

ну від ліпше розчинених монтморилониту та каолініту, що присутні поряд з гідрослюдами у зразках 2-3.

Висновки. Показано, що в процесі кислотного розкладання низькоякісних фосфоритів ступінь вилучення P_2O_5 сумішшю фосфатної та сульфатної кислот зростає зі зменшенням тонины помелу, на відміну від характеру розкладання домішкових залізо- та алюмовмісних мінералів. При зменшенні тонины помелу нижче 1,6 мм відбувалося помітне зниження ступеня вилучення полуторних оксидів заліза та алюмінію в рідку фазу, що пояснюється тим, що при розсіюванні руди відбувалася класифікація мінералогічного складу останньої. У більш великі класи потрапили тверді мінерали, що легко розкладаються кислотами (гідроксиди заліза, монтморилонит, каолініт), в дрібні – крихкі, що розкладаються повільно (гематит, гідрослюди).

При створенні нових енергоефективних технологій переробки низькоякісних фосфоритів слід враховувати хіміко-мінералогічний склад руди для запобігання зайвих енергетичних втрат на її розмелювання.

ЛІТЕРАТУРА

1. Копылев Б.А. Технология экстракционной фосфорной кислоты / Б.А.Копылев. – Л.: Химия, 1981. – 222с.
2. Кельман Ф.Н. Методы анализа при контроле производства серной кислоты и фосфорных удобрений / Кельман Ф.Н., Бруцкус Е.Б., Ошерович Р.Х. – М.: Химия, 1965. – 392с.

Надійшла до редколегії 31.10.2016.

УДК 661.152.4

ІВАНЧЕНКО А.В., к.т.н., доцент
ВОЛОШИН М.Д., д.т.н., професор

Дніпровський державний технічний університет

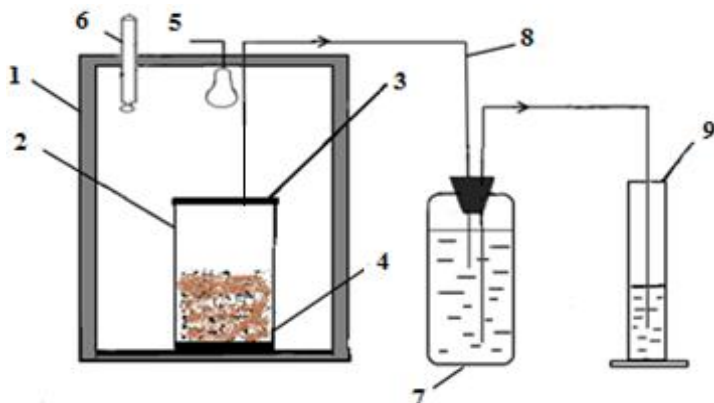
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ БІОМІНЕРАЛЬНОГО ДОБРИВА З ВІДХОДІВ ОЧИСНИХ СПОРУД З ДОБАВКОЮ ОПАЛОГО ЛИСТЯ

Вступ. Вирішення проблеми утилізації відходів та підвищення ефективності роботи міських очисних споруд є одним з першочергових завдань екологічної безпеки не тільки України, але й багатьох інших провідних країн світу, зокрема Євросоюзу. Світовий досвід використання технології анаеробної переробки осадів стічних вод та інших органічних відходів для одержання біогазу свідчить про рентабельність і перспективність її впровадження [1, 2]. Проте одним з невирішених питань застосування біогазових установок в Україні є інтенсифікація процесу зброджування та збільшення виходу біогазу.

Анаеробне зброджування – складний мікробіологічний процес мінералізації, в ході якого органічна речовина без доступу повітря трансформується в газоподібний метан (CH_4) та діоксид вуглецю (CO_2). Цей процес умовно можна поділити на три основні стадії: гідроліз, утворення кислот (кислотогенна стадія) і утворення метану (метаногенна стадія). Продукти метаболізму кожної стадії є субстратом для наступної стадії [3].

Використання методу диспергування вихідної сировини, тобто тонкого подрібнення, призведе до утворення гомогенізованої маси, що сприятиме безперешкодному обміну речовин на поверхні розділу рідкої та твердої фази, є запорукою високої актив-

ності реакції зброджування та виділення біогазу і зробить ефективнішою вдвічі анаеробну переробку [4].



