

Шумило К.П.

Дніпровський державний технічний університет

Белянська О.Р.

Дніпровський державний технічний університет

Крюковська О.А.

Дніпровський державний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕКОЛОГІЧНОГО МЕТОДУ ПЕРЕРОБКИ ПРОМИСЛОВО-ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Однією з проблем наукового інтересу є раціональне поводження з відходами, включаючи збирання відходів, компостування, споживання, зменшення кількості відходів. У статті досліджується енергоекологічний метод переробки промислово-побутових відходів та її вплив на навколишнє середовище. Теоретично обґрунтовано та експериментально доведено доцільність переробки промислово-побутових відходів методом анаеробного зброджування з додаванням до вихідної суміші активного мулу та шламу розчину кальцієвої селітри (РКС) та вплив продуктів анаеробного зброджування на організм людини. Розглянуто небезпечні та шкідливі фактори впливу на організм людини під час функціонування енергоекологічної технології переробки відходів і методи їх попередження. Досліджено показники якості одержаного комплексного добрива на основі промислово-побутових відходів, активного мулу та шламу РКС.

Досліджено ефект додавання кальцієвмісного шламу РКС та розчину кальцієвої селітри в концентраціях 5, 8, 10, 13, 15, 18% у метановому резервуарі з розчином побутових відходів та міських стічних вод. Представлена кінетика зміни вологості отриманого добрива після додавання шламу з різною концентрацією. Порівнюючи отримані експериментальні і математичні залежності, видно, що існує між ними суттєва різниця: у разі додавання оптимальної концентрації осаду спостерігається позитивний ефект під час експериментального випробовування. Визначено якість за концентраціями 25 хімічних елементів отриманих добрив після додавання кальцієвмісного шламу до біореактора.

На основі експериментальних даних була розроблена технологія отримання комплексних добрив з використанням регулюючої добавки кальцієвмісного шламу. Рекомендовані основні засоби індивідуального захисту під час дослідження енергоекологічного методу переробки промислово-побутових відходів.

Ключові слова: промислово-побутові відходи, охорона праці, анаеробне зброджування, біогазова установка, комплексне добриво.

Постановка проблеми. В Україні гостро стоїть проблема у сфері екології – це забруднення навколишнього середовища відходами [1, с. 314].

Одним із шляхів запобігання їх накопиченню є утилізація та знешкодження харчових побутових відходів з використанням процесу анаеробного зброджування. Анаеробне зброджування – це природний процес перероблення мікроорганізмами за заданого температурного режиму органічно-мінерального субстрату з виділенням цінного біогазу, що також може реалізовуватись на потреби держави. Розвиток і широке використання технології анаеробного зброджування допоможе одночасно розширити сировинну базу добрив, утилізувати накопичені промислово-побутові відходи, активний мул та шлам розчину кальцієвої селітри (РКС), а також суттєво поліпшити екологічний стан довкілля.

Будь-яке середовище, в якому перебуває людина, особливе виробниче, є джерелом потенційних небезпек та небезпечним чи шкідливим чинником для здоров'я людини. Небезпечний чинник за певних умов може призвести до травм на виробництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Утилізація побутових відходів стає глобальною проблемою в розвинених країнах. За даними міжнародних рекомендацій і законодавства, різні технології використовуються для скорочення обсягу захоронення органічних відходів, поліпшення утилізації органіки і поживних речовин [2, с. 1–16].

Серед технологій, що використовуються для перероблення побутових відходів (OFMSW), найбільш широко рекомендованою як екологічно безпечною є технологія анаеробного зброджування [3, с. 896–902].

Анаеробне зброджування відходів біомаси зменшує й усуває широкий спектр екологічних забруднень, покращує санітарний стан довкілля, допомагає в боротьбі з забрудненням води й повітря, знижує викиди парникових газів. Крім того, цей процес забезпечує отримання якісного, багатого поживними речовинами добрива та вихід енергії у вигляді біогазу [4, с. 300–303; 5, с. 952–966].

Є два основних температурних режими для анаеробного зброджування: мезофільний (від 32 до 42 °С) і термофільний (від 48 до 55 °С). У мезофільному режимі процес зброджування проходить за більш низької температури, він відбувається повільніше і дає менше біогазу, однак мезофільні реактори залишаються більш популярними внаслідок їх нижчих енергетичних затрат порівняно з термофільними реакторами [6, с. 787–800].

У процесі переробки промислово-побутових відходів отримують біогаз, який складається із H_2S , CO_2 і CH_4 . Вільне розповсюдження біогазу в повітрі викликає ряд негативних ефектів для працівників, зумовлених токсикологічними властивостями компонентів біогазу. Потрапляючи в організм людини через дихальні шляхи, складники біогазу (отруйні речовини) проникають у систему кровообігу, вражаючи життєво важливі органи, впливають на метаболізм майбутніх матерів, можуть викликати дефекти розвитку плода і знизити здатність до відтворення потомства.

Сірководень має неприємний характерний запах, важчий за повітря, у разі вдихання притуплює органи сприйняття запаху, що утрудняє його виявлення і може призвести до смертельних отруєнь. Масова частка сірководню в біогазі не більше 1–5%.

Вуглекислий газ може накопичуватися в нещільностях установки, оскільки він важчий за повітря, через що може викликати небезпеку задухи. Масова частка вуглекислого газу в біогазі 20–44%.

Метан практично не отруйний газ, під час взаємодії з повітрям або киснем утворює вибухонебезпечну суміш. За наявності вентиляції газ випаровується безслідно. Масова частка метану в біогазі 53–75%.

