліком нагрівачів такого типу є наявність перехідних електричних контактів у місцях з'єднань пластин. Зазначені сполуки практично немінуче мають різні контактні опори та неконтрольовані енерговиділення, і температуру у процесі резистивного нагрівання. До того ж, у процесі роботи, навіть ідеально підібрані у вихідному стані контактні з'єднання послаблюються внаслідок різниці коефіцієнтів термічного розширення болтів, їх корозії, корозії пластин і перехідників тощо, що спричиняє нестабільність загального електричного опору нагрівача та температурних полів у робочому просторі печей у процесі вирощування монокристалів. При значному розбалансуванні контактних опорів у місцях ослаблення контактів виникають електричні дуги, що супроводжується виходом з експлуатації нагрівачів. Зрештою, все це відбивається на якості кристалів. Для усунення цих недоліків потрібно підвищити рівномірність нагріву в зоні вирощування циліндричного зливка кристала, що можна вирішити за рахунок застосування циліндричного суцільного нагрівача. Така форма раціонально використовує робочий простір та забезпечує рівномірний розподіл температури та стійкість до деформації при термоциклюванні [9].

Одним із основних контрольованих параметрів є значення температури. Теплові вузли, що розробляються в даний час, оснащуються системами автоматичного регулювання температури. Підтримка температури на заданому рівні виконується за допомогою регулятора потужності. Залежно від вимог технологічного процесу обробки матеріалу завантаження, застосовуються різні регулятори температури, у тому числі регулятор температури з обмеженням струму нагрівача (струмова відсічка); регулятор температури з перемиканням ступенів напруги трансформатора; регулятор температури з адаптивним струмовим відсіканням, та інші методи. Застосування сучасної силової електроніки, датчиків, мікропроцесорів, удосконалення системи автоматичного керування ростової установки та розробка нових алгоритмів керування дозволять покращити енергетичну ефективність ростової установки та підвищити її термін служби.

В представленій роботі об'єктом дослідження є високотемпературний нагрівач з ВВКМ для теплового вузла камери ростової установки вирощування великогабаритних монокристалів кремнію, який може забезпечувати потужності для нагрівання від сотень кіловат до двох-трьох тисяч кіловат. Такі значення потужності зумовлюють додаткові вимоги щодо елементної бази системи управління та регулювання температури нагрівача.

У ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» була виготовлена нова конструкція теплового вузла камери ростової установки вирощування великогабаритних монокристалів кремнію (рис. 1), із застосуванням ВВКМ для виготовлення теплонавантажених елементів.

Елементи 1, 2, 4, 6, 7, 9 виготовлені з ВВКМ. Одним з найбільш важливих елементів теплового вузла є резистивний нагрівач 1, виконаний у вигляді циліндричної конструкції, виготовленої з вуглець-вуглець конструкційного матеріалу. Нагрівач має внутрішній діаметр 310 мм, висоту робочої зони 250 мм. З урахуванням характеристик трансформатора, що використовується в установках «Редмет-30», електричний опір нагрівача при кімнатній температурі має бути в межах $0,03 \pm 0,005$ Ом. Така конструкція виключає головний недолік графітових нагрівачів - неконтрольоване енерговиділення в процесі резистивного нагрівання за рахунок наявності перехідного електричного опору в місцях з'єднань пластин, і забезпечується більш рівномірне температурне поле за об'

ємом камери. Можливості за максимально допустимою температурою такого нагрівача з ВВКМ більш ніж удвічі перевищують робочу, що також позитивно впливає на термін експлуатації. Зовнішній вигляд нагрівача з ВВКМ представлений на рис. 2.

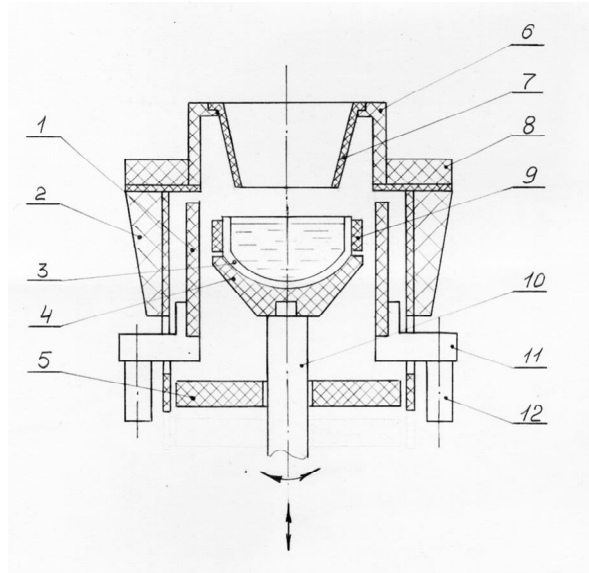


Рисунок 1 – Схема теплового вузла:

1 – нагрівач; 2 – бічний теплоізоляційний екран; 3 – кварцовий тигель з кремнієм; 4 – підставка тигля; 5 – нижній теплоізолюючий екран; 6 – перехідник; 7 – криниця; 8 – верхній теплоізолюючий екран; 9 – обідчайка; 10 – графітовий токопідвод



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд нагрівача з ВВКМ

Технологічний процес вирощування монокристалів кремнію вимагає швидкодії та точного регулювання зміни електричного струму при зміні температури нагрівача. Для вимірювання температури всередині теплової камери зазвичай застосовують резистивні або термоелектричні датчики, встановлені в об'єкті в певному місці. Недоліком такого методу є наявність у зоні вимірювання датчика, у якого робочий діапазон має бути гарантовано вище вимірюваної температури об'єкта. Крім того, датчик неминуче має певну теплову інерційність, а розміщення такого датчика створює певні технологічні труднощі, ускладнює конструкцію та знижує надійність усієї системи [10]. При проведенні випробувань протягом 50 годин високотемпературних вольфрамрениєвих термопар, спостерігалася їх нестабільність при температурах 2000 °C та 2200 °C. В ос-

новному спостерігається негативний дрейф струму термоЕРС внаслідок шунтування сигналу по керамічним ізоляторам термопар, опір ізоляції яких і визначає верхню межу робочих температур самого датчика. Проведені випробування датчиків на граничних температурах до 2500 °С показали, що короткочасне використання вольфрамрениєвої термопари при температурі вище 2200 °С можливе лише без ізоляторів, якщо це дозволяють умови монтажу датчика. Доступні в даний час керамічні ізолятори значно шунтують сигнал термопари і занижують її показання від 50 °С до 150 °С в діапазоні 1300–2500 °С.

Для точного регулювання теплового режиму, запропоновано додатково вимірювати інтегральну температуру в камері непрямим методом, який заснований на вимірюванні сили електричного струму, що протікає через нагрівач, який знаходиться в умовах термодинамічної рівноваги з об'єктом. Таким чином, нагрівач розглядається як деяка система, схильна до різних теплових впливів, які визначають процес теплоперенесення і характер зміни температури всередині камери та в зоні розташування тігля теплового вузла.

Для забезпечення швидкодії та точності регулювання температури була запропонована автоматична система регулювання температури з датчиком зворотного зв'язку по струму, що протікає при нагріванні в цьому ж нагрівачі, для якого відома залежність електричного опору від температури. Аналогічна система регулювання температури була застосована для теплової камери в електротермічному двигуні з нагрівальним елементом ВВКМ для космічної техніки [11]. На рис.3 наведені зразки нагрівачів потужністю до 240 Вт з робочою напругою постійного струму 24В та температурою експлуатації до 1200 °С.



Рисунок 3 – Зразки нагрівачів з ВВКМ

У роботі [11] наведено методику розрахунку таких нагрівачів та розроблено імітаційну модель системи автоматичного регулювання температури, що дозволяє обґрунтовано вибирати параметри елементів системи управління. Враховуючи порівняно невеликі потужності та наявність джерела постійного струму, плавне регулювання під навантаженням забезпечувалося за допомогою мікропроцесорів та сучасної інтегрованої електроніки для нормування та перетворення сигналів.

Одним із різновидів адаптивних систем автоматичного регулювання є екстремальна система крокового типу [12, 13], структурна схема якої представлена на рис. 4.

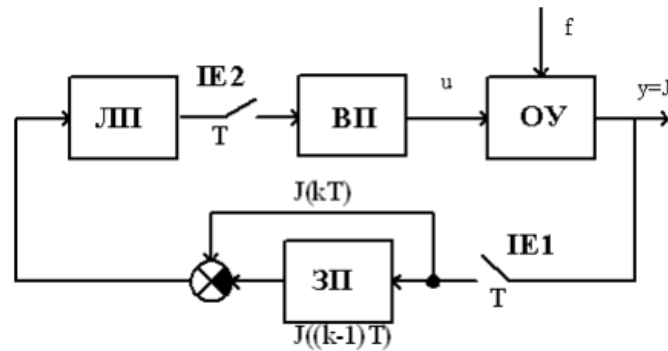


Рисунок 4 – Структурна схема екстремальної системи крокового типу:
ЛП – логічний пристрій; ВП – виконавчий пристрій; ОУ – об’єкт управління;
ЗП – запам’ятовуючий пристрій; IE1, IE2 – елементи регулювання

У системі через певні проміжки часу T , що задаються елементом IE1, вимірюється значення критерію $J(kT)$, яке запам’ятовується в ЗП на якусь годину T . На виході порівнюючого пристрою з’являється різниця:

$$\Delta J(kT) = J(kT) - J((k-1)T),$$

що характеризує вплив зміни сигналу управління на вихідний екстремальний параметр $y = J$.

Залежно від знаку одержаної різниці логічний пристрій, що періодично підключається до виконавчого пристрою за допомогою імпульсного елемента IE2, формує крок руху до екстремуму:

$$X_{ЛП} = \text{sign}(\Delta J).$$

Для практичної реалізації системи крокового типу, в силу того, що заздалегідь не визначено порядок і значення постійних часу, була застосована система імпульсно-фазового керування випрямлячами на сучасному спеціалізованому термодатчику з ПД-регулюванням, оскільки ані П-регулятор, ані І-регулятор не дозволять скомпенсувати (скоригувати) при відповідному налаштуванні постійні часу одночасно. Використання ПД-закону керування дозволяє підтримувати коливання температури більш точно з високою чутливістю до відхилення оптимуму їх налаштувань [14, 15]. Визначення коефіцієнтів передавальних функцій ПД-регулятора температури для вакуумної камери простіше отримати дослідним шляхом і в подальшому отримати логарифмічні амплітудно-частотні характеристики, перевірити систему на стійкість, здійснити налаштування синтезованого регулятора і розробити інженерну методику синтезу регулятора і замкнутої системи автоматичного регулювання з керуючим впливом на нагрівач з ВВКМ виходячи з контролю часових характеристик та меж стійкості.

В останні роки суттєво розширилися функціональні можливості систем управління, зокрема сучасні системи мають елементи самонавчання, стають складніші та потребують точної взаємодії між силовими напівпровідниками, контролером системи, механікою та датчиками зворотного зв’язку. Це означає що упорядкованість та організованість системи у процесі функціонування зростають. У початкові моменти система може складатися з елементів, які пов’язані між собою довільним чином. У процесі фун-

кціонування на основі аналізу взаємодії з оточуючим середовищем у системі виникають стійкі зв'язки між елементами, утворюється потрібна структура. Це відноситься також до підсистем підтримки прийняття рішень, експертних систем, коли бази даних та значень постійно поповнюються і система самонавчається без участі людини. Не менш важливим з точки зору енергоефективності є застосування силової електроніки з використання інверторного управління, яке здатне заощадити до 30% електроенергії у ланцюгу живлення нагрівачів.

Результати заводських випробувань високотемпературних нагрівачів з ВВКМ в установці «Редмет-30» на двох підприємствах України протягом двох місяців довели, що заміна графітових елементів теплового вузла на вуглець-вуглецеві в установках «Редмет-30» дозволяє заощаджувати близько 30% електроенергії, що витрачається на вирощування монокристалів кремнію.

Таким чином, основні результати роботи можна сформулювати так:

- було виготовлено тепловий вузол камери ростової установки вирощування великогабаритних монокристалів кремнію «Редмет-30» з застосуванням високотемпературного нагрівача з ВВКМ та проведено експериментальні дослідження в заводських умовах;
- запропоновано удосконалену структурну схему екстремальної системи крокового типу для автоматичного регулювання температури високотемпературного нагрівача.