- 1 – герметичний теплоізолюючий ковпак;
 2 – біореактор; 3 – кришка герметична;
 4 – нагрівач з терморегулятором; 5 – джерело струму; 6 – термометр; 7 – герметична склянка для збору біогазу (приймач); 8 – трубопровід відводу газу; 9 – циліндр для вимірювання об'єму води

Рисунок 1 – Схема лабораторної установки анаеробного зброджування

ності збору біогазу та циліндр для вимірювання об'ємів витісненої біогазом води.

Постійну температуру (33°C) зброджування підтримували нагрівачем з терморегулятором. Для мінімізації теплових втрат біореактора використовували пінопластовий ковпак з товщиною стінки 20 мм. Дослідження проводили наступним чином. У реактор 2 завантажували досліджувану суміш, герметично закривали кришкою 3 з трубопроводом для відводу газу 8, що з'єднував реактор 2 та приймач біогазу 7. Приймач біогазу 7 заповнювали водою. До біореактора 2 приєднували нагрівач з терморегулятором 4 до джерела струму 5 та накривали герметичним теплоізолюючим ковпаком 1. Після цього всі з'єднувальні канали перевіряли на герметичність. Об'єм біогазу заміряли за обсягом витісненої води з приймача газу 7 у циліндр 9. Кожну добу в мірному циліндрі з водою контролювали об'єм біогазу, який утворився. У якості вхідної сировини використовували компоненти, занесені до табл.1.

Таблиця 1 – Вхідні компоненти, які завантажувалися у реактор анаеробного зброджування в перерахунку на 1 кг

Компонент	Вміст, %
Опале листя	52
Надлишковий активний мул, ущільнений шламом виробництва кальцієвої селітри	38
Осад після вилучення фосфатів шламом виробництва кальцієвої селітри	10

Результати роботи. При застосуванні активного мулу як компоненту біомінерального добрива його необхідно попередньо ущільнювати для зменшення вологості. Початкова вологість активного мулу становить 98%. В якості реагенту для ущільнення вико-

Постановка задачі.

Метою даної роботи є дослідження процесу переробки відходів з отриманням екологічно чистого біомінерального добрива та біогазу. Для проведення досліджень використовували лабораторну установку анаеробного зброджування (рис.1).

В досліді використовувався мезофільний (при температурі 33°C) режим зброджування, який є технологічно спрощеним та менш затратним.

Процес отримання добрив та біогазу проводили в скляному реакторі ємністю 1 дм³, щільно закритому гумовою пробкою, до якого приєднували герметичні єм-

ристовували шлам виробництва кальцієвої селітри, хімічний склад якого надано у табл.2.

Таблиця 2 – Хімічний склад шламу виробництва кальцієвої селітри, (% маси)

Показники	Значення
1. Вологість, %	39,6
2. рН водної витяжки	9,0
3. Нітрат кальцію $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, %	75,4
4. Вміст (у перерахунку на оксиди), %	
Al_2O_3	2,59
Fe_2O_3	2,39
CaO	27,9
K_2O	0,55
SiO_2	8,44

Результати експериментального дослідження відображає рис.2.

Встановлено, що шлам позитивно впливає на процес ущільнення активного мулу, а саме: при дозі шламу $0,5-2 \text{ г/дм}^3$ вологість активного мулу зменшується до показника 96,3-94,5% відповідно в порівнянні з відстоюванням без добавки шламу – 97,2%.

Наступним етапом експериментальних досліджень було одержання фосфоровміс-

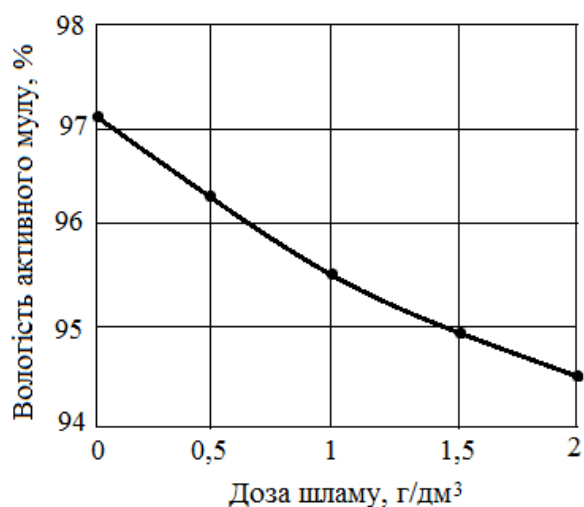


Рисунок 2 – Залежність залишкової вологості активного мулу від дози шламу виробництва кальцієвої селітри при часі контактування 30 хвилин

ного компонента добрив шляхом вилучення фосфатів з міських стічних вод шламом виробництва кальцієвої селітри.

