

Міністерство освіти і науки України

Сумський державний університет

ЯХНЕНКО ОЛЕНА МИКОЛАЇВНА

УДК 502.5:661.21

**ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНА УТИЛІЗАЦІЯ ФОСФОГІПСУ
У ТЕХНОЛОГІЯХ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ**

Спеціальність 21.06.01– екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2017

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник –

кандидат технічних наук
Черниш Єлізавета Юрїївна,
Сумський державний університет
Міністерства освіти і науки України,
докторант кафедри прикладної екології.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Вамболь Сергій Олександрович,
Національний університет цивільного
захисту України, Державна служба України
з надзвичайних ситуацій,
завідувач кафедри прикладної механіки;

кандидат технічних наук, доцент
Мельник Олена Сергїївна,
Глухівський національний
педагогічний університет ім. О. Довженка
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри безпеки
життєдіяльності, фізичного виховання
та здоров'я людини.

Захист відбудеться 2 червня 2017 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.04 в Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

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

Автореферат розісланий «28» квітня 2017 року

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Л. Л. Гурець

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. На сьогодні залишається невирішеним завдання перероблення й утилізації ряду хімічних відходів, зокрема й фосфогіпсу. Фосфогіпс є відходом, що привертає до себе постійну увагу насамперед через його велику поширеність, багатотоннажність, наявність різноманітних домішок, серед яких кислоти сполуки фтору, важкі метали є найбільш несприятливими. Щорічні обсяги його утворення у світі становлять 120–130 млн тонн. На цей час на території України накопичено більше ніж 90 млн тонн, на території Сумської області – понад 14 млн. тонн цього відходу.

Зберігання фосфогіпсу у відвалах, навіть при правильній експлуатації споруд, має потенційну екологічну небезпеку для навколишнього середовища. Під полігони складування фосфогіпсу відчужуються великі площі земель, відбувається трансформація природного ландшафту, що порушує як функціонування едафотопу, так і естетичний вигляд ландшафту. В існуючих сучасних технологіях виробництва добрив недостатньо уваги приділяється очищенню сировини від токсичних елементів-домішок, тому у твердих відходах часто містяться фтор, сліди невідомої фосфатної кислоти та її солей, рідкісноземельні метали, арсен, стронцій, важкі метали – кадмій, свинець тощо. Свіжі відвали є передусім джерелами забруднення атмосфери сполуками фтору. Низькі значення рН (від 3 до 5 од. залежно від віку відвалу) обумовлюють рухомість токсичних компонентів і можливість міграції їх у ґрунти навколо відвалів та підземні води.

Фосфогіпс належить до IV класу небезпеки (малонебезпечний), що свідчить про можливість його використання й перероблення, однак відсоток його утилізації невисокий. Розвиток нових технічних рішень утилізації фосфогіпсу, що відповідають концепції сталого розвитку, є актуальним та своєчасним завданням, вирішення якого дозволить зменшити техногенне навантаження в регіонах складування цих відходів і виробити комплексний підхід до можливості його використання в технологіях захисту довкілля.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри прикладної екології Сумського державного університету, пов'язаних із тематиками «Розробка шляхів поліпшення екологічної ситуації міст і промислових зон» згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України (номер держреєстрації 0111U006335) та «Зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище підприємств хімічної, машинобудівної промисловості та теплоенергетики» (номер держреєстрації 0116U006606).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – зниження рівня техногенного навантаження на довкілля шляхом розроблення екологічно безпечної технології утилізації фосфогіпсу в технологічних системах захисту атмосферного повітря.

Завдання дослідження:

- провести аналіз техногенного впливу на екосистему процесу утворення та зберігання фосфогіпсу;
- на підставі вивчення складу, властивостей і методів оброблення фосфогіпсу науково обґрунтувати вибір найбільш ефективного способу їх утилізації;

– дослідити еколого-гігієнічні й біохімічні зміни у масиві відвального фосфогіпсу та обґрунтувати доцільність його використання в технологіях захисту атмосферного повітря;

– визначити необхідні рівні фізико-хімічних параметрів процесу оброблення фосфогіпсу для отримання модифікованих гранул із високою біохімічною активністю, що відповідає максимальному приросту матриксу тіобактерій на їх поверхні при очищенні газових потоків у технологіях захисту атмосферного повітря;

– визначити оптимальні фізико-хімічні параметри проведення процесу газоочищення та утворення біосірки в системі біодесульфуризації з використанням мінерального носія з фосфогіпсу в технологіях захисту атмосферного повітря;

– здійснити математичне моделювання кінетики очищення газових потоків в системі біодесульфуризації з використанням модифікованих гранул фосфогіпсу в технологіях захисту атмосферного повітря;

– здійснити проектування технологічної схеми утилізації фосфогіпсу в технологіях захисту атмосферного повітря на принципах екологічної безпеки;

– на підставі проведених досліджень розробити інженерну методiku розрахунку устаткування.

Об'єкт дослідження – вплив відвалів фосфогіпсу на навколишнє середовище.

Предмет дослідження – процес утилізації фосфогіпсу в технологіях захисту атмосферного повітря.

Методи дослідження. Теоретичні аспекти дисертаційної роботи базуються на системному підході до проблеми накопичення та утилізації фосфогіпсу в технологіях захисту атмосферного повітря і математичному моделюванні досліджуваних процесів. Під час проведення експериментальних досліджень для визначення хімічного складу зразків фосфогіпсу, контролю фізико-хімічних параметрів процесу його утилізації були використані такі методи: рентгенофлуоресцентний, рентгенодифракційний, атомно-адсорбційний, електронної мікроскопії, гравіметрії та рН-метрії. Для оптимізації процесу формування модифікованих гранул фосфогіпсу було використано ситовий аналіз та метод капілярної конденсації азоту. Для вивчення якісного й кількісного складу газових потоків використовували метод газометрії та газової хроматографії. Дослідження морфології мікробних препаратів проводили за допомогою світлової та електронної растрової мікроскопії.

Метод повнофакторного експерименту застосовували для оцінювання впливу відхилень основних факторів на процес формування модифікованих гранул фосфогіпсу та його утилізації в системах захисту атмосферного повітря. Математичне моделювання здійснено за допомогою спеціального програмного забезпечення Microsoft Excel, Statistica 12.0, MatLab 7.8.0. Для розроблення комп'ютерної моделі була використана мова програмування C⁺⁺ в інтегрованому середовищі Borland C⁺⁺.

Наукова новизна одержаних результатів. Для підвищення рівня екологічної безпеки на основі виконаних теоретичних досліджень та експериментальних даних одержані такі наукові результати:

– уперше здійснено еколого-біохімічне обґрунтування доцільності використання завантаження з фосфогіпсу для очищення газових потоків у системі біодесульфуризації;

– уперше здійснено математичне моделювання процесу очищення газових потоків із використанням мінерального носія з фосфогіпсу в технологіях захисту атмосферного повітря;

– уперше науково обґрунтовано та експериментально встановлено оптимальні фізико-хімічні параметри роботи систем біодесульфуризації з використанням завантаження з фосфогіпсу;

– набули подальшого розвитку технологічні рішення вдосконалення схем перероблення фосфогіпсу як вторинного ресурсу зі створенням екологічно безпечних процесів рециклінгу матеріальних потоків у суміжних галузях виробництва;

– дістав подальшого розвитку екологічно безпечний напрямок утилізації фосфогіпсу в технологічних системах захисту навколишнього середовища.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено технологічну схему екологічно безпечної утилізації фосфогіпсу як мінерального носія в системах біодесульфуризації газових потоків у технологіях захисту атмосферного повітря.

Розроблено та запатентовано спосіб видалення сполук сірки із газових потоків із використанням фосфогіпсового завантаження, що дозволяє високоякісно очищувати газові потоки від сполук сірки, зокрема сірководню, та отримувати біосірку як екологічно безпечний органо-мінеральний продукт перероблення (отримано патент України на корисну модель).

Розроблено практичні рекомендації щодо впровадження у виробництво екологічно безпечної технології утилізації фосфогіпсу.

Дослідно-промислові випробування технології біодесульфуризації з використанням мінерального носія з фосфогіпсу були проведені на Сумському ДНДІ «МІНДІП» м. Сум та підтвердили її працездатність (акт впровадження від 18 листопада 2016 року).

Упроваджено в навчальний процес кафедри прикладної екології Сумського державного університету методичні положення моніторингу стану компонентів екосистеми в місцях складування фосфогіпсу, математичну модель процесу утилізації фосфогіпсу в системах біохімічного очищення газових потоків, інженерну методику розрахунку конструктивних параметрів апарата та лабораторну модель процесу в дисципліні «Хімія геосистем», «Ландшафтознавство» та «Екологічні біотехнології» (акт впровадження від 10 лютого 2017 року).

