

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



АБЛЕСВА Ірина Юріївна

УДК 502.174:69(043.3)

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ
ВІДХОДІВ НАФТОГАЗОВОГО ВИДОБУТКУ**

21.06.01– екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі прикладної екології Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Пляцук Леонід Дмитрович,
Сумський державний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри прикладної екології.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Козуля Тетяна Володимирівна,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри комп'ютерного
моніторингу і логістики;

кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
Вакал Сергій Васильович,
Державне підприємство «Сумський державний
науково-дослідний інститут мінеральних добрив і
пігментів» Міністерства економічного розвитку і
торгівлі України, директор.

Захист відбудеться 2 грудня 2016 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.04 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Автореферат розісланий «31» жовтня 2016 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Л. Л. Гурець

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У процесі діяльності нафтовидобувної галузі промисловості створюється значне техногенне навантаження на об'єкти атмо-, гідро-, літо- та біосфери, передусім, за рахунок утворення відходів буріння, кількість яких для однієї нафтової свердловини глибиною 4000 м оцінюється у 520 м³ вибуреної породи, 622 м³ відпрацьованої промивальної рідини, 1244 м³ бурових стічних вод. Спорудження та експлуатація шламових амбарів для збору відходів буріння із середнім загальним об'ємом 2330 м³ з розрахунку на одну свердловину призводить до суттєвого зниження рівня екологічної безпеки територій нафтового видобутку. Ці об'єкти є довготривалими джерелами забруднення навколишнього природного середовища (НПС) небезпечними хімічними речовинами за рахунок випаровування їх з відкритих поверхонь, міграції у поверхневі, ґрунтові води і ґрунт. Території масового нафтогазовидобутку відносять до категорії екологічно небезпечних внаслідок порушення природної екологічної рівноваги, скорочення ресурсно-біогенного потенціалу біосфери, деградації компонентів екосистем.

Таким чином, актуальність проблеми поводження з буровими відходами, пов'язаної з максимальною утилізацією утвореного бурового шламу, обумовлюється підвищенням рівня екологічної безпеки об'єктів довкілля, що перебувають у зоні впливу відходів та місць їхнього розміщення і захоронення. Вітчизняний і зарубіжний досвід показує, що переробка відходів буріння за рахунок використання їх у якості вторинних ресурсів – це не тільки радикальні засоби запобігання забрудненню НПС, а й вирішення проблеми раціонального природокористування.

Актуальності набуває напрямок утилізації бурового шламу сумісно з іншими промисловими відходами, що забезпечує істотне зниження техногенного навантаження на довкілля. Доцільним й ефективним у розрізі екологічної безпеки, але невирішеним на сьогодні залишається питання залучення до технологічного процесу відходу хімічної промисловості – фосфогіпсу відвального.

Виходячи зі вищезазначеного, необхідним та перспективним є розробка технології сумісної утилізації бурового шламу і фосфогіпсу, що дозволить суттєво підвищити рівень екологічної безпеки об'єктів НПС у зоні впливу відходів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні завдання дисертаційної роботи щодо постановки задачі екологічних досліджень, методів і засобів їх розв'язання відповідають положенням Закону України «Про відходи», Постанови Верховної Ради України «Про основні напрями державної політики України в сфері охорони навколишнього середовища, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки», Стратегії державної екологічної політики України на період до 2020 року та Концепції Загальнодержавної програми поводження з відходами на 2013–2020 рр.

Основні дослідження роботи проводилися у рамках виконання плану науково-дослідних робіт кафедри прикладної екології Сумського державного університету, пов'язаних із тематикою «Розроблення шляхів поліпшення екологічної ситуації міст і промислових зон» згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України (№ держреєстрації 0111U006335).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає у підвищенні рівня екологічної безпеки нафтовидобувних територій та реалізації принципів раціонального природокористування за рахунок розроблення ресурсозберігаючої технології сумісної утилізації бурового шламу і фосфогіпсу з одержанням будівельного матеріалу, як продукту остаточного використання.

Для досягнення зазначеної мети поставлено та вирішено такі завдання:

- провести аналіз стану бурового шламу з позицій еколого-гігієнічної та токсикологічної оцінки безпеки його використання для утилізації з отриманням продукту споживання;
- проаналізувати екологічність та ефективність існуючих напрямків перероблення відходів буріння для визначення оптимального робочого варіанту дослідження;
- дослідити особливості процесу взаємодії бурового шламу і фосфогіпсу у якості гіпсового в'язучого щодо можливостей підвищення рівня екологічної безпеки технології утилізації відходів;
- розробити математичну модель технологічного процесу перероблення відходів у будівельний матеріал – гіпсобетон з урахуванням запропонованих технічних удосконалень;
- розробити технологічну схему процесу екологічно безпечної сумісної утилізації бурового шламу і фосфогіпсу;
- на основі оцінки рівня екологічної безпеки виробництва гіпсобетону із вторинної сировини обґрунтувати зниження техногенного й екологічного ризиків для людини;
- оцінити еколого-економічну ефективність запропонованих науково-практичних рішень у межах розробленої технології відповідно до завдань виробничого призначення виконаного екологічного проекту.

Об'єкт дослідження – техногенне навантаження на навколишнє природне середовище при розміщенні відходів буріння нафтогазових свердловин.

Предмет дослідження – підвищення рівня екологічної безпеки під час сумісної переробки бурового шламу і фосфогіпсу в будівельний матеріал із задовільними екологічними властивостями.

Методи дослідження. Експериментальні дослідження дисертаційної роботи проводилися із застосуванням фазового рентгеноструктурного аналізу – для визначення мінералогічного складу зразків бурового шламу; растрової електронної мікроскопії, рентгено-флуоресцентного аналізу і атомно-абсорбційної спектрофотометрії – для кількісного і якісного хімічного аналізу зразків бурового шламу та фосфогіпсу; фотоколориметрії, титрометрії, гравіметрії та рН-метрії – для вивчення фізико-хімічних параметрів досліджуваних відходів; методу біотестування, в основу якого покладено фітотоксичне випробування – для оцінки ступеня токсичності бурового шламу для живих організмів.

Теоретичні аспекти роботи базуються на математичному моделюванні процесу сумісної утилізації бурового шламу та фосфогіпсу з метою проведення досліджень з пошуку оптимальних технологічних рішень щодо підвищення екологічної безпеки виробництва, виконаному у середовищі програмування Borland C++.

Обробку експериментальних даних та ідентифікацію виконаних експериментів існуючим теоретичним моделям здійснено за допомогою комп'ютерних технологій: використано пакети програм Microsoft Excel, Statistica 12.0, MATLAB 7.8.0, Corel Draw X7, Digimizer Version 3.0.5.0, DifWin-1, Crystallographica Search – Match (Oxford Cryosystems), AAS-SPECTR.

Наукова новизна одержаних результатів:

- уперше з метою зниження техногенного навантаження на територіях нафтового видобутку теоретично обґрунтовано екологічно безпечний спосіб сумісної утилізації бурового шламу і фосфогіпсу;

- уперше для підвищення рівня екологічної безпеки об'єктів довкілля, що перебувають у зоні впливу бурового шламу і фосфогіпсу, експериментально визначено умови переробки досліджуваних промислових відходів у гіпсобетон із задовільними екологічними та технічними характеристиками;

- уперше науково обґрунтовано та експериментально встановлено оптимальний склад і співвідношення між масами компонентів гіпсобетонної суміші при переробці відходів у екологічно безпечний будівельний матеріал;

- удосконалено теоретично-практичні положення щодо оцінки екологічної безпеки гіпсобетону, як продукту утилізації промислових відходів, за токсикологічними, радіаційними й еколого-гігієнічними показниками;

- отримали подальший розвиток технологічні рішення стосовно удосконалення схем виробництва зі створення маловідходних екологічно безпечних технологій випуску будівельних матеріалів із вторинної сировини.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено технологічну схему процесу екологічно безпечної технології утилізації бурового шламу шляхом переробки його в гіпсобетон на основі застосування фосфогіпсового в'язучого, одержаного з фосфогіпсу – відходу хімічної промисловості.

Розроблено та запатентовано спосіб утилізації бурового шламу з одержанням гіпсобетону підвищеної екологічної та споживчої якості. Гіпсобетон як продукт переробки відходів нафтогазовидобутку за розробленою технологією має ефективну питому активність природних радіонуклідів $A_{\text{еф}} = 56$ Бк/кг, що відповідає паспорту радіаційної якості сировини та будівельного матеріалу, виданого випробувальною лабораторією ДП «Сумистандартметрологія», і відноситься до 1-го класу використання будівельних матеріалів ($A_{\text{еф}} < 370$ Бк/кг), тобто для всіх видів будівництва без обмежень.

За результатами випробувань технічних характеристик виготовлених гіпсобетон відповідає класу бетону за міцністю В3,5–В5 та марці бетону М50–75, що дозволяє його використання у якості конструкційно-теплоізоляційного будівельного матеріалу. Вихідні дані дослідно-промислових випробувань технології сумісної утилізації бурового шламу та фосфогіпсу були передані до ПрАТ інститут «Сумипроєкт» для використання у процесі розробки будівельних конструкцій (акт впровадження від 29.08.2016 р.).

Результати дисертаційної роботи щодо підходів до утилізації промислових відходів – бурового шламу і фосфогіпсу, науково-практичних основ проектування технологічних схем виробництва будівельних матеріалів із застосуванням вторинної

сировини впроваджено в навчальний процес кафедри прикладної екології Сумського державного університету при викладанні дисциплін «Техноекологія», «Технології утилізації відходів» (акт впровадження від 16.06. 2016 р.).

