

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ТЕХНОЛОГІЇ
ТА
ІНЖИНІРИНГ**

№ 5, 2021

DOI:10.30857/2786-5371.2021.5

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

Київ 2021

Засновником видання «Технології та інжиніринг» є

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Науковий фаховий журнал є правонаступником видання «Вісник Київського національного університету технологій та дизайну», який у свою чергу був правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР).

№ 5, 2021

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія КВ №24822–14762 ПР від 19.04.2021р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 993 від 24.07.2002 р.

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України.

Наказ МОН України від 29.06.2021 №735 (додаток 3). Категорія Б.

Технічні науки. Спеціальності: 122, 131, 133, 151, 161, 132, 182, 141, 144, 171 (2018, 2020).

ISSN 2786-5371 print

ISSN 2786-538X online

Журнал зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre, Париж, Франція)

Журнал реферується та індексується у наступних міжнародних базах даних: Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

Засновник і видавець:

Київський національний університет технологій та дизайну
Україна, 01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2

Головний редактор:

Панасюк І.В., д.т.н., професор

Заступник

головного редактора:

Злотенко Б. М., д.т.н., професор

**Відповідальний
секретар:**

Кривонос О. О.

Тематична спрямованість журналу «Технології та інжиніринг»: Мехатронні системи. Ресурсозбереження та енергоефективність. Матеріалознавство індустрії моди, технологій виробництва текстилю, одягу та взуття. Хімічні та біофармацевтичні технології

Видання орієнтоване на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, а також науково-практичних працівників і фахівців відповідних галузей промисловості.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

01011, м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, корп. 1, к. 1-331а

тел./факс: +38 (044) 256-84-27

e-mail: vistnuk@knutd.edu.ua; <http://vistnyk.knutd.edu.ua/>

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 3 від 27.10.2021 р.

Матеріали друкуються мовою оригіналу. Відповідальність за переклад, достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей. Передруки та переклади статей дозволяються лише за згодою автора (-ів) та редакції.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

**TECHNOLOGIES
AND
ENGINEERING**

Issue 5, 2021

DOI:10.30857/2786-5371.2021.5

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

Kyiv 2021

The owner of «Technologies and Engineering» is

KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

This Scientific Specialized Journal is the successor of the edition "Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design", which in turn was the legal successor of the edition «Proceedings of Higher educational establishments. Technology of the light industry», which was published by Kiev Technological Institute of Light Industry from March, 1958 (USSR).

№ 5, 2021

The state registration of print media is KB № 24822-14762 ПП, originating date 19.04.2021

License for publishing activity is ДК №993, originating date 24.07.2002

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine: №735 dated 29.06.2021 “Technologies and Engineering” in the list of professional publications: cat. B, technical specialties – 122, 131, 133, 151, 161, 132, 182, 141, 144, 171 (from 2018, 2020).

ISSN 2786-5371 print
ISSN 2786-538X online

The journal is registered in ISSN International Centre, Paris.

The journal is abstracted and indexed by Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

Owner and Publisher:

Kyiv National University of Technologies and Design
Ukraine, 01011, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str.

Editor-in- Chief:

Igor V. Panasiuk - Dr., professor

Deputy Editor:

Borys M. Zlotenko - Dr., professor

Executive secretary:

Olena O. Kryvonos

Scientific fields: Mechatronic systems. Energy Efficiency and Resource-saving Technologies. Material science in the textile, clothing and footwear manufacturing industries. Chemical and biopharmaceutical technologies

The journal is aimed at a wide range of researchers, professors, students, and graduate students and to bring the results of scientific research carried out under a variety of intellectual traditions and organizations of procedures to the attention of a specialized readership.

EDITORIAL OFFICE:

01011, Ukraine, Kyiv, 2, Nemyrovych-Danchenka, Str., office 1-331a

Tel./fax: +38 (044) 256-84-27

e-mail: vistnuk@knuvd.edu.ua; <http://vistnyk.knuvd.edu.ua/>

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 3, originating date 27.10.2021.

Articles are published in the original language. The authors are responsible for the translation, authenticity of facts, quotations, proper names, geographic names, names of enterprises and other information.

The Editorial Office's and author's consent is needed prior to republishing or translating the articles.

**ВІДОМОСТІ ПРО ЧЛЕНІВ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ
наукового фахового журналу
«ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ»
"TECHNOLOGIES AND ENGINEERING"**

Панасюк Ігор Васильович – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту інженерії та інформаційних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *головний редактор*.

Злотенко Борис Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник головного редактора*.

**СЕКЦІЯ: МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ
ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ**

Шведчикова Ірина Олексіївна – доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*.

Осипенко Володимир Васильович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*.

Білоус Інна Юріївна – кандидат технічних наук, кафедра теплотехніки та енергозбереження, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Вельченко Ганна Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроприводу та автоматизації промислових установок і технологічних комплексів, Білоруський національний технічний університет (Мінськ), Білорусь.

Денисюк Сергій Петрович – доктор технічних наук, професор, директор інституту енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.

Жуйков Валерій Якович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри промислової електроніки, декан факультету електроніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.

Мілих Володимир Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричних машин, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна.

Стаценко Володимир Володимирович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Суходуб Ірина Олегівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплотехніки та енергозбереження, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Хоменко Володимир Григорович – доктор технічних наук, доцент кафедри електрохімічної енергетики та хімії, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Чорний Олексій Петрович – доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового інституту електричної інженерії та інформаційних технологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Україна.

Шавьолкін Олександр Олексійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та електромеханіки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Atef Saleh Almashakbeh, Doctor of Engineering The Department of Electrical Engineering, Tafila Technical University, Aţ Ţafilah, Jordan.

Jasim Mohmed, Docent, PhD The Department of Electrical Power Engineering Techniques, Al-Furat Al-Awsat Technical University – Al-Musssaib Technical college, Kufa, Iraq.

**СЕКЦІЯ: МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ**

Березненко Сергій Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології та конструювання швейних виробів, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*.

Галавська Людмила Євгенівна – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*.

Арабулі Світлана Іванівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Гараніна Ольга Олександрівна – доктор технічних наук, завідувачка кафедри конструювання і технології виробів із шкіри, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Кизимчук Олена Павлівна – доктор технічних наук, професор кафедри технології та дизайну текстильних матеріалів, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Очеретна Лариса – PhD, доцент, кафедра оцінки текстилю, Люберецький технічний університет, Чеська республіка.

Славінська Алла Людвигівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології та конструювання швейних виробів, Хмельницький національний університет, Україна.

Хімичева Анна Іванівна – доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та вимірювальної техніки, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

СЕКЦІЯ: ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Барсуков В'ячеслав Зіновійович – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри електрохімічної енергетики та хімії, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*.

Плаван Вікторія Петрівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології, технології полімерів та хімічних волокон, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*.

Баула Ольга Петрівна – кандидат хімічних наук, професор, декан факультету хімічних та біофармацевтичних технологій, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Бессарабов Володимир Іванович, кандидат хімічних наук, доцент кафедри промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Будаш Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор кафедри прикладної екології, технології полімерів та хімічних волокон, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Данилкович Анатолій Григорович – доктор технічних наук, професор кафедри біотехнології, шкіри та хутра, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Картель Микола Тимофійович – доктор хімічних наук, професор, академік НАН України.

Касьян Едуард Євгенович – доктор технічних наук, професор кафедри біотехнології, шкіри та хутра, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Кузьмінський Євген Васильович – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри екобіотехнології та біоенергетики Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.

Левицький Володимир Євстахович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

Савченко Богдан Михайлович – доктор технічних наук, професор кафедри прикладної екології, технології полімерів та хімічних волокон, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Скорохода Володимир Йосипович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Україна.

Страшний Владислав Володимирович – доктор фармацевтичних наук, професор, завідувач кафедри промислової фармації, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Jaskula Marian – professor, Faculty of Chemistry, Jagiellonian University, Cracow, Poland.

Valeika Virgilijus – professor, PhD, Department of Physical and Inorganic Chemistry, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania.

ЗМІСТ

МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ

- 1. ШВЕДЧИКОВА І. О., РОМАНЧЕНКО Ю. А.,
МЕЛКОНОВА І. В.**
ОЦІНЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ 9
ПОЛЮСНОЇ СИСТЕМИ МАТРИЦІ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО СЕПАРАТОРА

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

- 2. ВАН ХУНЦЗЮАНЬ, ХУ ВЕЙ, САЛІЙ О. О.**
ВПЛИВ РОЗМІРУ ПОР ТА МОРФОЛОГІЇ 18
МЕЗОПОРИСТОГО КРЕМНІЮ НА ВИВІЛЬНЕННЯ
МЕТОПРОЛОЛУ ТАРТРАТУ
- 3. ДОРОШЕНКО Т. Ф., КАЧАЛОВА Н. М.**
ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СТЕРИЧНО 26
УСКЛАДНЕНИХ АЦЕНАФТЕНОВИХ СПОЛУК У
СКЛАДІ ПРОТИКОРОЗІЙНОЇ КОМПЗИЦІЇ
- 4. ОЛЕКСІЄНКО О. Ю., ПОПОВА В. В.**
ОЦІНКА ЯКОСТІ ПИТНИХ ВОД З РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ 37
ВОДОПОСТАЧАННЯ

TABLE OF CONTENTS

MECHATRONIC SYSTEMS. RESOURCE SAVING & ENERGY EFFICIENCY

1. **SHVEDCHKOVA I. O., ROMANCHENKO J. A.,
MELKONOVA I. V.**
ESTIMATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE POLE SYSTEM OF MATRIX OF ELECTROMAGNETIC SEPARATOR 9

CHEMICAL AND BIOPHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

2. **WANG HONGJUAN, HU WEI, SALIY O. O.**
PORE SIZE EFFECT AND MORPHOLOGY OF MESOPOROUS SILICA ON METOPROLOL TARTRATE RELEASE 18
3. **DOROSHENKO T. F., KACHALOVA N. M.**
EXPEDIENCE OF APPLICATION OF STERICALLY COMPLICATED ACENAPHTHENE COMPOUNDS IN THE COMPOSITION OF ANTI-CORROSION COMPOSITION 26
4. **OLEKSIENKO O. Yu., POPOVA V. V.**
ASSESSMENT OF QUALITY OF DRINKING WATER FROM DIFFERENT SOURCES OF WATER SUPPLY 37

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.5.1>

УДК 621.318

¹ШВЕДЧИКОВА І. О., ²РОМАНЧЕНКО Ю. А., ²МЕЛКОНОВА І. В.

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

²Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Северодонецьк, Україна

ОЦІНЮВАННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОЛЮСНОЇ СИСТЕМИ МАТРИЦІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО СЕПАРАТОРА

Мета. Вибір співвідношень геометричних розмірів системи полюсів матриці поліградієнтного електромагнітного сепаратора для підвищення продуктивності при збереженні надійності вилучення феромагнітних домішок з сипкого матеріалу.

Методика. Для розв'язання динамічної задачі щодо руху феромагнітного тіла в робочому проміжку полюсної системи матриці поліградієнтного сепаратора під впливом зовнішнього магнітного поля використані відомі методи розв'язання лінійних неоднорідних диференціальних рівнянь. Для підтвердження достовірності отриманих результатів задіяний метод експериментальних досліджень.

Результати. Здійснено постановку динамічної задачі про рух феромагнітного тіла в робочому проміжку пластинчастої полюсної системи матриці поліградієнтного сепаратора. Отримано параметричне рівняння траєкторії вилучення феромагнітного тіла та розрахункове співвідношення, що пов'язує між собою основні геометричні розміри системи полюсів матриці. Результати розрахунків підтверджено експериментальним шляхом та практикою експлуатації відомих магнітносепаруючих пристроїв.

Наукова новизна. Набув подальшого розвитку математичний опис робочого процесу поліградієнтного електромагнітного сепаратора з пластинчастою матрицею, що дозволило отримати аналітичний вираз, який враховує основні геометричні розміри робочого простору матриці сепаратора.

Практична значимість. Врахування отриманої аналітичної залежності між довжиною зони сепарації та повітряним проміжком, який характеризує товщину шару сепарованого матеріалу, через яку необхідно пройти феромагнітному тілу в процесі сепарації, дозволить забезпечити необхідну чистоту та продуктивність сепарації.

Ключові слова: електромагнітний сепаратор; матриця з феромагнітними елементами; продуктивність; ефективність вилучення феромагнітних включень.

Вступ. Найбільш ефективними пристроями для вилучення дрібнодисперсних феромагнітних включень (розміром до 1 мм) з сипких матеріалів та їх сумішей є поліградієнтні магнітні сепаратори [1, 2]. Робочий процес в таких пристроях здійснюється шляхом верхньої подачі матеріалу до матриці, заповненої феромагнітними елементами, за рахунок яких відбувається викривлення магнітного поля, що підвищує градієнт його напруженості, а отже і силу вилучення [3].

Ефективність роботи магнітосепаруючих пристроїв є функцією продуктивності (тобто кількості сипкого матеріалу, що проходить в одиницю часу через робочу зону) і надійності вилучення, що залежить від створюваної магнітним полем сепаратора сили впливу на феромагнітні включення. Продуктивність поліградієнтних матричних сепараторів визначається розмірами прохідного перетину – міжполюсного робочого простору матриці в горизонтальній площині (тобто в площині, перпендикулярній вертикальному напрямку проходження через робочу зону матеріалу, що сепарується), та швидкістю переміщення сипкого матеріалу. Підвищення продуктивності за рахунок збільшення розмірів прохідного перетину матриці може призводити до ослаблення магнітних сил та погіршенню здатності сепаратора до вилучення феромагнітних домішок. В свою чергу, підвищення швидкості рівнозначне зменшенню часу перебування сипкого матеріалу в магнітному полі матриці. З

огляду на це, вибір прохідного перетину та довжини матриці не може бути довільним. Тому актуальною задачею є вибір таких співвідношень геометричних параметрів полюсних систем матриць поліградієнтних сепараторів, за яких забезпечуються необхідна продуктивність сепарації при високій надійності вилучення феромагнітних включень.

Аналіз попередніх досліджень. Останнім часом в існуючих публікаціях приділяється достатня увага дослідженню впливу геометричних розмірів та структурних параметрів (форми, взаємного розташування) феромагнітних елементів матриць поліградієнтних сепараторів на розподіл магнітного поля та, відповідно, на силу вилучення магнітних домішок. Так, в роботі [4] представлена удосконалена матриця, стрижні якої виконані з гвинтовою різьбою, що забезпечує більш високий градієнт магнітного поля на виступах різьби. Було визначено оптимальну відстань між рівновіддаленими виступами різьби, а також оптимальний проміжок між сусідніми стрижневими елементами, при яких ефективність очищення буде максимальною. В [5] відзначено, що магнітна матриця є найважливішим конструктивним елементом сепаратора, а метод поліградієнтної магнітної сепарації ефективний для вилучення або фільтрації дрібних і слабомагнітних частинок. Матеріал, геометрія, розміри і розташування елементів матриці можуть значно впливати на градієнт і розподіл магнітного поля. В роботі [5] показано, що створюваний градієнт магнітного поля в просторі матриці обернено пропорційний діаметру елемента матриці. Зі збільшенням діаметра матричного елемента область сильного магнітного поля збільшується, а градієнт магнітного поля зменшується, і навпаки.

У статті [6] розроблено нову конструкцію магнітного сепаратора з феромагнітною мембраною та досліджено розподіл поля в залежності від товщини мембрани. Моделювання магнітного поля і експериментальні результати демонструють кращу ефективність вилучення феромагнітних домішок для мембран, які мають більшу товщину. У [7] представлено комбіновану стрижневу матрицю, що складається зі стрижневих елементів різного діаметру. З використанням методу аналізу матриці зрізів і теоретичного аналізу виявлено, що ця стрижнева матриця забезпечує більш високе вилучення магнітних частинок в порівнянні із матрицями, що заповнені стрижнями однакового діаметру.

У роботі [8] оптимізовано магнітну матрицю з урахуванням характеристик магнітного розподілу і проникності немагнітних компонентів. За допомогою програмного забезпечення COMSOL Multiphysics було змодельовано розподіл поля всередині матриці методом скінченних елементів. В якості оптимальної орієнтації решітки матриці було визначено поперечне ромбоєдричне розташування. Висока ефективність матриці підтверджена експериментальними дослідженнями.

Низка публікацій присвячена експериментальним дослідженням ефективності магнітної сепарації в залежності від швидкості подачі матеріалу і розмірів робочої зони. В [9] представлений високоградієнтний магнітний сепаратор, в якому для забезпечення високоградієнтного магнітного поля і відділення магнітних часток від немагнітного середовища використовуються плоскі і ґратчасті пластини. Для більш ефективного вилучення магнітних часток були оптимізовані експериментальним шляхом дві найбільш важливі експериментальні змінні: швидкість потоку і відстань між магнітами. У статті [10] досліджувалась ефективність сепарації при різних прикладених магнітних полях та різних швидкостях подачі речовини. Авторами було встановлено, що ефективність вилучення збільшується зі зменшенням швидкості потоку подачі. У роботі [11] досліджена ефективність магнітного сепаратора при зміні швидкості потоку. За допомогою обчислювального експерименту встановлено, що збільшення швидкості подачі речовини певною мірою підвищує ефективність поділу, але надмірне збільшення швидкості буде перешкоджати потоку і зменшувати напруженість та градієнт напруженості магнітного поля.

Отже, на сьогодні в переважній більшості публікацій (наприклад, в роботах [4-8]). досліджується вплив конструктивних елементів матриць поліградієнтних сепараторів на розподіл напруженості та градієнту напруженості робочого магнітного поля. У той самий час будь-яке конструктивне рішення задачі інтенсифікації магнітного поля сепаратора вимагає при практичній реалізації вибору певних співвідношень геометричних розмірів полюсної системи матриці, які забезпечують не тільки необхідну чистоту, але й продуктивність сепарації. Як показано в [9-11], в даний час ця задача вирішується переважно експериментальним шляхом під час конструктивних вдосконалень існуючих типів магнітних сепараторів. Аналітичні методи розв'язання зазначеної задачі розроблені недостатньо.

Постановка завдання. Метою роботи є вибір співвідношень основних геометричних розмірів системи полюсів матриці поліградієнтного електромагнітного сепаратора, за яких забезпечується необхідна продуктивність сепарації та висока надійність вилучення феромагнітних домішок з сипкого матеріалу.

Результати дослідження. Як зазначено вище, для очищення сипких матеріалів від випадкових феромагнітних домішок широке застосування знаходять магнітосепаруючі пристрої, одним з поширених типів яких є поліградієнтні магнітні сепаратори матричного типу з верхньою подачею сипкого матеріалу в робочу зону. Схема магнітної сепарації сипких матеріалів з верхньою подачею показана на рис. 1, де магнітну силу впливу на феромагнітні включення позначено як \vec{F}_p . Один із варіантів конструктивної інтенсифікації магнітного поля, що широко застосовується на практиці, полягає в установці в робочій зоні (матриці) феромагнітних пластин, як це схематично показано на рис. 2.