Основні результати дисертаційного дослідження впроваджено в навчальний процес Інституту екології, природоохоронної діяльності та туризму ім. В. Чорновола НУ «Львівська політехніка» на курсах лекцій дисципліни «Основи промислової екології» для студентів спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» та спеціальності 101 «Екологія» (акт впровадження від 6 березня 2017 року).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним, завершеним дослідженням автора у галузі екологічної безпеки. Усі основні положення дисертації, що винесено на захист, одержано автором самостійно. Автор зібрала статистичний ма-

теріал, виконала його оброблення, аналіз і наукове узагальнення; обґрунтувала методику дослідження та вирішила поставлені в роботі завдання дослідження. Розробила екологічно безпечну технологію утилізації фосфогіпсу як мінерального завантаження для біофільтрів під час очищення газових потоків від сірковмісних сполук з отриманням органічного продукту – біосірки, що має широкий спектр застосування в сільському господарстві, й технологічну схему здійснення процесу. Провела біохімічне та математичне моделювання процесу очищення сірковмісних газових потоків із використанням модифікованих гранул фосфогіпсу. Здійснила проектування технологічного процесу та розробила технологічну схему установки біофільтра для очищення газових потоків із використанням модифікованих гранул фосфогіпсу. Здобувач брала участь на всіх етапах робіт із розроблення рекомендацій щодо впровадження технології очищення сірковмісних газових потоків на Сумському ДНДІ «МІНДІП».

Вибір теми дисертаційної роботи, постановлення завдань дослідження, обговорення одержаних результатів були проведені разом із науковим керівником – кандидатом технічних наук Є. Ю. Черниш. Внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні наукові та практичні результати роботи доповідалися та обговорювалися на таких конференціях: X Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні» (м. Миколаїв, червень 2015 р.); XVIII Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, травень 2015 р.); IV Міжнародній заочній науково-практичній конференції «Розвиток науки в XXI столітті» (м. Харків, липень 2015 р.); X Міжнародній науково-практичній конференції «Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіону» (м. Харків, жовтень 2015 р.); науково-практичній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і молодих учених «Актуальні питання наук про землю в концепції сталого розвитку Білорусі й суміжних держав» (м. Гомель (Білорусь), березень 2016 р.); VII Міжнародній конференції «Обмін результатами досліджень у рамках міжнародного зближення вчених» (м. Монреаль (Канада), березень 2016); щорічній науково-технічній конференції факультету технічних систем та енергоефективних технологій Сумського державного університету (м. Суми, квітень 2016 р.); XVI Міжнародній науково-практичній конференції «Наука в сучасному світі» (м. Київ, січень 2017 р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 16 наукових праць: 8 статей, з яких 5 – у спеціалізованих виданнях, що входять до переліку МОН України, 2 – у спеціалізованих зарубіжних виданнях, 1 – у збірнику матеріалів конференції; 1 патент України на корисну модель та 7 тез доповідей у збірниках матеріалів конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел, 15 додатків. Загальний обсяг роботи становить 248 сторінок. Дисертаційна робота містить 48 рисунків та 8 таблиць за текстом. Список використаних джерел кількістю 132 найменування – на 18 сторінках. Додатки розміщені на 65 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету, завдання досліджень, подано наукову новизну, практичну цінність одержаних результатів, а також особистий внесок здобувача.

Перший розділ присвячений огляду екологічної проблематики накопичення фосфогіпсу в довкіллі. Аналіз літературних джерел засвідчив, що на цей час в Україні та світі залишаються невирішеними завдання утилізації фосфогіпсу.

Вивченню шляхів утилізації фосфогіпсу присвячена досить велика кількість праць різних авторів: О. В. Волженського, Л. Й. Дворкіна, В. В. Іваницького, П. В. Класена, Б. В. Левіна, Ю. І. Личко, В. Л. Шестакова, Х. М. Файзієва, С. Д. Евенчіка, А. М. Касімова, Е. П. Локшина, І. С. Белюченко, Л. М. Ерайзера, Л. Ф. Мельникова, Т. Г. Іващенко, А. Ф. Булата, Shen Weiguo, С. Papastefanou, S. Stoulos, А. Ioannidou, N. Degirmenci, А. Okucu, А. Turabi, Н. Ю. Малика, М. С. Мальованого, І. М. Петрушки, В. М. Шмандія, Л. Д. Пляцука, І. О. Трунової, Є. Ю. Черниш та інших у різних напрямках – від використання фосфогіпсу в промисловості, сільському господарстві, для отримання рідкісноземельних елементів до використання в технологіях захисту навколишнього середовища.

Незважаючи на це, проблема накопичення й утилізації відходів фосфогіпсу залишається актуальною. Відсутність процесу повної утилізації фосфогіпсу призводить до відчуження все нових ділянок землі під відвали та майданчики його складування. При цьому виникає системна екологічна проблема забруднення компонентів гідросфери, атмосфери і літосфери.

Проведено узагальнення патентної та науково-технічної інформації, що стосується існуючих методів оброблення й утилізації фосфогіпсу. Вирішити проблему накопичення фосфогіпсу можна шляхом створення екологічно безпечної технології його використання для очищення сірковмісних газових потоків у технологіях захисту атмосферного повітря, а саме розроблення і впровадження технологічних систем біодесульфуризації газових викидів та інших газових потоків при використанні модифікованих гранул фосфогіпсу як матеріалу завантаження в установках газоочищення.

У **другому розділі** описані об'єкт та методи дослідження, методики проведення експериментів та математичні методи оброблення одержаних результатів.

У роботі було зроблено еколого-гігієнічне оцінювання впливу фосфогіпсових відвалів на природні компоненти в Сумському регіоні. При цьому було здійснено формалізацію основних напрямків впливу відвалу фосфогіпсу (рис. 1).

Необхідно зазначити, що відбуваються ряд трансформацій у мінеральній частині ґрунтів, прилеглих до відвалу територій, унаслідок реакції обмінного включення до структури основної фази оксидів металів, що сприяє їх фіксації в складних орґано-мінеральних комплексах едафотопу. За допомогою рентгенофлуоресцентного аналізу зразків ґрунтів виявлено, що вміст важких металів, зокрема кадмію та свинцю, в гумусовому й ілювіальному горизонтах не перевищують ГДК, але їх концентрація вища від фонової і згідно з проведеними дослідженнями, збільшується впродовж останніх одинадцяти років, що свідчить про поступову міграцію їх у ґрунтовому профілі в районі відвалу фосфогіпсу.



Рисунок 1 – Основні напрямки впливу відвалу фосфогіпсу на навколишнє середовище

У таблиці 1 наведено основні компоненти відвального фосфогіпсу. Як бачимо з табл. 1, фосфогіпс верхніх терас містить фторовмісні домішки, які з часом випаровуються в атмосферу або вимиваються з опадами. Збільшення вмісту сполук кремнію до нижньої тераси пояснюється вмиванням його з рекультиваційного шару субстрату.

Таблиця 1 – Основні компоненти фосфогіпсу ПАТ «Сумихімпром» в перерахунку на оксиди

Опис зразка	Компонент, % мас.						
	CaO	SO ₃	P ₂ O ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	F	H ₂ O крис.
Свіжий фосфогіпс із верхньої платформи	36,0	39,0	3,0	0,3	1,2	0,8	19,64
Фосфогіпс із I тераси	34,0	38,0	2,7	0,8	3,4	0,3	20,74
Фосфогіпс із II тераси	34,0	38,0	1,1	2,3	3,8	–	20,73
Фосфогіпс із III тераси	30,0	36,0	1,3	9,7	4,3	–	19,86
Фосфогіпс із IV тераси	30,0	34,0	1,3	10	5,1	–	19,43

Коливання вологості, значення рН та мікроелементного складу фосфогіпсу залежно від тераси складування обумовлене вмиванням хімічних сполук з

верхнього шару та їх фільтрацією в нижчерозміщені шари, що пов'язано з метеорологічними умовами і сезонною інтенсивністю гідрохімічних процесів, а також процесами дегідратації та фізико-хімічного ущільнення мінеральної дисперсної системи фосфогіпсу в масиві відвалу.

У розділі описані лабораторні експериментальні установки для вивчення оптимальних параметрів процесу формування модифікованих гранул фосфогіпсу та дослідження можливості утилізації завантаження з фосфогіпсу в технологіях захисту атмосферного повітря.

Лабораторна експериментальна установка для очищення біогазу від сірковмісних сполук містить два блоки – біореактор, в якому при використанні активного мулу проходили реакції анаеробного зброджування з утворенням біогазу, і біофільтр, в якому відбувалися реакції десульфуризації за допомогою сульфідокиснювальних бактерій *Thiobacillus sp.*

Для дослідження процесу застосування завантаження з фосфогіпсу для очищення високонавантажених за сполуками сірки газів була розроблена друга лабораторна експериментальна установка, в якій був відсутній блок анаеробного зброджування, а газова суміш визначеного складу з умістом сірководню від 10 до 30 % безпосередньо подавалася на очищення в біофільтр.