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні експериментальних досліджень, обробці отриманих результатів та їх аналізі; наданні на якісному і кількісному рівні аналізу даних про склад гіпсобетонної суміші; оцінці рівня екологічності та технічної якості гіпсобетону, одержаного у результаті сумісної переробки бурового шламу і фосфогіпсу; створенні математичної моделі процесу утилізації відходів; проектуванні технологічної схеми виготовлення гіпсобетону як продукту переробки досліджуваних відходів за розробленою технологією.

Внесок автора у роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на 14 конференціях: Науково-технічній конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій «Сучасні технології у промисловому виробництві» (м. Суми, 2013–2015 рр.); Міжнародній конференції «Цілі збалансованого розвитку для України» (м. Київ, 2013 р.); Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Середовище, оточуюче людину: природне, техногенне, соціальне» (м. Брянськ, 2014 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Екологічний інтелект – 2014» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.); XXII Міжнародній науково-практичній конференції «КАЗАНТИП-ЕКО-2014. Інноваційні шляхи вирішення актуальних проблем базових галузей, екології, енерго- та ресурсозбереження» (м. Харків, 2014 р.); 3-му Міжнародному конгресі «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, 2014 р.); V-му Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology–2015) (м. Вінниця, 2015 р.); X Міжнародній науково-практичній конференції «Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів» (м. Харків, 2015 р.); підсумковому семінарі I Всеукраїнського конкурсу «Молодь і прогрес у раціональному природокористуванні-2015» (м. Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні тенденції в науці та освіті» (м. Краків, 2016 р.); X Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих учених і студентів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 2016 р.); I Міжнародній науково-практичній конференції «Системи розробки та постановки продукції на виробництво» (м. Суми, 2016 р.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія і захист навколишнього середовища» (м. Мінськ, 2016 р.).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 23 наукові праці, у т. ч. 9 статей, з них 5 статей у наукових фахових виданнях з переліку МОН України, з яких 4 статті індексуються міжнародними наукометричними базами даних, 3 статті в закордонних виданнях, 1 стаття у збірнику наукових статей, 13 тез доповідей конференцій, отримано патент на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи

становить 194 сторінки. Дисертаційна робота містить 31 таблицю та 25 рисунків, 168 найменувань списку використаних джерел на 21 сторінці та 17 додатків на 42 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи; сформульовано мету, завдання досліджень; відображено наукову новизну, підсилену теоретичними розробками в плані аналізу завдань математичного моделювання; подано практичну цінність отриманих результатів та особистий внесок здобувача.

Перший розділ присвячений огляду екологічної проблематики накопичення та утилізації бурових відходів і фосфогіпсу. Проблема техногенного навантаження на навколишнє середовище при бурінні свердловин і підвищення рівня екологічної безпеки нафтовидобувних територій шляхом перероблення відходів буріння, зокрема бурового шламу, висвітлюється у працях таких провідних українських та зарубіжних фахівців: Я. М. Семчук, Л. Є. Шкіца, А. В. Пукіш, Б. Ю. Депутат, П. Г. Дригулич, І. М. Фесенко, Г. Г. Ягафарова, В. Б. Барахніна, Г. М. Позднишев, Т. П. Косуліна, А. Х. Сафаров, Marwa S. Al-Ansary, Abir Al-Tabbaa, John A. Veil, Maurice V. Dusseault, Dariusz Knez, Andrzej Gonet.

Забруднюючі властивості бурових відходів обумовлені мінералогічним складом вибуреної породи, пластових флюїдів і залишками бурового розчину, що становить вплив шламу на підземні, поверхневі води, ґрунт і атмосферу. Небезпечність дії відходів буріння пов'язана з негативними змінами в живих організмах і фітоспівтовариствах, що утворюють групи контролю і тест-моніторингу якості НПС із застосуванням біотестування та фітотоксичного випробування різних екологічних груп водного середовища.

Таким чином, зниження техногенного навантаження на довкілля є першочерговою еколого-економічною задачею підвищення екологічної безпеки територій нафтогазодобування. Огляд засобів зменшення тиску на НПС при розміщенні бурового шламу в шламових амбарах показав, що зниження його негативної дії загалом пов'язано з термічними, фізичними, біохімічними, фізико-хімічними і хімічними методами переробки.

З позицій еколого-економічної доцільності заходів поводження з відходами цього виду встановлено можливість одержання будівельних матеріалів у результаті утилізації бурового шламу при використанні технологічного процесу на основі хімічного способу. Аналіз варіантів реалізації такого рішення показав, що застосування у якості неорганічного в'язучого фосфогіпсового в'язучого є ще й економічно обґрунтованим заходом, оскільки фосфогіпс відвальний відноситься до відходів хімічної промисловості. При сірчаноокислотному методі виробництва ортофосфорної кислоти на 1 т H_3PO_4 залежно від сировини й прийнятої технології утворюється 4,3–5,8 т фосфогіпсу. За даними екологічного паспорту Сумської області станом на 01.01.2016 року на ПАТ «СумиХімпром» накопичено 15654,109 тис. т фосфогіпсу, який відноситься до групи відходів четвертого класу небезпеки.

Екологічна доцільність такого прийнятого рішення підтримується забезпеченням екологічної чистоти будівельних матеріалів, виготовлених із техногенної сировини, що підтверджується результатами постійного контролю екологічних властивостей застосованих вторинних сировинних матеріалів і готового продукту.

У другому розділі надано обґрунтування можливостей і еколого-економічної доцільності дослідження об'єктів екологічної небезпеки для НПС і методів уникнення ризиків, методик проведення експериментів і визначення математичних методів обробки даних, аналізу та оцінки отриманих результатів.

Еколого-гігієнічна оцінка бурового шламу. За рекомендаціями Міністерства охорони здоров'я показник небезпеки хімічної речовини встановлюється за розрахунковим значенням сумарного індексу небезпеки відповідно до складу відходу, гранично допустимої концентрації цієї речовини, її коефіцієнту розчинності та вмісту в загальній масі відходів. Вихідні дані для розрахунку цього індексу для бурового шламу враховують сумісну дію всіх шкідливих речовин відходу (табл. 1). Значення сумарного індексу небезпеки бурового шламу дорівнює 20,4, тобто знаходиться у межах діапазону 16–30, що відповідає III класу небезпеки відходів і становить помірний ступінь небезпеки.

Таблиця 1 – Результати розрахунку сумарного індексу небезпеки бурового шламу

Сполуки	Хімічна формула	ГДК _i , мг/кг	(S + Cв) _i , мг/кг	K _i	K
заліза	FeCl ₃	2,3	0,5209	4,415	20,4
	FeSO ₄		0,4556	5,048	
міді	CuCl ₂	3	0,0754	39,788	
	CuSO ₄		0,0232	129,310	
нікелю	NiCl ₂	4	0,0648	61,728	
	NiSO ₄		0,0392	102,041	
хрому	CrCl ₃	6	0,0351	170,940	
	Cr ₂ (SO ₄) ₃		0,0642	93,458	
цинку	ZnCl ₂	23	0,3781	60,830	
	ZnSO ₄		0,0652	352,761	

Токсикологічна оцінка бурового шламу. Зона токсичної дії бурового шламу встановлювалась методом біотестування за відповідним ефектом від його впливу на біологічну тест-систему. Застосоване фітотоксичне випробування полягало у визначенні відгуку на різні концентрації хімічної речовини у випробному ґрунті у вигляді проростання і ранньої стадії росту таких видів рослин: пшениці м'якої *Triticum aestivum L.* та крес-салату садового *Lepidium sativum L.*

На основі проведеного дослідження щодо токсичного впливу зразків бурового шламу на тест-об'єкти надана оцінка ступеню токсичності відходу як середнього, фітотоксичний ефект (ФЕ) становив 50 %.

За результатами радіологічного дослідження не виявлено перевищення значення допустимого рівня для потужності еквівалентної дози гамма-випромінювання (0,3 мкЗв/год), вона становила 0,1 мкЗв/год та 0,13 мкЗв/год для БШ-1 та БШ-2 відповідно.

Для реалізації технологічної переробки бурового шламу і фосфогіпсу з отриманням якісного й екологічно безпечного будівельного матеріалу проведені експериментальні дослідження щодо впливу фізичних властивостей (табл. 2), механічної структури, мінерального та фазового складу зразків бурового шламу на особливості процесу сумісного перероблення указаних відходів.

Таблиця 2 – Характеристика фізичних параметрів бурового шламу

№ з/п	Фізичний параметр	БШ-1	БШ-2
1	Вологість W , %	32,77	26,79
2	Масова частка сухої речовини W_{dm} , %	75,32	78,87
3	Консистенція	М'яко-пластична	Туго-пластична
4	Коефіцієнт водовіддачі μ , од.	0,3	0,25
5	Щільність ρ , кг/м ³	2020	1800

Для досліджень фізико-хімічних властивостей фосфогіпсу були відібрані проби свіжого та відвального відходу, для яких встановлено хімічний склад усереднених зразків фосфогіпсу (табл. 3).

Таблиця 3 – Результати хімічного аналізу фосфогіпсових зразків (Сумське ПАТ „Сумхімпром”)

ФГ	Вміст за масою, %								
	CaO	SO ₃	P ₂ O ₅ заг.	P ₂ O ₅ вод.	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	F	MgO	Cl
Свіжий	40	57	1,2	0,6	–	–	0,4	–	–
Відвальний	38,4	59	0,69	0,04	0,16	0,34	0,14	0,004	0,01

У ході тривалого зберігання фосфогіпсу у відвалах у ньому проходять певні фізико-хімічні процеси: знижується вологість вихідного фосфогіпсу, повністю зникає вільна ортофосфорна кислота. Отже, за рахунок зазначених переваг відвального фосфогіпсу порівняно зі свіжим відходом та зважаючи на обсяги складованого і не переробленого до цього часу відходу доцільно з екологічної та економічної точок зору одержувати в'язуче з відвального фосфогіпсу.