Література

1. 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.
2. Carbon-graphite materials in nuclear-power engineering (review) / V.N. Voyevodin, Yu.O. Gribanov, V.A. Gurin, I.V. Gurin, V.V. Gujda // Problems of atomic science and technology. – 2015, № 2 (96), p. 52–64.
3. Consideration of the inertial characteristics of thermoresistive temperature transmitters in their design / V. Ovcharenko, O. Tokarieva // XIX International scientific and practical conference «Innovative approaches to solving scientific problems», May 16-19, 2023, Tokyo, Japan. International Science Group. 2023. P. 411–413.
4. Study of the influence of atmospheric water vapor on the corrosion resistance of CCCM at high temperatures / V. Ovcharenko, O. Tokarieva, I. Gurin // XIII International scientific and practical conference «Information activity as a component of science development», April 04-07, 2023, Edmonton, Canada. International Science Group. 2023. P. 459–460.
5. 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.
6. Study of the possibility of creating a high-temperature resistance thermoconverter from a carbon-carbon composite material / O. Tokarieva, I. Gurin, V. Ovcharenko // IX International scientific and practical conference «Study of world opinion regarding the development of science», November 22–25, 2022, Prague, Czech Republic. 2022. P. 606–608.

7. 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.
8. Богомаз А.В. Тепловой узел ростовой камеры установки выращивания крупногабаритных кристаллов германия методом погруженного вращающегося формообразователя // А.В. Богомаз, Т.В. Критская, А.В. Карпенко // *Металургія: наукові праці ЗДІА.* – Запоріжжя: ЗДІА. – 2010. – Вип. 22. С. 139–146.
9. Тепловое деформирование углерод-углеродных композиционных материалов с различными схемами армирования при термоциклировании / Л.И. Грачева // *Проблемы прочности.* – 2007. – № 3. – С. 118–133.
10. 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.
11. 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.
12. Невлюдов, І.Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами: Підручник / І.Ш. Невлюдов, О.В.Токарева. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 190 с.
13. М.Г. Попович, О.В. Ковальчук. Теорія автоматичного керування: Підручник. – Київ: «Лібідь», 2007, 656 с.
14. Åström K.J., Hägglund T. Advanced PID control. – ISA (The Instrumentation, Systems and Automation Society), 2006. – 461 p.
15. М.М. Казачковський Керовані випрямлячі: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: НГА України, 1999 – 229 с.

Bibliography (transliterated)

1. 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.
2. Carbon-graphite materials in nuclear-power engineering (review) / V.N. Voyevodin, Yu.O. Gribanov, V.A. Gurin, I.V. Gurin, V.V. Gujda // *Problems of atomic science and technology.* – 2015, № 2 (96), p. 52–64.
3. Consideration of the inertial characteristics of thermoresistive temperature transmitters in their design / V. Ovcharenko, O. Tokarieva // XIX International scientific and practical conference «Innovative approaches to solving scientific problems», May 16-19, 2023, Tokyo, Japan. International Science Group. 2023. P. 411–413.
4. Study of the influence of atmospheric water vapor on the corrosion resistance of CCCM at high temperatures / V. Ovcharenko, O. Tokarieva, I. Gurin // XIII International scientific and practical conference «Information activity as a component of science development», April 04-07, 2023, Edmonton, Canada. International Science Group. 2023. P. 459–460.
5. 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 is-

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

6. Study of the possibility of creating a high-temperature resistance thermoconverter from a carbon-carbon composite material / O. Tokarieva, I. Gurin, V. Ovcharenko // IX International scientific and practical conference «Study of world opinion regarding the development of science», November 22–25, 2022, Prague, Czech Republic. 2022. P. 606–608.

7. 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.

8. Bogomaz A.V. Teplovoi uzel rostovoi kamery ustanovki vyrashchivaniya krupnogabaritnykh kristallov germaniya metodom pogruzhennogo vrashchayushchegosya formoobrazovatelya // A.V. Bogomaz, T.V. Kritskaya, A.V. Karpenko // Metalurgiya: nauchnye tratsi ZDIA. – Zaporozhzhya: ZDIA. – 2010. – Vyp. 22. P. 139–146.

9. Teplovoye deformirovaniye uglerod-uglerodnykh kompozitsionnykh materialov s razlichnymi skhemami armirovaniya pri termotsiklirovanii / L.I. Gracheva // Problemy prochnosti. – 2007. – № 3. – P. 118–133.

10. Teplometriya: teoriya, metrologiya, praktyka. Monohrafiya u tryokh knyhad. T.H. Hryshchenko, L.V. Dekusha, L.I. Vorobyov [ta in.]; za red. dr. tekhn. nauk T.H. Hryshchenko. Kn. 1: Metody ta zasoby vymiruvannya teplovoho potoku – K.: Instytut tekhnichnoyi teplofizyky NAN Ukrayiny, 2017. – 438 p.

11. 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.

12. Nevlyudov, I.Sh. Avtomatychne upravlinnya tekhnolohichnymy ob'yektamy: Pidruchnyk / I.Sh. Nevlyudov, O.V. Tokarieva. – Kharkiv: KhNURE, 2018. – 190 p.

13. M.G. Popovych, O.V. Kovalchuk. Teoriya avtomatychnoho keruvannya: Pidruchnyk. – Kyiv: "Libid," 2007, 656 p.

14. Astrom K.J., Hagglund T. Advanced PID control. – ISA (The Instrumentation, Systems and Automation Society), 2006. – 461 p.

15. M.M. Kazachkovskiy Kerovani vypriamlyachi: Navchalnyi posibnyk. – Dnipropetrovsk: NHA Ukrayiny, 1999. – 229 p.

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

ЗАСТОСУВАННЯ ВВКМ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ НАГРІВАЧІВ ТЕПЛОВИХ ВУЗЛІВ З АВТОМАТИЧНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ТЕМПЕРАТУРИ

В статті обґрунтовано використання високотемпературних нагрівачів з вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу (ВВКМ) для теплового вузла камери ростової установки вирощування великогабаритних монокристалів кремнію. Проведений аналіз підтверджує, що електричні властивості композиційних матеріалів, а саме їх питомий опір, дозволяють створювати нагрівальні елементи для високотемпературних вакуум-

них печей або печей з інертною атмосферою, які працюють при температурах до 2200 °С.

Застосування нагрівачів з вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу виключає головний недолік графітових нагрівачів - неконтрольоване енерговиділення в процесі резистивного нагрівання за рахунок наявності перехідного електричного опору в місцях з'єднань графітових пластин, і забезпечує більш рівномірне температурне поле за об'ємом камери. Можливості за максимально допустимою температурою такого нагрівача з ВВКМ більш ніж удвічі перевищують робочу, що також позитивно впливає на термін експлуатації.

Режими теплових процесів, що протікають при вирощуванні кристалів модифікованим методом із застосуванням погрузного обертаючого формоутворювача із розплаву, визначаються технологічним процесом залежно від складу вихідної сировини та вимагають високої рівномірності нагріву робочої зони теплової камери, високої точності та стабільності підтримки температурного режиму нагрівача. Для точного регулювання теплового режиму, запропоновано додатково вимірювати інтегральну температуру в камері непрямим методом, який заснований на вимірюванні сили електричного струму, що протікає через нагрівач, який знаходиться в умовах термодинамічної рівноваги з об'єктом. Таким чином, нагрівач розглядається як деяка система, схильна до різних теплових впливів, які визначають процес теплоперенесення і характер зміни температури всередині камери та в зоні розташування тігля теплового вузла.

Запропоновано удосконалену структурну схему екстремальної системи крокового типу для автоматичного регулювання температури високотемпературного нагрівача із застосуванням сучасної силової електроніки, датчиків, мікропроцесорів. Для забезпечення швидкодії та точності регулювання температури був застосований метод імпульсно-фазового керування випрямлячами реалізований на сучасному спеціалізованому термоконтролері з ПІД-регулюванням.

Проведені експериментальні випробування на установці «Редмет-30» в заводських умовах підтверджують енергоефективність застосування високотемпературних нагрівачів з ВВКМ.

Ключові слова: тепловий вузол, нагрівач, вуглець-вуглецевий композиційний матеріал, система автоматичного регулювання, температура.

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

ПРИМЕНЕНИЕ УУКМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВЫХ УЗЛОВ С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРОЙ

В статье обосновано использование высокотемпературных нагревателей из углерод-углеродного композиционного материала (УУКМ) для теплового узла камеры ростовой установки выращивания крупногабаритных монокристаллов кремния. Проведенный анализ подтверждает, что электрические свойства композиционных материалов, а именно их удельное сопротивление, позволяют создавать нагревательные элементы для высокотемпературных вакуумных печей или печей с инертной атмосферой, которые работают при температурах до 2200 °С.

Использование нагревателей из углерод-углеродного композиционного материала исключает основной недостаток графитовых нагревателей – неконтролируемое выделение энергии в процессе резистивного нагрева из-за наличия переходного электрического сопротивления в местах соединения графитовых пластин, и обеспечивает более равномерное температурное поле по объему камеры. Возможности при максимально допустимой температуре такого нагревателя из УУКМ более чем вдвое превышают рабочую температуру, что также положительно сказывается на сроке службы.

Режимы тепловых процессов, которые происходят при выращивании кристаллов модифицированным методом с использованием погружного вращающегося формообразователя из расплава, определяются технологическим процессом в зависимости от состава исходного сырья и требуют высокой равномерности нагрева рабочей зоны тепловой камеры, высокой точности и стабильности поддержания температурного режима нагревателя. Для точной регулировки теплового режима предлагается дополнительно измерять интегральную температуру в камере косвенным методом, который основан на измерении силы электрического тока, протекающего через нагреватель, находящийся в условиях термодинамического равновесия с объектом. Таким образом, нагреватель рассматривается как система, подверженная различным тепловым воздействиям, которые определяют процесс теплообмена и характер изменения температуры внутри камеры и в зоне размещения элементов теплового узла.

Предложена усовершенствованная структурная схема экстремальной системы шагового типа для автоматического регулирования температуры высокотемпературного нагревателя с использованием современной силовой электроники, датчиков и микропроцессоров. Для обеспечения быстродействия и точности регулирования температуры был применен метод импульсно-фазового управления выпрямителями, реализованный на современном специализированном термоконтроллере с ПИД-регулированием.

Проведенные экспериментальные испытания на установке «Редмет-30» в заводских условиях подтверждают энергоэффективность применения высокотемпературных нагревателей из УУКМ.

Ключевые слова: тепловой узел, нагреватель, углерод-углеродный композиционный материал, система автоматического регулирования, температура.

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

APPLICATION OF CARBON-CARBON COMPOSITE MATERIALS FOR THE MANUFACTURE OF HIGH-TEMPERATURE HEATERS OF HEAT EXCHANGERS WITH AUTOMATIC TEMPERATURE CONTROL

The article justifies the use of high-temperature heaters made of carbon-carbon composite material (CCCM) for the thermal unit of a silicon single crystal growth chamber. The conducted analysis confirms that the electrical properties of composite materials, specifically their specific resistance, allow for the creation of heating elements for high-temperature vacuum furnaces or furnaces operating in inert atmospheres at temperatures up to 2200°C.

The use of heaters made from carbon-carbon composite material eliminates the main drawback of graphite heaters - uncontrolled energy dissipation during resistive heating due to the presence of transient electrical resistance at the junctions of graphite plates, and ensures a

more uniform temperature field throughout the chamber volume. The capabilities in terms of the maximum permissible temperature of such a CCCM heater exceed the working temperature by more than two times, which also positively affects the service life.

The modes of thermal processes occurring during crystal growth are determined by the technological process depending on the composition of the raw material and require high uniformity of heating in the working zone, high precision, and stability of the heater's temperature control. For precise temperature regulation, it is proposed to additionally measure the integral temperature in the chamber indirectly, which is based on measuring the electrical current passing through the heater, which is in thermodynamic equilibrium with the object. Thus, the heater is considered as a system susceptible to various thermal influences that determine the heat transfer process and the temperature change within the chamber and in the zone of the thermal unit's bricks.

An improved structural diagram of a step-type extremal control system is proposed for automatic temperature control of a high-temperature heater using modern power electronics, sensors, microprocessors. To ensure speed and accuracy in temperature control, the pulse-phase control method implemented with modern specialized thermoregulator with PID-regulation was applied.

Experimental tests conducted on the «Redmet-30» installation under factory conditions confirm the energy efficiency of using high-temperature heaters made of CCCM.

Keywords: thermal unit, heater, carbon-carbon composite material, automatic control system, temperature.

Сініцина А.О., аспірантка, Карножицький П.П., аспірант

БУРЕ ВУГІЛЛЯ – СИРОВИНА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ СОРБЕНТІВ

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,
м. Харків*

Ключові слова: буре вугілля, гумінові речовини, гумінові кислоти, ультрафільтрація, іони важких металів.

Скорочення викидів CO_2 під час спалювання вуглеводневої сировини - нагальна проблема, що стоїть перед людством. Вимоги щодо викидів парникових газів регламентуються згідно Директиви Європейського Союзу 2019/944 [1].