Також у розділі описані основні принципи підбору фізико-хімічних параметрів процесу формування модифікованих гранул фосфогіпсу та їх утилізації в процесі газоочищення.

Третій розділ присвячений експериментальному моделюванню процесу формування модифікованих гранул фосфогіпсу для використання в технологіях захисту атмосферного повітря.

У серії експериментів проводили варіювання значень фізико-хімічних параметрів (факторів X_1 – X_4) процесу формування модифікованих гранул фосфогіпсу для отримання гранул з оптимальними еколого-біохімічними та фізико-хімічними властивостями з метою підвищення рівня біохімічної активності ($БИО_x$), що відповідає приросту матриксу сіркоокиснювальних бактерій на поверхні гранул у системі біодесульфуризації газових потоків у технологіях захисту атмосферного повітря.

Під час знаходження оптимального розміру модифікованих гранул фосфогіпсу було здійснено припущення, що оптимальними за розміром є гранули, навколо яких домінують аеробні групи сіркоокиснювальних мікроорганізмів у процесі експлуатації гранул фосфогіпсу в біофільтрі.

За одержаними результатами (рис. 2) вплив розміру гранул фосфогіпсу (d_ϕ) на біохімічну активність ($БИО_x$), що відповідає приросту матриксу тіобактерій (КУО/г) на поверхні гранул, апроксимується рівнянням регресії:

$$БИО_x = -6,0 \cdot 10^8 d_\phi^2 + 7,0 \cdot 10^9 d_\phi - 7,0 \cdot 10^9. \quad (1)$$

Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,9608$; стандартна похибка оцінювання – 0,1823.

Як бачимо з рис. 2, оптимальним для розвитку необхідних еколого-трофічних груп є розмір гранул 4–5 мм.

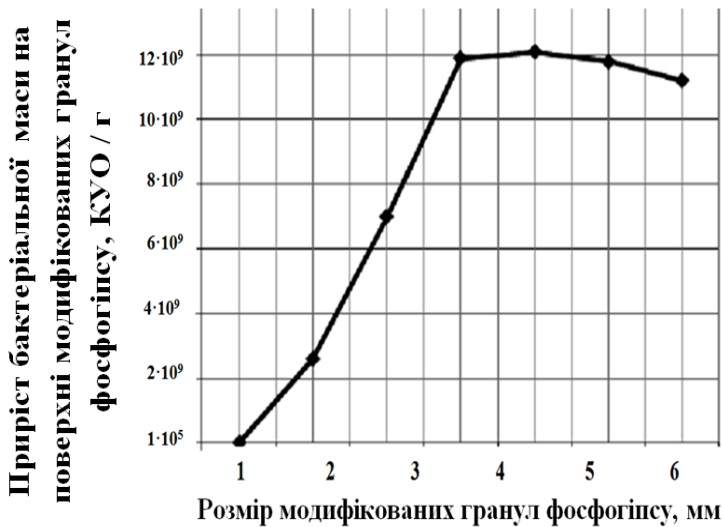


Рисунок 2 – Залежність приросту бактеріальної маси від розміру модифікованих гранул фосфогіпсу

За допомогою сканувальної електронної мікроскопії модифікованих фосфогіпсових гранул різного розміру з іммобілізованими на їх поверхні тіобактеріями *Thiobacillus* sp. було визначено, що глибина проникнення бактеріального матриксу всередину гранул не перевищує 1,5–2,5 мм.

Відповідно для отримання гранул необхідного розміру було досліджено залежність середнього розміру гранул від часу окатування фосфогіпсу та його вологості.

При цьому спостерігалась експоненційна залежність середнього розміру гранул від часу оброблення, що узгоджується з припущенням про укрупнення частинок в результаті злипання при окатуванні вихідного дигідрату сульфату кальцію фосфогіпсу з утворенням гранул, а також унаслідок налипання частинок за рахунок адгезійних сил.

Крім того, занадто значне зволоження (38 %) призводить до збільшення відсотка утворення коржоподібних грудок, що прилипають до стінок тарілки, в той час як при вологості меншій ніж 22 % гранули сферичної форми розміром більше ніж 1 мм практично не утворюються.

Вплив факторів X_1 (час окатування) та X_2 (вологість фосфогіпсу в процесі оброблення) на формування оптимального розміру гранул (Y_1) апроксимується таким рівнянням регресії:

$$M(Y_1) = 215,34 - 190,27 X_1 + 65,21 X_2 - 20,46 X_1^2 \quad (2)$$

Коефіцієнт детермінації становив 0,9987, стандартна похибка оцінювання – 0,2120.

Таким чином, визначено, що оптимальний варіант із діаметром гранул 4–5 мм спостерігався при окатуванні напівпродукту при підтриманні вологості 32 % та за часом окатування 15 хвилин.

На рисунках 3 та 4 наведено залежність впливу додавання дози вапна та солі біоактивного металу $MnSO_4$ на біохімічну активність гранул із фосфогіпсу відповідно.

Вплив дози вапна (X_3), що вводиться на стадії формування гранул, на біохімічну активність ($БИО_x$), яка відповідає приросту бактеріального матриксу (КУО/г) на поверхні гранул, апроксимується рівнянням регресії:

$$БИО_x = -7,0 \cdot 10^8 \cdot X_3^2 + 4,0 \cdot 10^9 \cdot X_3 + 4,0 \cdot 10^9 \quad (R^2 = 0,8834) \quad (3)$$

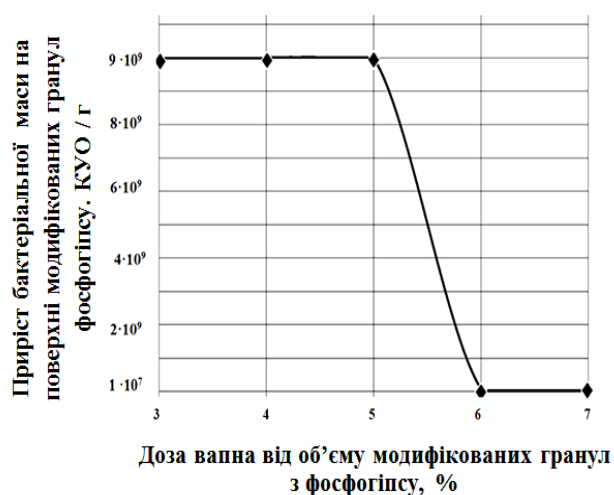


Рисунок 3 – Залежність приросту бактеріальної маси від дози добавки вапна

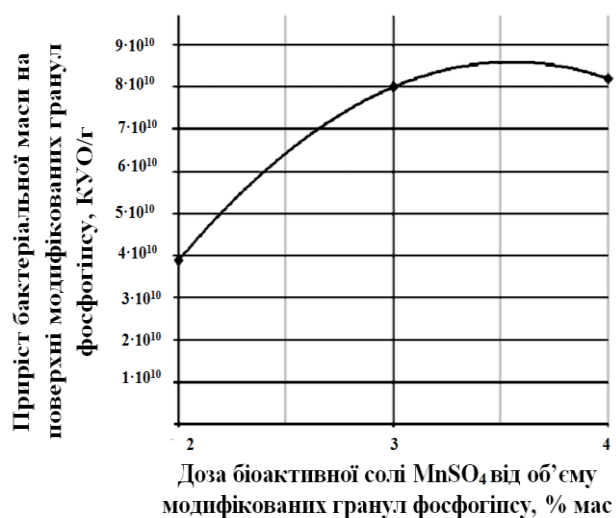


Рисунок 4 – Залежність приросту бактеріальної маси від дози добавки $MnSO_4$ під час оброблення

Механізм взаємодії вапна і фосфогіпсу полягає у підвищенні гідрофобних властивостей гранул. При цьому інгібування розвитку мікроорганізмів не спостерігалось при дозі вапна в межах від 3 до 5 мас. %. Збільшення його кількості призводить до утворення карбонатної плівки на поверхні гранул унаслідок процесу карбонізації кальцій гідроксиду і зменшення рівня розвитку сульфідокиснювальних бактерій на поверхні модифікованих гранул фосфогіпсу на 10^2 КУО/г від оптимального значення.

Стимулювання розвитку необхідних еколого-трофічних груп мікроорганізмів відбувається починаючи з дози біоактивної солі 2 % $MnSO_4$ від обсягу фосфогіпсу. Зі збільшенням дози добавки $MnSO_4$ досягається стабільний розвиток тіобактерій на рівні 10^{10} із максимальним ростом до 10^{11} КУО/г.