Оптимальний склад гіпсобетону, необхідний для переробки, встановлювався експериментально при дослідженні зразків X_i , у яких співвідношення гіпсове в'язуче : буровий шлам становило 0,5:1; 1:1; 2:1; 3:1. Із суміші розрахованих кількостей бурового шламу, гіпсового в'язучого та води при ретельному перемішуванні готували гіпсобетонне тісто, і розливали його у стандартні балки розміром 4 см x 4 см x 16 см, які піддавали випробуванням.

Таким чином, експериментально-розрахункові дослідження довели можливість сумісної переробки відходів двох виробництв у якісний будівельний продукт з екологічно безпечними властивостями, що додатково забезпечує економічну

доцільність і ефективність прийнятого рішення відносно управління екологічною безпекою на техногенних об'єктах.

Третій розділ присвячений результатам теоретичних та експериментальних досліджень технологічних рішень щодо встановлення особливостей сумісної переробки бурового шламу і фосфогіпсу відвального у гіпсобетон.

Зразки гіпсобетону піддавали випробуванням на визначення границь міцності на стиск $R_{ст.}$. Для оцінки екологічної безпеки гіпсобетону на основі коефіцієнта дифузії D досліджували динаміку міграції з нього важких металів, які містяться у буровому шламі (табл. 4).

Таблиця 4 – Фактори, що впливають на процес міграції важких металів з гіпсобетону, та рівні їх варіювання

Фактори		Інтервал варіювання, Δ	Рівні варіювання		
Натуральне позначення	Кодоване позначення		-1	0	+1
Водо-гіпсове співвідношення модифіковане V/Γ' , од.	X_1	0,01	0,15	0,45	0,75
Масове співвідношення гіпсового в'язучого до бурового шламу $m_{ГВ}/m_{БШ}$, од.	X_2	0,5	0,5	2	3,5
Масова частка негашеного вапна від маси гіпсового в'язучого $m_{CaO}/m_{ГВ}$, од.	X_3	0,05	0	0,1	0,2
Вік гіпсобетону t , діб	X_4	5	1	16	31
Час експозиції τ , діб	X_5	5	1	16	31

Загальна схема постановки оптимізаційної задачі стосовно пошуку технологічного рішення з утилізації відходів відображає взаємовплив вхідних (незалежних змінних, факторів впливу) та вихідних (залежних змінних, відгуків) потоків (рис. 1).

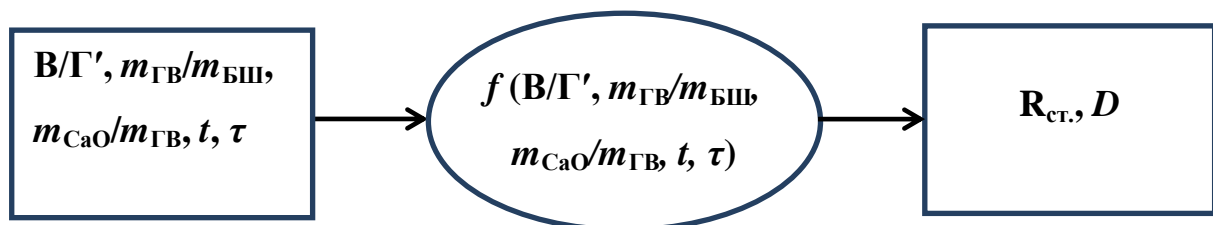


Рисунок 1 – Схема зв'язку незалежних і залежних змінних

Результати дослідження залежності міцності на стиск $R_{ст.}$ гіпсобетону від масових співвідношень у ньому гіпсового в'язучого і бурового шламу $m_{ГВ}/m_{БШ}$ (X_2), та негашеного вапна і гіпсового в'язучого $m_{CaO}/m_{ГВ}$ (X_3) подані графічно у вигляді багатофакторного аналізу. За нульовий рівень фактора X_1 було визначене

модифіковане водо-гіпсове співвідношення $V/\Gamma' = 0,45$ та задані середні значення таких факторів: $X_4 = 6$ діб; $X_5 = 0$ діб (рис. 2).

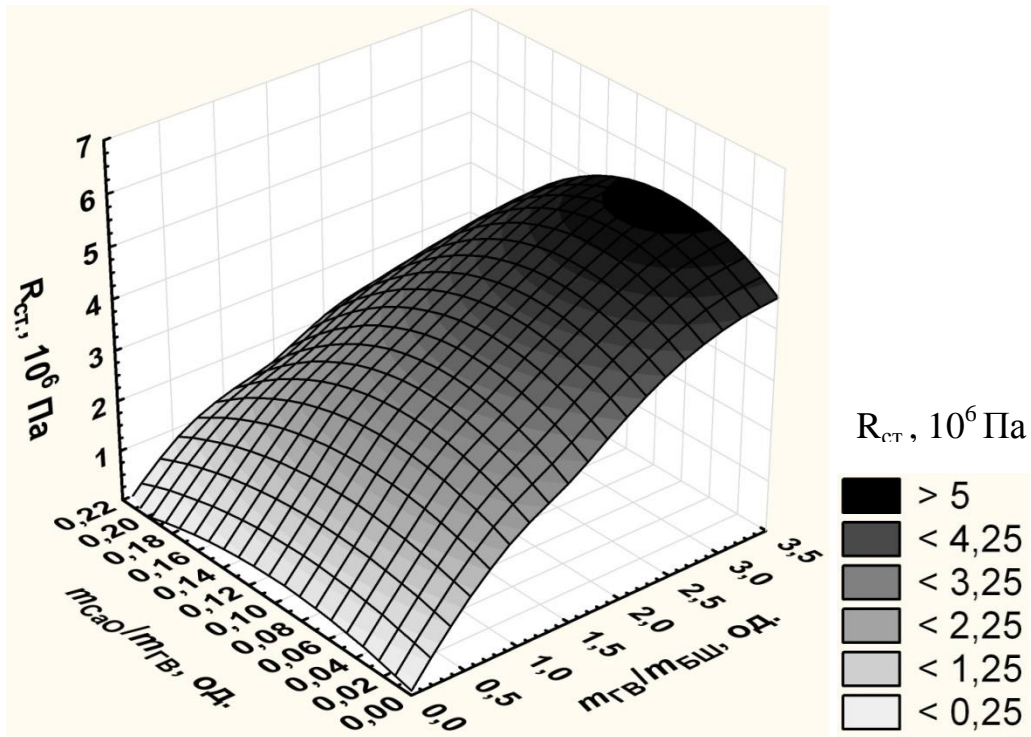


Рисунок 2 – Міцність на стиск R_{ct} гіпсобетону залежно від масових співвідношень $m_{ГВ}/m_{БШ}$ (X_2) та $m_{CaO}/m_{ГВ}$ (X_3)

Математична обробка вихідних даних експериментів проводилась з використанням програмного пакету Statistica 12.0. Взаємозалежність факторів і отриманих властивостей для продукту утилізації вивчено на основі регресійного аналізу, що ґрунтується на визначенні математичного сподівання функції $M(Y)$. Так, вплив факторів X_2 та X_3 на міцність на стиск R_{ct} гіпсобетону апроксимується таким рівнянням регресії:

$$M(Y) = -0,773 + 24,445 \cdot X_2 + 190,266 \cdot X_3 - 2,901 \cdot X_2^2 - 19,483 \cdot X_2 \cdot X_3 - 944,583 \cdot X_3^2, \quad (1)$$

де $M(Y)$ – математичне сподівання відгуку функції; X_2 – масове співвідношення гіпсового в'язучого до бурового шламу $m_{ГВ}/m_{БШ}$, од.; X_3 – масова частка негашеного вапна від маси гіпсового в'язучого $m_{CaO}/m_{ГВ}$, од.

Для цієї моделі коефіцієнт детермінації становив 0,8584, критерій Фішера ($f_1 = 18$; $f_2 = 20$) $F = 2,1796$ ($F_{табл.} = 2,18$ – модель адекватна), стандартна похибка оцінки становить 0,1303, що є задовільним для його прийняття як основи вивчення указаної системи.

За допомогою одержаної моделі встановлено оптимальні значення факторів, що відповідають задовільним технічним властивостям продукту утилізації, зокрема показник максимальної міцності на стиск гіпсобетону досягається за таких значень факторів: $X_2 = 2-3$ од., $X_3 = 0,1$ од.

Екологічні властивості продукту утилізації відходів визначалися за результатами дослідження ступеню вилуговування міді з гіпсобетону при зміні концентрації цього металу у водній витяжці залежно від масових співвідношень у гіпсобетоні гіпсового в'язучого і бурового шламу $m_{ГВ}/m_{БШ}$ (X_2), та негашеного вапна і гіпсового в'язучого $m_{CaO}/m_{ГВ}$ (X_3). За нульовий рівень фактора X_1 було прийнято модифіковане водо-гіпсове співвідношення $V/\Gamma' = 0,45$, додатково задані середні значення таких факторів: $X_4 = 6$ діб; $X_5 = 16$ діб. Результати цього дослідження представлені у графічному вигляді поверхні відгуку (рис. 3).