Традиційно, протягом тривалого часу в Україні, буре вугілля використовувалось, як енергетичне паливо при отриманні електроенергії на ТЕЦ та, як місцеве паливо у вигляді вугільних брикетів.

В Україні досить великі запаси бурого вугілля. Його поклади зосереджені в Дніпровському буровугільному басейні, що знаходиться на правобережній частині України та займає центральне положення в структурі південно-західної частини Східно-Європейської платформи. Дніпровський буровугільний басейн має загальну площу близько 100 тис. км^2 та об'єднує буровугільні родовища Кіровоградської, Черкаської, Харківської, Дніпропетровської та інших областей. Глибина залягання вугільних пластів від 10 до 160 м, частіше 40–80 м, що дозволяє значну частину його запасів розробляти відкритим способом, а це в свою чергу робить виробництво значно дешевшим та безпечнішим. Буре вугілля переважно землисте, суббітумінозне для якого характерним є наявність вільних гумінових кислот та підвищений вміст фенольних, карбоксильних і гідроксильних груп. Ще буре вугілля характеризується низьким вмістом вуглецю та великим вмістом вологи [2].

Незважаючи на значні запаси бурого вугілля в Україні та сприятливі умови залягання, що дозволяють здійснювати видобуток найбільш економічним відкритим способом, а також унікальність фізико-хімічних і технологічних властивостей ставлять його на провідне місце як паливо і технологічну сировину. Буре вугілля є одним з основних природних ресурсів України, його балансові запаси марок $A+B+C_1$ складають 2593359,00 тис тонн, категорії C_2 – 299181,00 тис тонн. [3,4]. На теперішній час видобуток складає 9 тис. тонн із 80 родовищ для видобутку бурого вугілля лише 3 діючих [3]. При цьому, дефіцит інвестицій, застаріле обладнання та складні соціально-економічні умови стали причиною зниження виробництва бурого вугілля в країні в останні роки. Основна частина бурого вугілля, що видобувається, використовується як паливо, тільки незначна частина його знаходить технологічне застосування як сировина для одержання гірського воску, коксу і напівкоксу, а також гумінових речовин [4].

Для відновлення розроблення наявних розрізів необхідні пошуки нових шляхів здебільшого не паливного використання української сировини, які могли б збільшити

потребу вугілля в народному господарстві, а також сприяти скороченню викидів парникових газів, що утворюються під час спалювання газу.

Аналіз літератури з цього питання показує, що у світі триває інтенсивна робота з пошуку нових шляхів нетрадиційного використання цієї сировини [5,6].

Найціннішим компонентом бурого вугілля при його хімічній переробці є гумінові кислоти, що являють собою природні полімерні сполуки, які складаються з двох частин – каркасної (ароматичний вуглецевий скелет, пов'язаний з функціональними групами в основному карбоксильними, гідроксильними та метоксильними) і невпорядкованої периферії, що містить полісахаридно-поліпептидні та інші та інші фрагменти [7,8].

Найбільш поширеною є модель фрагмента гіпотетичної молекули гумінових кислот, яка відображає складність і різноманітність складових структур.

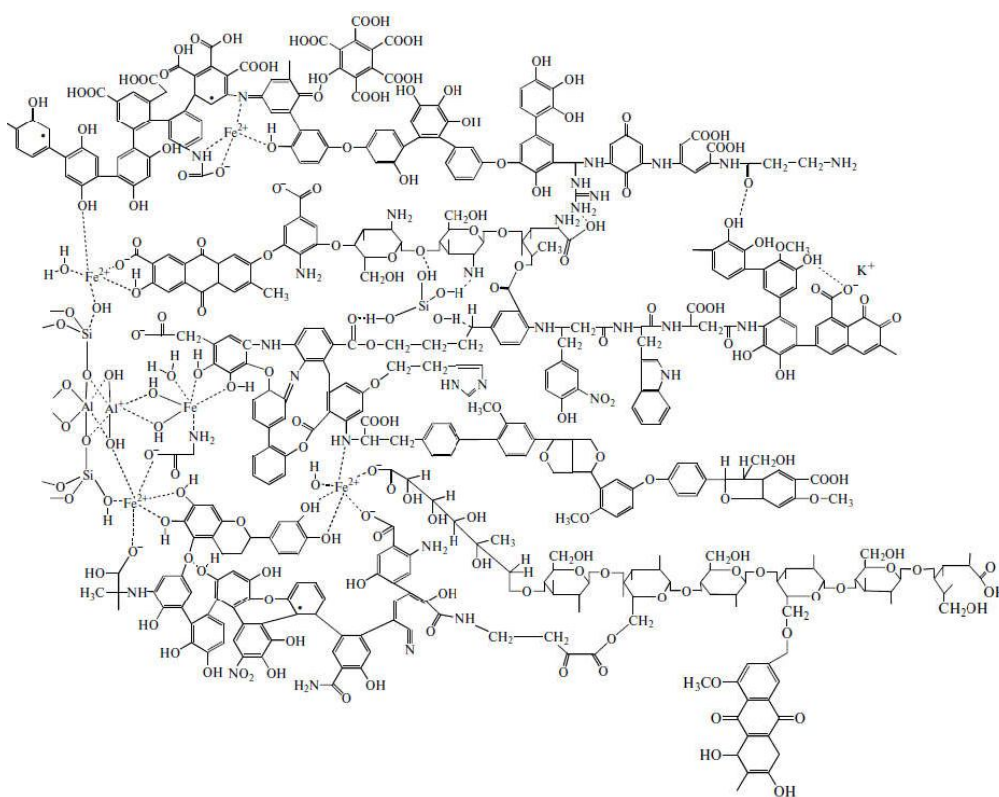


Рисунок 1 – Гіпотетичний фрагмент структури молекули гумінових кислот по Клайнхемпелю [9]

Така будова зумовлює можливість використання бурого вугілля як сировини для одержання активних природних водорозчинних сорбентів, які володіють високою питомою поверхнею. Молекулярна маса гумінових кислот коливаються від 1500 та досягає 50000 у.о. [10]. Це залежить від походження та конкретної проби гумінових кислот. Завдяки таким великим розмірам молекул, а також великій кількості активних кисневмісних груп, таких як карбоксильні, спиртові та гідроксильні групи, сорбційні властивості гуматів повинні бути дуже виражені. В першу чергу, фенольні та карбоксильні групи при ароматичних структурах визначають високу сорбційну активність, особливо щодо іонів важких металів [10–12].

Утворення гуматів з водорозчинних гумінових кислот здійснюється за простою технологією при обробці бурого вугілля лужним розчином. при цьому утворюються водорозчинні сорбенти високої ємності.

В Україні переважна більшість поверхневих водних об'єктів досягає критичного рівня забруднення, в тому числі важкими металами, що спричинене незадовільною якістю очищених стічних вод. Проблема очищення промислових стоків з кожним роком набуває все більшого значення

Одним із найбільш токсичних важких металів, що потрапляють у природні водні джерела, є свинець. Його допустимий вміст в стічних водах для України становить до $0,1 \text{ г/м}^3$, свинець віднесений до 2-гої групи токсичності [13]. На території України у поверхневих водах свинець поширений практично скрізь. Перевищення ГДК найчастіше може зустрічатися, як у великих містах, так і в селищах. Основними джерелами надходження свинцю у навколишнє середовище та стічні води, є кольорова (98 %) і чорна металургія (2%) - це процеси отримання самого металу, сплавів, а також обробки сировини; машинобудування, паливна промисловість та енергетика; хімічна промисловість; побутові відходи.

Ще один з токсичних металів є кадмій, його допустимий вміст в стічних водах до $0,1 \text{ г/м}^3$ [13]. Сполуки кадмію токсичні та відносяться до речовин другого класу токсичності. Найсерйознішими забруднювачами вод кадмієм є підприємства гірничо-металургійного комплексу України. На територіях, наближених до виробництв, забруднені як всі поверхневі, так і підземні води, тому найбезпечнішим джерелом залишається вода з водопроводу, по можливості доочищена.

Для концентрування та глибокого доочищення стічних вод можуть використовуватись баромембранні процеси, рушійною силою яких є різниця тисків по обидва боки мембрани. За розмірами частинок об'єктів розділення і за структурою мембран, які для цього використовуються, розрізняють мікрофільтрацію, ультрафільтрацію, нанофільтрацію та зворотній осмос. Найбільш поширений метод очищення є ультрафільтрація, який є одним з надійних та ефективних методів відокремлення колоїдів, мікроорганізмів та макромолекул від розчинника або розчину низькомолекулярних речовин. Враховуючи невеликі осмотичні тиски високомолекулярних сполук та низький гідравлічний опір мембран для здійснення даного процесу необхідне прикладання надлишкового тиску в середньому від 2 до 5 атм [14–16].

Для більш ефективного очищення використовують метод комплексотворення-ультрафільтрація (КУУФ). Це гібридний підхід, який полягає в поєднанні ультрафільтрації з попередньою взаємодією та зв'язуванням металу у комплекс. Використовують, як синтетичні речовини, так і екологічні чисті, дешеві природні речовини, які мають детоксикологічну дію. Основою методу КУУФ – являється комплексотворення та іонообмін. Його перевага у високій селективності поділу, яка обумовлена хімічними властивостями хімічного реагента [17].

Ефективність розділення визначають розраховуючи потік крізь УФ мембрану прямо пропорційний до прикладеного тиску:

$$J = k\Delta p, \quad (1)$$

де J – мембранний потік; k - константа проникності; Δp – різниця тисків.

Константа проникності включає в себе всі види структурних факторів і становить для УФ мембран близько $10 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ год} \cdot \text{бар}$ для більш відкритих мембран і порядку $0,1 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ год} \cdot \text{бар}$ для більш щільних мембран [14–16].

В якості комплексоутворювачів використовують синтетичні речовини (полімери різної хімічної природи: полідіалілдиметиламоній хлорид, поліетиламінін, декстран). До їх недоліків слід віднести негативний вплив на навколишнє середовище в результаті попадання у фільтрат водорозчинних молекул синтетичного комплексоутворювача та високу вартість.

Мета статті полягає у перевірці можливості використання водорозчинних сорбентів (гуматів натрію), одержаних з української сировини для глибокого доочищення стічних вод від іонів важких металів до норм ГДК методом комплексоутворення-ультрафільтрація.

Досліджували зразки бурого вугілля України Олександрійського родовища. Технічний аналіз, елементний склад та вихід на гумінових в перерахунку на суху органічну масу наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Показники якості бурого вугілля

Технічний аналіз, %			Елементний аналіз, %					$(\text{HA})^{\text{daf}}_{\text{f}}, \%$
W^{a}	A^{d}	V^{d}	C^{daf}	H^{daf}	N^{daf}	$\text{S}^{\text{d}}_{\text{t}}$	$\text{O}^{\text{daf}}_{\text{d}}$	
16,8	48,7	29,1	61,1	5,56	0,51	3,64	29,2	79,4

Готували модельні розчини металів (Pb^{2+} , Cd^{2+}) концентрацією 5 мг/л у дистильованій воді та у річній, додавали у них комплексоутворювач – гумати (натрієві солі гумінових кислот) з різною концентрацією від $0,0$ до 30 мг/дм^3 . Вміст металів у річній воді складає: $\text{Cd}^{2+} - 0,0006 \text{ мг/л}$; $\text{Co}^{2+} - <0,001 \text{ мг/л}$; $\text{Cu}^{2+} - 0,0065 \text{ мг/л}$; $\text{Fe}^{3+} - 0,0050 \text{ мг/л}$; $\text{Hg}^{2+} - 0,0680 \text{ мг/л}$; $\text{Mn}^{2+} - 0,5142 \text{ мг/л}$; $\text{Ni}^{2+} - 0,0029 \text{ мг/л}$; $\text{Pb}^{2+} - 0,0160 \text{ мг/л}$; $\text{Zn}^{2+} - <0,001 \text{ мг/л}$.

В якості ультрафільтраційних мембран використовували мембрани UF-10-РА, які являють собою пористі полімерні плівки на основі поліаміду з розміром пор 10 нм , площа робочої поверхні мембрани – $28,26 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$. Полімерні мембрани характеризуються підвищеною термо- та агресивостійкістю, нетоксичні, безпечні у роботі та можуть експлуатуватися при рН від 2 до 12 та максимальній температурі води – $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Мінімальна продуктивність дистильованої води – $60 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \text{ год}$.