Вплив дози біоактивної солі (X_4), що вводиться на стадії формування модифікованих гранул фосфогіпсу, на біохімічну активність (BIO_x) апроксимується рівнянням регресії:

$$BIO_x = 2,0 \cdot 10^{10} X_4^2 + 1,0 \cdot 10^{11} X_4 - 2,0 \cdot 10^{11}. \quad (R^2 = 0,9987) \quad (4)$$

При цьому було проведено дослідження впливу на процес зміцнення гранул різних концентрацій солі біоактивного металу та визначено, що оптимальним є додавання до водного розчину 3 мас. % манган сульфату, що дозволить забезпечити додаткове надходження поживних речовин для бактеріальної культури та незначно вплине на тривалість зміцнення гранул. При збільшенні масової частки цієї солі відбувалося зниження швидкості зміцнення гранул в ексікаторі.

Крім того, рентгенофлуорисцентним аналізом було виявлено елементарну сірку в складі утвореного на поверхні бактеріального матриксу метаболіту, що є наслідком інтенсивного біоочищення газової фази від домішок у дифузійному просторі водневої плівки на поверхні завантаження з фосфогіпсу.

Четвертий розділ присвячений математичному моделюванню процесу утилізації завантаження із фосфогіпсу в технологіях захисту атмосферного повітря.

У серії експериментів проводили варіювання значень фізико-хімічних параметрів (факторів) процесу біохімічного очищення газових потоків для досягнення максимальної ефективності очищення ($E\Phi O$) газових потоків від сполук сірки. Варіювання факторів здійснювали у межах: час контакту при очищенні біогазу (X_1^*) та газової суміші (X_{11}^{**}) – від 0,5 до 2,5 год та від 5 до 15 год відповідно, рН (X_2^*) – від 4,0 до 6,5 од., концентрація сірководню в біогазі (X_3^*) та в газовій суміші (X_{33}^{**}) – від 250 до 850 ppm та від 10 до 30 % відповідно, час між періодами вимивання біосірки з поверхні модифікованих гранул фосфогіпсу (X_4^*) – від 25 до 65 діб.

Також було досліджено вплив факторів X_3^* , X_{33}^{**} та X_4^* на величину втрати завантаження з фосфогіпсу $M(Y_2)$ у процесі роботи біофільтра, що визначалась як відсоток від загального об'єму модифікованих гранул, унесених початково у простір біореактора.

Крім того, визначалась оптимальна доза дозавантаження модифікованих гранул фосфогіпсу для підтримання високої ефективності процесу газоочищення та залежність концентрації біосірки, що видаляється з біофільтра при очищенні газових потоків, від часу промивання біофільтра.

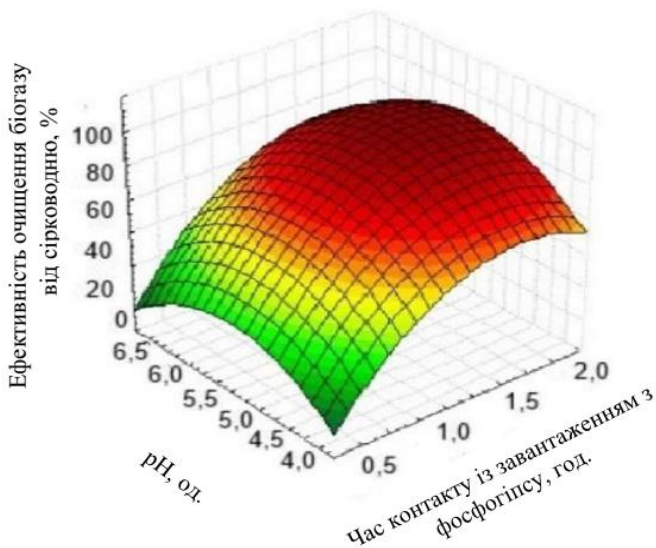


Рисунок 5 – Залежність ефективності очищення біогазу від сірководню від часу контакту із завантаженням із фосфогіпсу

На рисунку 5 наведено залежність ефективності видалення сірководню від часу контакту та рН розчину в біофільтрі при максимальному вмісті сірководню в біогазі.

Як бачимо з рис. 5, зі збільшенням часу контакту (X_1^*) біогазу в просторі біофільтра відбувалося збільшення інтенсивності конверсії сірководню і стабілізації ефективності очищення на високому рівні (більше ніж 95%) упродовж 1,5 години, подальше збільшення часу контакту не спричиняло зростання ефективності видалення сірководню.

Найменша ефективність очищення біогазу відбувалася при значенні рН = 6,5 і в середньому становила 68 % при вмісті сірководню 850 ppm від об'єму газового потоку.

Найбільший ступінь видалення H_2S досягався в інтервалі значень рН від 5,0 до 5,5, що свідчило про розвиток природних ацидофільних груп тіобактерій, які безпосередньо задіяні в очищенні газової фази від домішок.

Вплив часу контакту (X_1^*) і значення рН (X_2^*) на ефективність очищення біогазу від сірководню апроксимується таким рівнянням регресії при вмісті сірководню 850 ppm у біогазі:

$$E\Phi O = -423,038 + 126,762X_1^* + 153,804X_2^* - 40,15X_1^{*2} - 2,509X_1^*X_2^* - 14,925X_2^{*2}. \quad (5)$$

Коефіцієнт детермінації становив 0,9515, стандартна похибка оцінювання – 0,2130.

Отже, визначено, що максимальний ступінь видалення H_2S із біогазу становив 99 % при $\text{pH} = 5,0$ і за часом контакту 1,5 години, а ріст бактерій досягав $3,9 \cdot 10^{10}$ КУО/г.

Вплив часу контакту (X_1^*) і значення pH (X_2^*) на ефективність очищення газового потоку від сірководню апроксимується таким рівнянням регресії для різних концентрацій сірководню в газовій суміші при вмісті сірководню 30 % від загального об'єму газової суміші:

$$E\Phi O = -360,45 + 36,05X_1^* + 102,55X_2^* - 1,46X_1^{*2} - 0,251X_1^*X_2^* - 10,38X_2^{*2}. \quad (6)$$

Коефіцієнт детермінації становив 0,9678; стандартна похибка оцінювання – 0,1780.

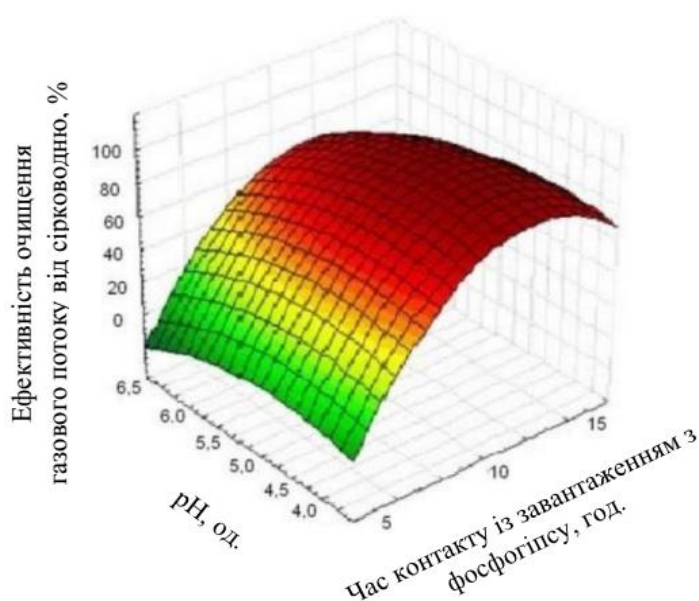


Рисунок 6 – Залежність ефективності очищення газового потоку від сірководню у біофільтрі від часу контакту при різних значеннях pH

Зі збільшенням часу роботи установки та з проходженням відповідно більшої кількості вимивань біосірки, а отже, й часу між періодами її вимивання (X_4^*) із поверхні модифікованих гранул фосфогіпсу збільшуються втрати завантаження з фосфогіпсу ($M(Y_2)$) в біофільтрі, що апроксимується таким рівнянням регресії:

$$M(Y_2) = -1,19 \cdot X_4^{*2} + 27 \cdot X_4^* - 110,84 \quad (R^2 = 0,9838). \quad (7)$$

При знаходженні оптимального поєднання таких факторів, як час між періодами вимивання біосірки з поверхні модифікованих гранул фосфогіпсу (X_4^*) та різні концентрації сірководню в газовому потоці (X_3^*), була побудована діаграма тривимірної поверхні (рис.7), за якою можна визначати оптимальну дозу дозавантаження модифікованих гранул, яка відповідає величині втрати завантаження із фосфогіпсу.

На рисунку 6 наведені результати дослідження фізико-хімічних параметрів роботи системи біодесульфуризації з використанням завантаження з фосфогіпсу при високому навантаженні за сірководнем (30 % від обсягу газової суміші).

Як бачимо з рис. 6, для досягнення ефективності очищення вище ніж 95 % при вмісті сірководню більше ніж 10 % у газовій суміші час контакту збільшувався до 10 годин при значеннях pH від 5,0 до 5,5 од., що свідчило про збільшення періоду адаптації бактеріальної асоціації до високих концентрацій сполук сірки і впливало на ефективність газоочищення.