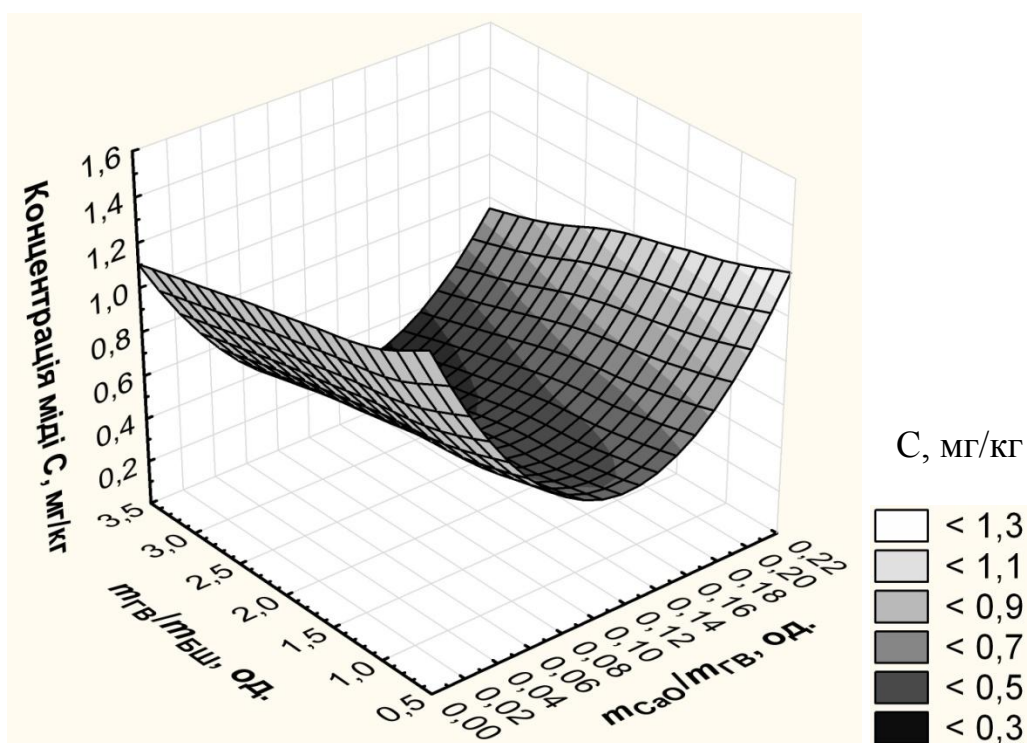


Рисунок 3 – Концентрація міді у водній витяжці залежно від масових співвідношень $m_{ГВ}/m_{БШ}$ (X_2) та $m_{CaO}/m_{ГВ}$ (X_3)

Вплив факторів X_2 та X_3 на концентрацію міді у витяжці було апроксимовано таким рівнянням регресії:

$$M(Y) = 1,501 - 0,116 \cdot X_2 - 14,864 \cdot X_3 + 0,003 \cdot X_2^2 + 0,177 \cdot X_2 \cdot X_3 + 61,429 \cdot X_3^2, \quad (2)$$

де X_2 – масове співвідношення гіпсового в'язучого до бурового шламу $m_{ГВ}/m_{БШ}$, од.; X_3 – масова частка негашеного вапна від маси гіпсового в'язучого $m_{CaO}/m_{ГВ}$, од.

Для цієї моделі коефіцієнт детермінації становив 0,9486, критерій Фішера ($f_1 = 18$; $f_2 = 20$) $F = 2,0936$ ($F_{табл.} = 2,18$ – модель адекватна), стандартна похибка оцінки становить 0,3031, що задовольняє вимогам прийняття її за основу.

Екологічну безпечність гіпсобетону досліджували відповідно до зміни концентрації міді залежно від віку гіпсобетону t (X_4) та часу експозиції τ (X_5). За нульовий рівень фактора X_1 прийнято модифіковане водо-гіпсове співвідношення $V/\Gamma' = 0,45$ та задані середні значення таких факторів: $X_2 = 2$; $X_3 = 0,1$ (рис. 4).

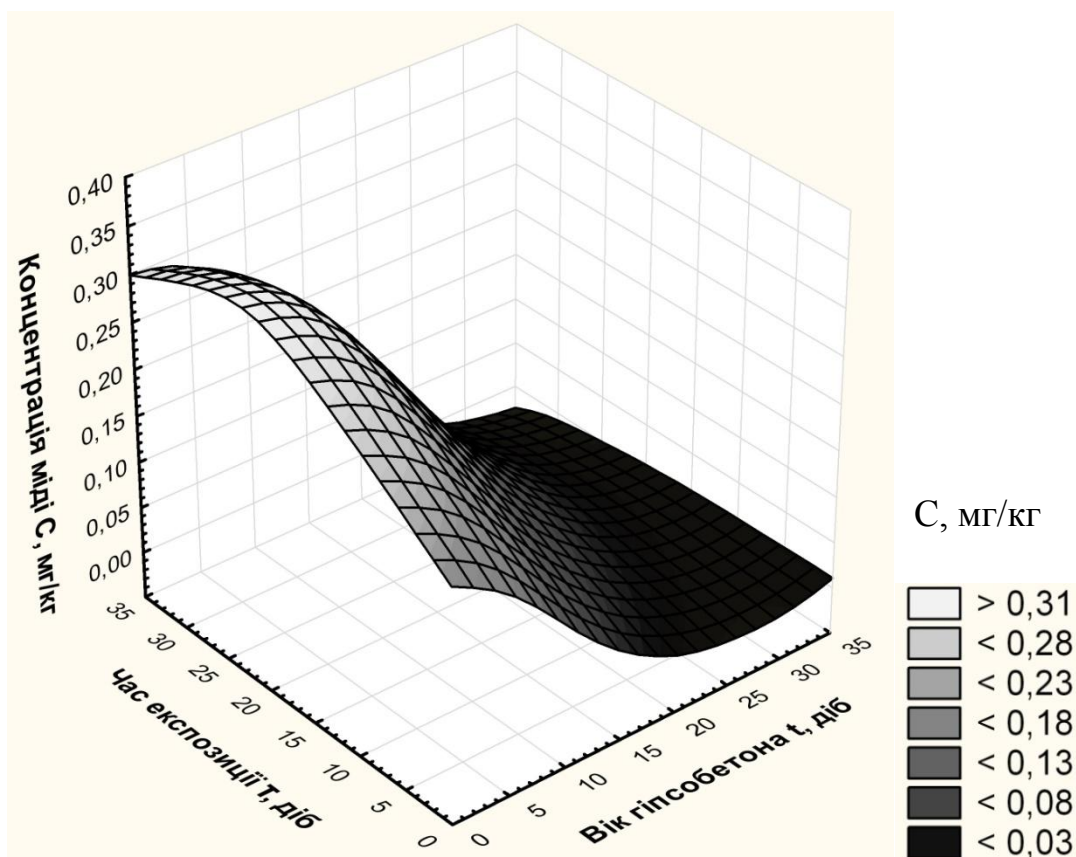


Рисунок 4 – Концентрація міді у водній витяжці залежно від віку гіпсобетону t (X_4) та часу експозиції τ (X_5)

Концентрацію міді у витяжці контролюють фактори X_4 та X_5 відповідно до такої регресійної залежності:

$$M(Y) = 0,2116 - 0,0123 \cdot X_4 + 0,0108 \cdot X_5 + 0,0001 \cdot X_4^2 - 0,0002 \cdot X_4 \cdot X_5 - 0,0002 \cdot X_5^2, \quad (3)$$

де X_4 – вік гіпсобетону t , діб; X_5 – час експозиції τ , діб.

Коефіцієнт детермінації цієї залежності становив 0,9438, критерій Фішера ($f_1 = 47$; $f_2 = 49$) $F = 1,38$ ($F_{\text{табл.}} = 1,44$ – модель адекватна), стандартна похибка оцінки становить 0,0406, тобто рівняння прийнято для подальшого дослідження міграційної здатності міді.

Мінімальна концентрація міді у водній витяжці, а отже, і мінімальний ступінь вилуговування цього металу з гіпсобетону встановлюється для гіпсобетону віком більше 20 діб, тобто $X_4 \geq 20$ діб. Встановлено, що зміни концентрації залежно від часу експозиції гіпсобетону τ (X_5) у водному середовищі відбуваються таким чином: до рівня $X_5 = 21$ доба проходить її зростання до встановлення рівноважної концентрації, після чого залишається стає значення.

За результатами експериментальних випробувань отримані залежності густини зразків гіпсобетону від масового співвідношення бурового шламу та гіпсового в'язучого, вмісту води та оксиду кальцію. Встановлено, що при однаковому співвідношенні шламу та в'язучого із збільшенням водо-гіпсового співвідношення

густина зразків зменшується за рахунок випаровування зайвої води. У цьому випадку пористість гіпсобетону підвищується і, відповідно, за умови незмінності об'єму знижується маса.

Масові співвідношення $m_{ГВ}/m_{БШ}$ (X_2) та $m_{CaO}/m_{ГВ}$ (X_3) визначають характер поверхні відгуку функції густини гіпсобетону (рис. 5).

