

4. Khilchevskiy, V.V., Kondratiuk, S.Ie., Stepanenko, V.O., & Lopatko, K.H. (2002). Materialoznavstvo i tekhnolohiia konstruktsiinykh materialiv [Materials science and technology of structural materials]. Lybid [in Ukrainian].
5. Odeh A.A. (2000). Metallurgy & heat treatment: The pocket book. ATRONA Metallurgical Services.
6. Totten G.E. (2006). Steel Heat Treatment: Metallurgy and Technologies. CRC.

УДК 622.233:551.49

DOI: 10.33839/2708-731X-27-1-105-112

А. К. Судаков, д-р техн. наук; **А. С. Шумов**, аспірант

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, Дніпро,
E-mail: sudakovy@ukr.net, Shumov.An.S@nmi.one*

ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ЦУКРУ ТА ВІДХОДІВ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БЛОКОВИХ ГРАВІЙНИХ ФІЛЬТРІВ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ СВЕРДЛОВИН

Метою роботи є удосконалення технології застосування блокового гравійного фільтра гідрогеологічних свердловин за рахунок використання нових в'язучих матеріалів – цукру та відходів цукрового виробництва, що дозволять покращити технологічні властивості блокового гравійного фільтра, збільшити термін служби свердловин та знизити загальні витрати на видобуток корисної копалини.

Практичне значення роботи полягає в розробці нового в'язучого матеріалу блокового гравійного фільтра, який має покращені технічні та експлуатаційні характеристики. Використання цукру та відходів його виробництва як в'язучих матеріалів дозволяють знизити гідравлічний опір блокового гравійного фільтра, збільшити його шпаристість і забезпечити рівномірне розповсюдження гравію навколо фільтрової колони після її встановлення в свердловину.

Ключові слова: *гідрогеологічна свердловина, блоковий гравійний фільтр, в'язучий матеріал, буріння, свердловина.*

Постановка проблеми

Вода є одним з найважливіших ресурсів на нашій планеті; дефіцит стає глобальною проблемою, яка загрожує благополуччю мільярдів людей. Організація Об'єднаних Націй визнає дефіцит води проблемою номер один у світі. До 2025 року очікується, що 3,2 мільярда жителів планети будуть страждати від нестачі прісної води. Щодня у світі споживається приблизно 10 мільярдів тонн води, але шокуючим є те, що 80% цієї використаної води повертається в навколишнє середовище неочищеною. Крім того, 1,8 мільярда людей вже зараз не мають доступу до чистої питної води. Ці цифри підкреслюють масштаб і серйозність водної кризи, що вимагає негайної та координованої відповіді з боку міжнародного співтовариства [1].

Рівень споживання води на душу населення у різних країнах варіюється, що відображає як доступність, так і використання водних ресурсів. Найвищі показники споживання води на одну людину спостерігаються у Новій Зеландії, де цей показник сягає 2,16 тисяч кубічних метрів на рік. За нею слідує США з 1,58 тисяч кубічних метрів, Естонія з 1,33 тисяч кубічних метрів, Канада з 1 тисячею кубічних метрів та Греція з 0,88 тисяч кубічних метрів на рік. У той же час, країни з найменшими запасами питної води на душу населення стикаються з серйозними викликами. Єгипет має лише 30 кубічних метрів на рік на одну людину, Ізраїль

– 150, Туркменістан – 206, Молдова – 236, а Пакистан – 350 кубічних метрів. Ця нерівномірність підкреслює глобальні водні дисбаланси, де деякі країни мають відносний надлишок ресурсів, тоді як інші страждають від гострого дефіциту, що вимагає ефективних міжнародних зусиль для управління водними ресурсами [2].