Варто зауважити, що на остаточне визначення дози модифікованих гранул фосфогіпсу впливає біохімічна складова процесу, тобто показники розвитку бактеріального матриксу та його стабільна робота як робочого тіла біофільтра.

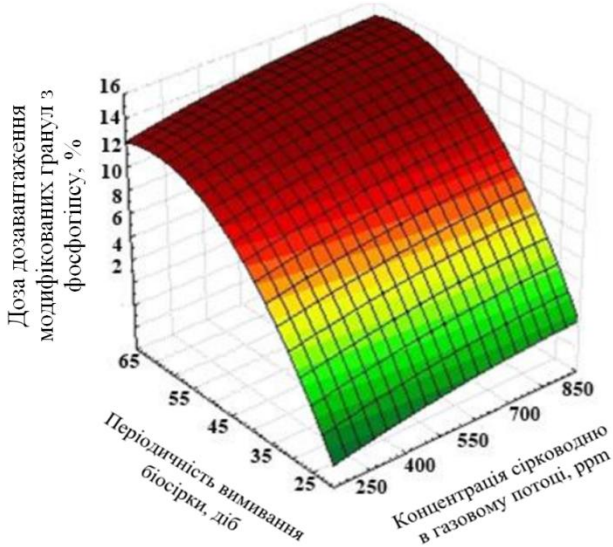
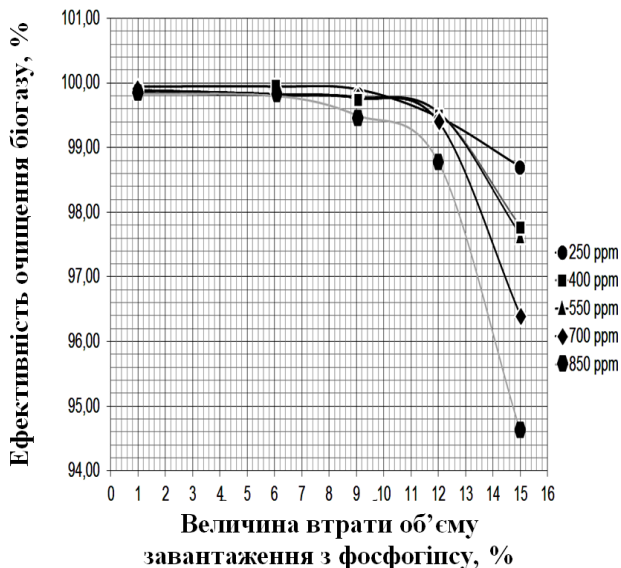


Рисунок 7 – Динаміка зміни об'єму дозавантаження із фосфогіпсу в біофільтрі залежно від часу між періодами вимивання біосірки та концентрації сірководню в біогазі

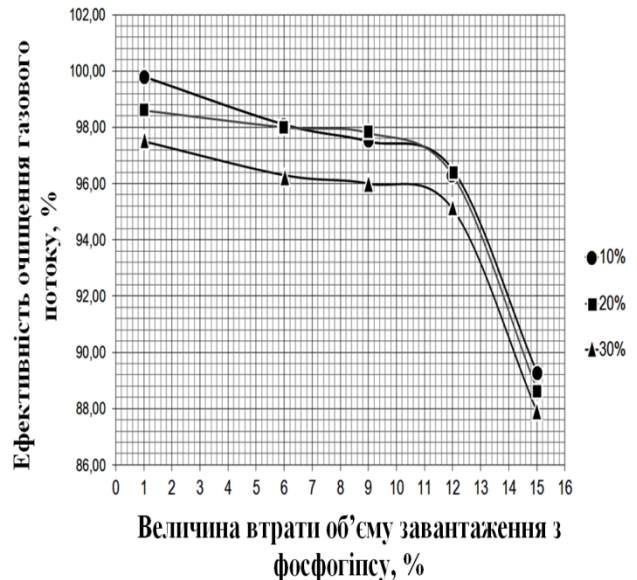
На рисунку 8 графічно зображено вплив зменшення об'єму завантаження модифікованих гранул фосфогіпсу на ефективність очищення біогазу та газових потоків, високонавантажених за сірководнем.

Ефективність очищення біогазу була постійною при величині втрати завантаження з фосфогіпсу у межах 12,0–12,5 % від загального об'єму завантаження.

Починаючи з величини втрати завантаження з фосфогіпсу 13,5–15,0 % спостерігалася тенденція до зменшення «осередків» біоокиснення, що містили розвинений бактеріальний матрикс на поверхні модифікованих гранул фосфогіпсу, і відповідно ефективність газоочищення зменшувалася на 1,3%–5,4 % (рис. 8) та становила в середньому 94,5 %.



а) біогаз



б) газова суміш визначеного складу

Рисунок 8 – Залежність ефективності газоочищення від величини втрати завантаження з фосфогіпсу у процесі роботи біофільтра

За одержаними результатами (рис. 8 а, б) вплив величини втрати завантаження з фосфогіпсу ($D_{ГФ}$) при різних концентраціях сірководню в газовому потоці (X_3^* , X_3^{**}) на ефективність очищення апроксимується рівняннями регресії:

– при очищенні біогазу

$$EFO = 97,8388 + 5,094 \cdot D_{ГФ} + 0,48 \cdot X_3^* - 0,301 \cdot D_{ГФ}^2. \quad (8)$$

Коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,9645$; стандартна похибка оцінювання – 0,4212;

– при очищенні газових потоків із високим вмістом сполук сірки (до 30 % від загального об'єму)

$$EFO = 101,1497 - 10,875 \cdot D_{ГФ} - 1,27 \cdot X_3^{**} - 0,461 \cdot D_{ГФ}^2. \quad (9)$$

Коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,9578$; стандартна похибка оцінювання – 0,3910.

Для вилучення елементарної сірки здійснювали промивання біофільтра проточною водопровідною водою, яку подавали із зрошувальної системи у верхній частині біофільтра впродовж певного часу – від 0,5 до 1,5 год. Організація видалення сірки може проводитися без припинення подачі газового потоку на очищення.

За 1,0 год промивання видаляли основну частину біосірки. Максимальний вихід її при очищенні біогазу становив 99,3 г/дм³ водного розчину, а при очищенні газових потоків із високим вмістом сірководню (30 %) – 149 г/дм³. За подальші періоди промивання кількість вимитої сірки зменшувалася за масою й досягала 50–99 г/дм³ залежно від початкової концентрації сірководню.

Установлено, що при зростанні вмісту сірководню спостерігалось збільшення відкладень біосірки на поверхні фосфогіпсового завантаження. Так, час промивання становив не менше ніж 1,0 год і залежав від початкової концентрації сполук сірки в газовому потоці. Відповідно була здійснена апроксимація експериментальних даних за допомогою рівнянь регресії.

Математична модель розробленого процесу біодесульфуризації газового потоку з використанням завантаження з фосфогіпсу базується на класичній моделі Моно, яку широко використовують під час оптимізації біотехнологічних систем.

При цьому були висунуті припущення: увесь робочий об'єм біофільтра однорідно заповнений завантаженням із фосфогіпсу; концентрації мінерального субстрату (фосфогіпсу) і біоплівки в кожній точці біофільтра однакові; концентрація субстрату та загальна кількість клітин пов'язані лінійно. Відповідно з урахуванням рівномірного розподілу сірководню газового потоку поведінка його концентрації у часі та зміна величини біохімічної ємності завантаження з фосфогіпсу описуються системою звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dC_{H_2S}}{d\tau} = C - \frac{\xi_{ГФ}}{Y_{X/S}} \cdot e^{\mu_m - \lambda \tau} - 1, \\ \frac{d\xi_{ГФ}}{d\tau} = \frac{F_{Г} \cdot \tau}{V_{ГФ}} \cdot \frac{1}{\mu_m} \cdot \alpha_B, \end{cases} \quad (10)$$

де $\xi_{ГФ}$ – біохімічна ємність завантаження з фосфогіпсу, гН₂S/дм³;

C – концентрація Н₂S у газовому потоці, г/дм³;

Y_{XS} – економічний коефіцієнт виходу біомаси тіобактерій за субстратом – сірководнем;

μ_m – питома швидкість росту тіобактерій, год⁻¹;

λ – константа швидкості інактивації, частота відмов, що призводять до втрати здатностей клітин тіобактерій до розмноження, год⁻¹;

F_2 – вхідні витрати газового потоку, що містить сірководень, дм³/год.;

τ – час контакту, год.;

$V_{ГФ}$ – питомий об'єм шару модифікованих гранул фосфогіпсу в біофільтрі або біоскрубері, дм³;

α_B – окисна здатність біоплівки, г/дм³·год.

Була одержана крива, що відповідала теоретичній динаміці зниження сірководню і добре збігалася із дослідними даними (рис. 9).