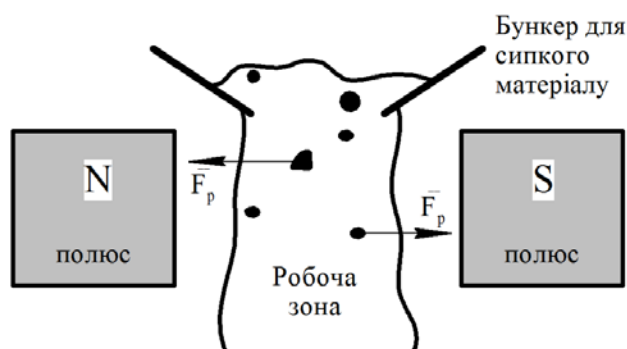


Рис. 1. Схема магнітної сепарації сипких матеріалів з верхньою подачею

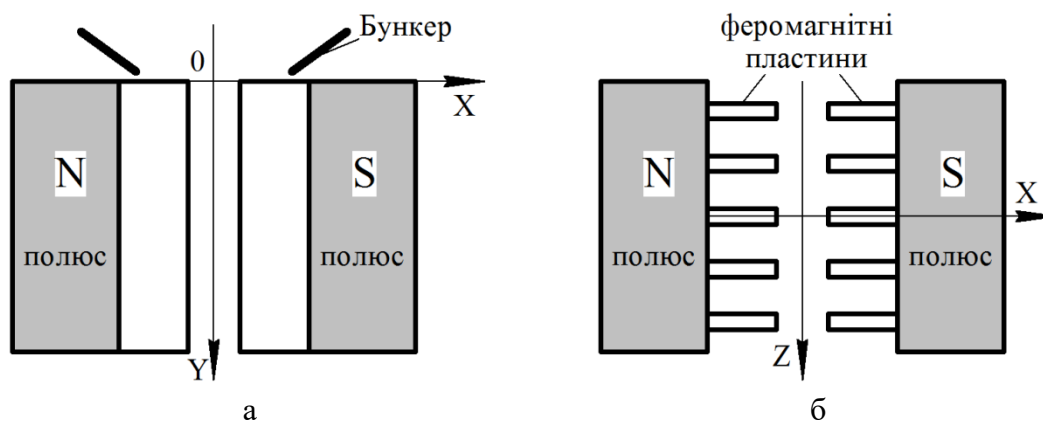


Рис. 2. Робоча зона магнітного сепаратора з полюсною системою:
а) вид збоку; б) вид зверху

При заданій продуктивності основною вимогою до робочих характеристик магнітних сепараторів є створення умов, що забезпечують певний рівень сил магнітного поля, достатній для переміщення феромагнітних включень до поверхні полюсів за час просипання через робочу зону матеріалу, що сепарується. Для вирішення цієї задачі обмежимося розглядом двох сусідніх пар пластин-полюсів з огляду на їх періодичність, як показано на рис. 3.

При сепарації сипких матеріалів найгірші умови вилучення, очевидно, мають місце для тих феромагнітних тіл, які потрапили в точки O_1 та O_2 (рис. 3). Ці точки найбільш віддалені від поверхонь полюсів, а також є точками нульової сили вилучення магнітного поля в силу геометричної та магнітної симетрії.

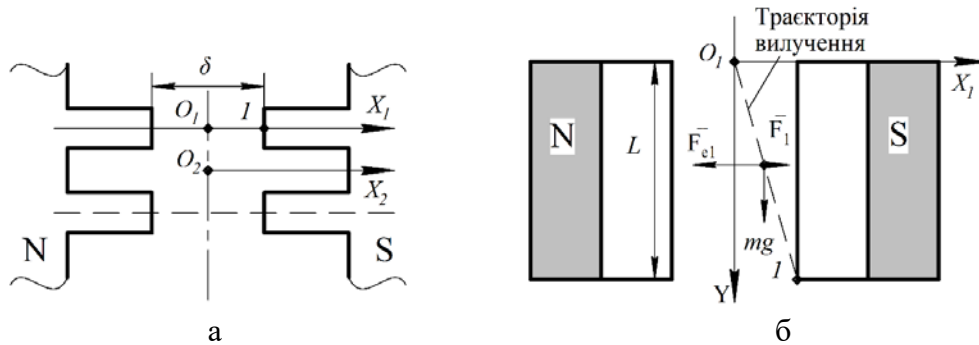


Рис. 3. Схема магнітної сепарації: а) вид зверху, б) вид збоку

Розглянемо феромагнітне тіло, що починає свій рух до полюсів з точки O_1 (рис. 3). Випадковий зсув феромагнітної частки з цієї точки, наприклад, в напрямку осі X_1 (рис. 3, б) призведе до появи силового впливу на неї з боку магнітного поля. По мірі просування частки до полюса магнітна сила буде зростати до деякого максимального значення F_m у поверхні полюса. Для подальших розрахунків приймемо, що в цілому рух феромагнітної частки з точки

O_1 в напрямку осі X_1 буде визначатися деякою середньою силою $F_1 = \frac{1}{2} F_m$, постійною на всьому шляху руху феромагнітної частки в напрямку осі X_1 . При цьому сипке середовище буде чинити опір переміщенню феромагнітної частки до поверхні полюса-пластини. Для опису руху феромагнітного тіла, що вилучається, при наявності опору середовища приймемо, що сила опору F_{e1} пропорційна горизонтальній складовій швидкості V_{x1} відносного руху феромагнітного тіла в сипкому середовищі

$$F_{e1} = \gamma V_{x1}, \quad (1)$$

де γ – коефіцієнт пропорційності, що має фізичний зміст коефіцієнта опору сипкого середовища руху в ньому тіла. Наведений (на одиницю маси) коефіцієнт опору γ/m змінюється в межах $100 \dots 500 \text{ c}^{-1}$ в залежності від форми феромагнітного тіла та матеріалу сипучого середовища [12].

Рух феромагнітного тіла в робочому об'ємі сепаратора під впливом зовнішнього магнітного поля є динамічним процесом і може бути описаний наступною системою рівнянь (в проекціях на координатні осі X_1 та Y , рис. 3)

$$m \frac{dV_{x1}}{dt} + \gamma V_{x1} = \frac{1}{2} F_m, \quad (2)$$

$$m \frac{dV_y}{dt} = mg,$$

де m – маса феромагнітної частки, що вилучається; V_y – вертикальна складова швидкості відносного руху феромагнітної частки; g – прискорення вільного падіння.

Схема сил, що відповідає системі рівнянь (2), наведена на рис. 3, б, на якому також показана якісна траєкторія вилучення, яка описується цією системою рівнянь (траєкторія починається в точці O_I і закінчується в точці I на нижній кромці полюса-пластини). Траєкторія, що показана на рис. 3, б, відповідає самій крайній (нижній) траєкторії, яка відповідає умовам попадання феромагнітного тіла в процесі сепарації на поверхню полюса.

Результатом розв'язання системи рівнянь (2) є параметричне рівняння траєкторії вилучення феромагнітного тіла. При очевидних початкових умовах задачі, що вирішується ($t=0, V_{xI}=0, V_{yI}=0, X_I=0, Y=0$), рівняння траєкторії може бути записано у вигляді

$$X_1(t) = \frac{1}{2\gamma} F_m t + \frac{m}{2\gamma^2} F_m \left(e^{\frac{\gamma}{m} t} - 1 \right), \quad (3)$$

$$Y(t) = \frac{gt^2}{2}.$$

Позбавляючись в (3) від параметра t , нескладно остаточно отримати наступне рівняння траєкторії вилучення для випадку початкового розташування феромагнітного тіла в точці O_I (рис. 3)

$$X_1 = \frac{F_m}{\gamma} \sqrt{\frac{Y}{2g}} + \frac{m}{2\gamma^2} F_m \left(e^{\frac{\gamma}{m} \sqrt{\frac{2Y}{g}}} - 1 \right), \quad (4)$$

де X_1 та Y – координати траєкторії вилучення

Отримане рівняння траєкторії (4) можна спростити, якщо врахувати чисельні значення відношення γ/m і знехтувати експонентою в круглих дужках в правій частині (4),

$$X_1 = \frac{F_m}{\gamma} \sqrt{\frac{Y}{2g}} - \frac{m}{2\gamma^2} F_m. \quad (5)$$

Практична цінність рівняння (5) полягає в можливості отримання з нього співвідношення розмірів полюсної системи, яке відповідає умові потрапляння феромагнітного тіла з точки O_I в точку I (рис. 3, б). Для реалізації цієї можливості підставимо в (5) координати кінцевої точки граничної траєкторії (тобто точки I на рис. 3, б), які дорівнюють $X_1 = 0,5\delta$, $Y=L$, що після нескладних перетворень дає такий вираз

$$0,5\delta = \frac{F_m}{\gamma} \sqrt{\frac{L}{2g}} - \frac{m}{2\gamma^2} F_m. \quad (6)$$

Якщо у виразі (6) виразити магнітну силу вилучення F_m через силу тяжіння mg , ввівши їх відношення $k_1 = F_m/mg$, де k_1 – деякий параметр ($k_1 > 1$), то можна записати вираз, що зв'язує між собою два геометричні розміри розглянутої системи (рис. 3): проміжок δ між полюсами-пластинами та їх вертикальну довжину L

$$\frac{0,5}{k_1} \delta = \frac{m}{\gamma} \sqrt{\frac{gL}{2}} - \frac{1}{2} g \left(\frac{m}{\gamma} \right)^2. \quad (7)$$

Слід зазначити, що отримане співвідношення (7) зв'язує між собою розміри полюсної системи, врахування яких дозволяє забезпечити надійне вилучення феромагнітних включень з сепарованого немагнітного сипкого матеріалу.

При підстановці конкретних чисельних значень для $\gamma/m=100\dots 500 \text{ с}^{-1}$ в співвідношення (7) можна побачити, що останнім доданком у правій частині (7) можна знехтувати,

$$\frac{1}{2k_1} \delta \frac{\gamma}{m} = \sqrt{\frac{gL}{2}} \quad (8)$$

В результаті перетворень виходить квадратична залежність між довжиною L (довжиною зони сепарації) та проміжком δ , який характеризує товщину шару сепарованого матеріалу, через яку необхідно пройти феромагнітному тілу в процесі сепарації,

$$L = \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{k_1} \frac{\gamma}{m} \delta \right)^2 \quad (9)$$

Для отриманої між параметрами L та δ квадратичної залежності (9) була здійснена експериментальна перевірка на спрощеній фізичній моделі електромагнітного сепаратора (рис. 4), складеної на основі електромагніту постійного струму з П-подібним магнітопроводом 1 та закріпленими на ньому намагнічувальними котушками 2 зі знімними полюсними наконечниками 3. Для дослідження були виготовлені полюсні наконечники у вигляді наборів пластин різних розмірів. Зміна геометрії магнітної системи спрощеної фізичної моделі здійснювалась шляхом заміни полюсних наконечників та зміною величини повітряного проміжку δ . В якості пробних феромагнітних тіл були використані феромагнітні кулі діаметром 5 мм.

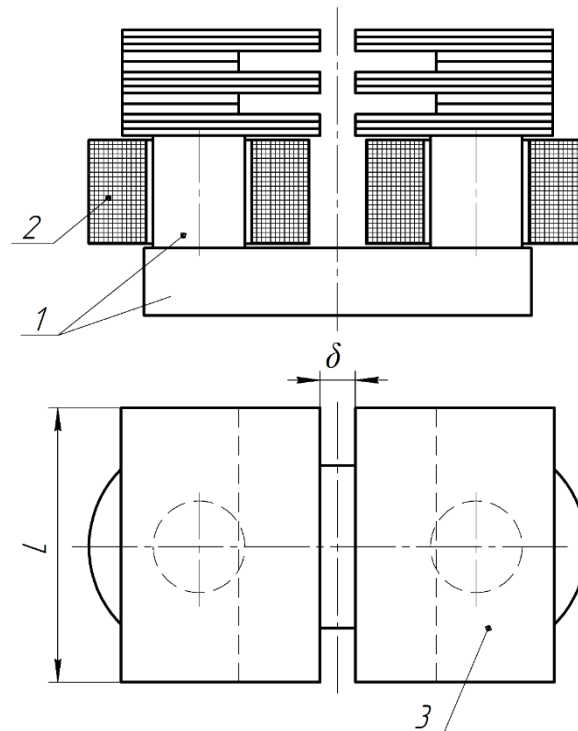


Рис.4. Спрощена фізична модель електромагнітного сепаратора

В результаті експериментальної перевірки, за умови незмінної намагнічувальної сили обмоток, була підтверджена наявність квадратичної залежності між довжиною L пластин-

полюсів та повітряним проміжком δ (рис. 4). Слід зазначити, що квадратична залежність між аналогічними параметрами є відомою для сепараторів інших типів і підтверджується практикою експлуатації та розробки цих сепараторів [12].

Висновки. Отримано аналітичний вираз, що зв'язує між собою основні розміри полюсної системи матриці електромагнітного сепаратора: довжину L зони сепарації та проміжок δ , який характеризує товщину шару сепарованого матеріалу. Врахування співвідношення між цими геометричними параметрами дозволяє при заданій продуктивності забезпечити надійне вилучення феромагнітних включень з немагнітного сипучого матеріалу, що сепарується. На спрощеній фізичній моделі електромагнітного сепаратора здійснена експериментальна перевірка отриманого виразу та підтверджена наявність квадратичної залежності між довжиною L пластин-полюсів та повітряним проміжком δ .

Практичне використання отриманого аналітичного співвідношення вимагає подальшого експериментального уточнення для конкретних типів магнітосепаруючих пристроїв, що є напрямком подальших досліджень.

References

Література

1. Soloshych, I., Shvedchykova, I. (2016). Development of systematic ranked structure of environmental protecting equipment for cleaning of gas emissions wastewater and solid waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/10, 17–23.
1. Soloshych I., Shvedchykova I. Development of systematic ranked structure of environmental protecting equipment for cleaning of gas emissions wastewater and solid waste. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. 6/10. P. 17–23. doi: 10.15587/1729-4061.2016.86462.
2. Jasim, J. M. J., Shvedchykova, I., Panasiuk, I., Romanchenko, J., Melkonova, I. (2021). Increasing the efficiency of multy-variant calculations of electromagnetic field distribution in matrix of a polygradient separator. *EUREKA: Physics and Engineering*, 5, 69–79. DOI: 10.21303/2461-4262.2021.001713.
2. Jasim J. M. J., Shvedchykova I., Panasiuk I., Romanchenko J., Melkonova I. Increasing the efficiency of multy-variant calculations of electromagnetic field distribution in matrix of a polygradient separator. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2021. No 5. P. 69–79. DOI: 10.21303/2461-4262.2021.001713.
3. Shvedchykova, I. O., Romanchenko, J. A., Melkonova, I. V. (2019). Udoskonalennia plastynchastoi matrytsi polihradiientnoho elektromahnitnoho separatora [Improvement of laminated matrices of polygradient electromagnetic separator]. *Visnyk KNUTD = Bulletin of the KNUTD*, 4 (136), 9–19 [in Ukrainian].
3. Шведчикова І. О., Романченко Ю. А., Мелконова І. В. Удосконалення пластинчастої матриці поліградієнтного електромагнітного сепаратора. *Вісник КНУТД*. 2019. № 4 (136). С. 9–19.
4. Li, W., Han, Y., Xu, R., Gong, E. (2018). A Preliminary Investigation into Separating Performance and Magnetic Field Characteristic Analysis Based on a Novel Matrix. *Minerals*, 8(3), 1–16.
4. Li W., Han Y., Xu R., Gong E. A preliminary investigation into separating performance and magnetic field characteristic analysis based on a novel matrix. *Minerals*. 2018. No 8(3). P. 1–16.
5. Ge, W., Encinas, A., Araujo, E., Song, S. (2017). Magnetic matrices used in high gradient magnetic separation (HGMS): A review. *Results in Physics*, 7, 4278–4286.
5. Ge W., Encinas A., Araujo E., Song S. Magnetic matrices used in high gradient magnetic separation (HGMS): A review. *Results in Physics*. 2017. No 7. P. 4278-4286. doi: 10.1016/j.rinp.2017.10.055.
6. Podoynitsyn, S., Sorokina, O., Kovarski, A. (2016). High-gradient magnetic separation using ferromagnetic membrane. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 397, 51–56.
6. Podoynitsyn S., Sorokina O., Kovarski A. High-gradient magnetic separation using ferromagnetic membrane. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2016. No 397. P. 51–56.
7. Chen, L. Z., Yang, R., Guan, C., Zeng, J., Shao, Y., Huang, L. (2016). Enhanced pulsating hgms of fine
7. Chen L. Z., Yang R., Guan C., Zeng J., Shao Y., Huang L. Enhanced pulsating hgms of fine

- hematite with combinative rod matrix. *Sep Sci Technol.*, 51, 564–568.
8. Pasteur, A., Tippkotter, N., Kampeis, P., Ulber, R. (2014). Optimization of high gradient magnetic separation filter units for the purification of fermentation products. *IEEE T Magn.*, 50, 1–7.
- 9 Kheshti, Z., Hassanajili, Sh., Ghajar, K. A. (2018). Study and Optimization of a High-Gradient Magnetic Separator Using Flat and Lattice Plates. *IEEE Transactions on Magnetics*, 99, 1–8.
10. Pereira, M., Rodrigues, Jr., Pinatti, D. (2002). Determination of experimental conditions for HGMS magnetic separation to reduce the inorganic contents in cellulignin catalytic fuel. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, 13(2), 1588–1591.
11. Zheng, X., Li, M., Cui, R., Guo, N. Analysis of Factors Influencing Magnetic Field's Characteristics in HGMS Based on ANSYS. 1–6.
12. Zagirnjak, M. V., Branspiz, Ju. A., Shvedchikova, I. A. (2011). Magnitnye separatory. Problemy proektirovaniia: monogr. [Magnetic separators. Design problems: monograph]. Kyiv: Tekhnika. 224 p. [in Russian].
- hematite with combinative rod matrix. *Sep Sci Technol.* 2016. No 51. P. 564–568.
8. Pasteur A., Tippkotter N., Kampeis P., Ulber R. Optimization of high gradient magnetic separation filter units for the purification of fermentation products. *IEEE T Magn.* 2014. No 50. P. 1–7.
9. Kheshti Z., Hassanajili S., Ghajar K. A. Study and Optimization of a High-Gradient Magnetic Separator Using Flat and Lattice Plates. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2018. Vol. 55. P. 1–8.
10. Pereira M., Rodrigues Jr., Pinatti D. Determination of experimental conditions for HGMS magnetic separation to reduce the inorganic contents in cellulignin catalytic fuel. *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*. 2002. No 13(2). P. 1588–1591.
11. Zheng X., Li M., Cui R., Guo N. Analysis of Factors Influencing Magnetic Field's Characteristics in HGMS Based on ANSYS. P. 1–6.
12. Загирняк М. В. Бранспиз Ю. А., Шведчикова И. А. Магнитные сепараторы. Проблемы проектирования: моногр. Киев: Техника, 2011. 224 с.