Водна криза є результатом людської діяльності і має декілька основних причин. По-перше, нерівномірний розподіл природних ресурсів: наприклад, на Європу припадає 20% населення планети, але лише 7% запасів води. По-друге, зі зростанням чисельності населення (щорічний приріст становить 84 млн осіб) зростає й потреба у воді, яка має збільшуватися на 60 млн кубометрів щороку. Неправильне використання і швидка витрата природних ресурсів, забруднення водних джерел промисловими стоками і сільськогосподарськими відходами зменшують доступність до чистої води (наприклад, 37% водних ресурсів у США настільки забруднені, що не придатні для купання). Війна в Україні, Сирії, Сомалі та інших країнах також має серйозний вплив на доступ до чистої води. Руйнування інфраструктури, забруднення водних джерел, міграція населення, економічні труднощі, проблеми з безпекою та перебої в постачанні енергії — усі ці аспекти воєнного конфлікту ускладнюють доступ до надійних водних джерел. Воєнні дії часто руйнують водопровідні системи, насоси, очисні споруди та інші елементи водної інфраструктури, що призводить до припинення постачання води. Крім того, воєнні дії можуть забруднити річки, озера та підземні води нафтопродуктами, хімікатами, важкими металами та іншими небезпечними речовинами, що робить воду непридатною для споживання без додаткового очищення. Переміщення великої кількості людей, які втікають від бойових дій, створює додаткове навантаження на наявні ресурси у місцях, де немає достатньої інфраструктури. Всі ці фактори поглиблюють водну кризу та створюють невизначеність у питанні доступу до чистої води в умовах світової кризи [3,4].

На сьогоднішній день загальна кількість води на планеті становить 1,5 млрд м³, лише 2,5% є прісною, більшість з якої зберігається в льодовиках і під землею, що ускладнює її використання.

Автори статті пропонують використовувати воду, що зберігається під землею, через буріння гідрогеологічних свердловин.

Метою роботи є удосконалення технології застосування блокового гравійного фільтра гідрогеологічних свердловин за рахунок використання нових в'язучих матеріалів – цукру та відходів цукрового виробництва, що дозволять покращити технологічні властивості блокового гравійного фільтра, збільшити термін служби свердловин та знизити загальні витрати на видобуток корисної копалини.

Виклад основного матеріалу

Буріння гідрогеологічних свердловин є перспективним напрямком, що може суттєво допомогти у вирішенні проблеми водної кризи, полягаючи у створенні глибоких свердловин для видобутку води із підземних горизонтів, насичених прісною водою. Процес включає проведення геологічних досліджень для визначення оптимальних місць буріння, використання спеціалізованого обладнання для спорудження свердловинного обладнання свердловин блоковими гравійними фільтрами для забезпечення стабільного потоку води і захисту від забруднення. Переваги цього методу включають доступ до значних обсягів прісної води, що **можуть** використовуватися для потреб промислових та побутових споживачів, Збройних сил України, реінтеграції окупованих територій, сприятимуть вирішенню нагальних безпекових проблем, актуальних як для України, так і країн світу.

Підземні води менш схильні до впливу кліматичних змін і забруднення, що робить їх надійним джерелом водопостачання. Однак надмірне видобування може призвести до виснаження водоносних горизонтів, зниження рівня ґрунтових вод, суфозії стінок свердловини, це вимагає впровадження стратегій сталого управління підземними водними

ресурсами, включаючи моніторинг рівня води, контроль обсягів видобутку і відновлення водоносних горизонтів. Відповідно, буріння гідрогеологічних свердловин є перспективним напрямком забезпечення доступу до прісної води, який потребує відповідального підходу до управління підземними водними ресурсами.

На сьогоднішній день кафедра нафтогазової інженерії та буріння НТУ «Дніпровська політехніка» в рамках проекту «Гідрогеологічне та технологічне обґрунтування альтернативного водопостачання населення України в період воєнного стану та післявоєнного відновлення» веде роботи з розробки та модернізації технологій буріння гідрогеологічних свердловин зі створенням нових систем очищення видобутих вод від механічних домішок. В результаті розроблено ряд технологій виготовлення блокових гравійних фільтрів та обладнання ними водоприймальної частини гідрогеологічних свердловин. Їх впровадження дозволить досягти необхідної якості моніторингу підземної гідросфери та рівня екобезпеки, стабілізувати водопостачання у деокупованих та прифронтових регіонах.

В'яжучий матеріал, який використовується для виготовлення блокових гравійних фільтрів на денній поверхні – цукор та відходи цукрового виробництва. Особливістю їх застосування є:

- достатньо міцний зв'язок з гравієм, що дозволяє їм витримувати механічні навантаження;
- зменшення негативного впливу на навколишнє середовище і залежності від неекологічних матеріалів;
- розчинення цукру та відходів цукрового виробництва не призводить до утворення шкідливих речовин, що знижує ризик забруднення водних ресурсів;
- фазо-перехідність – **здатність** переходити з твердого стану в рідкий та навпаки при певних умовах температури та вологості.