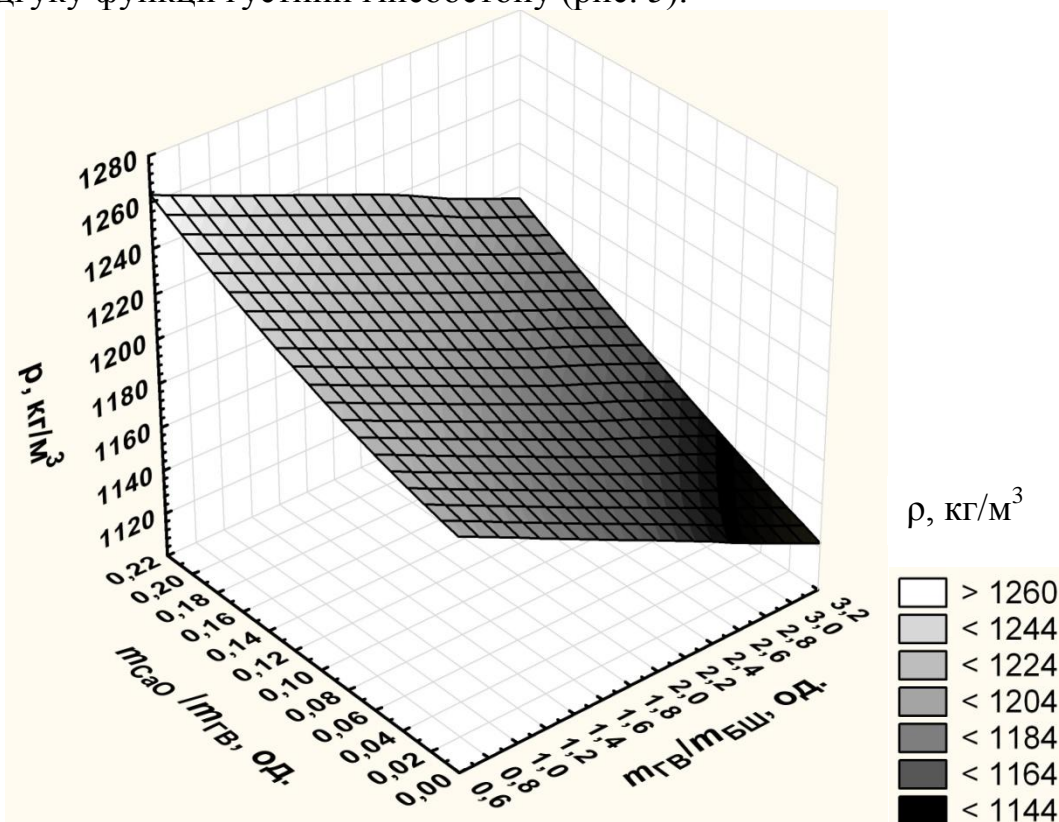


Рисунок 5 – Густина гіпсобетону залежно від масових співвідношень $m_{ГВ}/m_{БШ}$ (X_2) та $m_{CaO}/m_{ГВ}$ (X_3)

Густина гіпсобетону може розраховуватися за таким встановленим регресійним рівнянням із задовільними характеристиками – коефіцієнт детермінації становить 0,9438, критерій Фішера F ($f_1 = 13$; $f_2 = 15$) дорівнює 2,227 ($F_{табл.} = 2,3$ – модель адекватна), стандартна похибка оцінки становить 0,07:

$$M(Y) = 1223,914 - 33,2 \cdot X_2 + 159,429 \cdot X_3 + 0,5 \cdot X_2^2 + 27 \cdot X_2 \cdot X_3 + 409,524 \cdot X_3^2, \quad (4)$$

де X_2 – масове співвідношення гіпсового в'язучого до бурового шламу $m_{ГВ}/m_{БШ}$, од.; X_3 – масова частка негашеного вапна від маси гіпсового в'язучого $m_{CaO}/m_{ГВ}$, од.

Таким чином, експериментально-моделювальні дослідження технологічних характеристик відходів при їх утилізації дозволили визначити вихідні параметри і допустимі властивості гіпсобетонної суміші як продукту проміжного етапу цього процесу для отримання екологічно безпечного і якісного для експлуатації продукту переробки – гіпсобетону.

Четвертий розділ присвячений розв'язанню задачі математичного програмування, спрямованого на пошук оптимальних технологічних характеристик процесу сумісної переробки бурового шламу і фосфогіпсу.

Мета статистичного методу оптимізації спрямована на встановлення оптимальних умов реалізації факторів взаємодії вихідних змінних для отримання кращого еколого-економічного результату. Умовою підвищення екологічної безпеки є досягнення мінімуму міграції важких металів з гіпсобетону, тобто забезпечення максимуму їх хімічної іммобілізації у матеріалі. При дослідженні дифузії дифузанта масою M із зразку гіпсобетону, наданого у формі паралелепіпеду, як джерела кінцевої товщини, розташованого в площині $x = 0$, у зразок, де дифузانت спочатку був відсутній, використано рівняння дифузії у вигляді:

$$c(x, t) = \frac{M}{\sqrt{\pi Dt}} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right), \quad (5)$$

де M – маса дифузанта, кг; D – коефіцієнт дифузії; t – момент часу, с; x – напрямок координатної осі.

Розв'язання оптимізаційної задачі щодо визначення параметрів технологічного процесу утилізації бурового шламу і фосфогіпсу здійснюється методом простого випадкового пошуку і технічно забезпечується реалізацією програми, розробленої у середовищі програмування Borland C++ мовою програмування C.

За результатами програмних розрахунків знайдені такі оптимальні значення факторів, за яких стає можливим мінімізувати дифузію важких металів з гіпсобетону:

- напрямок координатної осі, $x = 16 \cdot 10^{-2}$ м;
- час експозиції гіпсобетону у середовищі, $\tau = 28,69$ діб;
- масове співвідношення фосфогіпсового в'язучого до бурового шламу, $m_{ГВ}/m_{БШ} = 2,93$ од.;
- масова частка негашеного вапна від маси фосфогіпсового в'язучого, $m_{CaO}/m_{ГВ} = 0,09$ од.;
- вік гіпсобетону, $t = 19$ діб;
- коефіцієнт дифузії, $D = 0,0012$; $C = 0$ мг/кг.

Економічна ефективність процесу – це отримання якісного продукту, що визначається максимумом міцності на стиск гіпсобетону (технологічна складова) за рахунок встановлення його оптимального складу.

Цільова функція пошуку міцності на стиск залежить від параметрів x_1 , x_2 , x_3 і має вигляд такого виду рівняння:

$$F(x_1, x_2, x_3) = (2 \cdot k_2 \cdot x_1^{2 \cdot k_2^2}) + (k_3^2 \cdot (-5 \cdot x_2^2 + x_2 + 0,01)) + (x_3/k_4), \quad (6)$$

де x_1 – масове співвідношення гіпсового в'язучого до бурового шламу $m_{ГВ}/m_{БШ}$, од.; x_2 – масова частка негашеного вапна від маси гіпсового в'язучого $m_{CaO}/m_{ГВ}$, од.; x_3 – водо-гіпсове співвідношення модифіковане, В/Г', од.; k_2 – масова частка силіцій

оксиду SiO_2 у буровому шламi, од.; k_3 – маса гіпсового в'язучого $m_{\text{ГВ}}$, кг; k_4 – показник, пов'язаний з масою гіпсового в'язучого: $k_4 = k_3 - 1$.

Таким чином, розв'язання оптимізаційної задачі для технологічного рішення щодо винаходу утилізації бурового шламу і фосфогіпсу дозволило встановити параметри міцності на стиск гіпсобетону, одержати такі значення вхідних та вихідних параметрів:

- масове співвідношення фосфогіпсового в'язучого до бурового шламу, $m_{\text{ГВ}}/m_{\text{БШ}} = 3,49$ од.;

- масова частка негашеного вапна від маси фосфогіпсового в'язучого, $m_{\text{CaO}}/m_{\text{ГВ}} = 0,1$ од.;

- водо-гіпсове співвідношення модифіковане, $\text{В/Г}' = 0,69$ од.

- міцність на стиск гіпсобетону $R_{\text{ст.}} = 6,05 \cdot 10^6$ Па.

П'ятий розділ присвячено розробленню екологічно безпечної технології сумісного перероблення бурового шламу та фосфогіпсу, а також оцінці еколого-економічної ефективності інвестиційного проекту.

Технологічний процес утилізації бурового шламу з отриманням екологічно безпечних гіпсобетонних виробів складається з таких операцій:

- утворення гіпсового в'язучого з відходу хімічної промисловості – фосфогіпсу за відомою запатентованою технологією;

- отримання гідроксиду кальцію (вапняного молока) з негашеного вапна та необхідної кількості води;

- дозування сировинних матеріалів – вапняного молока, бурового шламу, води та гіпсового в'язучого;

- перемішування сировинних матеріалів у бетонозмішувачі до утворення гіпсобетонного тіста;

- формування гіпсобетонних блоків та їх вивантаження.

Екологічна оцінка гіпсобетону передбачає встановлення радіаційно-екологічних та еколого-гігієнічних характеристик будівельного матеріалу. Одержано гіпсобетон з ефективною питомою активністю природних радіонуклідів $A_{\text{еф}} = 56$ Бк/кг, який відповідно до паспорту радіаційної якості сировини та будівельного матеріалу, виданого випробувальною лабораторією ДП «Сумистандартметрологія», відноситься до 1-го класу використання будівельних матеріалів ($A_{\text{еф}} < 370$ Бк/кг), тобто всі види будівництва без обмежень.

Оцінку токсичності вторинних сировинних матеріалів та кінцевого продукту виконували, використовуючи один з методів токсико-мутагенних досліджень – «Ростовий фіто-тест». У якості тест-культур обрали цибулю ріпчасту *Allium cepa* Z. та пшеницю тверду *Triticum durum* L. Визначені такі рівні токсичності відходів та будівельного матеріалу: для бурового шламу – середня токсичність; для фосфогіпсу – слабка токсичність; для гіпсобетону – відсутня токсичність.