SHVEDCHIKOVA IRYNA
Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Computer Engineering
and Electromechanics
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3005-7385>
Scopus ID: [6503887672](https://orcid.org/0000-0003-3005-7385)
Researcher ID: [O-2765-2018](https://orcid.org/0000-0003-3005-7385)
E-mail: shvedchikova.io@knutd.edu.ua

ROMANCHENKO JULIA
PhD, Assistant Professor,
Department of Electrical Engineering,
Volodymyr Dahl East Ukrainian National
University, Severodonetsk, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6579-6474>
Scopus ID: [57190438710](https://orcid.org/0000-0001-6579-6474)
E-mail: romanchenko_ja@snu.edu.ua

MELKONOVA INNA
PhD, Assistant Professor,
Department of Electrical Engineering,
Volodymyr Dahl East Ukrainian National
University, Severodonetsk, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6173-1470>
Scopus ID: [57214990909](https://orcid.org/0000-0001-6173-1470)
E-mail: melkonova@snu.edu.ua

¹ШВЕДЧИКОВА И. А., ²РОМАНЧЕНКО Ю. А., ²МЕЛКОНОВА И. В.

¹ Київський національний університет технологій і дизайну

² Восточноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, Северодонецьк, Україна

**ОЦЕНИВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЮСНОЙ СИСТЕМЫ
МАТРИЦЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СЕПАРАТОРА**

Цель. Выбор соотношений геометрических размеров системы полюсов матрицы электромагнитного полиградиентного сепаратора для повышения производительности при сохранении надежности извлечения ферромагнитных примесей из сыпучего материала.

Методика. Для решения динамической задачи движения ферромагнитного тела в рабочем промежутке полюсной системы матрицы полиградиентного сепаратора под влиянием внешнего магнитного поля использованы известные методы решения линейных неоднородных дифференциальных уравнений. Для подтверждения достоверности полученных результатов задействован метод экспериментальных исследований.

Результаты. Осуществлена постановка динамической задачи движения ферромагнитного тела в рабочем промежутке пластинчатой полюсной системы матрицы полиградиентного сепаратора. Получено параметрическое уравнение траектории извлечения ферромагнитного тела и расчетное соотношение, связывающее между собой основные геометрические размеры системы полюсов матрицы. Результаты расчетов подтверждены экспериментальным путем и практикой эксплуатации известных магнитосепарирующих устройств.

Научная новизна. Получило дальнейшее развитие математическое описание рабочего процесса полиградиентного электромагнитного сепаратора с пластинчатой матрицей, что позволило получить аналитическое выражение, учитывающее основные геометрические размеры рабочего пространства матрицы сепаратора.

Практическая значимость. Учет полученной аналитической зависимости между длиной зоны сепарации и воздушным промежутком, характеризующим толщину слоя сепарированного материала, через которую должно пройти ферромагнитное тело в процессе сепарации, позволит обеспечить необходимую чистоту и продуктивность сепарации.

Ключевые слова: электромагнитный сепаратор; матрица с ферромагнитными элементами; продуктивность; эффективность извлечения ферромагнитных включений.

¹SHVEDCHUKOVA I. O., ²ROMANCHENKO J. A., ²MELKONOVA I. V.

¹Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

²Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, Severodonetsk, Ukraine

ESTIMATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF THE POLE SYSTEM OF MATRIX OF ELECTROMAGNETIC SEPARATOR

Purpose. The choice of the geometric dimensions ratios of system of matrix poles of electromagnetic polygradient separator to increase productivity with maintaining the reliability of extracting of ferromagnetic impurities from bulk material.

Methodology. To solve the dynamic problem of motion of a ferromagnetic body in the working gap of pole system of matrix of polygradient separator under the influence of an external magnetic field the known methods of solving linear inhomogeneous differential equations are used. To confirm the reliability of obtained results the method of experimental research is used.

Findings. The formulation of dynamic problem of movement of ferromagnetic body in the working gap of plate pole system of matrix of polygradient separator is carried out. Parametric equation for the trajectory of ferromagnetic body removal and a calculated relation connecting the main geometric dimensions of the system of matrix poles are obtained. The calculation results are confirmed experimentally and by operating practice of known magnetic separating devices.

Originality. The mathematical description of working process of a polygradient electromagnetic separator with a plate matrix was further developed, which made it possible to obtain an analytical expression that takes into account the main geometric dimensions of the working space of matrix of separator.

Practical value. Accounting of obtained analytical dependences between the length of separation zone and air gap, which characterizes the thickness of the separated material layer through which the ferromagnetic body must pass during the separation process, will ensure the necessary purity and productivity of separation.

Keywords: electromagnetic separator; matrix with ferromagnetic elements; productivity; removal efficiency of ferromagnetic impurities.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.5.2>

УДК 615.074.
615.221:54.03

^{1,2}WANG HONGJUAN, ^{1,2}HU WEI, ³SALIY O. O.

¹School of Chemistry and Chemical Engineering, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan, China

²Kyiv College, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan, China

³Kyiv National University of Technology and Design, Ukraine

PORE SIZE EFFECT AND MORPHOLOGY OF MESOPOROUS SILICA ON METOPROLOL TARTRATE RELEASE

Purpose. Study pore size effect and morphology of mesoporous silica on metoprolol tartrate release.

Methodology. A sample of hollow mesoporous silicon dioxide with amino-functional groups containing 12.7 wt. % metoprolol tartrate has been investigated as potential carriers for the controlled release of active substance. Studies of the release profiles of metoprolol tartrate were performed under the following conditions: dissolution medium was buffer solution with a pH of 7.4 (phosphate buffer); sampling time: from 0.5 h before 18 h. The metoprolol concentration in the liquid phase was evaluated by a UV-Vis spectrophotometer (Persee TU-190, Beijing, China) by use of quartz cuvettes with an optical path length of 1 cm at a maximum wavelength of 274 nm.

Findings. In this work we have studied mesoporous silica as possible carrier to controlled release of metoprolol tartrate, a drug used in the treatment of some diseases of the cardiovascular system. The material for research was a sample of hollow mesoporous silicon dioxide with amino-functional groups 200–400 nm in size and 20–30 nm in shell thickness. A calibrated curve to determine the amount of metoprolol was constructed by determining the absorption dependence of the concentration of metoprolol in the range from 10 to 300 ppm. The same drug concentration was obtained as calculated from the drug release test formula, which concludes that the release of metoprolol is controlled.

Originality. The controlled release of a sample of hollow spheres of mesoporous silicon dioxide filled with metoprolol tartrate was studied, which was synthesized by the School of Chemistry and Chemical Engineering, Qilu University of Technology, using a new technology, where hollow spheres of mesoporous silicon dioxide with amino groups were synthesized using CO₂ gas bubbles as templates.

Practical value. The metoprolol release amount could achieve a 50% release amounts within 1 hour and 90% within 5 hours, indicating that the synthesized mesoporous hollow sphere could achieve controlled drug release, and shows the potential of carriers with stimulus response and targeted therapy.

Keywords: hollow mesoporous silica; metoprolol tartrate; drug controlled release; dissolution.

Introduction. Hypertension is a leading cause of cardiovascular disease, stroke, and death. It affects a substantial proportion of the population worldwide, and remains underdiagnosed and undertreated [1]. The attack of hypertension usually begins in the morning when the patient wakes up from a situation of relative hypotension. Therefore, the development of controlled drug delivery is of great importance in chronopharmacology, for example, to minimize the risk of morning hypertension attack [2].

Beta-adrenoblocker metoprolol is wide used in arterial hypertension and ischemic heart disease. Metoprolol has salt such as tartrate (MPT) which is used for production of immediate release (IR) and may need to be taken multiple times per day [3].

In the last years many efforts have been devoted to the development of new formulations that can control both rate and period of drug delivery. Mesoporous silica carriers have a number of attractive features for enhancing drug dissolution, such as high surface area, large pore volume and ordered pore networks and they can also provide an adjustable drug release profile [4]. Silica matrices show high biocompatibility and these materials are biodegradable to monosilicic acid (in the long run, in the intestine) and resistance to microbial attack. Moreover, physico-chemical and textural properties of silica can be modulated ad hoc by the choice of a tailored synthetic approach [5, 6]. Mesoporous silica nanoparticles (MSNs) have been widely studied as drug carriers to get controlled

release behaviors, however, their application in sustained release of MPT is limited. The possible reason is due to MPT molecule being bulky, while normal type MSNs like MCM-41 and SBA-15 have pore sizes of only 3–6 nm [7]. Studies for the controlled release of MPT are described, which are aimed at both new approaches to synthesis and characterization of silica carriers: a one-time sol-gel approach and wetness impregnation method, where MPT is adsorbed on a silica support by wet impregnation after synthesis [5]. MSNs with MTP were synthesized through the reaction of tetraethyl orthosilicate (TEOS) in the water medium at 353 K, with introducing some cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) as porogens [8]. A novel technique ultra-fine particle process system (UPPS) was employed to develop sustained-release MPT microspheres for oral administration [9]. Scientific interest is hollow structured amino-functionalized mesoporous silica, which was usually prepared by hard templates or selective etching of solid spherical silica in a basic solution [10]. The obtained hollow mesoporous silica showed good CO₂ capture amounts and high performance in Knoevenagel reaction due to the presence of abundant amine groups. In addition, mesoporous silica hollow spheres displayed excellent performance in drug-controlled release characteristics for a number of drugs and are promising for molecular modeling of the bulky MPT molecule delivery system [7, 11].

Despite significant progress in the characterization and development of mesoporous drug delivery systems to improve drug dissolution, more research is needed such as Dissolution test to establish the kinetic profile of drug release from mesoporous silica materials, the rate of release of the active ingredient (API) from the carrier, and the possibility of re-adsorption API on the surface of mesoporous silica [12]. The interaction of dispersion medium with the drug-silica matrix and the release rate of the API are dependent on factors such as porosity, the initial drug load, the drug's solubility in the release medium and the diffusion coefficient of the drug molecules in the medium and importance of utilizing relevant and effective in vitro dissolution methods with discriminating dissolution media [13].

Statement of the problem. Aim of our work has been the investigation pore size effect and morphology of mesoporous silica on metoprolol tartrate release. The solubility of metoprolol (tartrate form) in water is >1000 (mg/ml) at 25°C (freely soluble in water). Metoprolol can quickly disperse into phosphate buffer solution system once it diffuse from nanopores of mesoporous silica. Samples of MPT drug-loaded mesoporous silica hollow spheres were previously synthesized by the School of Chemistry and Chemical Engineering, Qilu University of Technology, using the novel technology, where amino-functionalized mesoporous silica hollow spheres were synthesized by using CO₂ gaseous bubbles as templates.

Research results. The material for research was a sample of hollow mesoporous silicon dioxide with amino-functional groups 200–400 nm in size and 20–30 nm in shell thickness, containing 12.7 wt. % MPT. In addition, the robust hollow mesoporous silica could well-dispersed in aqueous systems, showing excellent drug-controlled release. The morphology of the amino-functionalized mesoporous silica with loaded MPT used in the present study is shown in Fig. 1.

Studies of the release profiles of the active substance MPT were performed under the following conditions:

- device with stirrer;
- volume of dissolution medium: 100 mL;
- dissolution temperature: 25.0 ± 0.5°C;
- dissolution medium: buffer solution with a pH of 7.4 (phosphate buffer);
- speed of rotation of the stirrer: 100 rpm;
- sampling time: 0.5 h, 1 h, 1.5 h, 2 h, 2.5 h, 3 h, 3.5 h, 4 h, 5 h, 6 h, 8 h, 10 h, 18 h.

Drug release experiments: First, 10.0 mg of MPT-loaded mesoporous silica as powder was added in 100 mL of phosphate buffer with a stirring speed at 100 rpm at certain temperature. Extraction solution of 2.0 mL was taken out at different time to monitor the concentration of metoprolol in the solution by a UV-Vis spectrophotometer (Persee TU-190, Beijing, China) by use

of quartz cuvettes with an optical path length of 1 cm at a maximum wavelength of 274 nm. After every extraction 2.0 mL fresh phosphate buffer was replenished. The reference solution was prepared by dissolving a standard sample of metoprolol tartrate in a phosphate buffer as dissolution medium.

Calibration curve of metoprolol was determined by taking absorbance vs. metoprolol concentration between 10 and 300 ppm. Figure 2 showed calibration curve of the strongest absorption peak at 274 nm to quantify the concentration of drug molecules in the solution.

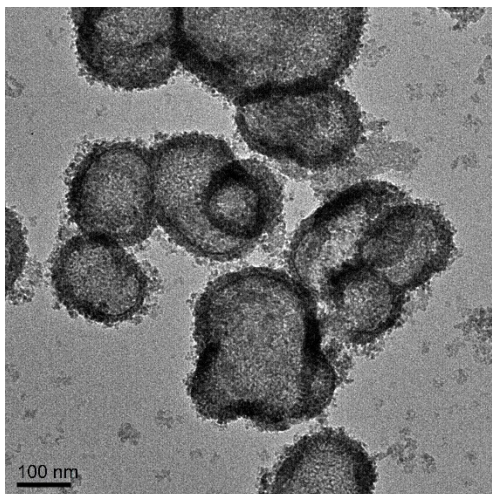


Fig. 1. TEM images of the amino-functionalized mesoporous silica with loaded MPT

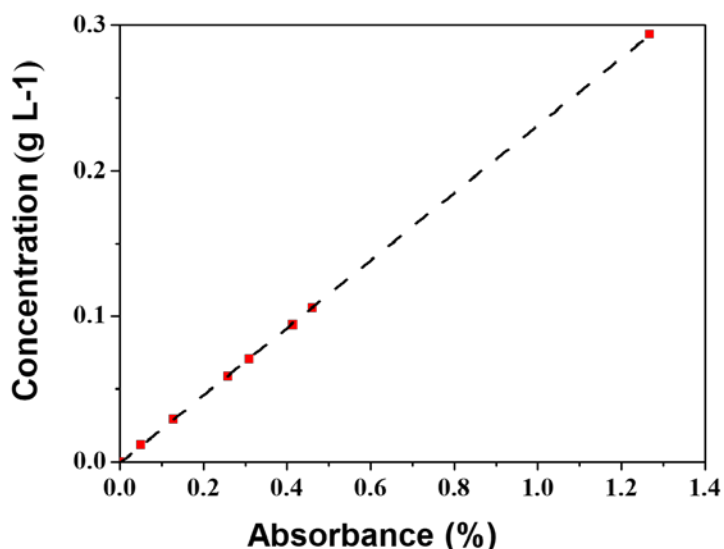


Fig. 2. Calibration curve of the absorption peak to quantify the concentration of drug MPT in the solution

The effective concentration in solution was calculated on the basis of the following equation (1) [5, 14]:

$$C_{eff} = C_{app} + \frac{v}{V} \sum_1^{t-1} C_{app} \quad (1)$$

where C_{eff} – is the corrected concentration at time, t ;
 C_{app} – is the apparent concentration at time, t ;

v – is the volume of sample taken;
 V – is the total volume of the dissolution medium.

In relation to our conditions, the formula has the form: $C_{eff} = C_{app} + 0.02 \times \sum_1^n C_{app}$.

The test was performed thrice. We have obtained the same drug concentration value of that calculated on the basis of the formula for a drug release test, studied and concludes that the release of metoprolol is controlled.

Figure 3 showed the MPB drug release curve.

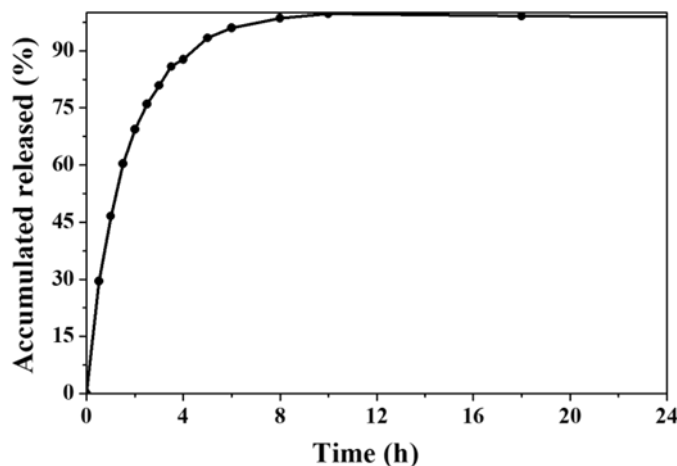


Fig. 3. Metoprolol tartrate (%) release from amino-functionalized mesoporous silica hollow spheres (n = 3)

The drug release amount could achieve a 50% release amounts within 1 hour and 90% within 5 hours, indicating that the synthesized mesoporous hollow sphere could achieve controlled drug release, which showed potential in carriers with stimulus response and targeted therapy.

Conclusions. In this work we have studied hollow mesoporous silica as possible carrier to the controlled release of metoprolol tartrate (MPT), a drug used in the treatment of several diseases of the cardiovascular system. MPT drug is a kind of bulky in molecular volume therefore porous structure and relatively large pore size was proper carrier for MPT to achieve desirable controlled release behaviors. Amino-functionalized hollow mesoporous silica with 200–400 nm in size and 20–30 nm in shell thickness was showed excellent metoprolol tartrate drug-controlled release. It is obtained the same drug metoprolol concentration value of that calculated on the basis of the formula for a drug release test, and concludes that the release of metoprolol is controlled.

References

1. Oh, G. C., Cho, H. J. (2020). Blood pressure and heart failure. *Clin Hypertens*, 26(1). <https://doi.org/10.1186/s40885-019-0132-x>.
2. Meng, Y., Liu, X. L., Liu, J., Cheng, X. L. (2017). A prospective study on the impact of heart rate control achieved with metoprolol on cardiac performance, motor function and quality of life in Chinese chronic heart failure patients. *International Journal of Cardiology*, 227: 267–271. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.11.115>.