Обґрунтування і вибір в'яжучого матеріалу під час застосування технології є одним із найважливіших її елементів. В'яжучий матеріал має відповідати таким вимогам: бути інертним щодо матеріалу гравійного обсіпання фільтра та свердловинної рідини; у процесі виготовлення, транспортування і складання фільтра на буровій бути **міцним**; при тривалому гідродинамічному впливі і підвищенні температури навколишнього середовища набувати реологічних властивостей води; бути екологічно **чистим**; бути **недефіцитним** і мати невисоку вартість [5].

У буровій практиці як структуроутворювальні добавки знайшли широке застосування: гідрофобні речовини – цемент, гіпс; полімери – гіпан, крохмаль, поліакриламід, КМЦ, ССБ, КССБ, натрієве рідке скло, поліетилентерефталат, поліуретан, водний розчин желатину, епоксидні смоли та ін. [6-10].

Відомо, що гідрофобні речовини під час гідратації в гравійному композиті формують тупикові пори, що знижує ефективну шпаристість таких блокових гравійних фільтрів. При використанні полімерів у блокових гравійних фільтрах з концентрацією 1–5 % і більше вони утворюють важкоруйнівний, міцний гель або драгли. Це призводить до зниження ефективної шпаристості блокового гравійного фільтра. Сульфатний луг, галун, хлористий кальцій є агресивними та токсичними речовинами, оскільки галуни містять миш'як та важкі метали. Tylose, агар, альгінова кислота, пектин, протопектин відзначаються високою вартістю. Крім того, під час проведених автором лабораторних досліджень було встановлено, що полімери, такі як крохмаль, агар, пектин, зазнають руйнування після впливу низьких та високих температур. Аналіз в'яжучих матеріалів, що застосовувалися, дає змогу розділити їх на дві групи: розчинні і нерозчинні [11].

На наш погляд, найповніше вищенаведеним вимогам відповідає в'яжучий матеріал – цукор та відходи цукрового виробництва. Це харчові продукти, які являють собою очищену, кристалізовану або рідку сахарозу (бурякова меляса).

Цукор та бурякова меляса відповідають вимогам стандарту ДСТУ 4623-2006 [12], ДСТУ 3696-98 [13]. Їх виробляють згідно з технологічною інструкцією, затвердженою в

установленому порядку, з дотриманням санітарних правил і норм, затверджених у встановленому порядку центральним органом виконавчої влади у сфері охорони здоров'я.

Характеристика цукру

Залежно від способу вироблення цукор поділяють на кристалічний, сахарозу для шампанського, цукрову пудру і пресований. Кристалічний цукор залежно від показників якості поділяють на чотири категорії: першу, другу, третю, четверту; пресований цукор – на три категорії: першу, другу і третю. Кристалічний цукор виробляють із розмірами кристалів від 0,2 мм до 2,5 мм, сахарозу для шампанського – розмірами від 1,0 мм до 2,5 мм. Цукрову пудру виробляють у вигляді подрібнених кристалів розмірами не більше ніж 0,2 мм. Пресований цукор виробляють у вигляді окремих шматочків різної форми і розмірів. Пресований цукор залежно від асортименту поділяють на: пресований колотий; пресований швидкорозчинний; пресований дорожній.

За фізико-хімічними показниками цукор повинен відповідати нормам, зазначеним у табл. 1.

Вміст токсичних елементів у цукрі не повинен перевищувати допустимих рівнів, установлених МБВ № 5061.

Характеристика бурякової меляси

Бурякова меляса повинна вироблятися згідно з «Інструкцією з ведення технологічного процесу бурякоцукрового виробництва», з дотриманням санітарних норм і правил, затверджених у встановленому порядку.

За фізико-хімічними показниками бурякова меляса має відповідати вимогам, зазначеним у табл. 2.

Таблиця 2. Фізико-хімічні показники бурякової меляси

Назва показника	Норма	Метод випробування
Масова частка сухих речовин, %, не, менше	75,0	7,3
Масова частка сахарози, %, не менше	43,0	7,4
Масова частка суми цукру, що зброджуються, %, не менше	44,0	7,5
Величина рН	6,5-8,5	7,6

Вміст токсичних елементів у буряковій мелясі не має перевищувати допустимих рівнів, установлених «Медико-біологічними вимогами та санітарними нормами якості продовольчої сировини і харчових продуктів».