Доцільність впровадження розробленої технології сумісної утилізації бурового шламу і фосфогіпсу набула еколого-економічне обґрунтування за рахунок суттєвого зниження техногенного навантаження на НПС внаслідок попередження виникнення забруднення і дисбалансу в природних системах. Економічна ефективність запропонованого природоохоронного заходу обумовлюється економією на сплаті

економічного податку в результаті зменшення викидів у НПС (232,575 тис. грн) та зменшенням еколого-економічного збитку (659,838 тис. грн). Тому переробка бурового шламу і фосфогіпсу дозволяє не лише підвищити екологічну безпеку районів утворення і розміщення відходів, а й одержати загальний еколого-економічний ефект, що становить 892,413 тис. грн (рис. 6).

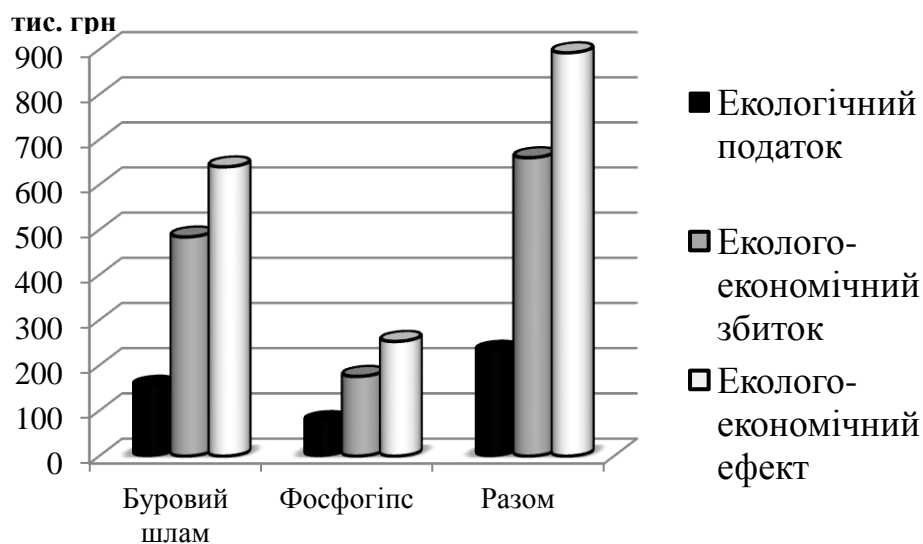


Рисунок 6 – Розподілення еколого-економічного ефекту за складовими

На основі методики оцінки інвестиційних проектів оцінено еколого-економічну ефективність проекту з підвищення екологічної безпеки за рахунок впровадження технології сумісної утилізації бурового шламу і фосфогіпсу. Згідно з методикою встановлено значення таких показників: чиста поточна вартість становить $NPV = 310,517$ тис. грн, внутрішня норма прибутковості – $IRR = 45\%$, період окупності – $PP = 2$ роки, індекс рентабельності – $PI = 2,3$, що свідчить про високу економічну ефективність проекту. При цьому, 1 м^3 одержаних за розробленою технологією гіпсобетонних блоків коштує в середньому 600 грн, що значно нижче порівняно з виробами, виготовленими з природньої сировини та аналогічними екологічними і технічними характеристиками, вартістю близько $800\text{--}900\text{ грн/м}^3$.

Запропоновано технологічний процес утилізації бурового шламу з одержанням екологічно безпечних гіпсобетонних продуктів, що реалізується у такі стадії: утворення гіпсового в'язучого з відходу хімічної промисловості – фосфогіпсу за відомою запатентованою технологією; отримання гідроксиду кальцію (вапняного молока) з негашеного вапна та необхідної кількості води; дозування сировинних матеріалів – вапняного молока, бурового шламу, води та гіпсового в'язучого; перемішування сировинних матеріалів у бетонозмішувачі до утворення гіпсобетонного тіста; формування гіпсобетонних блоків та їх вивантаження.

Розроблено принципіальну технологічну схему науково-теоретично обґрунтованого та експериментально дослідженого процесу утилізації бурового шламу сумісно з фосфогіпсовим в'язучим, одержаним з фосфогіпсу відвального, що забезпечило удосконалення схем виробництва зі створення маловідходних екологічно-безпечних технологій випуску будівельних матеріалів (рис. 7).

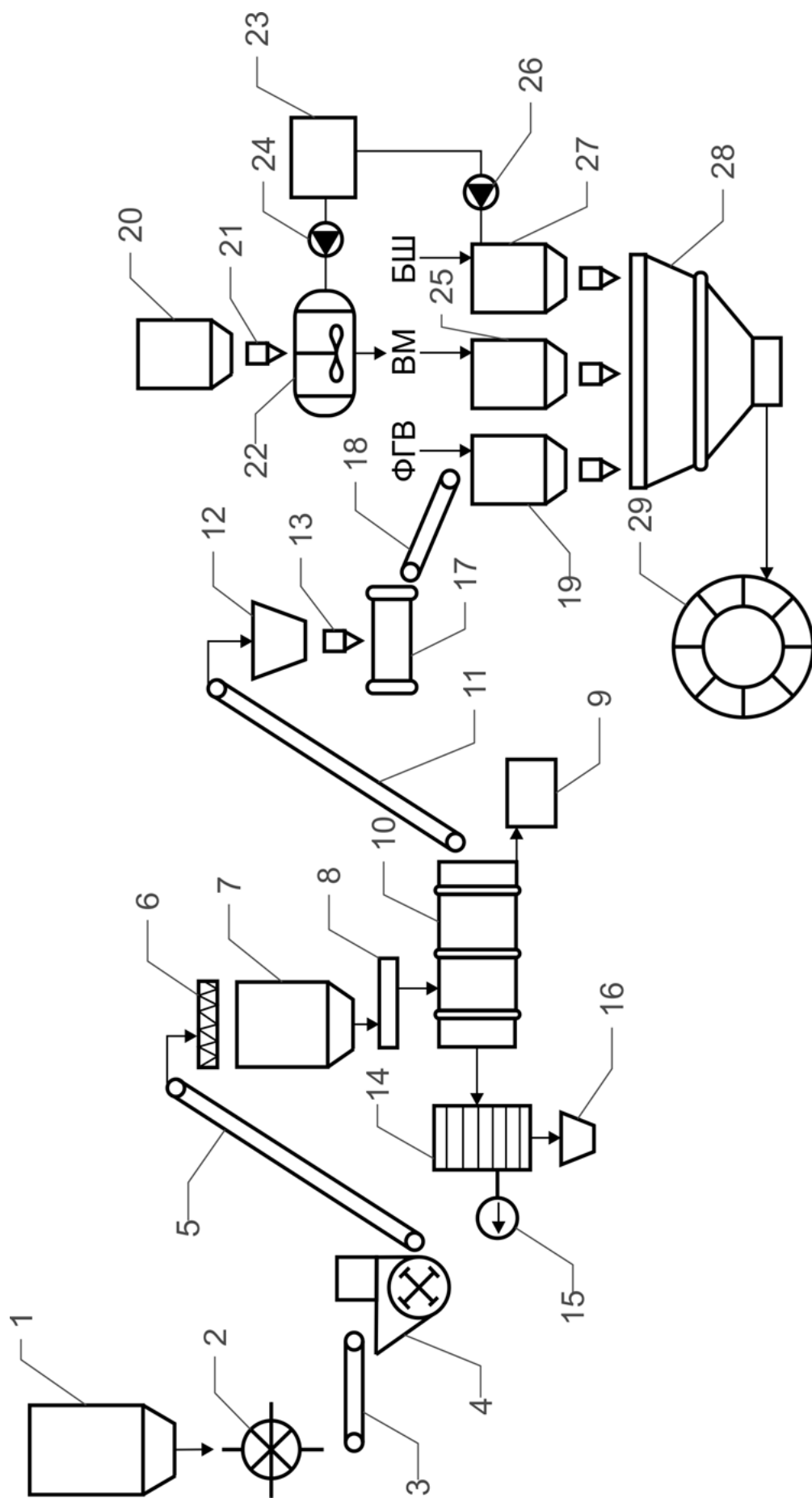


Рисунок 7 – Принципіальна технологічна схема процесу утилізації бурового шлему 1, 7, 12, 16, 19, 20, 25, 27 – витратні бункери; 2 – барабанний живильник; 3 – стрічковий конвеєр; 4 – молоткова дробарка; 5, 11 – елеватор; 6 – шнек; 8 – тарічастий живильник; 9 – камера згоряння; 10 – сушильний барабан; 13, 21 – дозатор; 14 – пилоосаджувальна камера; 15 – вентилятор; 17 – кульовий млин; 18 – кульовий млин; 22 – кульовий млин; 23 – кульовий млин; 24 – кульовий млин; 25 – кульовий млин; 26 – кульовий млин; 27 – кульовий млин; 28 – кульовий млин; 29 – кульовий млин.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-прикладну проблемну задачу щодо реалізації принципів раціонального природокористування та екологічної безпеки на територіях нафтовидобування на основі розроблення ресурсозберігаючої технології сумісної утилізації бурового шламу і фосфогіпсу з одержанням будівельного матеріалу, як продукту остаточного використання. При рішенні цього завдання одержані такі теоретичні й прикладні результати.

1. На основі проведеної еколого-гігієнічної та токсикологічної оцінки бурового шламу встановлено, що цей відхід відноситься до третього класу небезпеки, оскільки його склад може значно варіюватися. За рахунок неполярних вуглеводнів та важких металів у своєму складі буровий шлам чинить негативний токсичний вплив на живі організми. За результатами проведеного фітотоксичного випробування встановлена фітотоксичність для бурового шламу 50 %.