Дослідження виконували в експериментальній установці (рис. 2), яка являє собою непроточну комірку об'ємом $0,2 \text{ дм}^3$ при температурі навколишнього середовища $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Розчин для розділення заливали через штуцер всередину прозорого циліндричного корпусу комірки, виконаного з полікарбонату. Для зниження впливу концентраційної поляризації комірка була забезпечена електромагнітною мішалкою. Необхідний тиск ($0,2 \text{ МПа}$) над мембраною створювали перепуском певної порції стиснутого повітря з компресора вентилем спеціальними трубками через штуцер. У процесі поділу фільтрат, що пройшов мембрану та дренаж через отвір на нижньому фланці збирали у пробовідбірник та аналізували.

Ступінь розділення (селективність, R) мембрани по відповідному металу розраховували за формулою:

$$R = \frac{C_0 - C_{\phi}}{C_0} \cdot 100, \quad (2)$$

де R – коефіцієнт вилучення металів (селективність), %; C_0 та C_{ϕ} – концентрація металів у початковому розчині та у фільтраті, відповідно, мг/л.

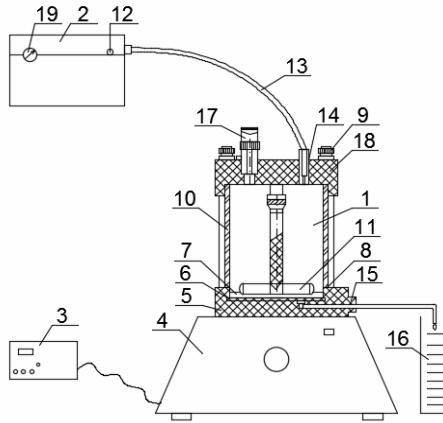


Рисунок 2 – Схема установки для фільтрації: 1 – мембранна комірка; 2 – компресор; 3 – строботометр; 4 – магнітна мішалка; 5 – нижня основа комірки; 6 – пористий фторопласт; 7 – мембрана; 8 – силіконова гума; 9 – болти; 10 – корпус комірки; 11 – пропелер; 12 – вентиль; 13 – трубка; 14 – штуцер; 15 – отвір; 16 – пробочний збірник; 17 – захисний клапан; 18 – верхній фланець; 19 – манометр

Концентрацію металів у водних розчинах визначали на оптико-емісійному спектрометрі PlasmaQuant PQ 9000 Elite (Німеччина) високої роздільної здатності з індуктивно-зв'язаною плазмою.

Результати очищення водних розчинів від іонів металів в залежності від концентрації гумінових речовин, наведені у табл. 2 та на рис. 3,4

Аналізуючи наведені на рис. 3 графічні залежності можна зробити висновок, що з підвищенням концентрації гумінових речовин з 2,5 до 30 мг/л підвищується селективність вилучення металів.

Таблиця 2 – Концентрація іонів важких металів (мг/л) в залежності від концентрації гумінових речовин (мг/л)

Іон	Концентрація гумінових речовин, мг/л				
	2,5	5,0	10,0	20,0	30,0
Pb ²⁺	3,449	1,071	0,541	0,257	0,123
Cd ²⁺	3,868	2,211	1,123	0,512	0,197
В річній воді					
Pb ²⁺	3,857	1,102	0,587	0,299	0,151
Cd ²⁺	4,586	1,793	1,194	0,664	0,231

Необхідно зазначити, що виходячи з графічних залежностей, наведених на рис. 3 та рис. 4, ступінь вилучення іонів важких металів в залежності від концентрації гумінових речовин змінюється нелінійно. Найбільш оптимальною концентрацією гумінових речовин з точки зору вилучення іонів металів є 5 мг/л, подальше збільшення концентрації до 30 мг/л практично не призводить до значного росту вилучення іонів металів.

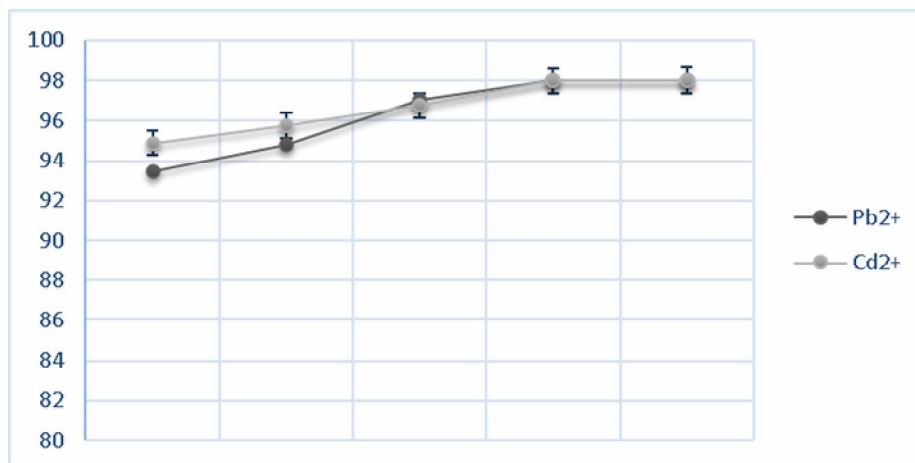


Рисунок 3 – Селективність вилучення металів в залежності від концентрації гумінових кислот у дистильованій воді

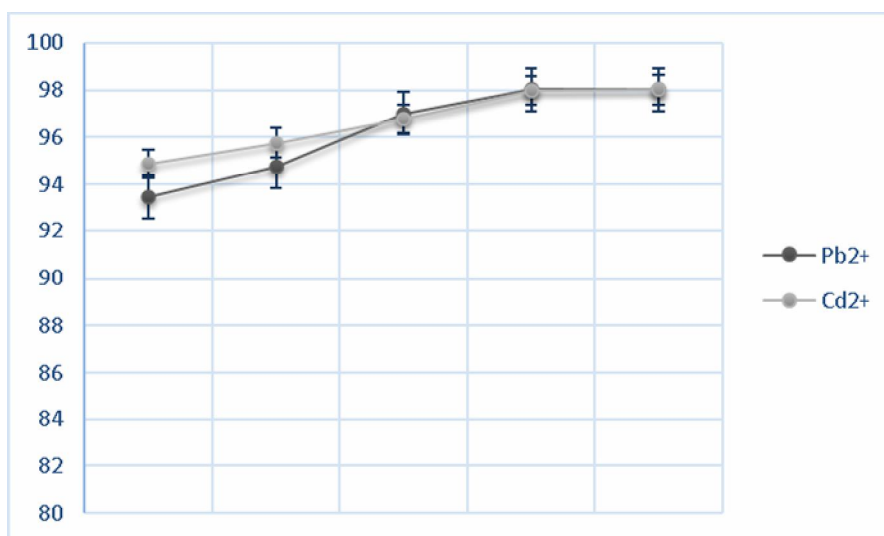


Рисунок 4 – Селективність вилучення металів в залежності від концентрації гумінових кислот у річній воді

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Буре вугілля Олександрійського родовища є цінною сировиною для одержання гумінових кислот та їхніх похідних.
2. Гумати натрію, одержані з бурого вугілля, є ефективними водорозчинними сорбентами, що зв'язують у воді іони важких металів, таких як свинець та кадмій.
3. При використанні ультрафільтраційних мембран можна забезпечити істотне зниження залишкової концентрації іонів свинцю і кадмію в стічній воді до норм, що дозволяють використовувати її багаторазово в технологічному циклі. Селективність

процесу очищення досягається при цьому як для дистильованої води, так і для річкової води

4. Деяке зниження ефективності очищення при роботі з річковою водою пов'язане з наявністю іонів інших металів і може бути компенсоване збільшенням витрат гуматів.

Літератури

1. Директива європейського парламенту і ради 2012/27/ЄС від 25 жовтня 2012 року про енергоефективність, внесення змін до директив 2009/125/ЄС і 2010/30/ЄС та про скасування директив 2004/8/ЄС і 2006/32/ЄС <http://data.europa.eu/eli/dir/2019/944/oj>.
2. Саранчук В.І., Ільяшов М.О., Ошовський В.В., Білецький В.С. Основи хімії і фізики горючих копалин – Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. – С. 640.
3. Мінеральні ресурси України – Київ, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2020. 270с. Mineralni resursy Ukrainy: <https://minerals-ua.info/>.
4. Собко Б.Е. Потенциальная роль бурого угля в энергетическом балансе страны / Б.Е. Собко, А.А. Шустов., А.П. Белов // Национальный горный университет, Интехпроект. – Днепр. – 2018. – С. 42.
5. Babets, Ye.K., Bielov, O.P., Shustov, O.O., Barna, T.V., Adamchuk, A.A. (2019). The development of technological solutions on mining and processing brown coal to improve its quality. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho hirnychoho Universytetu*, 6, 36–44. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/005>.
6. Wilson M.A., 1987. NMR Techniques and Application in Geochemistry and Soil Chemistry. Pergamon, Oxford.
7. Smernik R.J., Olk D.C., Mahieu N. Quantitative solid-state ¹³C NMR spectroscopy of organic matter fractions in lowland rice soils // *European journal of Soil Science*. 2004. № 55. P. 367–379.
8. Kleinhempel D. Ein Beitrag zur Theorie des Huminstoffzustandes // *Archives of Agronomy and Soil Science*. 1970. V. 14. № 1. P. 3–14.
9. Tipping E Cation binding by humic substances / Cambridge environmental chemistry series. – No. 11. – UK: Cambridge University Press. – 2004. – 434 p.
10. Schnitzer M., Khan S.U. Humus Substances: Chemistry and Reactions // *Soil Organic Matter Development of Soil Science*. 1978. № 8. P. 1–64.
11. Kluc akova M (2018) Size and Charge Evaluation of Standard Humic and Fulvic Acids as Crucial Factors to Determine Their Environmental Behavior and Impact. *Front. Chem.* 6235. doi:10.3389/fchem.2018.00235.
12. Tipping E Cation binding by humic substances / Cambridge environmental chemistry series. – No. 11. – UK: Cambridge University Press. – 2004. – 434 p.
13. ДСТУ 7369:2013. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрення.
14. Брик М.Т. Енциклопедія мембран. Т.1-2. / М.Т. Брик. – К.: Вид. дім «Києво-Могилянська академія», 2005.
15. Мулдер М. Введение в мембранную технологию / М. Мулдер. –М.: Мир, 1999. – 513 с.

16. Baker R.W. Membrane technology and applications / R.W. Baker; [2nd edition]. – Chichester: Wiley, 2004. – 544 p.

17. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. Киев Наукова думка, 1983. 240 с.

Bibliography (transliterated)

1. Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU.

2. Saranchuk V.I., Iliashov M.O., Oshovskyi V.V, Biletskyi V.S. Osnovy khimii i fizyky horiuchykh kopalyn [Fundamentals of chemistry and physics of fossil fuels]. – Donetsk: Skhidnyi vydavnychiy dim, 2008. – 640 p.

3. Derzhavne naukovo-vyrobnyche pidpryyemstvo «Derzhavnyy informatsiynyy heolohichnyy fond Ukrayiny» [State Scientific and Production Enterprise "State Geological Information Fund of Ukraine"] Mineral'ni resursy Ukrayiny [Mineral resources of Ukraine], – Kyiv, 2020. 270 p. Available at: <https://minerals-ua.info> (accessed 17.04.2023).

4. Sobko B.E., Shustov B.E., Belov A.P. Potentsialnaya rol burogo uglya v energeticheskom balanse strani [The Potential Role of Brown Coal in the Energy Balance of the Country] Natsionalnii gornii universitet, Intekhpriekt [National Mining University, Intech-project]. Dnepr. 2018. 42 p.

5. Babets, Ye.K., Bielov, O.P., Shustov, O.O., Barna, T.V., Adamchuk, A.A. (2019). The development of technological solutions on mining and processing brown coal to improve its quality. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho hirnychoho Universytetu*, 6, 36–44. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/005>.

6. Wilson M.A., 1987. NMR Techniques and Application in Geochemistry and Soil Chemistry. Pergamon, Oxford.

7. Smernik R.J., Olk D.C., Mahieu N. Quantitative solid-state ¹³C NMR spectroscopy of organic matter fractions in lowland rice soils // *European journal of Soil Science*. 2004. № 55. P. 367–379.

8. Kleinhempel D. Ein Beitrag zur Theorie des Huminstoffzustandes // *Archives of Agronomy and Soil Science*. 1970. V. 14. № 1. P. 3–14.

9. Tipping E Cation binding by humic substances / *Cambridge environmental chemistry series*. – No. 11. – UK: Cambridge University Press. – 2004. – 434 p.

10. Schnitzer M., Khan S.U. Humus Substances: Chemistry and Reactions // *Soil Organic Matter Development of Soil Science*. 1978. № 8. P. 1–64.

11. Kluc akova M (2018) Size and Charge Evaluation of Standard Humic and Fulvic Acids as Crucial Factors to Determine Their Environmental Behavior and Impact. *Front. Chem.* 6235. doi:10.3389/fchem.2018.00235.