Запропонований авторами блоковий гравійний фільтр (рисунок) містить гравійний матеріал, в'язучий матеріал та трубчастий каркас фільтрової колони. У випадку використання цукру або карамелі на основі цукру як в'язучого матеріалу іде змішування з гравійним матеріалом у певних пропорціях, з подальшою термообробкою гравійного блока фільтра. Альтернативно, як в'язучий матеріал може використовуватися бурякова меляса, змішана з гравійним матеріалом, яка омонолічується при температурі навколишнього середовища [14–17].

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники цукру

Назва показника	Значення за категоріями цукру			
	1	2	3	4
Масова частка сахарози (поляризація), %, не менше ніж	99,7	99,7	99,61	99,5
Масова частка вологи, %, не більше ніж: - цукру	0,06	0,01	0,14	0,15
Масова частка золи (у перерахунку на суху речовину), не більше ніж: % балів	0,011 6,0	0,027 15,0	0,04 -	0,05 -
Кольоровість у розчині, не більше ніж: одиниць ICUMSA балів умовних одиниць	22,5 3 -	45,0 6 -	104 - 0,8	195 - 1,5
Масова частка феродомішок, %, не більше ніж	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Величина окремих частинок феродомішок, у найбільшому лінійному вимірі, мм, не більше ніж	0,3	0,3	0,3	0,3

Технологія виготовлення блокового гравійного фільтра включає наступні етапи: підготовка циліндричних форм до виготовлення гравійних блоків фільтра; підготовка

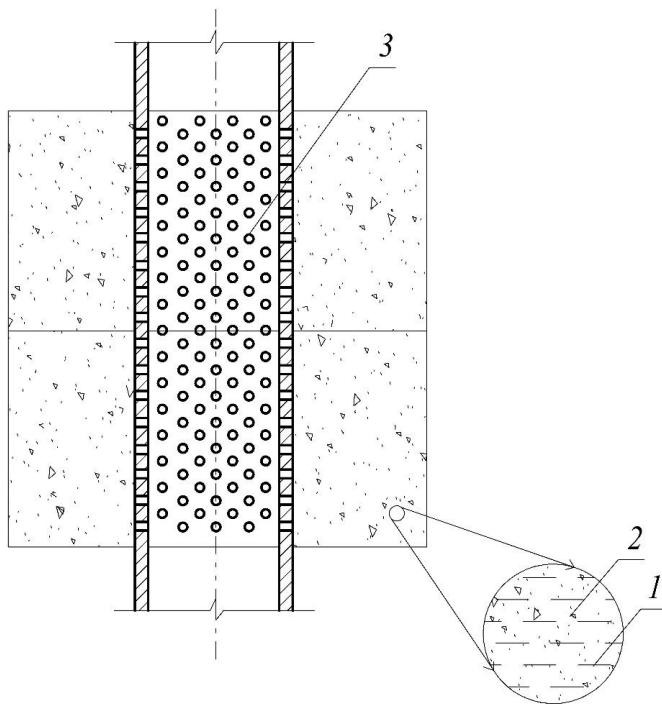


Схема блокового гравійного фільтра: 1 – матеріал шару обсипання (гравій); 2 – в'язучий матеріал (цукор та відходи цукрового виробництва); 3 – трубчастий каркас фільтраційної колони

гравійного шару високої якості із заданими параметрами, які дають змогу здійснювати візуальний контроль, що робить процес виготовлення блокового гравійного фільтра повністю контрольованим. Після етапу виготовлення блоків гравійного фільтра, безпосередньо перед спуском фільтра в свердловину, блоки з'єднуються з фільтраційною колоною. Через деякий час після установки фільтра під дією плюсової температури водоносного горизонту відбувається розмонолічування блокового гравійного фільтра через фільтрацію пластових вод, в'язкий матеріал розчиняється, а гравій рівномірно розповсюджується навколо фільтраційної колони, чим досягається ефективна шпаристість гравійного шару.

Ця технологія виготовлення блокового гравійного фільтра знаходиться на стадії розробки та потребує подальших досліджень для його вдосконалення та оптимізації. Кінцевими результатами роботи є екологічно-безпечна технологія забезпечення належної якості води для потреб суспільства та Збройних сил України.