Література

1. Oh G. C., Cho H. J. Blood pressure and heart failure. *Clin Hypertens*. 2020. 26(1). <https://doi.org/10.1186/s40885-019-0132-x>.
2. Meng Y., Liu X. L., Liu J., Cheng X. L. A prospective study on the impact of heart rate control achieved with metoprolol on cardiac performance, motor function and quality of life in Chinese chronic heart failure patients. *International Journal of Cardiology*. 2017. 227: 267–271. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2016.11.115>.

3. Leonova, M. V., Maneshina, O. A., Belousov, Iu. B. (2010). Evolution of oral drug forms of metoprolol: advantages of long acting modified release forms with modified release. *Kardiologiya*, 50(12): 79–83. PMID: 21591398.
4. Samira Jafari, Hossein Derakhshankhah, Loghman Alaei, Ali Fattahi, Behrang Shiri Varnamkhasti, Ali Akbar Saboury (2019). Mesoporous silica nanoparticles for therapeutic/diagnostic applications. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, Vol. 109, P. 1100–1111. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.10.167>.
5. Ghedini E., Signoretto M., Pinna F., Crocellà V., Bertinetti L., Cerrato G. (2010). Controlled release of metoprolol tartrate from nanoporous silica matrices. *Microporous Mesoporous Mater.*, 132: 258–267. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2010.03.005>.
6. Wu, J., Williams, G. R., Niu, S., Gao, F., Tang, R., Zhu, L. M. (2019). A Multifunctional Biodegradable Nanocomposite for Cancer Theranostics. *Advanced science* (Weinheim, Baden-Wurttemberg, Germany), 6(14): 1802001. <https://doi.org/10.1002/advs.201802001>.
7. Luo, S., Hao, J., Gao, Y., Liu, D., Cai, Q., Yang, X. (2019). Pore size effect on adsorption and release of metoprolol tartrate in mesoporous silica: Experimental and molecular simulation studies. *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications*, 100: 789–797. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.03.050>.
8. Jia, X. Y., Wu, Y. Z., Cai, Q., Yang, X. P., Liu, D. P., Lin, Y. H. (2014). Modulating Release of Metoprolol Tartrate with Nanostructured Silica Particles. *In Key Engineering Materials*, Vols. 602–603, P. 55–58. Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.602-603.55>.
9. Ying Huang, Yueyun Zhou, Jiayuan Huang, Chune Zhu, Meiwang Chen, Xin Pan, Chuanbin Wu (2015). Metoprolol tartrate sustained-release binary matrix microspheres for oral administration produced by novel ultra-fine particle processing system. *Powder Technology*, Vol. 285, P. 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.05.008>.
10. Wei Chen, Chi-An Cheng, Cosco, E. D., Shyam Ramakrishnan, Lingg, J. G. P., Bruns, O. T., Zink, J. I., Sletten, E. M. (2019). Shortwave infrared imaging with J-aggregates stabilized in hollow mesoporous silica nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*, 141: 12475–12480. <https://doi.org/10.1021/jacs.9b05195>.
3. Leonova M. V., Maneshina O. A., Belousov Iu. B. Evolution of oral drug forms of metoprolol: advantages of long acting modified release forms with modified release. *Kardiologiya*. 2010. 50(12): 79–83. PMID: 21591398.
4. Samira Jafari, Hossein Derakhshankhah, Loghman Alaei, Ali Fattahi, Behrang Shiri Varnamkhasti, Ali Akbar Saboury. Mesoporous silica nanoparticles for therapeutic/diagnostic applications. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2019. Vol. 109. P. 1100–1111. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.10.167>.
5. Ghedini E., Signoretto M., Pinna F., Crocellà V., Bertinetti L., Cerrato G. (2010). Controlled release of metoprolol tartrate from nanoporous silica matrices. *Microporous Mesoporous Mater.* 2010. 132: 258–267. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2010.03.005>.
6. Wu J., Williams G. R., Niu S., Gao F., Tang R., Zhu L. M. A Multifunctional Biodegradable Nanocomposite for Cancer Theranostics. *Advanced science* (Weinheim, Baden-Wurttemberg, Germany). 2019. 6(14). 1802001. <https://doi.org/10.1002/advs.201802001>.
7. Luo S., Hao J., Gao Y., Liu D., Cai Q., Yang X. Pore size effect on adsorption and release of metoprolol tartrate in mesoporous silica: Experimental and molecular simulation studies. *Materials science & engineering. C, Materials for biological applications*. 2019. 100: 789–797. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.03.050>.
8. Jia X. Y., Wu Y. Z., Cai Q., Yang X. P., Liu D. P., Lin Y. H. Modulating Release of Metoprolol Tartrate with Nanostructured Silica Particles. *In Key Engineering Materials*. 2014. Vols. 602–603, P. 55–58. Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.602-603.55>.
9. Ying Huang, Yueyun Zhou, Jiayuan Huang, Chune Zhu, Meiwang Chen, Xin Pan, Chuanbin Wu. Metoprolol tartrate sustained-release binary matrix microspheres for oral administration produced by novel ultra-fine particle processing system. *Powder Technology*. 2015. Vol. 285. P. 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2015.05.008>.
10. Wei Chen, Chi-An Cheng, Cosco E. D., Shyam Ramakrishnan, Lingg J. G. P., Bruns O. T., Zink J. I., Sletten E. M. Shortwave infrared imaging with J-aggregates stabilized in hollow mesoporous silica nanoparticles. *Journal of the American Chemical Society*. 2019. 141: 12475–12480. <https://doi.org/10.1021/jacs.9b05195>.

11. Zhaogang Teng, Wei Li, Yuxia Tang, Ahmed Elzatahry, Guangming Lu, Dongyuan Zhao (2019). Mesoporous Organosilica Hollow Nanoparticles: Synthesis and Applications. *Advanced Materials*, 31: 1707612. <https://doi.org/10.1002/adma.201707612>.
12. McCarthy, C. A., Ahern, R. J., Dontireddy, R., Ryan, K. B., Crean, A. M. (2016). Mesoporous silica formulation strategies for drug dissolution enhancement: a review. *Expert opinion on drug delivery*, 13(1): 93–108. <https://doi.org/10.1517/17425247.2016.1100165>.
13. Bremmell, K. E., Prestidge, C. A. (2019). Enhancing oral bioavailability of poorly soluble drugs with mesoporous silica based systems: opportunities and challenges. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, 3(45): 349–358. <https://doi.org/10.1080/03639045.2018.1542709>.
14. Siepmann, J., Siepmann, F. (2013). Mathematical modeling of drug dissolution. *International journal of pharmaceuticals*, 1(453): 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2013.04.044>.
11. Zhaogang Teng, Wei Li, Yuxia Tang, Ahmed Elzatahry, Guangming Lu, Dongyuan Zhao. Mesoporous Organosilica Hollow Nanoparticles: Synthesis and Applications. *Advanced Materials*. 2019. 31: 1707612. <https://doi.org/10.1002/adma.201707612>.
12. McCarthy C. A., Ahern R. J., Dontireddy R., Ryan K. B., Crean A. M. Mesoporous silica formulation strategies for drug dissolution enhancement: a review. *Expert opinion on drug delivery*. 2016. 13(1): 93–108. <https://doi.org/10.1517/17425247.2016.1100165>.
13. Bremmell K. E., Prestidge C. A. Enhancing oral bioavailability of poorly soluble drugs with mesoporous silica based systems: opportunities and challenges. *Drug Development and Industrial Pharmacy*. 2019. 3(45): 349–358. <https://doi.org/10.1080/03639045.2018.1542709>.
14. Siepmann J., Siepmann F. Mathematical modeling of drug dissolution. *International journal of pharmaceuticals*. 2013. 1(453): 12–24. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2013.04.044>.

WANG HONGJUAN

Master, School of Chemistry and Chemical Engineering,
Qilu University of Technology (Shandong Academy of
Sciences), Jinan, China
<https://orcid.org/0000-0002-1257-3186>
E-mail: hongjuanwang2015@163.com

HU WEI

PhD (Physical Chemistry), Professor,
School of Chemistry and Chemical Engineering, Qilu
University of Technology (Shandong Academy of
Sciences), Jinan, China
<https://orcid.org/0000-0002-7467-4783>
E-mail: weihu@qlu.edu.cn

SALIY OLENA

PhD, Associate Professor
Department of Pharmaceutical Industry,
Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-7103-2083>
Researcher ID: AAC-5721-2019
E-mail: saliy.oo@kntud.edu.ua

^{1,2}ВАН ХУНЦЗЮАНЬ, ^{1,2}ХУ ВЕЙ, ³САЛІЙ О. О.

¹Школа хімії та хімічної інженерії, Технологічний університет Цілу (Академія наук Шаньдун),
Цзінань, Китайська Народна Республіка

²Київський коледж, Технологічний університет Цілу (Академія наук Шаньдун),
Цзінань, Китайська Народна Республіка

³Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

**ВПЛИВ РОЗМІРУ ПОР ТА МОРФОЛОГІЇ МЕЗОПОРИСТОГО КРЕМНІЮ
НА ВИВІЛЬНЕННЯ МЕТОПРОЛОЛУ ТАРТРАТУ**

Мета. Вивчити вплив розміру пор та морфології мезопористого кремнезему на вивільнення метопрололу тартрату.

Методика. Зразок порожнього мезопористого діоксиду кремнію з амінофункціональними групами, що містить 12,7 мас. % метопрололу тартрату досліджено як потенційний носій для

контрольованого вивільнення активної речовини. Дослідження профілів вивільнення тартрату метопрололу проводили за таких умов: середовище розчинення - буферний розчин з рН 7,4 (фосфатний буфер); час відбору: від 0,5 год до 18 год. Концентрацію метопрололу в рідкій фазі визначали на спектрофотометрі UV-Vis (Persee TU-190, Пекин, Китай) з використанням кварцових кювет з товщиною шару 1 см при максимумі довжини хвилі 274 нм.

Результати. У цій роботі ми вивчили мезопористий діоксид кремнію як можливий носій для контрольованого вивільнення метопрололу тартрату, препарату, який використовується при лікуванні деяких захворювань серцево-судинної системи. Матеріалом для дослідження був зразок порожнього мезопористого діоксиду кремнію з розміром аміно-функціональних груп 200–400 нм і товщиною оболонки 20–30 нм. Калібровану криву для визначення кількості метопрололу будували шляхом визначення залежності абсорбції від концентрації метопрололу в діапазоні від 10 до 300 ррт. Отримано таке саме значення концентрації лікарського засобу, яке було розраховано на основі формули для тесту на вивільнення лікарського засобу, що дозволяє зробити висновок про те, що вивільнення метопрололу знаходиться є контрольованим.

Наукова новизна. Досліджено контрольоване вивільнення зразку порожніх сфер мезопористого діоксиду кремнію, заповненого метопрололу тартратом, що синтезований Школою хімії та хімічної інженерії Технологічного університету Цілу, з використанням найновітньої технології, де порожні сфери мезопористого діоксиду кремнію з аміногрупами були синтезовані з використанням бульбашок газу CO₂ у якості темплатів.

Практична значимість. Кількість вивільнення метопрололу може досягати 50% вивільнення протягом 1 години та 90% протягом 5 годин, що вказує на те, що синтезована порожниста мезопориста сфера може досягати контрольованого вивільнення лікарського засобу, і показує потенціал носіїв зі стимул-реакцією та таргетною терапією.

Ключові слова: порожній мезопористий діоксид кремнію; метопрололу тартрат; контрольоване вивільнення препарату; розчинення.

^{1,2}ВАН ХУНЦЗЮАНЬ, ^{1,2}ХУ ВЕЙ, ³САЛИЙ Е. А.

¹Школа хімії та хімічної інженерії, Технологічний університет Цілу (Академія наук Шаньдун), Цзинань, Китайська Народна Республіка

²Київський коледж, Технологічний університет Цілу (Академія наук Шаньдун), Цзинань, Китайська Народна Республіка

³Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА ПОР И МОРФОЛОГИИ МЕЗОПОРИСТОГО КРЕМНИЯ НА ВЫСВОБОЖДЕНИЕ МЕТОПРОЛОЛА ТАРТРАТА

Цель. Изучить влияние размера пор и морфологии мезопористого кремнезема на высвобождение метопролола тартрата.

Методики. Образец порого мезопористого диоксида кремния с амино-функциональными группами, содержащий 12,7 мас. % метопролола тартрата, был исследован как потенциальный носитель для контролируемого высвобождения активного вещества. Исследования профилей высвобождения тартрата метопролола проводили при следующих условиях: среда растворения – буферный раствор с рН 7,4 (фосфатный буфер); время отбора: на протяжении от 0,5 ч до 18 ч. Концентрацию метопролола в жидкой фазе определяли на спектрофотометре UV-Vis (Persee TU-190, Пекин, Китай) с использованием кварцевых кювет с толщиной слоя 1 см при максимуме длине волны 274 нм.

Результаты. В этой работе мы изучили мезопористый диоксид кремния как возможный носитель для контролируемого высвобождения метопролола тартрата, препарата, используемого при лечении некоторых заболеваний сердечно-сосудистой системы. Материалом для исследования служил образец порого мезопористого диоксида кремния с размером амино-функциональных групп 200–400 нм и толщиной оболочки 20–30 нм. Калиброванную кривую для определения количества метопролола строили путем определения зависимости абсорбции от концентрации метопролола в диапазоне от 10 до 300 ррт. Получено такое же значение концентрации лекарственного средства,

какое было рассчитано на основе формулы для теста на высвобождение лекарственного средства, что позволяет сделать вывод о том, что высвобождение метопролола контролируемое.

Научная новизна. Исследовано контролируемое высвобождение образца полых сфер из мезопористого диоксида кремния, заполненного метопролола тартратом, который синтезирован Школой химии и химической инженерии Технологического университета Цилу с использованием новейшей технологии, где полые сферы из мезопористого диоксида кремния с аминогруппами были синтезированы с использованием пузырьков газа CO_2 в качестве темплатов.

Практическая значимость. Количество высвобождения метопролола может достигать 50% высвобождения в течение 1 часа и 90% в течение 5 часов, что указывает на то, что синтезированная полая мезопористая сфера может достигать контролируемого высвобождения лекарственного средства, и показывает потенциал носителей со стимул-реакцией и таргетной терапией.

Ключевые слова: полый мезопористый диоксид кремния; метопролола тартрат; контролируемое высвобождение препарата; растворение.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.5.3>

УДК 620.197.3:
547.831.1

ДОРОШЕНКО Т. Ф., КАЧАЛОВА Н. М.

Інститут фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка
Національної академії наук України, Київ, Україна

ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СТЕРИЧНО УСКЛАДНЕНИХ АЦЕНАФТЕНОВИХ СПЛУК У СКЛАДІ ПРОТИКОРОЗІЙНОЇ КОМПОЗИЦІЇ

Мета. Синтез і дослідження впливу інгібіторного компонента – стерично ускладнених аценафтенонів сполук – на ефективність захисної композиції для попередження корозії металовиробів на період тимчасової консервації.

Методика. З поглинаючої та антраценової фракції кам'яновугільної смоли виділено коксохімічний аценафтілен, бромовання якого привело до 1,2-дибромаценафтену. При подальшому алкілюванні азинових основ 1,2-дибромаценафтену отримано низку стерично ускладнених аценафтенонів сполук. В умовах імітаційної агресивності середовища NSS досліджено (ISO 9227:2017) вплив синтезованих добавок на ефективність протикорозійної композиції. Методи дослідження: хроматографія, синтез, елементний аналіз, ІЧ-спектроскопія, корозійні іспити.

Результати. На основі мало затребуваних, доступних і недорогих компонентів коксохімічного виробництва синтезовано низку речовин з підвищеними протикорозійними властивостями – четвертинних азинових солей з аценафтеноним фрагментом. Визначено, що найбільшу стійкість до руйнівного впливу корозійного середовища NSS за результатами прискорених атмосферних корозійних випробувань продемонструвало композиційне покриття, у складі якого інгібіторна добавка – 1-(2-бром-1,2-дигідроаценафтілен-1-іл)хіноліній бромід. Показано домінуючу роль будови інгібіторної добавки на прояв антикорозійних властивостей захисної композиції. Вивчено вплив співвідношення компонентів лакофарбових покриттів на їх технологічні та протикорозійні властивості. Отримані результати дозволяють створити нову рецептуру вітчизняної конкурентноспроможної захисної композиції для попередження корозії металу на період тимчасової консервації.

Наукова новизна. Визначено роль 1,2-дибромаценафтену як перспективного алкілюючого агента при синтезі інгібіторних добавок – стерично ускладнених аценафтенонів сполук.

Практична значимість. Встановлено оптимальний вміст інгібіторних компонентів – четвертинних азинових солей з аценафтеноним фрагментом – для розробки рецептури ефективної протикорозійної композиції на період тимчасової консервації металевих виробів.

Ключові слова: коксохімічний аценафтілен; 1,2-дибромаценафтен; алкілюючий агент; захисна композиція; тимчасова консервація.

Вступ. Глобальні витрати від корозії в усьому світі, відповідно до звіту NACE International [1], астрономічні – 2,5 трильйона доларів, що еквівалентно 3,4% світового валового внутрішнього продукту. Цілком зрозуміло, наскільки масштабною [2] та витратною [3] насправді є задача подолання корозії.

З метою уникнення втрат захист металевих виробів від корозії здійснюється на всіх етапах їх життєвого циклу (міжопераційний процес, транспортування, зберігання). При цьому тимчасовий захист металовиробів займає особливе місце, оскільки покликаний захистити металеві вироби до початку їх експлуатації та може бути різної тривалості.

Наразі відома досить велика кількість засобів тимчасового захисту металовиробів від корозії [4–6]. Але їх асортимент постійно розширюється, що зумовлено змінами у виробничій та сировинній базах, корозійній агресивності середовищ, а також постійною тенденцією підвищення їх ефективності разом із зменшенням собівартості. Перед підприємствами ставляться нові сучасні вимоги, серед яких виділяють: поліфункціональність, високу захисну ефективність, легкість нанесення та розконсервації, технологічність та естетичний вигляд захисного покриття [7].

Постановка завдання. Широко відомий метод тимчасового протикорозійного захисту металевих виробів заснований на введенні інгібіторів у лакофарбові покриття [8–11]. В цьому випадку при проникненні корозійно-агресивних електролітів через лакофарбові покриття пасивуючі іони інгібіторів, відщеплюючись, завдяки гідролізу або дисоціації, запобігають корозійним процесам.

Одним із раціональних способів підвищення протикорозійної стійкості покриттів є модифікація композицій органічними інгібіторними добавками [12–14]. Для створення конкурентноспроможної протикорозійної композиції потрібно наявність як мінімум двох основних чинників: висока ефективність і низька собівартість інгібіторних компонентів. З цього погляду перспективними як об'єкти дослідження є поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ).