12. Tipping E Cation binding by humic substances / *Cambridge environmental chemistry series*. – No. 11. – UK: Cambridge University Press. – 2004. – 434 p.

13. DSTU 7369:2013. Stichni vodi. Vimogi do stichnikh vod i ikhnikh osadiv dlya zroshuvannya ta udobryuvannya.

14. Bryk M.T. Entsyklopediia membran. [Encyclopaedia of membranes]. T.1–2. / M. T. Bryk. – K.: Vyd. dim «Kyievo-Mohylianska akademiia», 2005.

15. Mulder M. Vvedenye v membrannuiu tekhnolohiyu [Introduction to membrane technology]. / M. Mulder. –M.: Myr, 1999. – 513 p.
16. Baker R. Membrane technology and application, McGraw-Hill, New York, 2000. 514 p.
17. Koganovskii A.M. Adsorbtsiya i ionnii obmen v protsessakh vodopodgotovki i ochistki stochnikh vod [Adsorption and ion exchange in water and wastewater treatment processes]. Kiev Naukova dumka, 1983. 240 p.

УДК 622.33:66.081.63:553.9

Сініцина А.О., аспірантка, Карножицький П.П., аспірант

БУРЕ ВУГІЛЛЯ – СИРОВИНА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ СОРБЕНТІВ

Досить значні запаси бурого вугілля зосереджені в Дніпровському буровугільному басейні України. Вигідним є його видобування відкритим способом, адже залягання пластів є незначним. Українське буре вугілля переважно землисте, суббітумінозне, що в свою чергу характеризується підвищеним вмістом вільних гумінових кислот. Незважаючи на значні запаси бурого вугілля в Україні та сприятливі умови залягання, його видобуток є незначним. Основна частина бурого вугілля, використовується як паливо, а незначна частина його як сировина. Нами було досліджено буре вугілля Олександрійського родовища України, яке містить велику кількість (близько 80 %) гумінової кислоти, яка являється основою для отримання ефективних водорозчинних сорбентів. У статті досліджені та визначено ефективність використання бурого вугілля Олександрійського родовища для отримання гумінових речовин, їх елементний склад та вихід гумінових кислот з них. Визначено ефективність використання гумінових речовин отриманих з бурого вугілля Олександрійського родовища при зв'язуванні іонів важких металів (Pb^{2+} , Cd^{2+}) із застосуванням методу комплексоутворення – ультрафільтрація. Визначено продуктивність ультрафільтраційних мембран з розчином гуматів. Розраховано коефіцієнт затримки іонів металів, який залежить від концентрації гумінових речовин. Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що застосування методу ультрафільтрація-комплексоутворення з використанням комплексоутворювачів на основі гумінових речовин бурого вугілля Олександрійського родовища, дозволяє значно підвищити ступінь очищення водних розчинів від іонів важких металів. Дані дослідження є актуальними та розширюють можливості застосування бурого вугілля. Показано, що на основі українського бурого вугілля можна отримувати екологічний та дешевий комплексоутворювач. Важливим пріоритетом використання водорозчинних гумінових речовин є великі запаси бурого вугілля в Україні, що також може сприяти поліпшенню економічних показників. Також, проведені дослідження дозволяють стверджувати, що застосування комбінованого методу, що поєднує ультрафільтрацію з комплексоутворенням при використанні комплексоутворювачів на основі гумінових речовин бурого вугілля, дозволяє значно підвищити ступінь очищення від іонів важких металів.

Ключові слова: буре вугілля, гумінові речовини, гумінові кислоти, ультрафільтрація, іони важких металів.

Синицына А.А., аспірантка, Карножицкий П.П., аспірант

БУРЫЙ УГОЛЬ – СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРАСТВОРИМЫХ СОРБЕНТОВ

Достаточно значительные запасы бурого угля сосредоточены в Днепровском бу-роугольном бассейне Украины. Выгодным является его добыча открытым способом, ведь залегание пластов является незначительным. Украинский бурый уголь преимуще-ственно землистый, суббитуминозный, что в свою очередь характеризуется повышен-ным содержанием свободных гуминовых кислот. Несмотря на значительные запасы бу-рых углей в Украине и благоприятные условия залегания, его добыча незначительна. Основная часть бурого угля, используется как топливо, а незначительная часть его как сырьё. Нами был исследован бурый уголь Александрийского месторождения Украины, который содержит большое количество (около 80 %) гуминовой кислоты, которая явля-ется основой для получения эффективных водорастворимых сорбентов. В статье иссле-дованы и определена эффективность использования бурого угля Александрийского ме-сторождения для получения гуминовых веществ, их элементный состав и выход гуми-новых кислот из них. Определена эффективность использования гуминовых веществ, полученных из бурого угля Александрийского месторождения при связывании ионов тяжелых металлов (Pb^{2+} , Cd^{2+}) с применением метода комплексообразования – ультра-фильтрация. Определена производительность ультрафильтрационных мембран с рас-твором гуматов. Рассчитан коэффициент задержки ионов металлов, который зависит от концентрации гуминовых веществ. Проведенные исследования позволяют утверждать, что применение метода ультрафильтрация – комплексообразование с использованием комплексообразователей на основе гуминовых веществ бурого угля Александрийского месторождения, позволяет значительно повысить степень очистки водных растворов от ионов тяжелых металлов. Данные исследования являются актуальными и расширяют возможности применения бурого угля. Показано, что на основе украинского бурого уг-ля можно получать экологический и дешевый комплексообразователь. Важным при-оритетом использования водорастворимых гуминовых веществ являются большие за-пасы бурого угля в Украине, что также может способствовать улучшению экономиче-ских показателей. Также, проведенные исследования позволяют утверждать, что при-менение комбинированного метода, сочетающего ультрафильтрацию с комплексообра-зованием при использовании комплексообразователей на основе гуминовых веществ бурого угля, позволяет значительно повысить степень очистки от ионов тяжелых ме-таллов.

Ключевые слова: бурый уголь, гуминовые вещества, гуминовые кислоты, ульт-рафильтрация, ионы тяжелых металлов

Sinitsyna A.O., PhD student, Karnozhytskyi P.P., PhD student

LIGNITE AS A RAW MATERIAL FOR THE PRODUCTION OF WATER-SOLUBLE SORBENTS

Large lignite reserves are concentrated in the Dnipro lignite basin of Ukraine. It is profitable to extract it by open-pit mining, as the seams are shallow. Ukrainian lignite is pre-

dominantly earthy, subbituminous, which in turn is characterized by a high content of free humic acids. Despite the significant lignite reserves in Ukraine and favourable conditions, its production is insignificant. Most of the lignite is used as fuel, and a small part of it is used as raw material. We have studied the lignite of the Oleksandriya deposit of Ukraine, which contains a large amount (about 80 %) of humic acid, which is the basis to produce effective water-soluble sorbents. The article investigates and determines the efficiency of using lignite from the Oleksandriya deposit to produce humic substances, their elemental composition, and the yield of humic acids from them. The efficiency of the use of humic substances obtained from lignite of the Alexandria deposit in the binding of heavy metal ions (Pb^{2+} , Cd^{2+}) using the method of complexation - ultrafiltration - was determined. The performance of ultrafiltration membranes with a humate solution was determined. The retention coefficient of metal ions, which depends on the concentration of humic substances, was calculated. The conducted studies allow us to assert that the application of the ultrafiltration-complexation method using complexing agents based on humic substances of lignite from the Alexandria deposit can significantly increase the degree of purification of aqueous solutions from heavy metal ions. These studies are relevant and expand the possibilities of using lignite. It has been shown that Ukrainian lignite can be used to produce an environmentally friendly and cheap complexing agent. An important priority for the use of water-soluble humic substances is the large lignite reserves in Ukraine, which can also contribute to improving economic performance. Also, the studies conducted suggest that the application of a combined method that combines ultrafiltration with complexation when using complexing agents based on lignite humic substances can significantly increase the degree of purification from heavy metal ions.

Keywords: lignite, humic substances, humic acids, ultrafiltration, heavy metal ions.

Потаніна Т.В.¹, к.техн.н., доцент, Михайленко І.В.², к.пед.н., старш. викладач

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИБІРОК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ НА НАЯВНІСТЬ ВИКИДІВ: ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ

¹Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Ключові слова: промахи вимірювань (викиди), мала вибірка, нестатистичні похибки вимірювань, невизначеність, 2σ –критерій, 3σ –критерій, параметричні та непараметричні критерії виявлення викидів, інтервальний аналіз, узгоджена та неузгоджена вибірки, інтервальна статистика.

Постановка проблеми та аналіз публікацій. Виявлення аномальних значень серед результатів спостережень при обробці експериментальних даних і в випадку сукупностей (вбірок) достатньо великого обсягу, а також і для малих вибірок, з великою кількістю аномальних точок і з лише одним викидом, є об'єктом уваги і досліджень науковців в різних царинах протягом вже не одного століття [1–8]. Промахи вимірювань є однією з причин наявності некорисної і шумової інформації в результатах досліджень, а надто велика кількість викидів заважає отримати корисну інформацію і зробити правильні висновки і оцінки процесів, властивостей. Навіщо виявляти такі результати і з'ясовувати причини їх наявності? Відповідь здається є очевидною. Конкретизуємо. Викид може свідчити про неправильність результатів спостереження, тобто можливе неправильне кодування даних, некоректне проведення експерименту тощо. З іншого боку, наявність викидів може вказувати не лише на похибки, але й на певні, цікаві з наукової точки зору, факти в проведеному експерименті або на випадкові варіації [9]. При виявленні викидів завжди існує ймовірність допущення похибок 1-го або 2-го роду. Визначення грубих викидів – складна задача, і немає однозначної точки зору щодо її розв'язання.

Розглянемо застосування і ефективність деяких параметричних і непараметричних статистичних критеріїв і підхід інтервальної статистики [8,10] до цієї проблеми.

Викладення основного матеріалу. Найпопулярніша і класична дефініція викиду: викид (промах вимірювання, аномальне значення) – результат спостережень, який найбільше відхилений від середнього значення й не належить генеральному нормальному розподілу випадкової величини. Ключовими словами тут є: нормальний розподіл, середнє та відстань (відхилення).

Зокрема, відстань результату виміру x_i від середнього значення $\bar{x}$ є нормоване відхилення

$$\zeta_i = (x_i - \bar{x}) / s_x, i = \overline{1, N}, \quad (1)$$

де стандартне відхилення s_x обчислюється для усіх N точок сукупності

$$s_x = \sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 / (N-1)}. \quad (2)$$

Спостереження x_k , для якого $|\zeta_k|$ набуває максимального значення і є викидом.

І вже в цьому означенні є припущення про нормальний розподіл сукупності X , а також застосовується один з його параметрів – середнє значення. Але в більшості випадків ми можемо бути впевнені лише у тому, що дані експерименту обмежені. Проте чи сумарна похибка вимірювань є імовірнісною, чи підпорядковується нормальному розподілу, чи похибки послідовних вимірювань незалежні, чи відсутні

Традиційні моделі виявлення викидів, що базуються на понятті відстані (відхилення), можна поділити на декілька класів. Один з них – класичний метод *k-means* (к-середніх) [11], який пропонує кластеризацію даних, застосовуючи класичну евклідову метрику відстані для метрики неподібності. Дослідження показали, що така метрика є досить чутливою до викидів і може бути вдосконалена заміною на алгоритм *k-median* і з іншою метрикою неподібності – нормою L_1 , або метрикою Манхеттена [12]. Певною мірою такий перехід до іншої метрики і використання медіан замість середніх є спробою перейти від параметричного до непараметричного критерію. Тобто класична оцінка відхилення (1)–(2) також ставиться під сумнів.

Питання впливу обсягу експериментального матеріалу на вибір критеріїв виявлення аномальних значень є надважливим. В випадку сукупностей величезних обсягів задача визначення аномальних значень є досить складною через ресурсний чинник, тому останнім часом для таких вибірок застосовують робастні методи: викиди залишаються у сукупності, однак їхній вплив максимально нівелюється. З іншого боку, чи не одним з найчастіших питань дискусій є проблема вибірки малого розміру, її статистичні оцінки, коректність застосування існуючих непараметричних тестів в тому чи іншому випадку. Роботи, в яких обговорюються і пропонуються методи і підходи до визначення оптимального обсягу вибірки, щоб вона була репрезентативною [13], містять суперечливі аргументи і доведення, а часом і помилкові [14,15]. Разом з тим залишається ціла низка галузей, в яких з різних причин неможливо збільшити обсяг експериментального матеріалу – медицина, психологія, біофізика, дослідження в ядерній енергетиці і таке інше. Проте залишається необхідність зрозуміти, описати і визначити залежності між чинниками, побудувати прогноз, т. і.