Висновки

Запропонована технологія виготовлення блокового гравійного фільтра, яка передбачає використання цукру та відходів цукрового виробництва як в'язучого матеріалу.

Застосування цукру та відходів цукрового виробництва дозволяє значно підвищити фільтраційні властивості блокового гравійного фільтра. Це досягається за рахунок більш щільного з'єднання гравійних частинок та рівномірного розподілу пор, що знижує ризик засмічення. Такий підхід сприяє збільшенню терміну експлуатації блокового гравійного фільтра гідрогеологічних свердловин, знижуючи загальні витрати на виготовлення блокових

гравійного матеріалу; підготовка в'язучого матеріалу; підготовка суміші гравійного композиту; формування гравійних блоків фільтра; омонолічування гравійних блоків фільтра за технологією; виймання гравійних блоків фільтра з форм; оцінювання якості гравійних блоків фільтра.

Блоковий гравійний фільтр виготовляється на денній поверхні, у спеціальній ємності, яка повторює контури та зовнішні радіальні розміри блокового гравійного фільтра, каркасу фільтраційної колони та водоносного горизонту.

Процес омонолічування в'язучого матеріалу (цукор та відходи цукрового виробництва) з гравієм залежить від технічних умов та часу термообробки. При цьому є можливість формування навколо каркасу фільтра

гравійних фільтрів без шкоди для їх якості. Цей результат відкриває перспективи для подальших досліджень та оптимізації технології.

Стаття опублікована в рамках проекту «Гідрогеологічне та технологічне обґрунтування альтернативного водопостачання населення України в період військового стану та післявоєнного відновлення» (№ д.р. 0123U101745).

A. Sudakov, A. Shumov

¹Dnipro University Technology, Ukraine

TECHNOLOGIES FOR THE USE OF SUGAR AND SUGAR PRODUCTION WASTE FOR THE MANUFACTURE OF BLOCK GRAVEL FILTERS FOR HYDROGEOLOGICAL WELLS

The purpose of the work is to improve the technology of using a block gravel filter in hydrogeological wells by using new binding materials – sugar and sugar production waste, that will improve the technological properties of the block gravel filter, increase the service life of wells and reduce the overall cost of mining.

Practical value is the development of a new binder for a block gravel filter that has improved technical and operational characteristics. The use of sugar and its production wastes as binders can reduce the hydraulic resistance of a block gravel filter, increase its porosity, and ensure uniform distribution of gravel around the filter string after it is installed in the well.

Key words: hydrogeological well, block gravel filter, binder, drilling, well.

Література

1. United Nations. URL: <https://www.unwater.org/>.
2. World Population Review. URL: <https://worldpopulationreview.com/>.
3. World Resources Institute. URL: <https://www.wri.org/>.
4. Concern Worldwide US. URL: <https://concernusa.org/>.
5. Судаков А.К., Фем'як Я.М., Чудик І.І., Федик О.М., Щуцький В.І. Буріння свердловинна воду: навчальний посібник. Дрогобич: Посвіт, 2022. 344 с.
6. Кожевников А.О., Судаков А.К. Гравійні фільтри бурових свердловин. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2011. 186 с.
7. Кожевников А. О., Судаков А. К., Дреус А. Ю. Наукові основи інноваційної технології обладнання бурових свердловин криогенно-гравійними фільтрами. *Наука та інновації*. 2015. Т. 11, № 3. С. 23–38.
8. Rowles R. Drilling for Water: A Practical Manual. Routledge: Published Free Shipping, 1995. 188 p.
9. Кожевников А.О., Судаков А.К. Криогенно-гравійні фільтри свердловин. Дніпропетровськ: Літограф, 2014. 305 с.
10. Кожевников А.О., Отебаєв М., Судаков А.К. та ін. Гравійні фільтри свердловин на рідкі та газоподібні корисні копалини. Алмати: КазНТУ, 2015. 346 с.
11. Судаков А.К. Наукові основи технології обладнання бурових свердловин криогенно-гравійними фільтрами: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.15.10. Дніпропетровськ, 2014. 412 с.
12. ДСТУ 4623-2006. Цукор білий, технічні умови. Чинний від 07.01.2007. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 14 с.
13. ДСТУ 3696-98. Меляса бурякова. Чинний від 01.01.1999. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1991. 21 с.
14. Блоковий гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. 154865 Україна МПК E21B 43/08; опубл. 27.12.2023, Бюл. № 52.
15. Блоковий гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. 154866 Україна МПК E21B 43/08; опубл. 27.12.2023, Бюл. № 52.