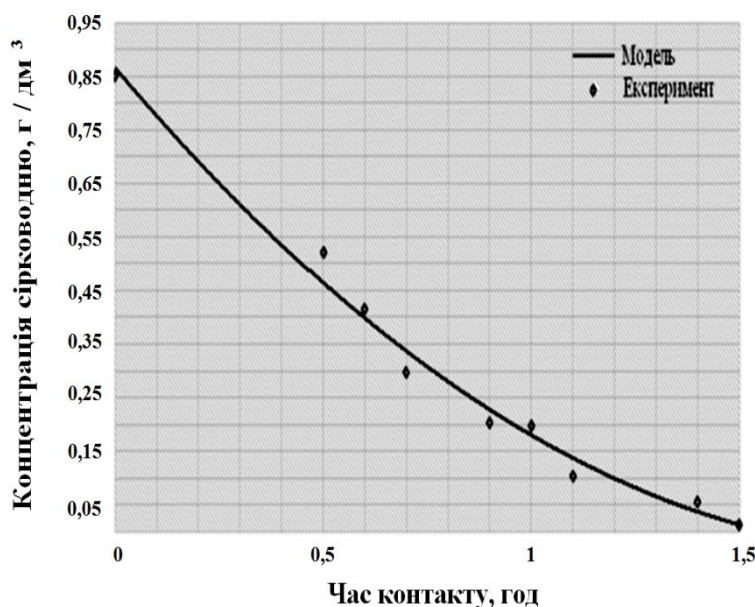


Рисунок 9 – Зміна концентрації сірководню в часі. Порівняльний аналіз експериментальних даних і результатів математичного моделювання ($r = 0,923$)

Запропонована математична модель дозволяє урахувати вплив величини біохімічної ємності завантаження з фосфогіпсу на зміну концентрації сірководню у часі в процесі очищення газових потоків.

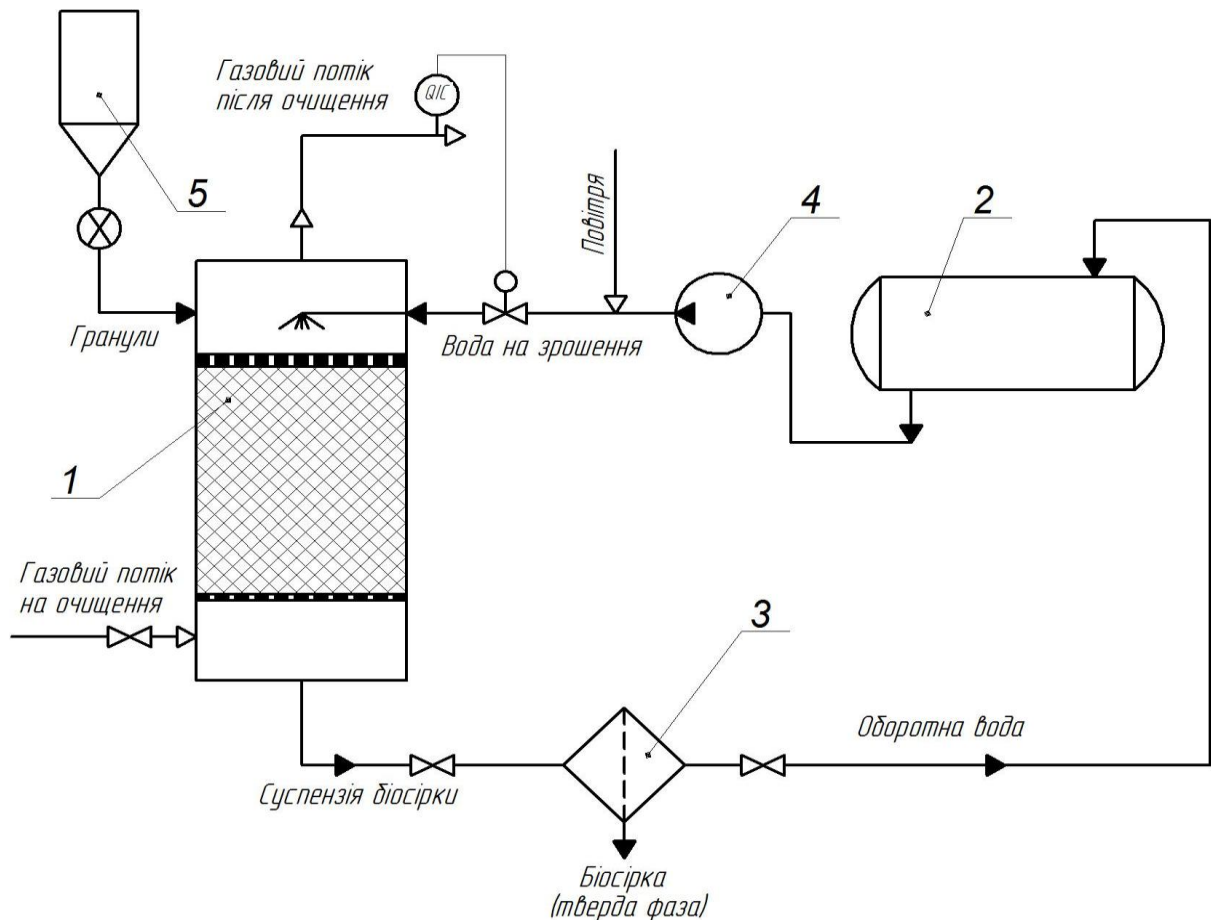
При цьому вона описує кінетику видалення сірководню, динаміку зміни біохімічної ємності фосфогіпсу з урахуванням окисної здатності біоплівки, що дозволяє здійснювати прогноз процесу біодесульфуризації для оптимізації параметрів роботи технологічної системи захисту атмосферного повітря.

У п'ятому розділі здійснено техніко-екологічне обґрунтування процесу утилізації відходів фосфогіпсу в технологіях захисту атмосферного повітря.

Розроблено технологічну схему виробничого процесу утилізації фосфогіпсу, що ґрунтується на принципах екологічної безпеки та дозволяє розширити можливості застосування систем біодесульфуризації в природоохоронних технологіях.

На рисунку 10 наведена технологічна схема здійснення способу очищення газового потоку в біофільтрі із завантаженням із фосфогіпсу, що дозволяє виключити необхідність подачі в систему додаткових поживних речовин і дозволяє

здійснювати рециклінг речовинних потоків із досягненням стабільних показників у газоочищенні.



1 – аеробний біофільтр, виготовлений у вигляді колони з полімерного матеріалу з завантаженням з фосфогіпсу; 2 – накопичувальна ємність системи зрошення; 3 – блок виведення біосірки; 4 – насос; 5 – бункер з модифікованими гранулами фосфогіпсу для дозавантаження системи.

Рисунок 10 – Установа біофільтра для очищення газових потоків із використанням модифікованих гранул фосфогіпсу

Розроблене технологічне рішення утилізації фосфогіпсу в технологіях захисту атмосферного повітря дозволить під час його реалізації одержати такий екологічний ефект: видалення домішок із газових потоків, зниження викидів парникових газів, виробництво біосірки як екологічно безпечного органічно-мінерального продукту перероблення з можливістю його використання в сільському господарстві. У роботі подано результати дослідження еколого-агрохімічних властивостей вторинного продукту біодесульфуризації (біосірки) та сфери його використання. При цьому відбувається зниження техногенного навантаження від місць накопичення і складування фосфогіпсових відходів.

Розроблено методику інженерного розрахунку конструктивно-технологічних параметрів основного елемента аеробної установки із завантаженням на основі фосфогіпсу.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішене актуальне науково-практичне питання щодо зниження техногенного навантаження від об'єктів складування та накопичення фосфогіпсу за рахунок утилізації їх як мінерального носія в технологіях захисту атмосферного повітря та розроблення відповідної технологічної схеми на принципах екологічної безпеки, що забезпечить раціональне використання вторинних сировинних ресурсів та одержання екологічно чистого органо-мінерального продукту перероблення.

1. Визначено екологічну проблематику процесу накопичення і складування фосфогіпсу в навколишньому середовищі. На підставі літературного огляду та аналізу були встановлені основні недоліки існуючих методів перероблення та утилізації фосфогіпсу.

2. Здійснено теоретичне та експериментальне обґрунтування доцільності використання фосфогіпсу в технологіях захисту атмосферного повітря як кислотостійкого мінерального носія, що при використанні в системах біохімічного очищення газових потоків є джерелом макро- і мікроелементів для розвитку необхідних еколого-трофічних груп бактерій.

3. Здійснено польові дослідження території розміщення відвалу фосфогіпсу, за результатами яких визначено напрямки впливу відвального масиву на природні компоненти прилеглих екосистем та виявлено збільшення концентрації важких металів у гумусовому й ілювіальному горизонтах порівняно з фоновою концентрацією та результатами дослідів попередніх років спостережень, що свідчить про поступове забруднення важкими металами ґрунтів району відвалу фосфогіпсу. Розглянуто процеси біохімічних перетворень, що відбуваються на поверхні масиву терас відвалу фосфогіпсу, визначено особливості проходження сукцесійних змін рослинних угруповань зони відвалу фосфогіпсу після його рекультивациі.