Для вибірки з кількістю спостережень $N \leq 8$ застосовується методи хроматографічного відокремлення, зокрема критерій Діксона (Q-критерій) розподілу даних експерименту, а в випадку вибірки з $N \leq 6$ критерій Граббса ідентифікує не викиди, як викиди, тобто приводить до похибки першого роду (α -похибка). Як було зазначено вище, гарантувати нормальність розподілу даних і похибок вимірювань в більшості випадків практично неможливо.

В ситуаціях з неможливістю припущення про нормальність вибіркового розподілу, при матеріально-технічних, часових та фінансових обмеженнях при зборі даних, в випадку не випадкової вибірки, вибірки малого обсягу або сукупності з викидами, які не можна видалити, застосовуються непараметричні тести виявлення промахів вимірювань U-тест Манна-Уїтні, критерії Вілкоксона, Крускала-Уоліса і т.д. [16–19].

Розглянемо застосування статистичних критеріїв та критеріїв інтервальної статистики для розв'язання задачі виявлення аномальних значень, і порівняємо результати.

Актуальною задачею в дослідженні властивостей металів ядерної чистоти є визначення залежності твердості гафнію по Брінеллю від домішок газів. Проведемо обробку вибірки зашумлених експериментальних даних з фіксованим значенням основного аргументу (відсотковий ваговий вміст кисню) та багаторазовими вимірюваннями твердості по Брінеллю злитків гафнію. Результати вимірювань даної характеристики гафнієвих зразків представлені на рисунку 1. Дана вибірка містить 24 спостереження:

$\{x_i, i = \overline{1, 24}\} = \{178, 176, 187, 184, 180, 178, 182, 185, 179, 187, 182, 174, 179, 177, 180, 178, 178, 183, 176, 198, 195, 187, 196, 195\}$ НВ.

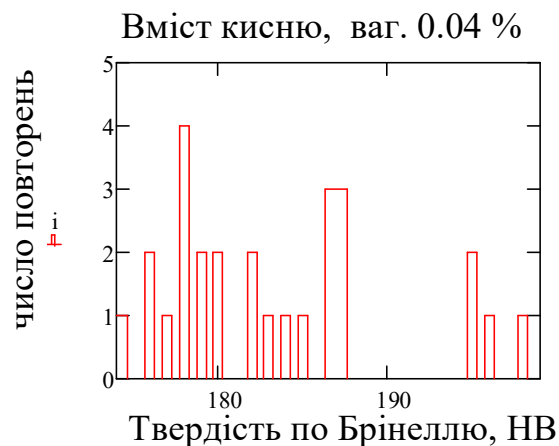


Рисунок 1 – Результати вимірювань твердості по Брінеллю злитків гафнію при вмісті кисню 0,04 ваг. %.

Значення вмісту кисню достовірно відоме, а вимірюванні значення твердості містять як звичайні інструментальні похибки вимірювань, так і хаотичні викривлення невідомої величини. Ймовірнісні характеристики обох компонентів похибки невідомі або не підпорядковуються закону нормального розподілу; обмеження на максимальне значення сумарних похибок також є невизначеним.

Неможливо гарантувати, що спостереження проводяться з однаковою точністю. Тому, згідно зі стандартом [20], стандартна інструментальна похибка вимірювання твердості по Брінеллю приймається рівною 4 %. Це значення допускається, якщо діапазон вимірюваної твердості по Брінеллю становить (200 ± 50) НВ. Таким чином, обмежуються лише цією похибкою вимірювань і не враховують інші можливі складові сумарної похибки вимірювання [21].

В інтервальній статистиці базовим поняттям є множина невизначеності виміру, яка гарантовано містить істинне значення спостереження. Множини невизначеності мають наступний вигляд:

$$H_i = [\underline{h}_i; \overline{h}_i] = [x_i - \Delta_i; x_i + \Delta_i], \quad (3)$$

де Δ_i – абсолютна похибка в i -му спостереженні.

Використовуючи межі множин невизначеності H_i , розраховуються допоміжні екстремальні значення (для усіх спостережень $i = \overline{1, N}$):

$$h_{\min} = \max_i \underline{h}_i, h_{\max} = \min_i \overline{h}_i. \quad (4)$$

Для даної вибірки отримуємо інтервали :

$$\begin{aligned} H_1 &= [170.88; 185.12] = H_6 = H_{16} = H_{17}, H_2 = [168.96; 183.04] = H_{19}, \\ H_3 &= [179.52; 194.48] = H_{10} = H_{22}, H_4 = [176.64; 191.36], H_5 = H_{15} = [172.8; 187.2], \\ H_7 &= [174.72; 189.28] = H_{11}, H_8 = [177.6; 192.4], H_9 = [171.84; 186.16] = H_{13}, \\ H_{12} &= [167.04; 180.96], H_{14} = [169.92; 184.08], H_{18} = [175.68; 190.32], \\ H_{20} &= [190.08; 205.92], H_{21} = [187.2; 202.8] = H_{24}, H_{23} = [188.16; 203.84]. \end{aligned}$$

Екстремальні значення $h_{\min}, h_{\max}$:

$$h_{\min} = 190.08, h_{\max} = 180.96.$$

Очевидно, що $h_{\min} > h_{\max}$ – тому вибірка вважається неузгодженою. Слід провести додатковий аналіз даної сукупності.

Процедура пошуку одиночних викидів:

1) Обчислення множини попарних перетинів усіх множин H_i і H_j :

$$P_{ij} = H_i \cap H_j, i = \overline{1, N-1}, j = \overline{i+1, N}, \quad (5)$$

причому межі множини P_{ij} :

$$\underline{p}_{ij} = \max\{\underline{h}_i, \underline{h}_j\}, \overline{p}_{ij} = \min\{\overline{h}_i, \overline{h}_j\}. \quad (6)$$

2) Якщо $\underline{p}_{ij} > \overline{p}_{ij}$, тоді $P_{ij} = \emptyset$ і значення атрибута сумісності $S_{ij} = 0$;

Якщо $\underline{p}_{ij} \leq \overline{p}_{ij}$, тоді $P_{ij} \neq \emptyset$ і значення атрибута сумісності $S_{ij} = 1$.

3) Побудова таблиці сумісності

$$\{S_{ij}, S_{ij} = S_{ji}, i = \overline{1, N-1}, j = \overline{i+1, N}\}. \quad (7)$$

4) Номер спостереження i є одиночним викидом і видаляється з вибірки, якщо відповідний рядок у таблиці сумісності складається з нулів. Поодинокі викиди видаляються, а вибірка усикається.

Далі за допомогою таблиці сумісності визначаємо сумісну підвибірку максимальної довжини.

Обирається рядок m (або рядки $m_1, \dots, m_l$) з максимальною кількістю одиниць, що містяться в стовпцях $j_1, \dots, j_k$. Обирається перший із стовпців j_1 з одиничним значенням атрибута сумісності. Усі елементи стовпців переглядаються зверху вниз. Елементи з $S_{ij} = 0$ вилучаються з послідовності $j_1, \dots, j_k$. Операція повторюється для всіх стовпців. Отримуємо набір номерів спостережень, які складають сумісну підвибірку максимальної довжини.

Матриця сумісності для упорядкованої вибірки представлено в таблиці 1.

Тривіальні комірки, розташовані на головній діагоналі таблиці, не беруть участі в аналізі сумісності вибірки.

i/j	1	2	...	20	21	22	23	24
1		1	...	0	0	1	0	0
2	1		...	0	0	1	0	0
...	...	...		...	...	...	...	...
20	0	0	...		1	1	1	1
21	0	0	...	1		1	1	1
22	1	1	...	1	1		1	1
23	0	0	...	1	1	1		1
24	0	0	...	1	1	1	1	

Таблиця 1 – Атрибути попарної сумісності множин невизначеності

Використовуючи представлений алгоритм, визначимо, що спостереження 20, 21, 22, 23, 24 є викидами. Побудуємо усічену вибірку. Для даної вибірки:

$$h_{\min} = 179.52, h_{\max} = 180.96,$$

тобто $h_{\min} \leq h_{\max}$ і вибірка сумісна.

Інформаційна множина: $I = [179.52, 180.96]$.

Оцінка центрального фактичної значення

$$x_c = \frac{h_{\min} + h_{\max}}{2}, \quad x_c = 180.24. \quad (8)$$

Максимальне фактичне відхилення

$$\Delta x = \frac{h_{\max} - h_{\min}}{2}, \quad \Delta x = 0.72. \quad (9)$$

Застосуємо стандартні статистичні методи для обробки вибірки. Такий підхід є формальним, оскільки ймовірнісні характеристики похибки спостереження невідомі.

Середнє вибіркове

$$\bar{x} = \frac{\sum_i x_i}{N} = 183.083. \quad (10)$$

Стандартне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\left[\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \right] / [N-1]} = 6,921. \quad (11)$$

Вибіркове середнє не належить до інформаційної множини. Стандартне відхилення майже у 96 разів перевищує максимальне фактичне відхилення.

Формальне застосування 3 σ -критерія для виявлення викидів приводить до висновку, що вибірка не містить значущих викидів: усі значення належать інтервалу

$$[\bar{x} - 3\sigma; \bar{x} + 3\sigma] = [162.32; 203.85].$$

Критерій 2 σ дозволяє зробити висновок, що експеримент номер три є викидом:

$$198 \notin [\bar{x} - 2\sigma; \bar{x} + 2\sigma] = [169.24; 196.25].$$

Інший спосіб визначення викидів — це використання медіани вибірки. Медіана — проста й найбільш надійна оцінка параметра зсуву для вибірки з невеликою кількістю аномальних даних. Для таких даних вибіркове середнє може дати незадовільний результат. Викидами можна вважати точки, що знаходяться за межами

$$[\text{med} - 3 \cdot \sigma(\text{med}); \text{med} + 3 \cdot \sigma(\text{med})], \quad (12)$$

де med — медіана, $\sigma(\text{med})$ — середня квадратична похибка для медіани. Застосування 3 σ -критерію для медіани вибірки $\text{med} = 181$ та середньоквадратичної похибки для медіани $\sigma(\text{med}) = 7.241$ не виявляє викидів у вибірці. Інтервал (12) містить всі точки вибірки: $[159.28; 202.72]$.

Згідно 2 σ -критерію, викидом є значення 198 НВ; за 3 σ -критерієм викидів немає; 3 σ -критерій застосований для медіани також не визначає викидів.

Критерій Львовського виявлення викидів є параметричним критерієм і передбачає, що вибірка має нормальний розподіл і середньою за обсягом. «Підозріле» спостереження вважається викидом і виключається з вибірки, якщо для табличного значення критерію Львовського KrL вірне співвідношення:

$$KrL < \frac{|\tilde{x} - \bar{x}|}{\sqrt{D} \cdot \sqrt{n-1/n}}, \quad (13)$$

де D — дисперсія.

Обчислимо критерій Львовського для «підозрілих» значень 195, 196, 198 НВ (13): табличне значення $KrL(24) = 2.7$, і

$$2.7 > \frac{|195 - 183.083|}{6.776 \cdot \sqrt{23/24}} = 1.797, \quad 2.7 > \frac{|196 - 183.083|}{6.776 \cdot \sqrt{23/24}} = 1.947, \quad 2.7 > \frac{|198 - 183.083|}{6.776 \cdot \sqrt{23/24}} = 2.249.$$

Таким чином, дані точки не є викидами згідно критерію Львовського.

Одним з поширених методів аналізу викидів є правило «скриньки з вусами» (box-and-whiskers-plot), який послуговується поняттями медіани вибірки, Q_1 і Q_3 квартилями, міжквартильним розмахом $R = Q_3 - Q_1$.

Очевидно, що для вибірки значень твердості зразків гафнію в випадку, що досліджується:

$$Q_1 = 178, \quad Q_3 = 187, \quad R = 9.$$

Відповідно, до м'яких (підозрілих) викидів належатимуть точки 195, 196, 198, тому що вони знаходяться поза інтервалом

$$[\text{med} - 1.5 \cdot R; \text{med} + 1.5 \cdot R] = [167.23; 194.77];$$

Екстремальних викидів, які обов'язково мають бути видаленими з вибірки, немає, бо точок поза проміжком

$$[\text{med} - 3 \cdot R; \text{med} + 3 \cdot R] = [154; 208]$$

не виявлено.

Даний критерій підтверджує результати інтервальної статистики.

Висновки. Використання методів інтервального аналізу є альтернативним гнучким інструментарієм для отримання більш точного та повного аналізу експериментальних даних за наявності неповної інформації, шумів, викидів вимірювань, що характерно при проведенні досліджень процесів, властивостей матеріалів, систем в різноманітних галузях. Підхід інтервальної статистики може бути використаний для підтвердження результатів застосування різних критеріїв або в таких ситуаціях, коли їх застосування некоректне. Виявлення викидів методами інтервального аналізу не є чутливим до обсягу вибірки, до кількості аномальних значень, до того, чи розподіл спостерігаємої величини є нормальним.