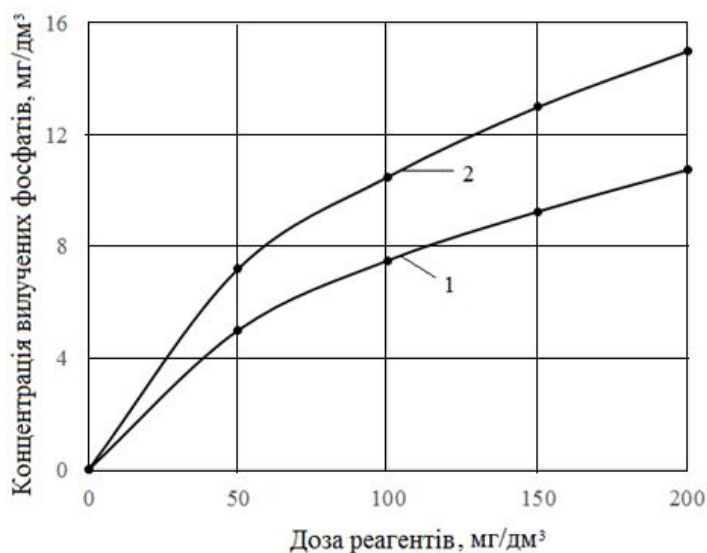
У якості вихідної стічної води використовували стоки лівобережних очисних споруд м. Кам'янського після вторинного відстійника, де вихідний вміст фосфатів становив $21,25 \text{ мг/дм}^3$.

Застосування шламу виробництва кальцієвої селітри сприяє глибокому видаленню фосфатів зі стічної води за рахунок того, що у своєму складі містить сполуки (в перерахунку на оксиди): Al_2O_3 (2,59%), Fe_2O_3 (2,39%) та CaO (25,79%), які, взаємодіючи з розчиненими фосфатами, утворюють осади у вигляді AlPO_4 , FePO_4 та $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ [5].

У ході проведення експериментальних досліджень для вилучення фос-

фатів разом зі шламом виробництва кальцієвої селітри для порівняння застосовували також вапно. Залежність кількості вилучених фосфатів зі стічної води від дози регентів при тривалості процесу 2 години представлено на рис.3.

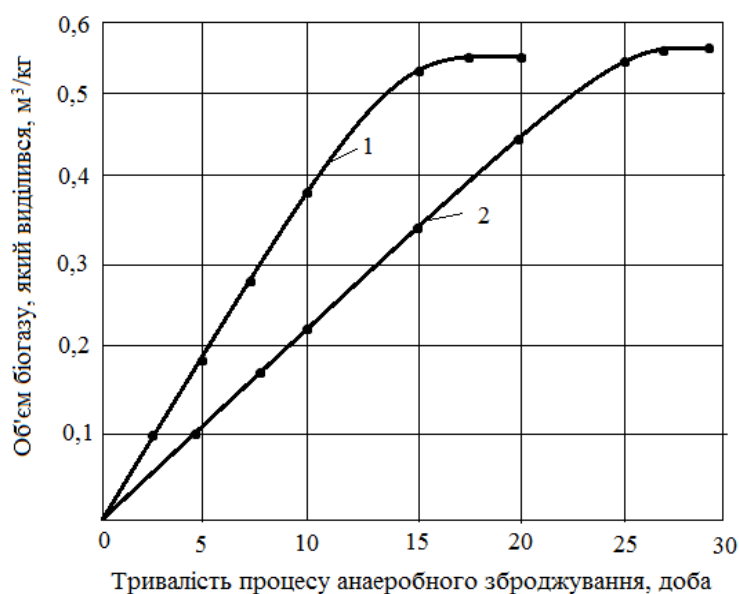
З рис.3 видно, що чим більша доза шламу виробництва кальцієвої селітри, тим менша концентрація фосфатів. У ході проведення експериментів визначено, що при дозі шламу виробництва кальцієвої селітри та вапна 100 мг/дм^3 концентрація вилучених фосфатів становить $7,75$ та $10,25 \text{ мг/дм}^3$, а при 200 мг/дм^3 – $15,5$ та $10,25 \text{ мг/дм}^3$. Осад після видалення фосфатів шламом рекомендовано використовувати як компонент біомінерального добрива.