4. Вирішено завдання оптимізації еколого-біохімічних та фізико-хімічних характеристик модифікованих гранул фосфогіпсу, що дозволило уперше науково обґрунтовано та експериментально встановити оптимальні параметри процесу формування модифікованих гранул, склад та масове співвідношення між компонентами суміші для виготовлення екологічно безпечного мінерального носія із відвального фосфогіпсу: вологість суміші – 32 %; добавка гідратного вапна – 5 % від маси фосфогіпсу; час окатування – 15 хв.; добавка біоактивної солі ($MnSO_4$) – 3 мас. %. При цьому визначення оптимального розміру модифікованих гранул фосфогіпсу було вперше здійснено на основі біохімічної активності, що відповідала приросту матриксу тіобактерій на поверхні гранул.

5. Визначено оптимальні рівні фізико-хімічних параметрів ведення процесу біодесульфуризації газових потоків в технологіях захисту атмосферного повітря. Установлено, що для досягнення ефективності очищення вище ніж 95 % при різних рівнях навантаження за вмістом сполук сірки в газових потоках необхідно дотримуватися таких параметрів ведення процесу: час контакту сірководню в просторі біофільтра під час очищення біогазу – 1,5 год, газових потоків із високим вмістом сполук сірки – 10 год; оптимальне значення рН – 5,0–5,5 од.; доза

дозавантаження модифікованих гранул фосфогіпсу – 14 % від загального об'єму завантаження з фосфогіпсу в біофільтрі; під час очищення біогазу доза дозавантаження гранул подається в систему на 55 добу, а під час очищення газових потоків із високим вмістом сірководню (не менше 10 % від заг. об'єму газу) – на 45-ту добу роботи біофільтра; час промивання завантаження із фосфогіпсу від біосірки – 1,0 год.

6. У процесі математичного моделювання кінетики очищення від токсичних домішок сполук сірки газових потоків у технологіях захисту атмосферного повітря було враховано динаміку зміни біохімічної ємності фосфогіпсу та окисну здатність біоплівки у процесі детоксикації газового потоку. Розроблена модель дозволяє з високим ступенем імовірності прогнозувати динаміку зниження сірководню у процесі біодесульфуризації газових викидів та біопалива для оптимізації параметрів роботи технологічної системи захисту атмосферного повітря. Між величинами, одержаними в результаті розв'язання математичної моделі, та експериментальними даними спостерігається тісний кореляційний зв'язок ($r = 0,923$).

7. Розроблено технологічну схему утилізації відвального фосфогіпсу з рециклінгом матеріальних потоків, що забезпечить формування нового напрямку його використання у технологіях захисту атмосферного повітря зі створенням екологічнобезпечної технології оброблення фосфогіпсу та одержанням корисних продуктів утилізації. Розроблено аеробні установки для біохімічного очищення газових потоків від сполук сірки із використанням завантаження із фосфогіпсу, це дозволить забезпечити високоякісне очищення газів від сполук сірки, зокрема сірководню, та одержати екологічнобезпечний вторинний продукт утилізації фосфогіпсу в технологіях захисту атмосферного повітря у вигляді органічно-мінеральної сполуки – біосірки, яку доцільно використовувати у сільському господарстві. Основні принципи технології та її конструктивне виконання захищено патентом України. Результати дослідно-промислових випробувань технології біодесульфуризації з використанням мінерального носія із фосфогіпсу були проведені у Сумському НДІ «МІНДІП» м. Сум та підтвердили високу ефективність газоочищення від сполук сірки (вище ніж 95 %).

8. Розроблена методика інженерного розрахунку дозволила визначити конструктивно-технологічні параметри основного елемента аеробної установки із завантаженням на основі фосфогіпсу.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пляцук Л. Д. Фосфогипсовые отходы в технологиях защиты окружающей среды / Л. Д. Пляцук, Е. Ю. Черныш, Е. Н. Яхненко // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – 2015. – Випуск 3 (92). – С. 157–164.

Здобувачем розглянуто проблематику можливого перероблення й утилізації фосфогіпсу, під відвали якого відчужуються великі площі. Проаналізовано і запропоновано альтернативний напрямок використання фосфогіпсу в технологіях захисту навколишнього середовища.

2. Черниш Є. Ю. Інтенсифікація процесу біологічного газоочищення за допомогою іммобілізаційного носія із фосфогіпсу / Є. Ю. Черниш, О. М. Яхненко // Екологія та промисловість. – 2015. – № 3 – С. 46–50.

Здобувачем досліджено напрямки збільшення ефективності процесу очищення сірковмісних газів під час використання в системах біодесульфуризації завантаження з фосфогіпсу.

3. Системный подход к экологическому мониторингу в районе размещения отвала фосфогипсовых отходов / Л. Д. Пляцук, Е. Ю. Черныш, Е. Н. Яхненко [та ін.] // Экологический вестник. – Минск, 2015. – № 4 (34). – С. 77–85.

Здобувачем проведені дослідження екологічної ситуації в районі розміщення діючого відвалу фосфогіпсу підприємства ВАТ «Сумхімпром». Визначені якісні й кількісні зміни в мінеральному складі фосфогіпсу різного періоду зберігання у відвалі. Розглянуті основні міграційні шляхи важких металів у природних компонентах навколишнього середовища.

4. Черниш Е. Ю. Определение режимных параметров работы высоконагруженных систем биодесульфуризации с применением фосфогипса / Е. Ю. Черныш, Е. Н. Яхненко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2016. – № 12 (1184). – С. 207–212.

Здобувачем здійснено експериментальне та математичне моделювання процесу біохімічного видалення високих концентрацій сірководню з газового потоку в процесі іммобілізації сульфідокиснювальних бактерій на мінеральному носії з фосфогіпсу.

5. Самозаростання відвалу фосфогіпсу як показник рівня техногенного навантаження на довкілля / О. М. Яхненко, Є. Ю. Черниш, Л. Д. Пляцук [та ін.] // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2016. – № 1 (13). – С. 110–119.

Здобувачем визначено основні закономірності проходження процесу рекультивзації відвалу фосфогіпсу та зміни при цьому техногенного навантаження на довкілля. Проведено аналіз складу і властивостей фосфогіпсу різного часу складування та досліджено особливості виникнення суцесійних змін у процесі самозаростання поверхні відвалів фосфогіпсу.

6. Черниш Є. Ю. Оптимізація процесу гранулювання фосфогіпсу для систем біодесульфуризації / Є. Ю. Черниш, О. М. Яхненко, Л. Д. Пляцук // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 43 (1016). – С. 217–222.

Здобувачем здійснено дослідження процесу формування модифікованих гранул фосфогіпсу для одержання мінерального носія на його основі, визначено оптимальні параметри проведення процесу.

7. Дослідження впливу обсягу гранульованого завантаження на основі фосфогіпсу на процес газоочищення в системах біодесульфуризації / Є. Ю. Черниш, О. М. Яхненко, Л. Д. Пляцук [та ін.] // The scientific heritage. – 2017. – № 7 (7). – С. 109–113.

Здобувачем визначено оптимальну дозу завантаження нової партії мінерального носія із фосфогіпсу до біофільтра залежно від концентрації сірковмісних сполук у газовій суміші. Одержані результати дослідів апроксимовані рівняннями регресії.

8. Черныш Е. Ю. Разработка экспериментальной модели биоочистки газовых потоков с использованием гранулированного фосфогипса / Е. Ю Черныш, Е. Н. Яхненко // Материалы VII Международной конференции «Обмен результатами исследований в рамках международного сближения ученых», Монреаль, 27 марта 2016. – Монреаль (Канада), 2016. – С. 68–72.

Здобувачем розроблено експериментальну модель лабораторної установки із завантаженням із фосфогіпсу для здійснення біохімічного очищення сірковмісних газових потоків.

9. Пат. 103687 U Україна, МПК В01D 53/14 (2006.01), В01D 53/34 (2006.01), С02F 3/34 (2006.01). Спосіб видалення сполук сірки із потоку газів / Черниш С. Ю., Пляцук Л. Д., Яхненко О. М.; заявник та патентовласник Сумський держ. ун-т. – № u201506324 ; заявл. 26.06.2015 ; опубл. 25.12.2015, Бюл. № 24.

Здобувачем розроблено спосіб видалення сполук сірки із потоку газів.

10. Черныш Е. Ю. Утилізація фосфогіпсу в екотехнології очищення газових потоків від сполук сірки / Е. Ю. Черныш, О. М. Яхненко // Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екології та енергозбереження в суднобудуванні», м. Миколаїв, 5–7 червня 2015 р. – Миколаїв, 2015. – С. 84–86.