Література

1. Wada K. Outliers in official statistics // Japanese Journal of Statistics and Data Science. 2020. No 3. pp. 669–691. <https://doi.org/10.1007/s42081-020-00091-y>.
2. Barnett V., Lewis, T. Outliers in statistical data. John Wiley & Sons Chichester, West Sussex. 1994. 584 p.
3. Barnett V. Outliers in sample surveys // Journal of applied statistics. 1994. No 21. pp. 381–389.
4. Orellana M., Cedillo P. Outlier Detection with Data Mining Techniques and Statistical Methods // International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS). 2019. <https://doi.org/10.1109/INCISCOS49368.2019.00017>.
5. Peirce B. Criterion for the rejection of doubtful observations // Astronomical Jour-

nal II. 1852. No 45. pp. 161–163.

6. Bertarelli G., Chambers R., Salvati N. Outlier robust small domain estimation via bias correction and robust bootstrapping // *Statistical Methods and Applications*, Springer, Societa Italiana di Statistica. 2021. Vol. 30(1). pp. 331–357. <http://doi.org/10.1007/s10260-020-00514-w>.

7. Лихач О.Ю., Угрюмов М.Л., Шевченко Д.О., Шматков С.І. Методи виявлення викидів в пробних вибірках при управлінні процесами в системах за станом // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, серія «Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління»*. 2022. Вип. 53. С.2 1–40. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2022-53-03>.

8. Yefimov O.V., Potanina T.V. Determination of the dependence of the NPP unit power on the steam temperature at the outlet of the superheater separator first stage with an uncertainty of information // *Problems of Atomic Science and Technology*. 2022. No. 137(1). pp. 169–172.

9. NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, date. 2012.

10. Moore R.E., Kearfott R.B., Cloud M.J. Introduction to interval analysis. Philadelphia. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009. 223 p.

11. Na S., Xumin L., Yong G. Research on k-means Clustering Algorithm: An Improved k-means Clustering Algorithm // *Third International Symposium on Intelligent Information Technology and Security Informatics*. 2010. IEEE. Jian, China. pp. 63–67. doi: 10.1109/IITSI.2010.74.

12. Helm M. Use this clustering method if you have many outliers. The k-medians variation for robust outcomes // *Towards Data Science*. 2021.

<https://towardsdatascience.com/use-this-clustering-method-if-you-have-many-outliers-5c99b4cd380d>

13. Олефір В., Боснюк В. Розрахунок обсягу вибірки як наріжний камінь планування наукового дослідження // *Вісник Львівського Університету. Серія Психологічні науки*. 2021. № 9. С. 186–195. doi:10.30970/PS.2021.9.24.

14. Horton R. Offline: What is medicine's 5 sigma? // *The Lancet*. 2015. Vol. 385, Issue 9976. p. 1380. doi:10.1016/S0140-6736(15)60696-1.

15. Reiczigel J., Rozsa L. Do small samples underestimate mean abundance? It depends on what type of bias we consider // *Folia Parasitologica*. 2017. No. 64:025. doi:10.14411/fp.2017.025.

16. Hollander Myles, Wolfe Douglas A., Chicken E. Nonparametric Statistical Methods // John Wiley & Sons. 2014. Inc. ISBN 978-0-470-38737-5. pp. 39–41.

17. Zhexue H. Extensions to the k-Means Algorithm for Clustering Large Data Sets with Categorical Values // *Data Mining and Knowledge Discovery*. Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands. 1998. No. 2. pp. 283–304.

18. Patrick A. Regoniel. Nonparametric Tests: 8 Important Considerations in Using Them // *Research-based Articles*. 2020. <https://simplyeducate.me/2020/10/11/nonparametric-tests/>.

19. Winter J.C.F., Dodou D. Five-Point Likert Items: t test versus Mann-Whitney-Wilcoxon // *Practical Assessment. Research and Evaluation*. 2010. No. 15(11).

20. Національний Стандарт України. Матеріали металеві. Випробування на твердість по Брінеллю. Частина 2. Перевірення та калібрування випробувальних машин (ДСТУ EN ISO 6506-2:2019, IDT). Київ, 2019. 25 с.

21. Настанова державного підприємства «НАЕК «Енергоатом»»: Методика ви-

значення механічних властивостей металу за результатами випробувань на твердість. Київ, 2016, 33 с.

Bibliography (transliterated)

1. Wada K. Outliers in official statistics // Japanese Journal of Statistics and Data Science. 2020. No 3. pp. 669–691. <https://doi.org/10.1007/s42081-020-00091-y>.
2. Barnett V., Lewis, T. Outliers in statistical data. John Wiley & Sons Chichester, West Sussex. 1994. 584 p.
3. Barnett V. Outliers in sample surveys // Journal of applied statistics. 1994. No 21. pp. 381–389.
4. Orellana M., Cedillo P. Outlier Detection with Data Mining Techniques and Statistical Methods // International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS). 2019. <https://doi.org/10.1109/INCISCOS49368.2019.00017>.
5. Peirce B. Criterion for the rejection of doubtful observations // Astronomical Journal II. 1852. No 45. pp. 161–163.
6. Bertarelli G., Chambers R., Salvati N. Outlier robust small domain estimation via bias correction and robust bootstrapping // Statistical Methods and Applications, Springer, Societa Italiana di Statistica/ 2021. Vol. 30(1). pp. 331–357. <http://doi.org/10.1007/s10260-020-00514-w>.
7. Lykhach O.Yu., Ugryumov M.L., Shevchenko D.O., Shmatkov S.I. Metody vyivlennia vykydiv v probnykh vybirkakh pry upravlinni protsesamy v systemakh za stanom // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V.N. Karazyna, seriia «Matematychni modeliuvannia. Informatsiini tekhnologii. Avtomatyzovani systemy upravlinnia». 2022. No. 53. pp.21- 40. <https://doi.org/10.26565/2304-6201-2022-53-03>.
8. Yefimov O.V., Potanina T.V. Determination of the dependence of the NPP unit power on the steam temperature at the outlet of the superheater separator first stage with an uncertainty of information // Problems of Atomic Science and Technology. 2022. No. 137(1). pp. 169–172.
9. NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, date. 2012.
10. Moore R.E., Kearfott R.B., Cloud M.J. Introduction to interval analysis. Philadelphia. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009. 223 p.
11. Na S., Xumin L., Yong G. Research on k-means Clustering Algorithm: An Improved k-means Clustering Algorithm // Third International Symposium on Intelligent Information Technology and Security Informatics. 2010. Jian, China. pp. 63–67. doi: 10.1109/IITSI.2010.74.
12. Helm M. Use this clustering method if you have many outliers. The k-medians variation for robust outcomes // Towards Data Science. 2021. <https://towardsdatascience.com/use-this-clustering-method-if-you-have-many-outliers-5c99b4cd380d>
13. Olefir V., Bosniuk V. Rozrakhunok obsiahu vybirky yak narizhnyi kamin planuvannia naukovoho doslidzhennia // Visnyk Lvivskoho Universytetu. Seriia Psykholohichni nauky. 2021. Issue 9. pp. 186–195. [doi:10.30970/PS.2021.9.24](https://doi.org/10.30970/PS.2021.9.24).
14. Horton R. Offline: What is medicine’s 5 sigma? // The Lancet. 2015. Vol. 385, Issue 9976. p. 1380. [doi:10.1016/S0140-6736\(15\)60696-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60696-1).
15. Reiczigel J., Rozsa L. Do small samples underestimate mean abundance? It depends on what type of bias we consider // Folia Parasitologica. 2017. No. 64:025.

doi:10.14411/fp.2017.025.

16. Hollander Myles, Wolfe Douglas A., Chicken E. Nonparametric Statistical Methods // John Wiley & Sons. 2014. Inc. ISBN 978-0-470-38737-5. pp. 39–41.

17. Zhexue H. Extensions to the k-Means Algorithm for Clustering Large Data Sets with Categorical Values // Data Mining and Knowledge Discovery. Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands. 1998. No. 2. pp. 283–304.

18. Patrick A. Regoniel. Nonparametric Tests: 8 Important Considerations in Using Them // Research-based Articles. 2020. <https://simplyeducate.me/2020/10/11/nonparametric-tests/>.

19. Winter J.C.F., Dodou D. Five-Point Likert Items: t test versus Mann-Whitney-Wilcoxon // Practical Assessment. Research and Evaluation. 2010. No. 15(11).

20. Natsionalnyi Standart Ukrainy. Materialy metalevi. Vyprobuvannya na tverdist po Brinelliu. Chastyna 2. Perevirennia ta kalibruvannya vyprobuvalnykh mashyn (DSTU EN ISO 6506-2:2019, IDT). Kyiv, 2019. 25 p.

21. Nastanova derzhavnoho pidpriemstva «NAEK «Enerhoatom»»: Metodyka vyznachennia mekhanichnykh vlastyvostei metalu za rezultatamy vyprobuvan na tverdist. Kyiv, 2016. 33 p.

УДК 519.65, 51-72

Потаніна Т.В., к.техн.н., доцент, Михайленко І.В., к.пед.н., старш. викладач

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИБІРОК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ НА НАЯВНІСТЬ ВИКИДІВ: ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ

Задача виявлення викидів (промахів, аномальних значень, результатів, що різко виділяються, результатів, що відірвалися) є однією з найактуальніших, складних і неоднозначних при обробці експериментального матеріалу. Такими значеннями вважаються результати експерименту, які знаходяться аномально далеко від інших точок із серії паралельних спостережень.

Джерелом викидів нерідко є похибки вимірювань. Серед таких є невірний запис результатів експерименту, можливе неправильне кодування даних, некоректне проведення експерименту тощо. Грубі похибки виникають при різкій зміні умов проведення дослідження, несправностях в роботі апаратури й т.і.

Одночасно викиди можуть свідчити про неочікувану, неординарну поведінку вимірюваної величини, яка є проявом ще не з'ясованої властивості процесу. І тому потрібен аналіз з застосуванням надійного математичного інструментарія.

Методи виявлення викидів різноманітні і численні. Параметричні тести мають більшу чутливість до розміру вибірки і до ймовірного розподілу значень сукупності. Більш гнучкими є непараметричні тести, які можна застосувати, якщо не можна зробити припущення про нормальність вибіркової сукупності або обсяг вибірки малий; такі критерії дають кращий результат в асиметричних розподілах, тому що застосовують медіану замість середнього; їх можна застосовувати для порядкових або номінальних даних, а також в ситуації аберрантного значення викиду.

Методи інтервального аналізу, зокрема інтервальної статистики, є альтернативним гнучким інструментарієм для отримання більш точного та повного аналізу експериментальних даних за наявності неповної інформації, шумів, викидів вимірювань, наявності аномальних та аберрантних точок.

Проведено порівняння результатів застосування параметричних критеріїв (2σ -критерій, 3σ -критерій, Львовського) та непараметричних критеріїв (правило «скриньки з вусами») виявлення викидів, а також обчислення методами інтервальної статистики. Один з викидів був визначений таким непараметричним критерієм, 3σ -критерієм і процедурою виявлення поодинокого викиду інтервальними методами. Ще два значення були виявлені, як підозрілі викиди за допомогою правила «скринька з вусами» і алгоритму розпізнання з інтервальної статистики.

Методи виявлення викидів методами інтервального аналізу є не менш ефективними, ніж застосування непараметричних тестів.

Ключові слова: промахи вимірювань (викиди), мала вибірка, нестатистичні похибки вимірювань, невизначеність, 2σ -критерій, 3σ -критерій, параметричні та непараметричні критерії виявлення викидів, інтервальний аналіз, узгоджена та неузгоджена вибірки, інтервальна статистика.

Потанина Т.В., к.техн.н., доцент, Михайленко И.В., к.пед.н., старш. преподаватель

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫБОРОК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ НА НАЛИЧИЕ ВЫБРОСОВ: СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ

Задача обнаружения выбросов (промахов, аномальных значений, резко выделяющихся результатов, оторвавшихся результатов) является одной из наиболее актуальных, сложных и неоднозначных при обработке экспериментального материала. Такими значениями считаются результаты эксперимента, находящиеся аномально далеко от других точек в серии параллельных наблюдений.

Источником выбросов часто являются ошибки и погрешности измерений. Среди таких – неверная запись результатов эксперимента, возможное неправильное кодирование данных, некорректное проведение эксперимента и др. Грубые ошибки возникают при резком изменении условий проведения исследования, неисправностях в работе аппаратуры и т.д.