2. Проаналізовано екологічність та ефективність існуючих напрямків перероблення відходів буріння. Визначено, що з метою зниження техногенного навантаження на довкілля при розміщенні та зберіганні бурового шламу найбільш оптимальним та ефективним є застосування хімічного способу переробки, що дозволяє утилізувати відхід. Враховуючи негативний вплив промислових відходів на навколишнє середовище та здоров'я населення, уперше теоретично обґрунтовано екологічно безпечний спосіб сумісної переробки бурового шламу та фосфогіпсу в будівельний матеріал.

3. Науково обґрунтовано та експериментально доведено використання бурового шламу та фосфогіпсу для одержання гіпсобетону, що одночасно вирішує проблему зниження антропогенного тиску на навколишнє середовище від промислових відходів та обмеженості запасів природної сировинної бази. Досліджені особливості процесу взаємодії бурового шламу і фосфогіпсу у якості гіпсового в'язучого при реалізації екологічно безпечної технології утилізації відходів, що дозволило уперше експериментально визначити умови для одержання гіпсобетону із задовільними екологічними та технічними характеристиками.

4. Вирішено задачу оптимізації екологічної та технологічної характеристик гіпсобетону (міцності на стиск та дифузії важких металів з гіпсобетону в екстракт відповідно), що дозволило уперше науково обґрунтовано та експериментально встановити оптимальний склад та масове співвідношення між компонентами гіпсобетонної суміші для виготовлення екологічно безпечного будівельного матеріалу: масове співвідношення фосфогіпсового в'язучого до бурового шламу – 2,93–3,5 од., масова частка негашеного вапна від маси фосфогіпсового в'язучого – 0,09–0,1 од., вік гіпсобетону – від 19 діб, час експозиції – 28 діб.

5. Отримали подальший розвиток технологічні рішення стосовно удосконалення схем виробництва зі створення маловідходних екологічно-безпечних технологій випуску будівельних матеріалів. Розроблено технологічну схему процесу сумісної утилізації бурового шламу та фосфогіпсу, що дозволило одержати екологічно безпечний продукт утилізації відходів за рахунок хімічної іммобілізації важких металів бурового шламу, чому сприяє проходження фізико-хімічних

процесів та утворення кристалічної структури гіпсобетону. Розрахунок технологічних показників і оптимальних параметрів процесу утилізації реалізовано завдяки запропонованому програмному забезпеченню, розробленому у середовищі програмування Borland C++ мовою програмування С.

6. Удосконалено теоретично-практичні положення щодо оцінки токсикологічної, радіаційної та еколого-гігієнічної безпечності продукції з одержаного гіпсобетону. За даним методичним забезпеченням проведені виміри параметрів одержаного будівельного матеріалу: значення міцності на стиск 4,5–6,5 МПа та середньої густини гіпсобетону 1165–1210 кг/м³, що відповідає якості бетону: клас бетону за міцністю на стиск В3,5–В5, марка бетону за міцністю М50–М75, марка бетону за середньою густиною D1200, що відносить його до конструкційно-теплоізоляційних бетонів.

7. Розраховано еколого-економічний ефект загальний від впровадження розробленої ресурозберігаючої технології, що становить 892 тис. грн. Оцінено еколого-економічну ефективність проекту з переробки бурового шламу. Чиста поточна вартість становить NPV = 310,517 тис. грн, внутрішня норма прибутковості – IRR = 45 %, період окупності – PP = 2 роки, а індекс рентабельності – PI = 2,3.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Будьоний О. П. Рекультивация шламових амбарів при бурінні нафтових і газових свердловин / О. П. Будьоний, І. Ю. Матюшенко // Екологічна безпека. – 2011. – № 2 (12). – С. 67–69.

Здобувачем розглянуто негативний вплив на довкілля шламових амбарів та методи їх ліквідації і рекультивації. Обґрунтовано застосування коагулянтів і флокулянтів при розділенні бурових шламів у центрифугах та визначено їх оптимальні дози.

2. Пляцук Л. Д. Утилізація відходів нафтодобуви / Л. Д. Пляцук, І. Ю. Матюшенко // Екологічна безпека. – 2013. – № 1 (15). – С. 33–36.

Здобувачем обґрунтовано ефективність та перспективність застосування комплексної роздільної технології переробки відходів буріння з одержанням вторинного продукту: інертного ґрунту, керамзиту тощо.

3. Аблеєва І. Ю. Дослідження складу та структури бурового шламу з метою обґрунтування вибору методу його подальшої утилізації / І. Ю. Аблеєва, Л. Д. Пляцук, О. П. Будьоний // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2014. – Випуск 2 (85). – С. 172–178.

Здобувачем досліджено фізичні властивості, механічна структура, мінеральний, хімічний та елементний склад досліджуваних зразків бурового шламу; оцінено різні методи переробки відходу з виділенням оптимального.

4. Аблеєва І. Ю. Особливості процесу переробки бурового шламу хімічним методом з використанням фосфогіпсу / І. Ю. Аблеєва, Л. Д. Пляцук, І. Г. Коцюба // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. : Технічні науки. – 2013. – № 4 (67). – С. 84–88.

Здобувачем запропоновано хімічний метод утилізації бурового шламу з використанням фосфогіпсу. Доведено доцільність складу будівельної композиції з фосфогіпсового в'язучого та бурового шламу.

5. Аблеєва І. Ю. Оптимізація процесу сумісного перероблення бурового шламу та фосфогіпсу / І. Ю. Аблеєва // Журнал інженерних наук. – 2016. – Том 3. – №1. – С. G1–G5.

Здобувачем виконано математичне програмування розв'язання задачі оптимізації процесу утилізації бурового шламу та фосфогіпсу методом простого випадкового пошуку мовою програмування C у середовищі програмування Borland C++.

6. Аблеєва І. Ю. Проектирование технологической схемы переработки бурового шлама в гипсобетон / И. Ю. Аблеева // Международный научно-исследовательский журнал: Сборник по результатам XXIX заочной научной конференции Research Journal of International Studies. Екатеринбург: МНИЖ. – 2014. – № 7 (26) Часть 1. – С. 26–27.

Здобувачем спроектовано технологічну схему сумісної утилізації бурового шламу та фосфогіпсу з отриманням екологічно безпечного гіпсобетону.

7. Аблеєва І. Ю. Оценка экологической безопасности территорий, подверженных негативному влиянию отходов бурения / И. Ю. Аблеева, Л. Д. Пляцук // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2014. – № 2. – С. 59–64.

Здобувачем представлено результати токсикологічної оцінки бурового шламу, проведеної методом біотестування. Визначено ступінь небезпеки цього відходу та запропоновано шляхи підвищення екологічної безпеки нафтовидобувних територій.

8. Аблеєва І. Ю. Разработка технологии утилизации бурового шлама с получением гипсобетона / И. Ю. Аблеева, Л. Д. Пляцук // Уральский научный вестник. – 2014. – № 44 (123). – С. 59–63.

Здобувачем проведено проектування екологічно безпечного складу гіпсобетонної суміші при переробці бурового шламу в будівельний матеріал. Розроблено технологію утилізації бурових відходів, що включає змішування в бетонозмішувачі таких компонентів: буровий шлам, фосфогіпсове в'язуче, вапняне молоко та вода.

9. Аблеєва І. Ю. Економічне обґрунтування технології сумісної утилізації бурового шламу та фосфогіпсу / І. Ю. Аблеєва // Современные тенденции в науке и образовании: Сборник научных статей (Zbiąg artykułowy naukowych. Konferencji Międzynarodowej NaukowoPraktycznej "Współczesne tendencje w nauce i edukacji"). – Warszawa: Sp. z o.o. «Diamond trading tour», 2016. – С. 71–73.

10. Пат. 97529 Україна, МПК (2015.01) C02F 11/00. Спосіб утилізації бурового шламу з отриманням гіпсобетону / І. Ю. Аблеєва, Л. Д. Пляцук, С. Б. Большаніна, О. Г. Аблеєв; заявник та патентовласник Сумський державний університет. – № u201408486; заявл. 25.07.2014; опубл. 25.03.2015, бюл. № 6. – 4 с.

Здобувачем розроблено корисну модель на спосіб перероблення бурового шламу в екологічно безпечний будівельний матеріал типу гіпсобетон за рахунок хімічної іммобілізації токсичних компонентів бурового шламу.

11. Пляцук Л. Д. Утилізація відходів нафтодобуви / Л. Д. Пляцук, І. Ю. Матюшенко // «Сучасні технології у промисловому виробництві»: матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій (Суми, 23–26 квітня 2013 р.). – Суми: СумДУ, 2013. – С. 171.

12. Матюшенко І. Ю. Утилізація відходів при видобутку нафти як один з аспектів збалансованого розвитку територій / І. Ю. Матюшенко, Л. Д. Пляцук // «Цілі збалансованого розвитку для України»: матеріали міжнародної конференції (Київ, 18-19 червня 2013 р.). – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2013. – С. 226–230.

13. Аблеєва І. Ю. Склад та структура бурового шламу, як визначальний фактор при виборі методу його утилізації / І. Ю. Аблеєва, Л. Д. Пляцук // «Сучасні технології у промисловому виробництві»: матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів і студентів фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій (Суми, 22–25 квітня 2014 р.). – Суми: СумДУ, 2014. – С. 21–22.

14. Аблеєва І. Ю. Переработка бурового шлама как один из аспектов повышения экологической безопасности территорий / И. Ю. Аблеева, Л. Д. Пляцук // Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная. Материалы III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Брянск, 14–16 мая 2014 г. – Брянск: Изд-во БГИТА, 2014. – С. 65–69.