1 – шлам виробництва кальцієвої селітри; 2 – вапно

Рисунок 3 – Залежність кількості вилучених фосфатів із стічної води від дози реагентів при тривалості процесу 2 години

Диспергування необхідне для пришвидшення процесу біорозкладання вихідної сировини та зменшення тривалості процесу [4]. Залежність об'єму накопичення біогазу, що виділився, від тривалості процесу анаеробного зброджування відходів очисних споруд з додавкою опалого листа при попередньому диспергуванні інтенсивністю 1000 об./хв. і без диспергування представлено на рис.4.



1 – при попередньому диспергуванні;
2 – без диспергування

Рисунок 4 – Залежність об'єму накопичення біогазу, що виділився від тривалості процесу анаеробного зброджування відходів очисних споруд з додавкою опалого листа

Наступним етапом експериментальних досліджень було встановлення закономірностей виходу біогазу від тривалості процесу анаеробного зброджування при використанні в якості вихідної сировини опалого листа, ущільненого надлишкового активного мулу та осаду після вилучення фосфатів шламом виробництва кальцієвої селітри.

Ущільнений активний мул, осад після видалення фосфатів шламом виробництва кальцієвої селітри та опале листа попередньо диспергували інтенсивністю 1000 об./хв. на протязі 10 хв., потім дисперговану суміш направляли у реактор анаеробного зброджування.

Встановлено, що попереднє диспергування вхідної сировини призводить до підвищення швидкості виходу біогазу і зменшення тривалості процесу зброджування з 28 діб до 17, тобто у 1,6 разів.

Крім того, використання процесу анаеробного зброджування дозволяє одержати біомінеральне добриво, компоненти якого (азот, фосфор та калій) краще засвоюються рослинами через те, що переходять в більш доступні для них форми.

Проаналізувавши якість одержаного добрива, встановлено, що вміст органічних речовин (С) у ньому 52%, мінеральних – 48%.

У табл.3 наведено хімічний склад біомінерально-

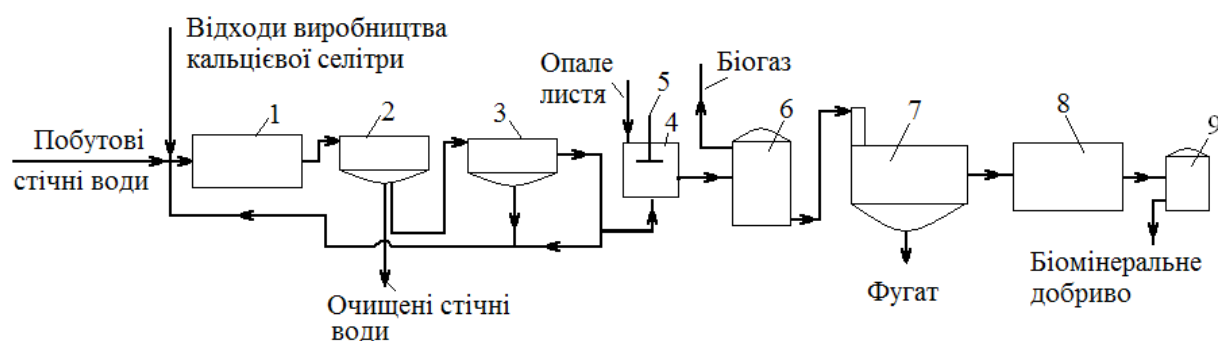
го добрива, отриманого з відходів очисних споруд з додавкою опалого листа.

Показано, що готове біомінеральне добриво містить широкий спектр поживних для рослин елементів, а саме: калію – 25,3%; кальцію – 9,8%; фосфору – 5,77%, а також мікроелементів, таких як залізо, марганець і цинк.

Таблиця 3 – Хімічний склад біомінерального добрива, отриманого з відходів очисних споруд з додавкою опалого листа

Елемент	Концентрація, %
C	52,0
N _{заг.}	3,80
P ₂ O ₅	5,77
K ₂ O	25,30
CaO	9,80
SiO ₂	0,30
SO ₃	0,095
Cl	0,21
TiO ₂	0,23
MnO ₂	0,68
Fe ₂ O ₃	1,32
CuO	0,085
ZnO	0,32
BrO	0,1
SrO	0,075
ZrO	0,015
MoO ₃	0,013
SnO	0,033
ReO	0,034

Спираючись на отримані результати досліджень, розроблено технологічну схему ресурсозберігаючої технології отримання біомінерального добрива з відходів очисних споруд з додавкою опалого листа (рис.5).