Пріоритетність дослідження ПАВ як інгібіторних добавок полягає у тому, що:

1) завдяки особливостям будови (наявність в молекулі гетероатомів, ароматичних кілець, які виступають активними центрами адсорбції) їм притаманні підвищені протикорозійні властивості;

2) утримуються у відходах коксохімічного виробництва та не знаходять широкого використання, тобто можливе їх раціональне застосування, значне зниження собівартості інгібіторних добавок.

Аценафтен є недорогою та доступною сировиною для хімічної промисловості, але практичне застосування його похідних, незважаючи на відносно великий вміст (13,9 та 2,09% відповідно в поглинаючій та антраценовій фракції [15]) і порівняльну легкість виділення (ректифікацією з фракцій кам'яновугільної смоли та перекристалізацією зі спирту), досі обмежується лише синтезом різних барвників та деяких полімерів. Однак, продукт його дегідрування – аценафтілен – може знайти значно ширше використання, наприклад, як сировина для синтезу ефективних інгібіторів корозії металу.

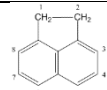
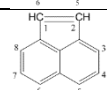
Метою роботи є синтез і дослідження впливу інгібіторного компонента – стерично ускладнених аценафтенових сполук – на ефективність захисної композиції для попередження корозії металовиробів на період тимчасової консервації.

Результати дослідження. Наразі інтерес представляє дослідження [16] продукту бромовання аценафтілену – 1,2-дибромаценафтен – з метою встановлення можливості використання останнього як алкілюючого агента при отриманні четвертинних солей з аценафтенним фрагментом – потенційних інгібіторних добавок.

Коксохімічний аценафтілен (табл. 1) виділяли із суміші ПАВ хроматографічним методом (високоєфективна рідинна хроматографічна система серії «Стаєр-Градiєнт», забезпечена специфічною до ПАВ термостатованою колонкою Envirosep PP, автосамплером Стаєр-Basic і набором детекторів).

Таблиця 1

Загальна характеристика аценафтена та аценафтілена

ПАВ	Формула	Структурна формула	Молек. маса	$T_{пл}, ^\circ C$	$P_{нас. пара} (25^\circ C), кПа$
Аценафтен	$C_{12}H_{10}$		154,20	96	$2,1 \cdot 10^{-1}$
Аценафтілен	$C_{12}H_8$		152,18	92	$3,9 \cdot 10^{-3}$

Спектрометричний вимір поглинання для аценафтілену проводили на довжині хвилі $\lambda = 230$ нм (рис. 1).

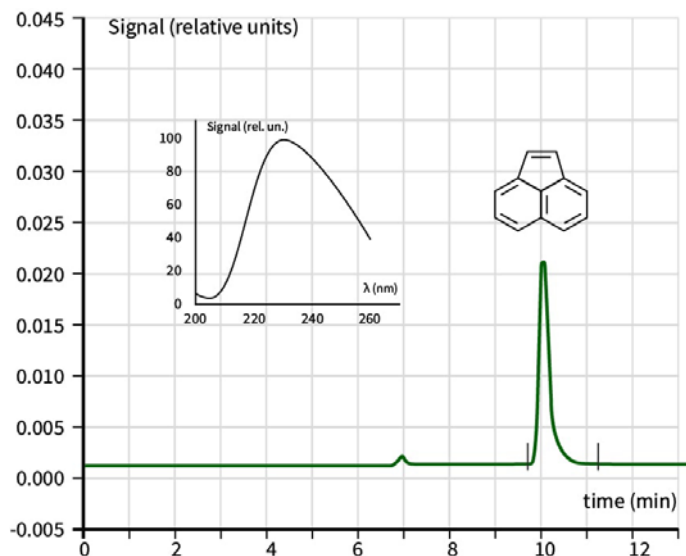


Рис. 1. Хроматограма стандартної суміші ПАВ, С = 40 мг/л

Очищений аценафтілен бромували на холоді в хлороформі [17] (рис. 2).

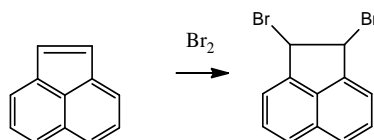


Рис. 2. Схема бромовання коксохімічного аценафтілену

Отриманий продукт реакції перекристалізували з етанолу (вихід 95%, $T_{пл.}$ 126–127⁰С). В ІЧ-спектрах (записували на спектрофотометрі Spесord 75 IR) реєстрували валентні коливання 500-650 $см^{-1}$ та відсутність смуги поглинання в області 1600 $см^{-1}$, характерної для зв'язку С=С у п'ятичленному циклі, що свідчить про приєднання бромів за місцем подвійного зв'язку в циклопентеновому ядрі з утворенням 1,2-дибромаценафтену, а не про заміщення в ароматичному ядрі. Дані елементного аналізу (розраховано, %: С – 46,1; Н – 2,5; Вг – 51,4; отримано, %: С – 48,0; Н – 2,9; Вг – 49,1), які отримано за методиками [18], також свідчать про приєднання 1 моль бромів на 1 моль аценафтілену.

Для підтвердження встановленої структури та вивчення реакційної здатності 1,2-дибромаценафтен гідролізували в діоксано-водному середовищі (каталізатор C_2H_5ONa) при кип'ятінні протягом 3 - 4 годин. Вміст іонів бромів в гідролізаті визначали потенціометричним титруванням $AgNO_3$. При гідролізі 0,001 моль 1,2-дибромаценафтену (рис. 3), що містить 0,16 г зв'язаного бромів, маса протисоційованого бромів в гідролізаті склала 0,08 г, тобто 1,2-дибромаценафтен дегідробромовувався до стійкого 1-бромаценафтену.

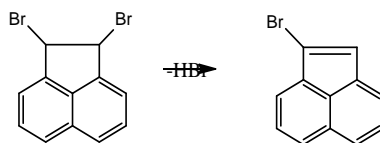


Рис. 3. Схема дегідробромовання 1,2-дибромаценафтену

Таким чином, 1,2-дибромаценафтен, подібно галоїдним алкілам, порівняно легко схильний до нуклеофільного заміщення по одному атому брому вже в м'яких умовах дегідробромування і, отже, може бути використаний як алкілюючий агент.

Це відкриває можливості (варіюючи структуру сполук при алкілюванні) синтезу нових четвертинних солей – основних компонентів інгібіторної композиції (рис. 4).

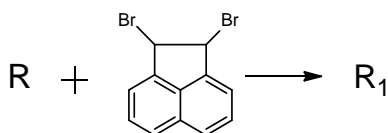


Рис. 4. Загальна схема синтезу четвертинних солей (R_1), де $R = 2\text{-Me-Py}$; 3-Ph-Py ; Qu ; 3-Me-Qu ; 3-Et-Qu

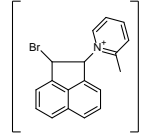
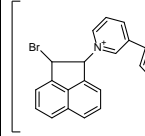
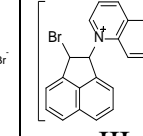
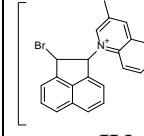
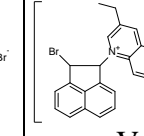
Так, 1-бром-2-(*N*-піридиній)-аценафтен бромід синтезували за методикою [17, 19]. Отриманий продукт освітлювали активованим вугіллям в ізопропанолі, після відгону розчинника промивали ацетоном, перекристалізували з етанолу, сушили над п'ятиокисом фосфору ($T_{\text{пл.}} 330^\circ\text{C}$). Дані елементного аналізу: (розраховано, %: C – 53,4; H – 3,1; N – 3,5; Br – 39,4; отримано, %: C – 54,0; H – 2,95; N – 3,46; Br – 40,8). В ІЧ-спектрах реєстрували валентні коливання: $500\text{--}650\text{ cm}^{-1}$; 1600 cm^{-1} (C = C пов'язані зв'язки в ароматичному кільці); $2920\text{--}2960\text{ cm}^{-1}$ (CH_3 -група піридину).

Використання широкого спектру четвертинних піридинових і хінолінових солей дало змогу синтезувати ряд сполук перспективних для подальших протикорозійних досліджень.

У ході пошуку найбільш ефективної синтезованої інгібіторної добавки в протикорозійне покриття досліджено різні варіанти складів композиції (табл. 2).

Таблиця 2

Варіація складу протикорозійної композиції

Компонент складу	Варіант				
	1	2	3	4	5
Суміш перхлорвінілової смоли	емаль ХВ-114	емаль ХВ-114	емаль ХВ-114	емаль ХВ-114	емаль ХВ-114
Інгібіторна добавка					

Оцінка стійкості композиційних шарів покриття до руйнівного впливу навколишнього середовища є важливим аспектом дослідження їх захисних властивостей [20, 21]. Вона необхідна для всіх типів протикорозійних покриттів у різних умовах експлуатації. Агресивна дія корозійного середовища виявляє присутні у зразках дефекти та стійкість захисних покриттів до руйнування в даних умовах.

На першому етапі прискорені атмосферні корозійні випробування проводилися відповідно до стандарту ISO 9227:2017 [22] в умовах імітаційної підвищеної агресивності середовища в закритій камері сольового туману NSS (розпилення 5% розчину NaCl протягом 15 хв через кожні 45 хв експерименту). Зразки встановлено під кутом $85\text{--}90^\circ$ до горизонту. Загальна тривалість іспитів складала 28 діб з проміжним вилученням зразків через 4, 10 та 20 діб з початку випробувань. Через 28 діб зразки витягували, промивали дистильованою водою для позбавлення від залишків солі, далі сушили теплим повітрям. Якісним критерієм корозійної

стійкості захисного покриття при атмосферних випробуваннях є візуальна оцінка змін, які відбулися під час корозійних іспитів із зовнішнім виглядом досліджених зразків. При цьому порівняння (наявність піттингів та центрів корозійного руйнування покриттів) ведуть по відношенню до початкового стану поверхні.

В результаті візуального аналізу стану зразків без покриття виявлено серйозні пошкодження вже після 4 діб корозійних випробувань. Спостерігається утворення багатьох осередків корозійних пошкоджень, продукти корозії присутні у великій кількості. Стан зразків після 10 діб характеризується ще більшим ступенем корозійного руйнування, при цьому поверхня майже повністю покрита продуктами корозії. У зв'язку із значними порушеннями цілісності металевих зразків без покриття на 10-ту добу витримки у корозійному середовищі подальше проведення випробувань було визнано недоцільним.

Аналіз корозійної стійкості захисного покриття різного складу (варіанти 1–5):

Варіант 1. У зразків із покриттям, одним із компонентів якого є інгібіторна добавка **I**, невеликі ділянки корозії з'явилися на 4 добу з початку випробувань. Надалі, на 10, 20 та 28 добу, утворюється невелика кількість продуктів корозії. Зазначимо, що після 28 діб випробувань на деяких ділянках порушується цілісність захисного покриття, що є наслідком проникнення корозійного середовища через пори покриття до металеві підкладки. Отже, даний вид покриття підходить для використання у менш жорстких умовах експлуатації.

Варіант 2. Для композиційних шарів з інгібіторною добавкою **II** перші ділянки з корозійними дефектами з'являються на 10 добу. Далі площа таких ділянок значно не збільшується порівняно зі слідами корозії на зразках з нанесенням захисної композиції, до складу якої входить інгібіторний компонент **I**, що зумовлено поступовим проникненням корозійного середовища через незапечатані пори в шарі захисному до матеріалу підкладки. Це пояснюється впливом стерично ускладненої будови інгібіторного компонента **II** (поєднання фенільної групи у піридиновому кільці).

Варіант 3. Найбільша корозійна стійкість серед сформованих композиційних покриттів виявлена у зразків із нанесенням захисної композиції, до складу якої входить інгібіторний компонент **III**. Після 10 діб перебування в агресивному корозійному середовищі піттинги не спостерігалися, а після 28 діб випробувань – виявлено найменший ступінь руйнування. Причиною такої високої стійкості композиційного покриття є наявність у його складі компонента – 1-(2-бром-1,2-дигідроаценафтілен-1-іл)хіноліній броміда, який у процесі формування лакофарбового покриття проникає у пори захисного шару, поступово запечатуючи їх у міру збільшення кратності нанесення. Так відбувається заповнення практично всіх пор і дефектів базового захисного шару та утворюється рівне суцільне покриття.

Варіант 4. Зразки з нанесенням захисної композиції, до складу якої входить інгібіторний компонент **IV**, демонструють більш високу стійкість до корозії порівняно із захисним покриттям, що містить інгібіторну добавку **II**. Наявність хінолінового ядра у будові інгібітору **IV** сприяє посиленню протикорозійних властивостей у порівнянні з інгібітором **II**, що містить фенілпіридиновий фрагмент. Так, перші піттинги з'являються лише на 20-ту добу експерименту, при цьому вони мають одиночний характер протягом усього часу випробування.

Варіант 5. Аналогічна картина спостерігається і при огляді зразків з нанесенням протикорозійної композиції, до складу якої входить інгібіторний компонент **V**. Зміна у будові інгібіторного компонента (заміна метильного радикала в хіноліновому кільці на етильний) не вплинула на корозійну стійкість покриття. Спостерігаються лише поодинокі осередки корозії.

Отже, з розглянутих варіантів 1–5 найбільшу стійкість до руйнівного впливу корозійного середовища за результатами випробувань продемонструвало композиційне

покриття, у складі якого інгібіторна добавка III – 1-(2-бром-1,2-дигідроаценафтілен-1-іл)хіноліній бромід.

Варто зазначити домінуючу роль будови інгібіторної добавки на прояв антикорозійних властивостей захисної композиції. Безперечно, превалює екрануюча складова замісника, в тому числі, кількість ароматичних кілець, об'єм замісника (порівняння інгібіторних добавок I та V). Але також не слід нехтувати розташуванням замісників відповідно до потенційних адсорбційно-активних центрів (порівняння інгібіторних добавок II та V). Це чинники, які вагомо впливають на протикорозійну ефективність сполук.

Процес захисту металовиробів від корозії можна розглядати як гетерогенну реакцію, на швидкість і перебіг якої значно впливає плівка лакофарбового захисного покриття, що утворюється на металевій поверхні. Термодинамічно можливість протікання такої реакції може бути визначена за зміною ізобарно-ізотермічного потенціалу хімічної реакції ΔG , що лежить в основі антикорозійного процесу [23–25]. Якщо $\Delta G > 0$, то реакція не йде, захисту немає, спостерігається корозія металевої поверхні; якщо $\Delta G < 0$, то реакція йде, відбувається протикорозійний захист поверхні металу.

Коли захисна плівка, що утворюється на металевій поверхні несутільна, то вона не перешкоджає доступу корозійного агента до поверхні. Швидкість корозії в цьому випадку дорівнює швидкості реакції, що лежить в основі антикорозійного процесу. Водночас плівка втрачає захисні властивості.

Якщо захисна плівка на поверхні суцільна, то швидкість корозії менша від швидкості хімічної реакції, яка є основою антикорозійного процесу. Це відбувається внаслідок уповільнення транспорту корозійного агента в зону зростання плівки. Чим щільніша плівка, тим більше це уповільнення і менше швидкість корозії. Оскільки транспорт речовин з протикорозійними властивостями в зону зростання плівки здійснюється за рахунок процесів дифузії, то всі чинники, які уповільнюють дифузію в захисній плівці, також уповільнюватимуть ріст плівки та знижуватимуть швидкість захисту від корозії.

Слід зазначити, що саме від якості та співвідношення компонентів залежать технологічні та протикорозійні властивості лакофарбових покриттів. Змінюючи склад можна регулювати характеристики композиції в широких межах та отримувати покриття різного призначення. Тому для створення ефективного складу захисної композиції важливо визначення оптимального співвідношення її компонентів (табл. 3).

Таблиця 3

Оптимальний кількісний склад захисної композиції

Варіант	Співвідношення компонентів складу, мас. %.		Спостереження
	емаль ХВ-114	інгібіторна добавка	
1	2	3	4
1	91	9	Через 4 тижні прискорених випробувань виявлено поодинокі точки корозії до 0,5–1,0 мм, площа корозійної поразки до 0,06%. Тривалість сушіння кожного шару до 10 хв. Плівка легко знімається «панчохою», не залишаючи слідів на поверхні зразків. При роботі зі складом відчувається сильний запах хінолінових основ, що входять до складу інгібіторної добавки.

Закінчення табл. 3

1	2	3	4
2	92	8	Через 4 тижні випробувань виявлено поодинокі точки корозії до 0,5–1,0 мм, площа корозійного ураження 0,03–0,06%. Тривалість сушіння одного шару покриття 5–6 хв. Плівка легко знімається, не залишаючи слідів на поверхні зразків. Захисний склад не стікає при нанесенні на вертикальну поверхню. Відчувається легкий запах важких піридинових основ.
3	93	7	Через 4 тижні випробувань виявлено поодинокі корозійні точки до 0,5–1,0 мм, площа корозійного ураження 0,03–0,07%, тривалість часу сушіння 5–6 хв. Плівка легко знімається, не залишаючи слідів на металевій поверхні зразків. При роботі зі складом запах хінолінових основ майже не відчувається.
4	94	6	Через 4 тижні прискорених випробувань виявлено поодинокі точки корозії до 0,5–1,0 мм, площа корозійного ураження до 0,03–0,06%, час сушіння шарів трохи більше 10 хв. Плівка еластична, не рветься при зніманні, легко знімається «панчохою», не залишаючи слідів на металевій поверхні зразків. Після зняття плівки осередків корозії на металевих зразках не спостерігалось. Ніякий запах не відчувається.
5	95	5	Через 4 тижні корозійних випробувань на металевій поверхні зразків виявлено сліди корозії (корозійні точки 2,0–2,5 мм), площа корозійного ураження 0,1–0,16%. Час сушіння першого шару 15–20 хв, останнього – 30 хв. Знімання плівки з металевої поверхні ускладнене. Відчувається слабкий запах при роботі зі складом композиції.

Аналіз п'яти потенційних варіантів співвідношення компонентів протикорозійної композиції показав, що найбільш оптимальним (кількість – ефективність) складом виявлено варіант 4.

Основною перевагою захисних покриттів, отриманих з органічних лакофарбових матеріалів, є їх здатність створювати захисний бар'єр на поверхні металу без зміни його об'ємних розмірів. В результаті, металева поверхня, що раніше була корозійно нестійка, набуває тривалу стійкість без необхідності значних додаткових витрат, властивих іншим методам протикорозійного захисту.

Висновки:

1. На основі мало затребуваних, доступних і недорогих компонентів коксохімічного виробництва синтезовано низку речовин з підвищеними протикорозійними властивостями – четвертинних азинових солей з аценафтоновим фрагментом.

2. Визначено, що 1,2-дибромаценафтен є перспективним алкілюючим агентом при синтезі інгібіторних добавок – стерично ускладнених аценафтонових сполук.