16. Блоковий гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. 154867 Україна МПК E21B 43/08; опубл. 27.12.2023, Бюл. № 52.
17. Блоковий гравійний фільтр для будівництва свердловин: пат. 15590 Україна МПК E21B 43/08; опубл. 17.01.2024, Бюл. № 52.

Надійшла 16.07.24

References

1. *United Nations*. (b.d.). <https://www.unwater.org/>.
2. *World Population Review*. [(b.d.)]. <https://worldpopulationreview.com/>.
3. *World Resources Institute*. (b.d.). <https://www.wri.org/>.
4. *Concern Worldwide US*. (b.d.). <https://concernusa.org/>.
5. Sudakov, A.K., Femyak, Y.M., Chudyk, I.I., et al. (2022). *Burinnia sverdlovyh na vodu [Drilling water wells]*. Posvit [in Ukrainian].
6. Kozhevnikov, A.O., & Sudakov, A.K. (2011). *Hraviini filtry burovykh sverdlovyh [Gravel filters of boreholes]*. National Mining University [in Ukrainian].
7. Kozhevnikov, A.O., Sudakov, A.K., & Dreus, O.Y. (2015). *Naukovi osnovy innovatsiinoi tekhnolohii obladnannia burovykh sverdlovyh kriohenno-hraviinymy fil'tramy [Scientific basis of innovative technology of drilling wells equipment with cryogenic-gravel filters]*. *Nauka ta innovatsii – Science and innovation*, 11(3), 23–38 [in Ukrainian].
8. Rowles, R. (1995). *Drilling for Water: A Practical Manual*. Routledge: Published Free Shipping.
9. Kozhevnikov, A.O., & Sudakov, A.K. (2014). *Kriohenno-hraviini filtry sverdlovyh [Cryogenic-gravel filters of wells]*. Litohraf [in Ukrainian].
10. Kozhevnikov, A.O., Otebaev, M., Sudakov, A.K., et al. (2015). *Hraviini filtry sverdlovyh na ridki ta hazopodibni korysni kopalyny [Gravel filters of wells for liquid and gaseous minerals]*. KazNTU [in Ukrainian].
11. Sudakov, A.K. (2014). *Naukovi osnovy tekhnolohiyi obladnannya burovykh sverdlovyh kriohenno-hraviinymy fil'tramy [Scientific basis of the technology of drilling well equipment with cryogenic gravel filters]*. [Doctor's dissertation], Dnipropetrovsk [in Ukrainian].
12. *Tsukor bilyi, tekhnichni umovy [White sugar, technical conditions]*. (DSTU 4623-2006). (2007). Derzhspozhyvstandart [in Ukrainian].
13. *Buriakova meliasa [Beetroot molasses]*. (DSTU 3696-98). Derzhstandart [in Ukrainian].
14. Pavlychenko, A.V., Sudakov, A.K., Zagrytseno, et al. (2023). *Patent of Ukraine № 154865 MIPK E21B 43/08. Blokovi hraviinyi filtr dlia budivnytstva sverdlovyh [Block gravel filter for well construction]*. (Patent Ukraine № 154865) [in Ukrainian].
15. Pavlychenko, A.V., Sudakov, A.K., Zagrytseno, et al. (2023). *Patent of Ukraine № 154866 MIPK E21B 43/08. Blokovi hraviinyi filtr dlia budivnytstva sverdlovyh [Block gravel filter for well construction]*. (Patent Ukraine № 154866) [in Ukrainian].
16. Pavlychenko, A.V., Sudakov, A.K., Zagrytseno, et al. (2023). *Patent of Ukraine № 154867 MIPK E21B 43/08. Blokovi hraviinyi filtr dlia budivnytstva sverdlovyh [Block gravel filter for well construction]*. (Patent Ukraine № 154867) [in Ukrainian].
17. Pavlychenko, A.V., Sudakov, A.K., Zagrytseno, & A.M., Shumov, A.S. (2024). *Patent of Ukraine № 15590 MIPK E21B 43/08. Blokovi hraviinyi filtr dlia budivnytstva sverdlovyh [Block gravel filter for well construction]*. (Patent Ukraine № 15590) [in Ukrainian].