- 1 – аеротенк; 2 – вторинний відстійник; 3 – ушільнювач; 4 – ємність для диспергування;
 5 – диспергатор; 6 – біореактор; 7 – центрифуга; 8 – сушарка;
 9 – склад готового добрива

Рисунок 5 – Технологічна схема ресурсозберігаючої технології отримання біомінерального добрива з відходів очисних споруд з додавкою опалого листа

Схема функціонує наступним чином. Після завершення процесу механічного очищення (на схемі не показано) побутові стічні води направляються до аеротенку 1. До апарату 1 також подається шлам виробництва кальцієвої селітри для підвищення ефективності ущільнення активного мулу та вилучення фосфатів і переведення їх в осад. Після аеротенку 1 мулову суміш направляють у вторинний радіальний відстійник 2. Далі рециркуляційний активний мул безперервно перекачують в аеротенк 1 для підтримання необхідної концентрації, а решту, разом з осадженими фосфатами, направляють до ущільнювача 3.

Після ущільнювача 3 активний мул, подрібнене опале листя, а також осади після вилучення фосфатів зі стічних вод шламом виробництва кальцієвої селітри подають до ємності 4, де їх піддають обробці диспергатором 5 інтенсивністю 1000 об./хв. протягом 10 хвилин. Далі дисперговану суміш відходів направляють у біореактор 6, перемішують і підігрівають до температури 33⁰С. Таким чином, відбувається процес мінералізації органічної речовини відходів в анаеробних умовах, що супроводжується посиленням газовиділенням. Після реактора анаеробного зброджування 6 суміш подають до центрифуги 7 для остаточного зневоднення та до барабанної сушарки 8, де висушують, доводять до постійної ваги і, в результаті, готове біомінеральне добриво відправляють споживачеві.

Висновки. Встановлено, що попереднє диспергування вхідної сировини збільшує швидкість процесу анаеробного зброджування в 1,6 разів. Одержано залежності виходу біогазу від тривалості процесу анаеробного зброджування. Показано, що максимальний вихід біогазу 0,57 м³/кг можна отримати, використовуючи в якості вихідної сировини ущільнений активний мул, опале листя і осад після вилучення фосфатів шламом виробництва кальцієвої селітри. Зроблено хімічний аналіз одержаного біомінерального добрива. Показано, що добриво на основі відходів очисних споруд з добавкою опалого листя має наступний склад, %: С – 52,0; N_{заг.} – 3,80; P₂O₅ – 5,77; K₂O – 25,30; CaO – 9,8. Розроблено технологічну схему ресурсозберігаючої технології отримання біомінерального добрива з відходів, особливістю якої є застосування процесів осадження фосфатів, ущільнення активного мулу шламом виробництва кальцієвої селітри і диспергування вихідної сировини для збільшення швидкості процесу анаеробного зброджування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Куріс Ю.В. Біоенергетичні установки. Обладнання та технології переробки органомінеральних енергоресурсів: монографія / Ю.В.Куріс. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 348с.
2. Ружинская Л.И. Математическое моделирование процессов анаэробного сбраживания органического субстрата: обзор / Л.И.Ружинская, А.А.Фоменкова / Scientific Journal «Science Rise». –2014. – №4/2(4). – С.63-69.
3. Майстренко А.Ю. Эффективность способов повышения получения биоэнергетического топлива / А.Ю.Майстренко, Ю.В.Курис, В.Н.Власенко / Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. –2010. – №4 (74). – С.48-55.
4. Іванченко А.В. Інтенсифікація технології одержання біогазу та комплексних добрив з осадів міських стічних вод / А.В.Іванченко, О.Р.Белянська// Вісник НТУ «ХП». – 2015. – № 30 (1139). – С.39-45.
5. Пат. 74350 Україна. С02F1/00. Спосіб глибокої доочистки стічних вод з високим вмістом фосфатів / Іванченко А.В., Шестозуб А.Б., Волошин М.Д., Очеретнюк О.Р.; заявник та патентовласник Дніпродзержинський державний технічний університет. – и 2012 04284; заявл. 06.04.2012; Опубл. 25.10.2012, Бюл. № 20.

Надійшла до редколегії 31.10.2016.