15. Аблеєва І. Ю. Екологічні аспекти утилізації бурового шламу з допомогою фосфогіпсу / І. Ю. Аблеєва, Л. Д. Пляцук // Екологічний інтелект – 2014 [електронний ресурс]: збірник матеріалів доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, 14–15 травня 2014 р. – Дніпропетровськ: Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазярана, 2014. – С. 75–76.

16. Аблеєва І. Ю. О возможности применения химического метода переработки отходов нефтедобуви / И. Ю. Аблеева, Л. Д. Пляцук // КАЗАНТИП-ЭКО-2014. Инновационные пути решения актуальных проблем базовых отраслей, экологии, энерго- и ресурсосбережения: сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции, Харьков, июнь 2014 г. В 2 т. Т. 2 / ГП «УкрНТЦ «Энергосталь». – Х. : НТМТ, 2014. – С. 282–286.

17. Аблеєва І. Ю. Зниження техногенного навантаження на довкілля при впровадженні технології утилізації бурового шламу / І. Ю. Аблеєва, Л. Д. Пляцук // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: збірник матеріалів 3-го Міжнародного конгресу, Львів, 17–19 вересня 2014 р. – Л. : Національний університет «Львівська політехніка», 2014. – С. 97.

18. Аблеєва І. Ю. Екологічні аспекти утилізації бурового шламу з використанням фосфогіпсу / І. Ю. Аблеєва, Л. Д. Пляцук // «Сучасні технології у промисловому виробництві»: матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників,

аспірантів і студентів фак-ту технічних систем та енергоефективних технологій (Суми, 14–17 квітня 2015 р.). – Суми: СумДУ, 2015. – С. 134.

19. Аблеева И. Ю. Химическое связывание тяжелых металлов при переработке бурового шлама в гипсобетон / И. Ю. Аблеева // V-ий Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology–2015), 23–26 вересня, 2015. Збірник наукових праць. – Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. – С. 180.

20. Аблеева І. Ю. Екологічні властивості гіпсобетону, виготовленого з вторинної сировини / І. Ю. Аблеева, Л. Д. Пляцук // Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів. Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції. – Х.: НВЦ НЦЦ «Інститут метрології», 2015. – С. 66–69.

21. Аблеева І. Ю. Виробництво гіпсобетону з промислових відходів: технічні та екологічні аспекти / І. Ю. Аблеева, Л. Д. Пляцук // Екологічна безпека держави: тези доповідей X Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. м. Київ, 21 квітня 2016 р., Національний авіаційний університет / редкол. О. І. Запорожець та ін. – К. : НАУ, 2016. – С. 228–229.

22. Аблеева І. Ю. Сумісна утилізація бурового шламу та фосфогіпсу: оптимізація процесу / І. Ю. Аблеева, Л. Д. Пляцук // «Системи розробки та постановки продукції на виробництво» : матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми, 17-20 травня 2016 року) / редкол.: О. Г. Гусак, К. О. Дядюра. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – С. 109–110.

23. Аблеева И. Ю. Оценка риска от аварийных ситуаций при бурении нефтяных скважин / И. Ю. Аблеева, Л. Д. Пляцук // Экология и защита окружающей среды: сборник тезисов докладов III Международной научно-практической конференции, Минск, 19 мая 2016 года / под общ. ред. И.А. Новиков. – Минск: БГУ, 2016. – С. 198–201.

АНОТАЦІЯ

Аблеева І. Ю. Підвищення рівня екологічної безпеки при утилізації відходів нафтогазового видобутку. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, Суми, 2016.

Дисертація присвячена підвищенню рівня екологічної безпеки за рахунок розроблення технології утилізації бурового шламу сумісно з фосфогіпсом шляхом перероблення їх в екологічно безпечний будівельний матеріал типу гіпсобетон.

Здійснено оцінку екологічної безпеки вторинної сировини і готового продукту за еколого-гігієнічними, токсикологічними та радіаційними показниками, що свідчить про суттєве зниження техногенного навантаження на довкілля внаслідок утилізації досліджуваних промислових відходів.

Уперше експериментально визначено умови для одержання гіпсобетону із задовільними екологічними та технічними характеристиками, а також оптимальний склад і масове співвідношення між такими компонентами гіпсобетонної суміші: буровий шлам, фосфогіпс, негашене вапно та вода. Вирішено задачу математичного

програмування для оптимізації екологічної (ступінь дифузії важких металів з гіпсобетону) та технічної (міцність на стиск гіпсобетону) складової процесу сумісної утилізації бурового шламу і фосфогіпсу.

Розроблено принципіальну технологічну схему процесу маловідходної екологічно безпечної технології перероблення бурового шламу та фосфогіпсу в гіпсобетон. Оцінено еколого-економічну ефективність проекту з впровадження цієї технології.

Ключові слова: екологічна безпека, техногенний вплив, буровий шлам, фосфогіпсове в'язуче, гіпсобетон, технології утилізації відходів, еколого-економічна ефективність.

АННОТАЦІЯ

Аблеева И. Ю. Повышение уровня экологической безопасности при утилизации отходов нефтегазовой добычи. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Сумский государственный университет Министерства образования и науки Украины, Сумы, 2016.

Диссертация посвящена повышению уровня экологической безопасности за счет разработки технологии утилизации бурового шлама совместно с фосфогипсом путем переработки их в экологически безопасный строительный материал типа гипсобетон.

Определена экологическая проблематика воздействия отходов бурения и мест их размещения – шламовых амбаров на здоровье человека и окружающую среду. Исследованы отечественные и зарубежные способы и технологии переработки бурового шлама. Обоснован выбор наиболее экологически безопасного и эффективного метода утилизации при использовании отходов в качестве вторичного сырья с получением строительных материалов.

Осуществлена эколого-гигиеническая, токсикологическая и радиационно-экологическая оценка вторичного сырья и готового продукта, результаты которой свидетельствуют о существенном снижении техногенной нагрузки на окружающую среду в результате утилизации отходов за счет химической иммобилизации тяжелых металлов в кристаллической решетке гипсобетона.

Впервые экспериментально определены условия для получения гипсобетона с удовлетворительными экологическими и техническими характеристиками, а также оптимальный состав и массовое соотношение между такими компонентами гипсобетонной смеси: буровой шлам, фосфогипс, негашеная известь и вода.

Решена задача оптимизации экологической и технологической характеристик гипсобетона (прочности при сжатии и диффузии тяжелых металлов из гипсобетона в экстракт соответственно). Полученная математическая модель позволяет определить оптимальные значения заданных факторов. При этом установлено следующее: массовое соотношение фосфогипсового вяжущего к буровому шламу – 2,93–3,5 ед., массовая доля негашеной извести от массы фосфогипсового вяжущего – 0,09–0,1 ед., возраст гипсобетона – от 19 суток, время экспозиции – 28 суток.

Разработана принципиальная технологическая схема процесса малоотходной экологически безопасной технологии переработки бурового шлама и фосфогипса в гипсобетон. Полученный гипсобетон представляет собой экологически безопасный строительный материал за счет химической иммобилизации тяжелых металлов бурового шлама, чему способствует прохождения физико-химических процессов и образования кристаллической структуры гипсобетона. По полученным значениям прочности на сжатие 4,5–6,5 МПа и средней плотности гипсобетона 1165–1210 кг/м³ устанавливаются такие показатели качества бетона: класс бетона по прочности при сжатии В3,5–В5, марка бетона по прочности М50–М75, марка бетона по средней плотности D1200, соответствующие техническим требованиям, предъявляемым к конструкционно-теплоизоляционным бетонам.

Рассчитан эколого-экономический эффект общий от внедрения разработанной ресурсосберегающей технологии, составляет 892 тыс. грн.

Оценена эколого-экономическая эффективность проекта по совместной переработке бурового шлама и фосфогипса. Чистая текущая стоимость составляет NPV = 310,517 тыс. грн, внутренняя норма доходности – IRR = 45%, период окупаемости – PP = 2 года, а индекс рентабельности – PI = 2,3. Эти показатели свидетельствуют о высокой экономической эффективности проекта.

Ключевые слова: экологическая безопасность, техногенное воздействие, буровой шлам, фосфогипсовое вяжущее, гипсобетон, технологии утилизации отходов, эколого-экономическая эффективность.

SUMMARY

Ablicieva I. Yu. Improving environmental safety level during utilization of oil and gas production waste. – Manuscript.

Thesis for the academic degree of the Candidate of Engineering Science in specialty 21.06.01 – environmental safety. – Sumy State University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy, 2016.

The thesis is dedicated to improving the environmental safety through the development of utilization technology of drilling sludge in conjunction with phosphogypsum by processing them in an environmentally safe gypsum concrete. Ecological and hygienic, toxicological, radiation and ecological assessment of secondary raw materials and the finished product was been implemented which indicates a significant decrease of technogenic impact on the environment as a result of waste recycling.

The conditions for obtaining of gypsum concrete with satisfactory environmental and technical characteristics, as well as the weight ratio of such components of gypsum concrete mixture: drilling sludge, phosphogypsum, quicklime and water were been experimentally determined. The problem of mathematical programming to optimize the ecological and technical part of the waste recycling process was been solved.

A process flow diagram of the environmentally safe technology for process of drilling sludge and phosphogypsum recycling into gypsum concrete was been designed. Ecological and economic efficiency of this project was been estimated.

Keywords: technological impact, drilling sludge, phosphogypsum binder, gypsum concrete, waste recycling, environmental safety, ecological and economic efficiency.

Підписано до друку 25.10.2016.

Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл. – вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. № 855

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.