В тоже время выбросы могут свидетельствовать о неожиданном, неординарном поведении измеряемой величины, которое является проявлением еще не выясненных свойств процесса. И потому необходим анализ с применением надежного математического инструментария.

Методы обнаружения выбросов разнообразны и многочисленны. Параметрические тесты имеют большую чувствительность к размеру выборки и к вероятностному распределению значений совокупности. Более гибкими являются непараметрические тесты, которые можно применять, если нельзя предположить нормальность выборочной совокупности или объем выборки мал; такие критерии дают лучший результат в ассиметричных распределениях, поскольку используют медиану вместо среднего; их можно применять для порядковых или номинальных данных, а также в ситуации аберрантного значения выброса.

Методы интервального анализа, в частности интервальной статистики – альтернативный гибкий инструментарий для получения более точного и полного анализа экспериментальных данных в случае неполноты информации, шумов, выбросов измерений, наличия аномальных и аберрантных точек.

Проведено сравнение результатов применения параметрических критериев (2σ -критерий, 3σ -критерий, Львовского) и непараметрических критериев (правило «ящика с усами») обнаружения выбросов, а также вычисления методами интервальной статис-

тики. Один из выбросов был выявлен непараметрическим критерием, 3σ -критерием и процедурой обнаружения одиночных выбросов интервальными методами. Еще два значения были определены, как подозрительные выбросы с помощью правила «ящик с усами» и алгоритма распознавания из интервальной статистики.

Методы обнаружения выбросов методами интервального анализа являются не менее эффективными, чем проверка непараметрическими тестами.

Ключевые слова: промахи измерений (выбросы), малая выборка, нестатистические ошибки измерений, неопределенность, 2σ -критерий, 3σ -критерий, параметрические и непараметрические критерии, интервальный анализ, согласованная и несогласованная выборки, интервальная статистика.

Potanina T.V., Mykhaylenko I.V.

EXAMINATION OF EXPERIMENTAL DATA SAMPLES FOR THE PRESENCE OF OUTLIERS: COMPARISON OF METHODS

The task of detecting outliers (misses, abnormalous values, results that stand out sharply, results that have come off) is one of the most relevant, complex and ambiguous in the experimental material processing. Such values are the experiment results, which are abnormally far from other points from a series of parallel observations.

The source of emissions is often measurement errors. Among these are incorrect recording of the experiment results, possible incorrect coding of data, incorrect conduct of the experiment, etc. Gross errors occur in the event of a sudden change in the conditions of conducting the research, malfunctions in the operation of the equipment, etc.

At the same time, outliers may indicate an unexpected, extraordinary behavior of the measured value – a yet-to-be-explained property process manifestation. And that's why an analysis using reliable mathematical tools is needed.

The methods of detecting emissions are diverse and numerous. Parametric tests are more sensitive to the sample size and to the population values probability distribution. Non-parametric tests are more flexible and can be applied if the non-normal distribution of the sample or the sample size is small; such criteria give a better result in asymmetric distributions, because they use the median instead of the mean; they can be applied to ordinal or nominal data, as well as in the situation of an aberrant outlier value.

Interval analysis methods, in particular interval statistics, are an alternative flexible toolkit for obtaining a more accurate and complete analysis of experimental data in the incomplete information, noise presence, measurement outliers, and the presence of abnormalous and aberrant points.

A comparison of the results of the application of parametric criteria (2σ -criterion, 3σ -criterion, Lvovskyi) and non-parametric criteria (the box-and-whiskers-plot) for detecting emissions, as well as calculation using interval statistics methods, was carried out. One of the outliers was determined by the non-parametric criterion, the 3σ -criterion and the procedure for detecting a single outlier using interval methods. Two values are suspicious outliers using the box-whisker rule and the interval statistics recognition algorithm.

The methods of detecting outliers using interval analysis methods are no less effective than the use of non-parametric tests.

Keywords: outliers, small sample, non statistical measurement errors, uncertainty, two sigmas criterion, three sigmas criterion, parametric and non-parametric detection outliers criterions, interval analysis, compatible and incompatible sample, interval statistics.

«ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ»

Щоквартальний науково-практичний журнал

Редколегією до опублікування приймаються статті, написані **державною мовою**, за наступними науковими напрямками:

- ✓ *енергетика та енергозбереження; енерготехнологія енергоємних галузей промисловості; нетрадиційна енергетика; ресурсозбереження; енергетика та навколишнє середовище;*
- ✓ *тепловикористовуючі установки; моделювання процесів промислового обладнання; процеси та апарати різних галузей промисловості (хімічної, харчової, медичної та ін.);*
- ✓ *застосування ЕОМ в технологічних процесах; автоматизовані системи управління та обробки інформації;*
- ✓ *тепло- і масообмінні процеси та обладнання спеціальної техніки; теплові процеси та кріогенне устаткування медичного призначення;*
- ✓ *електроенергетика; обладнання електростанцій і передача електроенергії;*
- ✓ *економічні аспекти енергетики й промислової екології; комерційний інжиніринг, реінжиніринг та технологічний менеджмент, а також інших напрямкам на межі різних галузей знань.*

Матеріали до опублікування в кожний наступний номер приймаються до 20 числа останнього місяця попереднього кварталу. Рукописи авторам не повертаються.

Електронна версія статті повинна бути підготовлена у редакторі текстів MS Word for Windows версій 97, XP, 2000 або 2003. Сама стаття повинна бути роздрукована у 2-х примірниках. До матеріалів повинні додаватися експертний висновок про можливість опублікування матеріалів у відкритій пресі та рецензія доктора наук за профілем статті.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ:

Розмір бумаги А4 (210х297 мм); ліве і праве поля – 25 мм, верхнє і нижнє – 30 мм; рекомендований шрифт Times New Roman Сут; розмір шрифту – 12; міжрядковий інтервал – 1.

ПОРЯДОК РОЗМІЩЕННЯ МАТЕРІАЛУ:

- безпосередньо під верхньою межею зліва **ВЕЛИКИМИ ЛІТЕРАМИ** друкується УДК статті;
- пропустивши один рядок, по центру друкуються прізвища та ініціали авторів із зазначенням наукових ступенів та посади;
- пропустивши один рядок, по центру напівжирним шрифтом **ВЕЛИКИМИ ЛІТЕРАМИ** друкується назва статті;
- нижче, пропустив одну строку, друкується назва організації, де працюють

автори статті;

- після розміщуються ключові слова;
- пропускається один рядок і з абзацу (1,25 см) друкується основний текст, відформатований по ширині сторінки;
- перед і після формул і рівнянь має бути відстань в один порожній рядок до тексту з інтервалом 1;
- формули і рівняння повинні бути вирівняні по центру;
- номери формул і рівнянь повинні бути вирівняні по правому краю;
- розмір шрифту формул і рівнянь для основного тексту – 12 пт.;
- рисунки, схеми і графіки повинні бути виконані в чорно-білому зображенні;
- пропустивши один рядок, приводиться список літератури, оформлений у відповідності до вимог ДСТУ. Згідно вимогам МОН України кількість літературних джерел повинна бути не менш за 12.
- далі розміщується транслітерація списку літератури;
- у кінці статті на трьох мовах (українська, російська та англійська) повинні бути надруковані УДК, автори, назва і анотація. Мінімальна кількість символів кожної анотації – 1800 знаків.

Окремо в редколегію подаються відомості про авторів з їх адресами Email.

СТАТТІ, ОФОРМЛЕНІ НЕ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ, РЕДКОЛЕГІЯ НЕ РОЗГЛЯДАЄ ТА НЕ РОЗМІЩУЄ У ЖУРНАЛІ

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ

Україна, 61002,
Харків-2, вул. Кирпичова, 2, НТУ
«ХП», редколегія журналу «Інтегровані
технології та енергозбереження»,
технічний редактор: к.техн.н., професор
Горбунов К.О.

Тел. (057) 707-69-58.

Факс (057) 720-22-95.

Email: gor.kona2016@gmail.com

НА ЖУРНАЛ ВІДКРИТО ПЕРЕДПЛАТА В ПОШТОВИХ ВІДДІЛЕННЯХ УКРАЇНИ

Індекс видання: **22786**

Індекс видання: **46738** – тільки для До-
нецька та Луганська

«ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ»

Щоквартальний науково-практичний журнал

Редколегією до опублікування приймаються статті, написані **державною мовою**, за наступними науковими напрямками:

- ✓ *енергетика та енергозбереження; енерготехнологія енергоємних галузей промисловості; нетрадиційна енергетика; ресурсозбереження; енергетика та навколишнє середовище;*
- ✓ *тепловикористовуючі установки; моделювання процесів промислового обладнання; процеси та апарати різних галузей промисловості (хімічної, харчової, медичної та ін.);*
- ✓ *застосування ЕОМ в технологічних процесах; автоматизовані системи управління та обробки інформації;*
- ✓ *тепло- і масообмінні процеси та обладнання спеціальної техніки; теплові процеси та кріогенне устаткування медичного призначення;*
- ✓ *електроенергетика; обладнання електростанцій і передача електроенергії;*
- ✓ *економічні аспекти енергетики й промислової екології; комерційний інжиніринг, реінжиніринг та технологічний менеджмент,*
а також інших напрямкам на межі різних галузей знань.

Матеріали до опублікування в кожний наступний номер приймаються до 20 числа останнього місяця попереднього кварталу. Рукописи авторам не повертаються.

Електронна версія статті повинна бути підготовлена у редакторі текстів MS Word for Windows версій 97, XP, 2000 або 2003. Сама стаття повинна бути роздрукована у 2-х примірниках. До матеріалів повинні додаватися експертний висновок про можливість опублікування матеріалів у відкритій пресі та рецензія доктора наук за профілем статті.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТТІ:

Розмір бумаги А4 (210х297 мм); ліве і праве поля – 25 мм, верхнє і нижнє – 30 мм; рекомендований шрифт Times New Roman Сут; розмір шрифту – 12; міжрядковий інтервал – 1.

ПОРЯДОК РОЗМІЩЕННЯ МАТЕРІАЛУ:

- безпосередньо під верхньою межею зліва **ВЕЛИКИМИ ЛІТЕРАМИ** друкується УДК статті;
- пропустивши один рядок, по центру друкуються прізвища та ініціали авторів із зазначенням наукових ступенів та посади;
- пропустивши один рядок, по центру напівжирним шрифтом **ВЕЛИКИМИ ЛІТЕРАМИ** друкується назва статті;
- нижче, пропустив одну строку, друкується назва організації, де працюють

автори статті;

- після розміщуються ключові слова;
- пропускається один рядок і з абзацу (1,25 см) друкується основний текст, відформатований по ширині сторінки;
- перед і після формул і рівнянь має бути відстань в один порожній рядок до тексту з інтервалом 1;
- формули і рівняння повинні бути вирівняні по центру;
- номери формул і рівнянь повинні бути вирівняні по правому краю;
- розмір шрифту формул і рівнянь для основного тексту – 12 пт.;
- рисунки, схеми і графіки повинні бути виконані в чорно-білому зображенні;
- пропустивши один рядок, приводиться список літератури, оформлений у відповідності до вимог ДСТУ. Згідно вимогам МОН України кількість літературних джерел повинна бути не менш за 12.
- далі розміщується транслітерація списку літератури;
- у кінці статті на трьох мовах (українська, російська та англійська) повинні бути надруковані УДК, автори, назва і анотація. Мінімальна кількість символів кожної анотації – 1800 знаків.

Окремо в редколегію подаються відомості про авторів з їх адресами Email.

СТАТТІ, ОФОРМЛЕНІ НЕ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ, РЕДКОЛЕГІЯ НЕ РОЗГЛЯДАЄ ТА НЕ РОЗМІЩУЄ У ЖУРНАЛІ

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ

Україна, 61002,
Харків-2, вул. Кирпичова, 2, НТУ
«ХП», редколегія журналу «Інтегровані
технології та енергозбереження»,
технічний редактор: к.техн.н., професор
Горбунов К.О.

Тел. (057) 707-69-58.

Факс (057) 720-22-95.

Email: gor.kona2016@gmail.com

НА ЖУРНАЛ ВІДКРИТО ПЕРЕДПЛАТА В ПОШТОВИХ ВІДДІЛЕННЯХ УК- РАЇНИ

Індекс видання: **22786**
Індекс видання: **46738** – тільки для До-
нецька та Луганська

Наукове видання

Щоквартальний науково-практичний журнал

ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

3'2023

Технічний редактор *К. О. Горбунов*

Підп. до друку 18.09.2023 р. Формат 60 × 84 1/8. Папір офсетний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 5,6. Наклад 300 пр. 1-й з-д 1–30.
Зам. № . Ціна договірна.

Видавець і виготовлювач
Видавничий центр НТУ «ХП»,
вул. Кирпичова, 2, м. Харків-2, 61002

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.