11. Яхненко О. М. Використання фосфогіпсу в якості іммобілізаційного матеріалу для систем біологічної очистки / О. М. Яхненко, Є. Ю. Черныш // Матеріали XVIII Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Людина. Суспільство», НТУ «КПІ», м. Київ, 27–29 травня 2015 р. – Київ, 2015. – С. 148.

Здобувачем проаналізовано переваги використання модифікованих гранул фосфогіпсу як мінерального завантаження до біофільтрів.

12. Черныш Е. Ю. Шляхи утилізації відходів фосфогіпсу за допомогою біотехнологічних процесів / Е. Ю. Черныш, О. М. Яхненко // Сборник публикаций Научно-информационного центра «Знание» по материалам IV Международной заочной научно-практической конференции «Развитие науки в XXI веке», м. Харків, липень 2015. – Харків, 2015. – С. 103–106.

Здобувачем обґрунтовано доцільність та ефективність використання модифікованих гранул фосфогіпсу як носія бактеріальної культури.

13. Яхненко Е. Н. Мониторинговые исследования процесса накопления и складирования фосфогипсовых отходов в окружающей среде / Е. Н. Яхненко, Е. Ю. Черныш // Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції «Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіону», м. Харків, НВЦ НЦЦ «Інститут метеорології», 20–21 жовтня 2015. – Харків, 2015. – С. 99–101.

Здобувачем подано результати польового дослідження впливу відвалу фосфогіпсу на прилеглі екосистеми, а саме: вміст кадмію та свинцю в ґрунтах та можливість проходження відновних сукцесій на територіях у межах впливу відвалу.

14. Яхненко Е. Н. Анализ направлений утилизации вторичного продукта биообессеривания газовых потоков / Е. Н. Яхненко, Е. Ю. Черныш // Материалы научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные вопросы наук о земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств», Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, Гомель, 16 марта 2016. – Гомель (Беларусь) : Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины», 2016. – С. 360–363.

Здобувачем проаналізовано основні напрямки утилізації вторинного продукту – біосірки, отриманої під час очищення сірковмісних газових потоків у біофільтрі, показано можливість використання біосірки в сільському господарстві як компонента добрив або фунгіцидів.

15. Погоренко О. В. Зменшення антропогенного впливу відвалів фосфогіпсу за рахунок біорекультивації з використанням суміші осадів стічних вод / О. В. Погоренко, Яхненко О. М. // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма IV Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції, (м. Суми, 19–22 квітня 2016 р) : у 2 ч. – Суми, 2016. – Ч. 2. – С. 79–80.

Здобувачем розглянута можливість біорекультивації поверхні фосфогіпсового відвалу з використанням суміші осадів стічних вод.

16. Черниш Є. Ю. Математичне моделювання процесу біодесульфуризації газового потоку в технологіях захисту атмосферного повітря при використанні завантаження із фосфогіпсу / Є. Ю. Черниш, О. М. Яхненко // XIII Международная научно-практическая конференция «Наука в современном мире», Киев, 25 января 2017 г. – Киев, 2017. – С. 92–95.

Здобувачем здійснено моделювання процесу біоочищення від сірководню газового потоку в технологіях захисту атмосферного повітря під час використання у біофільтрі мінерального завантаження з фосфогіпсу.

АНОТАЦІЯ

Яхненко О. М. Екологічно безпечна утилізація фосфогіпсу у технологіях захисту атмосферного повітря. – 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, 2017.

Дисертація присвячена проблемі зниження рівня техногенного впливу на навколишнє середовище від об'єктів складування та накопичення фосфогіпсу за рахунок утилізації його як мінерального носія в технологіях захисту атмосферного повітря та розробленню відповідної технологічної схеми на принципах екологічної безпеки, що забезпечить ефективне очищення сірковмісних газових потоків та одержання екологічно чистого органо-мінерального продукту перероблення – біосірки, яку доцільно використовувати у сільському господарстві.

Здійснено еколого-гігієнічне оцінювання впливу фосфогіпсових відвалів на природні компоненти та формалізацію основних напрямків цього впливу. Визначено оптимальні еколого-біохімічні та фізико-хімічні характеристики модифікованих гранул фосфогіпсу для підвищення рівня біохімічної активності у процесі

газоочищення в системах біодесульфуризації. За допомогою моделювання встановлено оптимальні фізико-хімічні параметри роботи систем біодесульфуризації з використанням завантаження із фосфогіпсу для досягнення ефективності очищення вище ніж 95% за різних рівнів навантаження за вмістом сполук сірки у газових потоках.

Розроблено технологічну схему процесу утилізації фосфогіпсу та методику інженерного розрахунку конструктивно-технологічних параметрів аеробної установки із завантаженням на основі фосфогіпсу.

Ключові слова: техногенний вплив, фосфогіпс, захист атмосферного повітря, системи біодесульфуризації, мінеральне завантаження.

АННОТАЦІЯ

Яхненко Е. Н. Экологически безопасная утилизация фосфогипса в технологиях защиты атмосферного воздуха. – 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, 2017.

Диссертация посвящена проблеме снижения уровня техногенного воздействия на окружающую среду от объектов складирования и накопления фосфогипса за счет утилизации его как минерального носителя в технологиях защиты атмосферного воздуха и разработке соответствующей технологической схемы на принципах экологической безопасности, обеспечивающей эффективную очистку серосодержащих газовых потоков и получение экологически чистого органо-минерального продукта переработки – биосеры, которую целесообразно использовать в сельском хозяйстве.

Осуществлены эколого-гигиеническое оценивание влияния фосфогипсовых отвалов на природные компоненты и формализация основных направлений этого влияния. Определены оптимальные эколого-биохимические и физико-химические характеристики модифицированных гранул фосфогипса для повышения уровня биохимической активности в процессе газоочистки в системах биодесульфуризации. С помощью моделирования установлены оптимальные физико-химические параметры работы систем биодесульфуризации с использованием загрузки из фосфогипса для достижения эффективности очистки выше 95 % при различных уровнях нагрузки по содержанию соединений серы в газовых потоках.

Определены оптимальные физико-химические параметры ведения процесса биодесульфуризации газовых потоков в технологиях защиты атмосферного воздуха. Установлено, что для достижения эффективности очистки выше 95 % при разных уровнях содержания соединений серы в газовых потоках необходимо соблюдать следующие параметры ведения процесса: время контакта сероводорода в пространстве биофильтра при очистке биогаза – 1,5 ч., газовых потоков с высоким содержанием соединений серы – 10 ч.; оптимальное значение рН – 5,0–5,5 ед.; доза загрузки модифицированных гранул фосфогипса – 14 % от общего объема загрузки из фосфогипса в биофильтре; при очистке биогаза доза загрузки гранул подается в систему на 55-е сутки, а при очистке газовых потоков с высоким

содержанием сероводорода (не меньше 10 % от общего объема газа) – на 45-е сутки работы биофильтра; время промывки загрузки из фосфогипса от биосеры – 1,0 ч.

Предложенная математическая модель кинетики удаления сероводорода из газовых потоков позволяет учесть влияние величины биохимической емкости загрузки из фосфогипса на изменение концентрации сероводорода во времени в процессе газоочистки. При этом она описывает изменение величины окислительной способности биопленки, позволяет осуществлять прогноз процесса биодесульфуризации для оптимизации параметров работы технологической системы защиты атмосферного воздуха.

Предложена методика инженерных расчетов конструктивно-технологических параметров основного элемента аэробной установки с загрузкой на основе фосфогипса.

Результаты опытно-промышленных испытаний технологии биодесульфуризации с использованием минерального носителя из фосфогипса были проведены в Сумском НИИ «МИНДИП» г. Сум и подтвердили ее работоспособность.

Ключевые слова: техногенное воздействие, фосфогипс, защита атмосферного воздуха, системы биодесульфуризации, минеральная загрузка.

SUMMARY

Yakhnenko O. M. Environmentally safe utilization of phosphogypsum in air protection technologies. – 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, 2017.

This thesis is devoted to reducing level of technogenic impact on the environment due to creation of ecological safety technology of phosphogypsum utilization as a mineral carrier in air protection technology. The technological system was developed on environmental safety principles with effective purification of sulfur-containing gas stream and producing environmentally friendly organo-mineral product such as bio-sulfur, which could be used in agriculture.

The ecological and hygienic assessment of the phosphogypsum dumps impact on natural components and the formalization of the main areas of influence were implemented. Optimal ecological-biochemical and physical-chemical characteristics of modified phosphogypsum granules were determined for increase the level of biochemical activity in the process of gas purification under biodesulfurization systems.

The author conducted the modeling of optimal physical-chemical parameters of biodesulfurization systems using the load of phosphogypsum to achieve purification efficiency higher than 95 % at different load levels of sulfur compounds content in gas flows.

The author developed the technological application of phosphogypsum utilization and the method of engineering design of structural and technological parameters of the aerobic installation.

Key words: technogenic impact, phosphogypsum, air protection, biodesulfurization system, mineral loading.

Підписано до друку 26.04.2017.

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

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.