3. Встановлено оптимальний вміст інгібіторних компонентів – четвертинних азинових солей з аценафтоновим фрагментом – для розробки рецептури ефективної протикорозійної композиції на період тимчасової консервації металевих виробів.

Соціальна направленість дослідження полягає в зниженні ризиків, пов'язаних із зберіганням промислових відходів, як у повсякденному житті, так і в результаті аварій; а також створенні на їх основі низки конкурентноспроможних вітчизняних антикорозійних засобів.

References

1. NACE International. URL: https://nace.mydigitalpublication.com/publication/?i=719929&article_id=4107233&view=articleBrowser&ver=html5.
2. Raising Awareness about corrosion and corrosion protection around the world. URL: <https://corrosion.org/Corrosion+Resources/Publications.html>.
3. The cost of corrosion. URL: <https://www.zerust.com/blog/2019/10/02/the-cost-of-corrosion/>
4. Subramanian, A., Rathina, R., Netesan, M., Vasudevan, T. (2002). The performance of VPI-coated paper for temporary corrosion prevention of metals. *Anti-Corrosion Methods Mater.*, 49, 354–636.
5. Subramanian, A., Natesan, M., Muralidharan, V.S., Balakrishnan, K., Vasudeban, T. (2000). An overview: vapor phase corrosion inhibitors. *Corrosion*, 56: 144–155.
6. Rammelt, U., Koehler, S., Reinhard, G. (2009). Use of vapour phase corrosion inhibitors in packages for protecting mild steel against corrosion. *Corros. Sci.*, 51: 921–925.
7. Miksic, B. A., Boyle, R., Wuertz, B. L. (2004). 2004 F.N. Speller Award Lecture: Efficacy of Vapor Phase Corrosion Inhibitor Technology in Manufacturing. *Corrosion*, 60: 515–522.
8. McConnell, R. (2008). Volatiler corrosion inhibitors offer effective protection for processing and shipment of metal-based products. *Met. Finish.*, 106: 23–27.
9. Kumar, H., Saini, V., Yadav, V. (2013). Study of vapour phase corrosion inhibitors for mild steel under different atmospheric conditions. *Int. J. Eng. Innovative Technol.*, 3: 206–211.
10. Zarrouk, A., Zarrok, H., Salghi, R., Hammouti, B., Bentiss, F., Touir, R., Bouachrine, M. (2013). Evaluation of N-containing organic compound as corrosion inhibitor for carbon steel in phosphoric acid. *J. Mater. Environ. Sci.*, 4: 177–192.
11. Valdez, B., Schorr, M., Cheng, N., Beltran, E., Salinas, R. (2018). Technological applications of volatile corrosion inhibitors. *Corrosion Reviews.*, 36(3): 227–238.
12. Kharshan, M., Cracauer, C. (2011). Application for biodegradable vapor phase corrosion inhibitors. *Mater. Perform.*, 50: 56–60.

Література

1. NACE International. URL: https://nace.mydigitalpublication.com/publication/?i=719929&article_id=4107233&view=articleBrowser&ver=html5.
2. Raising Awareness about corrosion and corrosion protection around the world. URL: <https://corrosion.org/Corrosion+Resources/Publications.html>.
3. The cost of corrosion. URL: <https://www.zerust.com/blog/2019/10/02/the-cost-of-corrosion/>
4. Subramanian A., Rathina R., Netesan M., Vasudevan T. The performance of VPI-coated paper for temporary corrosion prevention of metals. *Anti-Corrosion Methods Mater.* 2002. Vol. 49. P. 354–636.
5. Subramanian A., Natesan M., Muralidharan V.S., Balakrishnan K., Vasudeban T. An overview: vapor phase corrosion inhibitors. *Corrosion*. 2000. Vol. 56. P. 144–155.
6. Rammelt U., Koehler S., Reinhard G. Use of vapour phase corrosion inhibitors in packages for protecting mild steel against corrosion. *Corros. Sci.* 2009. Vol. 51. P. 921–925.
7. Miksic B. A., Boyle R., Wuertz B. L. 2004 F.N. Speller Award Lecture: Efficacy of Vapor Phase Corrosion Inhibitor Technology in Manufacturing. *Corrosion*. 2004. Vol. 60. P. 515–522.
8. McConnell R. Volatiler corrosion inhibitors offer effective protection for processing and shipment of metal-based products. *Met. Finish.* 2008. Vol. 106. P. 23–27.
9. Kumar H., Saini V., Yadav V. Study of vapour phase corrosion inhibitors for mild steel under different atmospheric conditions. *Int. J. Eng. Innovative Technol.* 2013. Iss. 3. P. 206–211.
10. Zarrouk A., Zarrok H., Salghi R., Hammouti B., Bentiss F., Touir R., Bouachrine M. Evaluation of N-containing organic compound as corrosion inhibitor for carbon steel in phosphoric acid. *J. Mater. Environ. Sci.* 2013. Iss. 4. P. 177–192.
11. Valdez B., Schorr M., Cheng N., Beltran E., Salinas R. Technological applications of volatile corrosion inhibitors. *Corrosion Reviews*. 2018. Vol. 36. № 3. P. 227–238.
12. Kharshan M., Cracauer C. Application for biodegradable vapor phase corrosion inhibitors. *Mater. Perform.* 2011. Vol. 50. P. 56–60.

13. Doroshenko, T. F., Lyashchuk, S. N., Shevchenko, O. M. (2017). Anticorrosion properties of 8-Oxyquinoline derivatives. *Materials Science*, 52 (5): 627–633.
14. Zhang, D., An, Z., Pan, Q., Gao, L., Zhou, G. (2006). Volatile corrosion inhibitor for formation on carbon steel surface and its inhibition effect on the atmospheric corrosion of carbon steel. *Appl. Surface Sci.*, 253: 1343–1348.
15. Lazorin, S. N., Papkov, G. I., Litvinenko, V. I. (1977). Obezvrezhivanie othodov koksohimicheskikh zavodov [Neutralization of waste from by-product coke plants]. Moscow: Metallurgiya. 241 p. [in Russian].
16. Dashevskiy, M. M. (1966). Atsenaften [Acenaften]. Moscow: Himiya. 460 p. [in Russian].
17. Organikum. Praktikum po organicheskoy himii [Organicum. Workshop on organic chemistry]. Translation from German V. M. Potapov, S. V. Ponomarev. Moscow: Mir, 1979. P. 81–82 [in Russian].
18. Klimova, V. A. (1967). Osnovnyie mikrometody analiza organicheskikh soedineniy [Basic micromethods for the analysis of organic compounds]. Moscow: Himiya. 207 p. [in Russian].
19. Chumakov, Yu. I. (1965). Piridinovyie osnovaniya [Pyridine bases]. Kyiv: Tehnika. 192 p. [in Russian].
20. NACE TM0208 (2018). Laboratory Test to Evaluate the Vapor-Inhibiting Ability of Volatile Corrosion Inhibitor Materials for Temporary Protection of Ferrous Metal Surfaces. Houston. TX: National Association of Corrosion Engineers.
21. Brekan, J., Lanzo, K., Kovacs-Taborda, T. (2021). Volatile Corrosion Inhibitor (VCI) Testing – Pitfalls and Surprises in Routine Test Methods. *Corrosion*, Virtual, Paper Number: NACE-2021-16323.
22. ISO 9227:2017 Ispytanie na korroziiu v iskusstvennoi atmosfere. Ispytaniia v solianom tumane [Corrosion test in an artificial atmosphere. Salt fog testing]. URL: https://standartgost.ru/g/ISO_9227:2017 [in Russian].
23. Rozenfeld, I. L. (1981). Corrosion Inhibitors. New York: McGrawHill. 327 p.
24. Shehter, Yu. N., Muraveva, S. A., Kardash, N. V., Rebrov, I. Yu. (1995). Ingibitoryi korrozii i zaschitnyie materialyi na neftyanoj osnove [Petroleum based corrosion inhibitors and protective materials]. *Zaschita metallov = Protection of metals*, 31 (2): 191–200 [in Russian].
25. Kuznetsov, Yu. I., Andreev, N. N., Marshakov, A. I. (2020). Fiziko-himicheskie aspekty ingibirovaniya korrozii metallov [Physicochemical aspects of metal corrosion inhibition]. *Zhurnal fizicheskoy himii = Journal of Physical Chemistry*, 94 (3): 381–392 [in Russian].
13. Doroshenko T. F., Lyashchuk, S. N., Shevchenko O. M. Anticorrosion properties of 8-Oxyquinoline derivatives. *Materials Science*. 2017. Vol. 52. № 5. P. 627–633.
14. Zhang D., An Z., Pan Q., Gao L., Zhou G. Volatile corrosion inhibitor for formation on carbon steel surface and its inhibition effect on the atmospheric corrosion of carbon steel. *Appl. Surface Sci.* 2006. Vol. 253. P. 1343–1348.
15. Лазорин С. Н., Папков Г. И., Литвиненко В. И. Обезвреживание отходов коксохимических заводов. М.: Metallurgiya, 1977. 241 с.
16. Дашевский М. М. Аценафтен. М.: Химия, 1966. 460 с.
17. Органикум. Практикум по органической химии. Пер. с нем. В. М. Потапова, С. В. Пономарева. М.: Мир, 1979. Ч. 2. С. 81–82.
18. Климова В. А. Основные микрометоды анализа органических соединений. М.: Химия, 1967. 207 с.
19. Чумаков Ю. И. Пиридиновые основания. К.: Техника, 1965. 192 с.
20. NACE TM0208. Laboratory Test to Evaluate the Vapor-Inhibiting Ability of Volatile Corrosion Inhibitor Materials for Temporary Protection of Ferrous Metal Surfaces. 2018. Houston. TX: National Association of Corrosion Engineers.
21. Brekan J., Kristi Lanzo K., Kovacs-Taborda T. Volatile Corrosion Inhibitor (VCI) Testing – Pitfalls and Surprises in Routine Test Methods. *Corrosion*. 2021. Virtual, April 2021. Paper Number: NACE-2021-16323.
22. ISO 9227:2017. Испытание на коррозию в искусственной атмосфере. Испытания в соляном тумане. URL: https://standartgost.ru/g/ISO_9227:2017.
23. Rozenfeld I. L. Corrosion Inhibitors. New York: McGrawHill, 1981. 327 p.
24. Шехтер Ю. Н., Муравьева С. А., Кардаш Н. В., Ребров И. Ю. Ингибиторы коррозии и защитные материалы на нефтяной основе. *Защита металлов*. 1995. Т. 31 (2). С. 191–200.
25. Кузнецов Ю. И., Андреев Н. Н., Маршаков А. И. Физико-химические аспекты ингибирования коррозии металлов. *Журнал физической химии*. 2020. Т. 94 (3). С. 381–392.

DOROSHENKO TATYANA

PhD, Associate Professor,
Senior Researcher
Department of Chemistry of Heterocyclic Compounds
L.M. Litvinenko Institute of Physical-Organic
and Coal Chemistry of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5459-214X>
Scopus Author ID: 6701843808
E-mail: T.F.Doroshenko@nas.gov.ua

KACHALOVA NATALIYA

PhD, Senior Researcher,
Department of Chemistry of Heterocyclic Compounds
L.M. Litvinenko Institute of Physical-Organic
and Coal Chemistry of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9956-5380>
Scopus Author ID: 6602393050
Researcher ID: AA-9367-2020
E-mail: Kachalova.nataliya@gmail.com

ДОРОШЕНКО Т. Ф., КАЧАЛОВА Н.М.

Институт физико-органической химии и углехимии им. Л. М. Литвиненко
Национальной академии наук Украины, Киев, Украина

**ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ
СТЕРИЧЕСКИ ОСЛОЖНЕННЫХ АЦЕНАФТЕНОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ
В СОСТАВЕ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ КОМПОЗИЦИИ**

Цель. Синтез и исследование влияния ингибиторного компонента – стерически осложненных аценафтенных соединений – на эффективность защитной композиции для предупреждения коррозии металлов на период временной консервации.

Методика. Из поглотительной и антраценовой фракций каменноугольной смолы выделен коксохимический аценафтилен, бромирование которого привело к 1,2-дибромаценафтену. При дальнейшем алкилировании азиновых оснований 1,2-дибромаценафтенем получен ряд стерически осложненных аценафтенных соединений. В условиях имитационной агрессивности среды NSS исследовано (ISO 9227:2017) влияние синтезированных добавок на эффективность противокоррозионной композиции. Методы исследования: хроматография, синтез, элементный анализ, ИК-спектроскопия, коррозионные испытания.

Результаты. На основе мало востребованных, доступных и недорогих компонентов коксохимического производства синтезирован ряд веществ с повышенными противокоррозионными свойствами – четвертичных азиновых солей с фрагментом аценафтена. Определено, что наибольшую устойчивость к разрушающему воздействию коррозионной среды NSS по результатам ускоренных атмосферных коррозионных испытаний продемонстрировало композиционное покрытие, в составе которого ингибиторная добавка – 1-(2-бром-1,2-дигидроаценафтилен-1-ил)хинолиний бромид. Показана доминирующая роль строения ингибиторной добавки на проявление антикоррозионных свойств защитной композиции. Изучено влияние соотношения компонентов лакокрасочных покрытий на их технологические и противокоррозионные свойства. Полученные результаты позволяют создать новую рецептуру отечественной конкурентной защитной композиции для предупреждения коррозии металла на период временной консервации.

Научная новизна. Определена роль 1,2-дибромаценафтена как перспективного алкилирующего агента при синтезе ингибиторных добавок – стерически осложненных аценафтенных соединений.

Практическая значимость. Установлено оптимальное содержание ингибиторных компонентов – четвертичных азиновых солей с аценафтенным фрагментом – для разработки рецептуры эффективной противокоррозионной композиции на период временной консервации металлических изделий.

Ключевые слова: коксохимический аценафтилен; 1,2-дибромаценафтен; алкилирующий агент; защитная композиция; временная консервация.

DOROSHENKO T. F., KACHALOVA N. M.

L. M. Litvinenko Institute of Physical-Organic and Coal Chemistry
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**EXPEDIENCE OF APPLICATION
OF STERICALLY COMPLICATED ACENAPHTHENE COMPOUNDS
IN THE COMPOSITION OF ANTI-CORROSION COMPOSITION**

Goal. Synthesis and study of the effect of the inhibitory component – sterically complicated acenaphthene compounds – on the effectiveness of the protective composition to prevent corrosion of metal products during the period of temporary preservation.

Method. Coke-chemical acenaphthylene was isolated from the absorbing and anthracene fractions of coal tar, the bromination of which led to 1,2-dibromocacenaphthene. Subsequent alkylation of azine bases with 1,2-dibromacacenaphthene yielded a number of sterically complex acenaphthene compounds. In the conditions of simulation aggressiveness of NSS environment the influence of synthesized additives on efficiency of anticorrosive composition is investigated (ISO 9227:2017). Research methods: chromatography, synthesis, elemental analysis, IR spectroscopy, corrosion tests.

Results. On the basis of low-demand, available and inexpensive components of coke production, a number of substances with high anti-corrosion properties were synthesized – Quaternary azine salts with acenaphthene fragment. It was determined that the greatest resistance to the destructive effects of corrosive NSS environment according to the results of accelerated atmospheric corrosion tests was demonstrated by a composite coating containing an inhibitory additive – 1-(2-bromo-1,2-dihydroacenaphthylen-1-yl) quinoline bromide. The dominant role of the structure of the inhibitory additive on the manifestation of anticorrosive properties of the protective composition is shown. The influence of the ratio of components of paints and varnishes on their technological and anti-corrosion properties has been studied. The obtained results allow to create a new formulation of the domestic competitive protective composition to prevent corrosion of the metal for the period of temporary preservation.

Scientific novelty. The role of 1,2-dibromacacenaphthene as a promising alkylating agent in the synthesis of inhibitory additives - sterically complicated acenaphthene compounds has been determined.

Practical significance. The optimal content of inhibitory components – Quaternary azine salts with acenaphthene fragment – for the development of a formulation of an effective anti-corrosion composition for the period of temporary preservation of metal products.

Keywords: coke-chemical acenaphthylene; 1,2-dibromocacenaphthene; alkylating agent; protective composition; temporary preservation.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.5.4>

УДК 628.166+
543.544

ОЛЕКСІЄНКО О. Ю., ПОПОВА В. В.

Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ,
Україна

ОЦІНКА ЯКОСТІ ПИТНИХ ВОД З РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Мета. Моніторинг різних джерел водопостачання в окремому регіоні України.

Методика. Для моніторингу питної води вибраного населеного пункту Черкаської області було відібрано води з водопровідної мережі (10 зразків), вода з бювету (1 зразок) та води з колодязів (26 зразків) та проаналізовано їх за 20 основними хімічними показниками відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 та ДСТУ 7525:2014.

Результати. Встановлено, що водопровідна вода має незначні перевищення заліза та мутності в 5 зразках. Вода не містить алюмінію, йонів амонію, нітратів, нітритів, залишкових кількостей вільного та зв'язаного хлору і побічних продуктів хлорування. Зразок води з бювету має незначні перевищення вмісту кремнію та солей загальної жорсткості – йонів кальцію і магнію. Вода з бювету за хімічним складом (рН, сухий залишок, лужність, хлориди, сульфати, натрій) та вмістом мікрокомпонентів дуже подібна до водопровідної, вона має децю вищі «кольоровість» та «каламутність», але вміст нафтопродуктів та заліза не перевищує нормативів для питної води – 0,1 мг/дм³ та 0,2 мг/дм³, відповідно. При цьому, колодязна вода є найбільш непридатною для питних цілей. Встановлено, що найбільше перевищення нормованих значень в цих водах спостерігалось при визначенні сухого залишку (до 4-х нормативів), жорсткості (до 5 нормативів), концентрації нітратів (до 9 нормативів).

Наукова новизна. Проведення моніторингу питних вод вибраного населеного пункту Черкаської області та аналіз придатності водопровідної води, води з бювету та колодязної води для питних потреб.

Практична значимість. Встановлено особливості хімічного складу об'єктів питного водопостачання даного населеного пункту, зокрема велика увага приділена визначенню мікроелементів та стійких органічних токсикантів на рівні їх гранично-допустимих концентрацій. Аналіз одержаних результатів свідчить про те, що за органолептичними показниками, загальною мінералізацією, жорсткістю, лужністю, вмістом органічних компонентів якість водопровідної води та бювету відповідає чинним гігієнічним нормативам, а вода майже в усіх колодязях – не відповідає.

Ключові слова: моніторинг питних вод; вода з бювету; водопровідна вода; колодязна вода; водопостачання.

Вступ. Серед всіх екологічних факторів, що впливають на здоров'я нації, перше і особливе місце займає вода, якість якої досить часто незадовільна. Адже чиста питна вода – це основа нашого довголіття та здоров'я. Підвищеної уваги заслуговують мешканці сільських місцевостей і невеликих міст, що використовують питну воду з колодязів, якість якої часто не контролюється, і яка містить підвищені концентрації солей жорсткості та нітрат-іонів. Проблема з водопостачанням населення, яке використовує колодязі, як єдине джерело питної води, надзвичайно актуальна й важлива. Питання чистої питної води стає досить актуальною в усьому світі, її брак на планеті стрімко зростає. Так, в табл. 1 наведено зростання кількості забруднюючих речовин води, що за останні десятиліття зросли майже в мільйони разів. При цьому, кількість нормованих показників зросла до 82, згідно чинних нормативних документів.

Законом України про питну воду, питне водопостачання та водовідведення № 2047-VIII (2047-19) від 18.05.2017 встановлено комплекс заходів, серед яких запропоновано вдосконалення діючої в Україні законодавчої бази щодо якості питної води з централізованих і нецентралізованих систем господарсько-питного водопостачання. Питна вода споживається людиною необмежено протягом усього життя. Якість води – це термін, що використовується

для опису хімічних, фізичних та біологічних характеристик води, як правило, щодо її придатності для конкретної мети.

Таблиця 1

Зростання кількості забруднювачів води і нормованих показників

Рік/ Кіль- кість	Кількість забруднюючих компонентів							Показники, які нормуються			
	1944	1960	1967	1973	1980	1985	2015	2015	2010	2015	2020
								ДСТУ 7525:2014	ДСанПін 2.2.4-171-10		
	13	70	180	250	500	2500	> 2,5 млн	82	43	65	77

В даний час якість питної води оцінюється згідно ДСанПін 2.2.4-171-10 за 65 показниками [1], а згідно з ДСТУ 7525:2014 – за 82 показниками [2]; серед них показників епідемічної безпеки – 12 (мікробіологічні, вірусологічні, паразитологічні); органолептичні та хімічні показники, що впливають на органолептичні властивості питної води, – 21; токсикологічні показники хімічного складу – 30; речовини, що утворюються і надходять у питну воду під час водопідготовки – 13 та показники радіаційної безпеки – 2 (кількість показників зростає до 8 при перевищенні $\Sigma\alpha$ і $\Sigma\beta$ – радіоактивності). Крім того, в ДСанПін 2.2.4-171-10 запропоновано критерії фізіологічної повноцінності макро- і мікроелементного складу питної води (табл. 2). Згідно з цими критеріями загальний вміст солей (сухий залишок) якісної питної води повинен знаходитися в межах (200–500) мг/дм³.

Таблиця 2

Фізіологічна повноцінність мінерального складу питної води

№ п/п	Показники	Нормативи ДСанПін 2.2.4-171-10
1	Жорсткість загальна, мг-екв/дм ³	1,5–7,0
2	Лужність	0,5–6,5
	мг-екв/дм ³ мг /дм ³	30,5–596,5
3	Йод, мкг/дм ³	20–30
4	Калій, мг /дм ³	2–20
5	Кальцій, мг /дм ³	25–75
6	Магній, мг /дм ³	10–50
7	Натрій, мг /дм ³	2–20
8	Сухий залишок, мг /дм ³	200–500
9	Фториди, мг /дм ³	0,7–1,2

Для питного водопостачання велике значення мають підземні води – артезіанські та ґрунтові, які в порівнянні з поверхневими водами більш захищені від антропогенного впливу і потребують менших витрат коштів для їх доочищення з метою одержання безпечної питної води [3].

Мета статті. Проведення моніторингу питних вод вибраного населеного пункту Черкаської області та оцінка придатності водопровідної води, води з б'ювету та колодязної води для питних потреб відповідно до вимог [1, 2].

Методика експерименту. Для моніторингу питної води вибраного населеного пункту було відібрано 26 зразків колодязної води (проба 1–26), 1 зразок підземної (б'юветної) води (проба 27) і 10 зразків водопровідної води (проба 28–37) та перевірено їх відповідність щодо вимог до питної води [1, 2] на вміст основних показників мікро- та макрокомпонентного складу. Хімічний аналіз зразків води проведено відповідно до стандартних методів аналізу при використанні сучасної високочутливої вимірювальної техніки. Контрольовані показники

якості води, результати вимірювання показників та гігієнічні нормативи відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 та ДСТУ 7525:2014 наведено в табл.3.

Під час проведення досліджень було використано фотометричний метод для визначення кольоровості та каламутності, при цьому запах (20 та 60 °С) та присмак визначали органолептично, згідно ГОСТ 3351 [4]. Потенціометричний метод застосовано для характеристики водневого показника рН, згідно [5]. Сухий залишок встановлювали за гравіметричною методикою [6]. Перманганатну окиснювальність, жорсткість, лужність, вміст кальцію, магнію, сульфатів, хлоридів та концентрації залишкового вільного та зв'язаного хлору визначали титрометричним способом за [5, 7–11] відповідно. Концентрації кремнію, фосфатів, фторидів, нітритів та нітратів, заліза, аніонних поверхнево-активних речовин, амонію та молібдену встановлювали фотометрично за методами [5, 12–19] відповідно. Метод газової хроматографії/мас-спектрометрії застосовано для визначення вмісту бенз(а)пірену [20]. Концентрацію тригалогенметанів встановлювали методом газової хроматографії [21]. Калій, натрій визначали атомно-адсорбційним методом [22]. Концентрації ртуті, кадмію, миш'яку, свинцю, никелю, хрому та марганцю у водах визначали за допомогою масспектрометричного методу з індуктивно зв'язаною плазмою [23].

Результати та їх обговорення. Результати дослідження показали, що вода з водопровідної мережі (10 зразків) за органолептичними властивостями та вмістом більшості компонентів, які впливають на них, відповідає чинним нормативам. Загальна жорсткість знаходиться на рівні (8,0-10,0) мг-екв/дм³ при нормативі 7,0 мг-екв/дм³, вміст заліза та каламутність, як наслідок гідролізу йонів заліза, в пробах 5 пробах перевищують нормативні значення, що можливо обумовлено поганим станом водопровідної мережі.

Слід зауважити, що відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10 та ДСТУ 7525:2014 в певних умовах прийнятним вважається підвищення нормативів для показників «жорсткість» до 10 мг-екв/дм³, «залізо» – до 1 мг/дм³, «каламутність» – до 2,0 мг/дм³ (наведено в дужках, табл. 3); в такому разі перевищення норматива для «каламутності» зафіксовано лише в одній пробі, а вміст солей жорсткості та заліза знаходиться на рівні допустимих концентрацій в усіх пробах (табл. 3).

Вода не містить алюмінію, йонів амонію, нітратів, нітритів, залишкових кількостей вільного та зв'язаного хлору і побічних продуктів хлорування води (тригалогенметани, хлороформ, дибромхлорметан), бенз(а)пірену, аніонних поверхнево-активних речовин, тобто концентрація даних речовин в аналізованих водах не перевищує межі їх визначення. Виявлені концентрації мікродомішок Cd, As, Pb, Co, Ni, Se, Cr знаходяться на рівні, які в 100 і більше разів нижчі, порівняно з гранично-допустимими концентраціями в питній воді.

Встановлено, що вода з бювету за хімічним складом (рН, сухий залишок, лужність, хлориди, сульфати, натрій) та вмістом мікрокомпонентів дуже подібна до водопровідної, вона має дещо вищі «кольоровість» та «каламутність», але вміст нафтопродуктів та заліза не перевищує нормативів для питної води – 0,1 мг/дм³ та 0,2 мг/дм³, відповідно.

З'ясовано, що вміст солей (сухий залишок), концентрації йонів натрію, хлориду, сульфату, фториду знаходяться на оптимальному рівні (табл. 2). Концентрації нітратів, нітритів, амоній-йонів, залишкового хлору і продуктів хлорування не перевищує рівень межі визначення, а рівень нормованих важких металів, неметалів, органічних забруднювачів, що визначалися, не перевищує 0,01 мг/дм³.

Бюветна вода вибраного населеного пункту Черкаської області відповідає нормам якості [1, 2], незважаючи на незначне перевищення вмісту кремнію (1,4 норми) та солей загальної жорсткості – йонів кальцію і магнію (8,5 мг-екв/дм³ при нормі ≤ 7,0). Зазначимо, що практично вся жорсткість відноситься до карбонатної і при кип'ятінні може бути усунена, оскільки карбонати кальцію і гідроксиди магнію випадають в осад (табл. 3).

Таблиця 3

Результати дослідження проб води з водопровідної мережі, колодязів та бювету в вибраному населеному пункті на відповідність їх санітарно-хімічним та токсикологічним показникам в чинних гігієнічних нормативів для якісної питної води

Найменування показника	Діапазон значень якості питної води			Вимоги до питної води – гранично-допустимі концентрації, не більше	
	Водопровід на 10 зразків	Вода з колодязів 26 зразків	Бювет 1 зразок	Водопровід на ДСанПін 2.2.4-171-10, ДСТУ 7525:2014	Колодязьна вода ДСанПін 2.2.4-171-10
1	2	3	4	5	6
Органолептичні показники					
КОЛЬОРОВІСТЬ, ГРАДУСИ	< 2–7	< 2	3,0	20(35)*	35
Каламутність, мг/дм ³	< 0,3–2,6	< 0,3	0,6	0,6(2,0)*	2,0
Запах при 20 °С та 60 °С, бали	0	0	0	2	3
Смак і присмак бали	0	0	0	2	3
Водневий показник, одиниці рН	7–7,2	6,9–7,4	7,1	6,5–8,5	6,5–8,5
Хімічні показники якості, що впливають на органолептичні властивості питної води					
Сухий залишок, мг/дм ³	486–597	751–3879	531	1000 (1500)*	1500
Жорсткість загальна, ммоль/дм ³	8,45–10,0	11,4–36,0	8,5	7 (10)*	10
Лужність загальна, ммоль/дм ³	8,0–8,2	7,1–11,5	8,5	не визн.	не визн.
Кальцій, мг/дм ³	–	–	156	не визн.	не визн.
Магній, мг/дм ³	–	–	8,4	не визн.	не визн.
Сульфати, мг/дм ³	26,4–31,2	34–270	26,4	250 (500)*	500
Хлориди, мг/дм ³	24,0–31,4	36–447	27,7	250 (350)*	350
Залізо загальне, мг/дм ³	0,034–0,64	< 0,005–0,09	0,11	0,2(1,0)*	1,0
Марганець(Mn), мг/дм ³	0,006–0,028	0,001–0,02	0,012	0,05(0,5)*	0,5
Мідь (Cu), мг/дм ³	0,01–0,02	–	0,0005	1,0	не визн.
Цинк (Zn), мг/дм ³	< 0,08	–	< 0,08	1,0	не визн.
Натрій (Na), мг/дм ³	28,4–34,5	16–141	27,6	200	не визн.
Нафтопродукти, мг/дм ³	0,04–0,12	–	0,08	0,1	не визн.
АПАР, мг/дм ³	< 0,05	–	< 0,05	0,5	не визнач.
Токсикологічні показники					
Алюміній (Al), мг/дм ³	< 0,01–0,04	–	< 0,01	0,2 (0,5)*	не визн.
Амоній(NH ₄ ⁺), мг/дм ³	< 0,05	< 0,05–0,09	< 0,05	0,5 (1,5)*	2,6
Кадмій (Cd), мг/дм ³	< 0,00005	–	0,00001	0,001	не визн.
Кремній (Si), мг/дм ³	14,0–15,3	–	14,0	10,0	не визн.
Кобальт (Co), мг/дм ³	< 0,02	–	0,0002	0,1	не визн.
Молібден (Mo), мг/дм ³	< 0,0025	–	< 0,0025	0,07	не визн.
Миш'як (As), мг/дм ³	0,0001	–	0,0001	0,01	не визн.

Закінчення табл. 3

1	2	3	4	5	6
Інтегральні показники вмісту органічних речовин					
Окиснюваність перманганатна, мгО/дм ³	0,8–1,2	0,9–2,6	1,1	2,0	5,0
Речовини, що утворюються і надходять у питну воду під час водопідготовки					
Хлор залишковий вільний, мг/дм ³	<0,03	–	<0,03	0,3–0,5	не визнач.
ХЛОР ЗАЛИШКОВИЙ ЗВ'ЯЗАНИЙ, МГ/ДМ³	<0,03	–	<0,03	0,8–1,2	НЕ ВИЗНАЧ.
Речовини, що утворюються і надходять у питну воду під час водопідготовки					
Діоксид хлору залишковий, мг/дм ³	< 0,1	–	–	0,2–0,8	не визнач.
Поліфосфати залишкові (PO ₄ ³⁻), мг/дм ³	< 0,02	–	0,03	3,5	не визнач.
ХЛОРОФОРМ, МКГ/ДМ³	< 5	–	< 5	60	не визнач.
ДИБРОМХЛОРЕТАН, МКГ/ДМ³	< 1	–	< 1	10	не визнач.

Примітка: *Величину нормативу, зазначену в дужках, може бути встановлено за постановою Головного державного санітарного лікаря на відповідній території для конкретної системи питного водопостачання на основі оцінювання санітарно-епідемічного стану в населеному пункті і технології підготовки питної води, яку застосовують у разі, коли інші джерела питного водопостачання недоступні.

Надлишкові мінералізація й солі жорсткості виявляють негативний вплив на організм людини при щоденному використанні такої води для питних цілей. Також ці показники негативно впливають на домашню техніку; нітрати відносяться до токсичних компонентів, оскільки вони трансформуються в організмі в нітрити і можуть викликати кисневе голодування за рахунок утворення метгемоглобіну. Жорсткість води – це властивість води, яка обумовлена наявністю в ній розчинних солей кальцію, магнію, а також інших двовалентних катіонів (Sr, Ba, Mn, Fe). Наявність у воді гідрокарбонатів обумовлює карбонатну жорсткість, яка може бути частково або повністю усунена при кип'ятінні води через утворення нерозчинних карбонатів. Джерелом кальцію та магнію в природній воді є поклади вапняків, доломітів, гіпсу. У воді з обстежених колодязів при кип'ятінні жорсткість може зменшуватись лише частково, оскільки вміст в ній гідрокарбонатів значно нижчий, ніж вміст солей кальцію та магнію (жорсткість). Таким чином, колодязна вода є найбільш непридатною для питних потреб.

Висновки. На основі отриманих даних дослідження якості води вибраного населеного пункту Черкаської області можна зробити висновок, що вода з водопровідної мережі за більшістю показників, відповідає чинним нормативам. Бюветна вода вибраного населеного пункту має незначне перевищення вмісту кремнію (1,4 норми) та солей загальної жорсткості – іонів кальцію і магнію (8,5 мг-екв/дм³ при нормі ≤ 7,0. Зазначимо, що практично вся жорсткість відноситься до карбонатної і при кип'ятінні може бути усунена, оскільки карбонати кальцію і гідроксиди магнію випадають в осад. Вода практично з всіх обстежених колодязів є непридатною для пиття, а в деяких зразках навіть шкідливою для здоров'я людини. Встановлено, що найбільше перевищення нормованих значень в колодязній воді спостерігалось при визначенні сухого залишку (до 4-х нормативів), жорсткості (до 5 нормативів), концентрації нітратів (до 9 нормативів). жорсткості, концентрації нітратів.

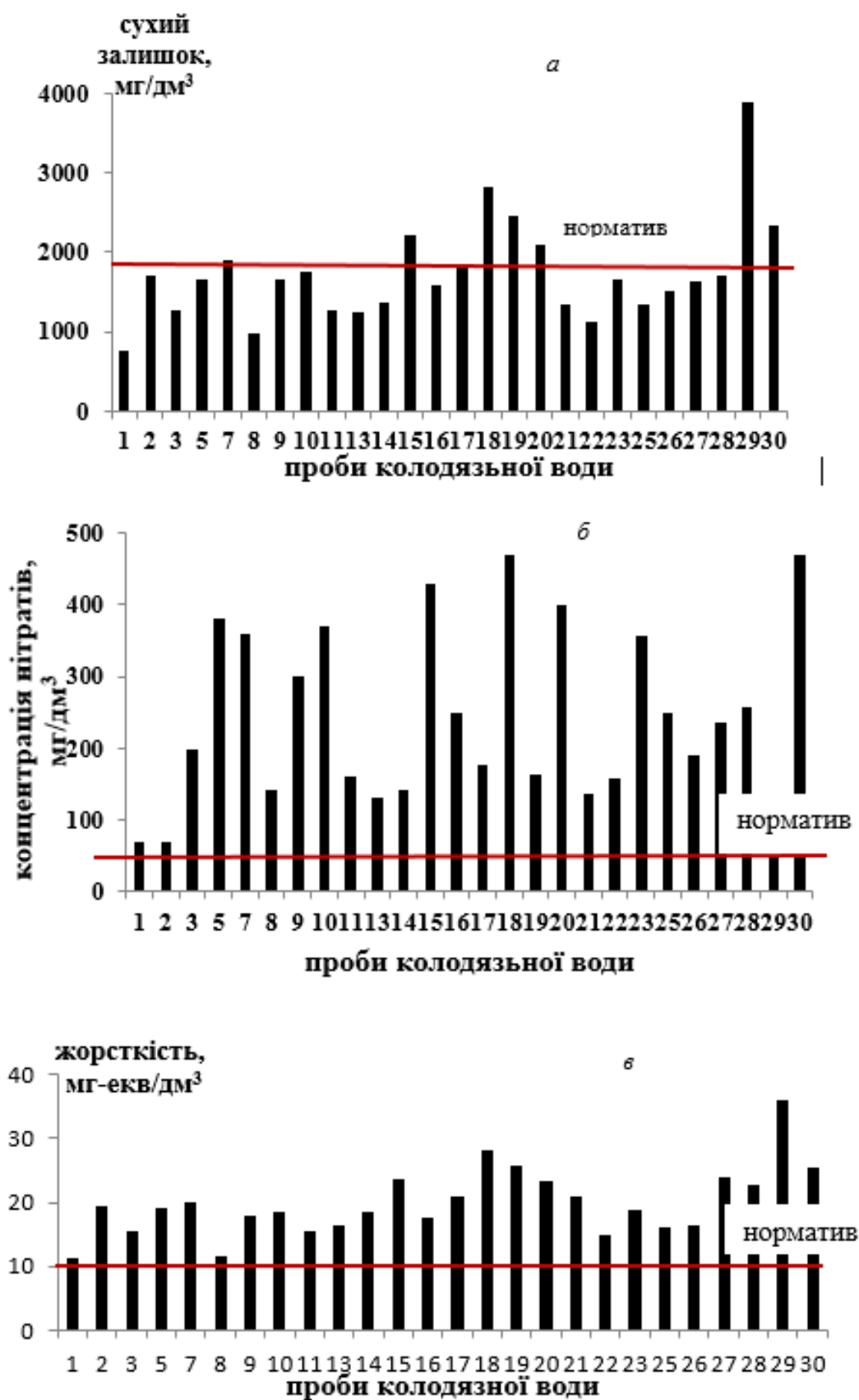


Рис. 1. Значення сухого залишку (а), концентрації нітратів (б) та жорсткості (в) в пробах колодезьної води

References

Література

1. DСанПиН 2.2.4-171-2010 Higienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї dlia spozhyvannia liudynoї [DSanPiN 2.2.4-171-2010 Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]. *Ofitsiyni visnyk Ukrainy*, 2010, № 51, P. 99. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10> [in Ukrainian].
 2. DSTU 7525:2014 Voda pytna. Vymohy ta metody kontroliuvannia yakosti [Drinking water. Requirements and methods of quality control]. Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine, 2014. 36 p. Adopted and entered into force: order of the Ministry of Economic Development of Ukraine dated 23.10.2014 № 1257 [in Ukrainian].
 3. DSTU 4808:2007 Dzherela tsentralizovanoho pytnoho vodopostachannia. Higienichni ta ekolohichni vymohy shchodo yakosti vody i pravyla vybyrannia [Sources of centralized drinking water supply. Hygienic and environmental requirements for water quality and selection rules]. Kyiv: Derzhspozhyvstandard Ukrainy, 2007. 40 p. Entered into force: by the order of Derzhspozhyvstandard of Ukraine dated 05.07.2007 №144 [in Ukrainian].
 4. GOST 3351-74 Voda pitevaia. Metody opredeleniia vkusa, zapakha, tsvetnosti i mutnosti [Drinking water. Methods for the determination of taste, odor, color and turbidity]. Moscow: Standards Publishing House, 1974. 8 p. Introduced 01.07. 1975 [in Russian].
 5. SEV. Unifitsirovannye metody issledovaniia kachestva vod [СМЕА. Unified water quality research methods]. Moscow, 1987. Part 1. Methods of chemical analysis of water. 1243 p. [in Russian].
 6. GOST 18164-72 Voda pitevaia. Metod opredeleniia sodержaniia sukhogo ostatka [Drinking water. Method for determination of dry residue content]. Moscow: ИПК Publishing house of standards, 2003. 4 p. Introduced 01.01.1974 [in Russian].
 7. DSTU ISO 6059:2003 Yakist vody. Vyznachannia sumarnoho vmistu kaltsiiu ta mahniiu. Tytrometrychnyi metod iz zastosovuvanniam etylendiamintetraostovoi kysloty [Water quality. Determination of total calcium and magnesium content. Titrometric method using ethylenediaminetetraacetic acid] [in Ukrainian].
 8. Novikov, Iu. V., Lastochkina, K. O., Boldina, Z. N. (1990). Metody issledovaniia kachestva vody vodoemov [Methods for studying the quality of water in reservoirs]. Moscow: Meditsina [in Russian].
 9. GOST 4389-72 Voda pitevaia. Metody opredeleniia sodержaniia sulfatov [Drinking water. Methods for determination of sulfate content]. Moscow: ИПК Publishing house of standards, 2003. 9 p. Introduced 01.01.1974 [in Russian].
 10. GOST 4245-72 Voda pitevaia. Metody opredeleniia sodержaniia khloridov [Drinking water. Methods for determination of chloride content]. Moscow: ИПК
1. ДСанПиН 2.2.4-171-2010 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. *Офіційний вісник України*. 2010. № 51. С. 99. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10>.
 2. ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. К.: Мінекономрозвитку України, 2014. 36 с. Прийнято та надано чинності: наказ Мінекономрозвитку України від 23.10.2014 № 1257.
 3. ДСТУ 4808:2007 Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 40 с. Надано чинності: наказом Держспоживстандарту України від 05.07.2007 №144.
 4. ГОСТ 3351-74 Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности. М.: Издательство стандартов, 1974. 8 с. Введен 01.07.1975.
 5. СЭВ. Унифицированные методы исследования качества вод. М., 1987. Ч. 1. Методы химического анализа вод. 1243 с.
 6. ГОСТ 18164-72 Вода питьевая. Метод определения содержания сухого остатка. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 4 с. Введен 01.01.1974.
 7. ДСТУ ISO 6059:2003 Якість води. Визначання сумарного вмісту кальцію та магнію. Титрометричний метод із застосуванням етилендіамінтетраоцтової кислоти.
 8. Новиков Ю. В., Ласточкина К. О., Болдина З. Н. Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина, 1990.
 9. ГОСТ 4389-72 Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. 9 с. Введен 01.01.1974.
 10. ГОСТ 4245-72 Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов. М.: ИПК

- Publishing house of standards, 2010. 6 p. Introduced 01.01.1974 [in Russian].
11. DSTU ISO 7393-1:2003 Yakist vody. Vyznachannia nezviazanoho khloru ta zahalnoho khloru. Ch. 1. Tytrometrychnyi metod iz zastosovuvanniam N,N-dietyl-1,4-fenilen-diaminu [Water quality. Determination of unbound chlorine and total chlorine. Part 1. Titrometric method using N, N-diethyl-1,4-phenylenediamine]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 2004. 10 p. Entered into force: Order of Derzhspozhyvstandart of Ukraine of June 10, 2003 № 101 of July 1, 2004 [in Ukrainian].
12. GOST 18309-72 Voda pitevaia. Metod opredeleniia sodержaniia polifosfatov [Drinking water. Method for determination of polyphosphate content]. Moscow: IPK Publishing house of standards, 2010. 5 p. Introduced 01.01.1974 [in Russian].
13. GOST 4386-89 Voda pitevaia. Metody opredeleniia massovoi kontcentracii fluoridov [Drinking water. Methods for determining the mass concentration of fluorides]. Moscow: Standards Publishing House, 1990. 11 p. Introduced 01.01.1991 [in Russian].
14. GOST 33045-2014 Voda. Metody opredeleniia azotsoderzhashchikh veshchestv [Drinking water. Methods for the determination of nitrogen-containing substances]. Introduced 01.01.1983 [in Russian].
15. DSTU 4078-2001 Yakist vody. Vyznachannia nitratu. Ch. 3. Spektrometrychnyi metod iz zastosovuvanniam sulfosalitsylovoi kysloty [Water quality. Determination of nitrate. Part 3. Spectrometric method using sulfosalicylic acid] [in Ukrainian].
16. GOST 4011-72 Voda pitevaia. Metody izmereniia massovoi kontcentracii obshchego zheleza [Drinking water. Methods for measuring the mass concentration of total iron]. Moscow: Standartinform, 2008. 8 p. Introduced 01.01.1974 [in Russian].
17. DSTU ISO 7875-1:2012 Yakist vody. Vyznachennia poverkhnevo-aktyvnykh rehovyn. Ch. 1. Metod vyznachennia vmistu anionnykh poverkhnevo-aktyvnykh rehovyn vymiriuvanniam indeksu metylenovoho blakytneho (MBAR) [Water quality. Determination of surfactants. Part 1. Method for determining the content of anionic surfactants by measuring the methylene blue index (ICBM)]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2012. 12 p. Entered into force: order of Derzhspozhyvstandart of Ukraine dated 28.11.2012 № 1358 dated 01.03.2013 [in Ukrainian].
18. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vodnykh sushi [Guide to Chemical Analysis of Surface Water Lands]. Ed. A. D. Semenov. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1977. 541 p. [in Russian].
19. GOST 18308-72 Voda pitevaia. Metod opredeleniia sodержaniia molibdena [Drinking water. Method for determining the content of molybdenum]. Moscow: IPK
- Издательство стандартов, 2010. 6 с. Введен 01.01.1974.
11. ДСТУ ISO 7393-1:2003 Якість води. Визначання незв'язаного хлору та загального хлору. Ч. 1. Титрометричний метод із застосуванням N,N-діетил-1,4-фенілендіаміну. К.: Держспоживстандарт України, 2004. 10 с. Надано чинності: наказ Держспоживстандарту України від 10.06.2003 № 101 з 01.07.2004.
12. ГОСТ 18309-72 Вода питьевая. Метод определения содержания полифосфатов. М.: ИПК Издательство стандартов, 2010. 5 с. Введен 01.01.1974.
13. ГОСТ 4386-89 Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации фторидов. М.: Издательство стандартов, 1990. 11 с. Введен 01.01.1991.
14. ГОСТ 33045-2014 Вода питьевая. Методы определения азотсодержащих веществ. Введен 01.01.1983.
15. ДСТУ 4078-2001 Якість води. Визначання нітрату. Ч. 3. Спектрометричний метод із застосуванням сульфосаліцилової кислоти.
16. ГОСТ 4011-72 Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа. М.: Стандартинформ, 2008. 8 с. Введен 01.01.1974.
17. ДСТУ ISO 7875-1:2012 Якість води. Визначення поверхнево-активних речовин. Ч. 1. Метод визначення вмісту аніонних поверхнево-активних речовин вимірюванням індексу метиленового блакитного (МБАР). К.: Держспоживстандарт України, 2012. 12 с. Надано чинності: наказ Держспоживстандарту України від 28.11.2012 №1358 з 01.03.2013.
18. Руководство по химическому анализу поверхностных водных суши. Под редакцией А. Д. Семенова. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 541 с.
19. ГОСТ 18308-72 Вода питьевая. Метод определения содержания молибдена. М.: ИПК Издательство стандартов, 2010. 4 с. Введен 01.01.1974.

Publishing house of standards, 2010. 4 p. Introduced 01.01.1974 [in Russian].

20. DSTU ISO 17993:2008 Yakist vody. Vyznachennia 15 politsyklichnykh aromatychnykh vuhlevodniv (PAV) u vodi metodom vysokoefektivnoi ridynnoi khromatohrafii z fluorestsentnym detektuvanniam pislia ridynno-ridynnoho ekstrahuvannia [Water quality. Determination of 15 polycyclic aromatic hydrocarbons (surfactants) in water by high performance liquid chromatography with fluorescence detection after liquid-liquid extraction]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2010. 22 p. Entered into force: order of Derzhspozhyvstandart of Ukraine dated 04.03.2008 № 85 dated 01.01.2010 [in Ukrainian].

21. Metodychni vказivky №0052-98. Hazokhromatohrafichne vyznachennia tryhalohenmetaniv (khlороformu) u vodi. Zatverdzheno nakazom Ministerstva okhorony zdorov'ia Ukrainy vid 01.02.1999 № 2 [Methodical instructions №0052-98. Gas chromatographic determination of trihalomethanes (chloroform) in water. Approved by the order of the Ministry of Health of Ukraine dated 01.02.1999 № 2] [in Ukrainian].

22. GOST 23268.6-78 Voda mineralnye pitevye lechebnye, lechebno-stolovye i prirodnye stolovye. Metody opredeleniia ionov natriia [Mineral water for drinking, medicinal, medical-table and natural table. Methods for the determination of sodium ions]. Moscow: ИПК Издательство стандартов, 1983. 7 p. Introduced 01.01.1980 [in Russian].

23. DSTU ISO 11885:2005 Yakist vody. vody. Vyznachennia 33 elementiv metodom atomno-emisiinoi spektrometrii z induktyvno-zv'язanoi plazmoiu [Water quality. Determination of 33 elements by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2007. 22 p. Entered into force: order of Derzhspozhyvstandart of Ukraine dated 11.04.2007 № 82 dated 01.01.2008 [in Ukrainian].

20. ДСТУ ISO 17993:2008 Якість води. Визначення 15 поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ) у воді методом високоєфективної рідинної хроматографії з флуоресцентним детектуванням після рідинно-рідинного екстрагування. К.: Держспоживстандарт України, 2010. 22 с. Надано чинності: наказ Держспоживстандарту України від 04.03.2008 № 85 з 01.01.2010.

21. Методичні вказівки №0052-98. Газохроматографічне визначення тригалогенметанів (хлороформу) у воді. Затверджено наказом Міністерства охорони здоров'я України від 01.02.1999 № 2.

22. ГОСТ 23268.6-78 Вода минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов натрия. М.: ИПК Издательство стандартов, 1983. 7 с. Введен 01.01.1980.

23. ДСТУ ISO 11885:2005 Якість води. Визначення 33 елементів методом атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 22 с. Надано чинності: наказ Держспоживстандарту України від 11.04.2007 № 82 від 01.01.2008.

OLEKSIENKO OLENA

Candidate of Chemical Sciences, Researcher,
Department of Analytical and Radiochemistry,
A. V. Dumansky Institute of Colloid Chemistry and
Water Chemistry of the National Academy
of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6166-6090>
Researcher ID: ABA 9217-2020
E-mail: alinka0999339422@gmail.com

POPOVA VITA

Senior Engineer, Researcher,
Department of Analytical and Radiochemistry,
A. V. Dumansky Institute of Colloid Chemistry and
Water Chemistry of the National Academy of Sciences of
Ukraine, Kyiv, Ukraine
Researcher ID: ABB-3094-2020
E-mail: popova_vita@ukr.net

АЛЕКСЕЕНКО Е. Ю., ПОПОВА В. В.

Институт коллоидной химии и химии воды имени А. В. Думанского
НАН Украины, Киев, Украина

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПИТЬЕВЫХ ВОД ИЗ РАЗНЫХ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Цель. Мониторинг разных источников водоснабжения в отдельном регионе Украины.

Методика. Для мониторинга питьевой воды выбранного населенного пункта Черкасской области были отобраны воды из водопроводной сети (10 образцов), вода с бювета (1 образец) и воды с колодцев (26 образцов) и проанализированы по 20 основным химическим показателям в соответствии с требованиями ГСанПиН 2.2.-171-10 и ГОСТУ 7525:2014.

Результаты. Установлено, что водопроводная вода имеет незначительные превышения железа и мутности в 5 образцах. Вода не содержит алюминия, ионов аммония, нитратов, нитритов, остаточных количеств свободного и связанного хлора и побочных продуктов хлорирования. Образец воды с бювета имеет незначительное превышение содержания кремния и солей общей жесткости – ионов кальция и магния. Вода с бювета по химическому составу (рН, сухой остаток, щелочность, хлориды, сульфаты, натрий) и содержанию микрокомпонентов очень похожа на водопроводную, она имеет несколько выше «цветность» и «мутность», но содержание нефтепродуктов и железа не превышает нормативов для питьевой воды – 0,1 мг/дм³ и 0,2 мг/дм³ соответственно. При этом вода с колодца является наиболее непригодной для питьевых целей. Установлено, что наибольшее превышение нормированных значений в этих водах наблюдалось при определении сухого остатка (до 4 нормативов), жесткости (до 5 нормативов), концентрации нитратов (до 9 нормативов).

Научная новизна. Проведение мониторинга питьевых вод избранного населенного пункта Черкасской области и анализ пригодности водопроводной воды, воды с бювета и воды с колодца для питьевых нужд.

Практическая значимость. Установлены особенности химического состава объектов питьевого водоснабжения данного населенного пункта, в частности, большое внимание уделено определению микроэлементов и устойчивых органических токсикантов на уровне их предельно допустимых концентраций. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что по органолептическим показателям, общей минерализации, жесткости, щелочности, содержания органических компонентов качество водопроводной и бюветной воды соответствует действующим гигиеническим нормативам, а вода почти в всех колодцах – не соответствует.

Ключевые слова: мониторинг питьевых вод; вода с бювета; водопроводная вода; колодезная вода; водопоснабжение.

OLEKSIENKO O. Yu., POPOVA V. V.

A. V. Dumansky Institute of Colloid Chemistry and Water Chemistry
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ASSESSMENT OF QUALITY OF DRINKING WATER FROM DIFFERENT SOURCES OF WATER SUPPLY

Purpose. Monitor different sources of water supply in a particular region of Ukraine.

Methodology. To monitor the drinking water of the selected settlement of Cherkasy region, water from the water supply network (10 samples), water from the pump room (1 sample) and water from wells (26 samples) were selected and analyzed for 20 main chemical indicators in accordance with the requirements of DSanPiN 2.2.4-171-10 and DSTU 7525: 2014.

Findings. It was found that tap water has a slight excess of iron and turbidity in 5 samples. The water does not contain aluminum, ammonium ions, nitrates, nitrites, residual amounts of free and bound chlorine and chlorination by-products. The sample of water from the pump room has a slight excess of silicon and salts of general hardness – calcium and magnesium ions. Water from the pump room in chemical composition (pH, dry matter, alkalinity, chlorides, sulfates, sodium) and the content of microcomponents is very similar to tap water, it has a slightly higher "color" and "turbidity", but the content of petroleum products and iron does not exceed drinking standards. water – 0.1 mg / dm³ and 0.2 mg / dm³, respectively. In this case, well water is the most unsuitable for drinking purposes. It was found that the largest excess of normalized values in these waters

was observed when determining the dry residue (up to 4 standards), hardness (up to 5 standards), nitrate concentration (up to 9 standards).

Originality. Monitoring of drinking water in the selected settlement of Cherkasy region and the analysis of the suitability of tap water, pump room water and well water for drinking needs.

Practical value. The peculiarities of the chemical composition of drinking water supply facilities of this settlement have been established, in particular, much attention is paid to the determination of microelements and persistent organic toxicants at the level of their maximum permissible concentrations. The analysis of the obtained results testifies that the quality of tap water and pump room meets the current hygienic standards in terms of organoleptic parameters, general mineralization, hardness, alkalinity, content of organic components, and water in almost all wells does not meet.

Keywords: monitoring of drinking water; water from the pump room; tap water; well water; water supply.

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ

Комп'ютерний набір та макетування

Кривонос О. О.

Технічний редактор

Панасюк І. В.

Відповідальний за поліграфічне виконання

Підп. до друку 27.10.2021. Формат 60×84 1/8.
Ум. друк. арк. 5,1. Облік. вид. арк. 4,0. Наклад 100 пр. Зам. _____.

Видавець і виготовлювач Київський національний університет технологій та дизайну.
вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ, 01011, Україна.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ №24822–14762 ПР від 19.04.2021р.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців, виготівників і
розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 993 від 24.07.2002.

TECHNOLOGIES AND ENGINEERING

Computer Typesetting & Modeling

Kryvonos O. O.

Technical Editor

Panasiuk I. V.

Responsible for printing

Printing proof 27.10.2021. Format 60×84 1/8.
Conditional sheet 5.1. Calculated sheet 4.0. Circulation 100 copies. Order N _____.

KNUTD Instant Printing Department.
Nemirovich-Danchenko Street, 2, Kyiv, 01011, Ukraine.

Certificate KB №24822–14762 ПР від 19.04.2021 р.

Certificate ДК № 993, 24.07.2002.