Передбачається, що впровадження енергоекологічного методу переробки промислово-побутових відходів шляхом додавання до суміші активного мулу та шламу РКС допоможе не тільки прискорити процес бродіння суміші, утилізувати активний мул та полігони шламу РКС, а й забезпечити вихід якісного комплексного добрива, а вбудована система очистки від домішок допоможе

запобігти впливу шкідливих домішок у біогазі на організм людини.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження енергоекологічного методу переробки промислово-побутових відходів та її впливу на навколишнє середовище з наступним одержанням комплексного добрива та біогазу.

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання:

- дослідити кінетику зміни вологості комплексного добрива під час додавання активного мулу та шламу РКС та виділення біогазу з суміші промислово-побутових відходів;

- дослідити показники якості комплексного добрива, отриманого методом анаеробного зброджування з додаванням активного мулу та шламу РКС.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єктом дослідження є промислово-побутові відходи з додаванням шламу РКС та активного мулу з водоочисних станцій м. Кам'янське.

У процесі отримання кальцієвої селітри утворюються значні об'єми шламу РКС, що не утилізуються і зберігаються на складі відходів. Шлам РКС являє собою тверді темно-бежеві грудки розміром 40–50 мм без запаху з пластоподібним вогким зовнішнім шаром, що легко кришаться. Дослідили шлам РКС підприємства ПАО «Хімдивізіон». Якісний склад шламу РКС, мас. %: FeO , SiO_2 і Al_2O_3 – до 1,0; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ – до 22,0; MgCO_3 і CaCO_3 – до 4,0; $\text{Ca}(\text{OH})_2$ і $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – до 33,0; волога – 35,0–39,0; важкі метали 1,0–5,0. Активна реакція водної витяжки з шламу РКС (рН) – 7,49. Клас токсичності наведеного шламу – IV, що належить до малонебезпечних відходів.

Для проведення робіт, пов'язаних із визначенням вологості субстрату, окремих його компонентів та вихідного комплексного добрива, використовували сушильну шафу та електронні лабораторні ваги AXIS AD500. На першому етапі підготовки проводиться сортування субстрату і відділення сторонніх включень. Необхідність проведення цієї операції залежить від походження і складу сировини для біогазових установок. До сторонніх включень зазвичай відносять камені, які під дією сили тяжіння зазвичай опускаються на дно приймальної місткості.

Другий етап підготовки субстрату полягає в його подрібненні. Подрібнення промислово-побутових відходів відбувається шляхом їх механічної обробки за допомогою фрезерної мішалки (швидкість обертання ротора мішалки 7 об/с, частота коливання рідини 230 c^{-1} , критерій Рейнольдса

$3,99 \times 10^4$, час обробки протягом 1–2 хвилин) до розміру часток 3–5 мм.

Після процесу подрібнення та перемішування вимикали фрезерну мішалку та знову зважували суміш. Зважений субстрат завантажували до біореактора та закривали його.

Процес одержання комплексного добрива протікав у мезофільному режимі зброджування (33°C) як найбільш оптимальному та менш коштовному. Підтримання постійної температури мезофільного режиму під час анаеробного зброджування та мінімізації теплових втрат виконували за допомогою нагрівача з терморегулятором та використовували пінопластовий ковпак з товщиною стінки – 19 мм.

Експеримент проводили у скляному реакторі ємкістю $0,5 \text{ дм}^3$, щільно закритому та захищеному від прямого сонячного світла, до якого приєднували герметичну ємкість для збору витісненого біогазу та мірний циліндр. Показник рН визначали потенціометричним методом. Визначення вмісту сухого залишку виконували за методикою [8].

Протягом всього періоду анаеробного зброджування через рівний проміжок часу відбирали проби (наважки) сировини для визначення зміни її вологості. Наважки сировини відбирали у керамічні тиглі, зважували на лабораторних вагах, ставили в попередньо нагріту до $105\text{--}110^\circ\text{C}$ сушильну шафу і висушували протягом 4 годин. Після сушіння тиглі виймали з сушильної шафи, охолоджували в ексикаторі протягом 40 хв та повторно зважували. Після зважування тиглі з наважкою ставили в сушильну шафу для досушування. Зольність органо-мінеральної суміші визначали за показником втрати ваги. Прожарювання виконували в електричній муфельній печі ПМ-8 за температури близько 600°C .

Для проведення дослідження створена лабораторна установка енергоекологічної переробки промислово-побутових відходів у комплексне добриво з додаванням активного мулу та кальцієвмісних шламів, що складалася з корпусу із внутрішньою теплоізоляцією, ємкості для бродіння (біореактор), термометра, електричного нагрівача з терморегулятором, газовідвідної трубки, газозбірника та ємкості для збору витісненої води.

Для запобігання отруєнь та задухи під час проведення дослідів використовували засоби індивідуального захисту (халат, маска, рукавички) в приміщенні лабораторії, обладнаній загальнообмінною та місцевою вентиляцією.

Експериментально визначили вплив активного мулу та кальцієвмісних шламів на швидкість анаеробного зброджування і якість отриманого добрива.

Після монтування лабораторної установки, для проведення процесу було встановлено оптимальну температуру мезофільного режиму – 33°C .

У процесі дослідження дослідили кінетику зміни вологості комплексного добрива під час його отримання з промислових відходів за додавання різноманітних концентрацій кальцієвмісного шламу та активного мулу (вихідний субстрат) методом анаеробного зброджування. Відомо, що чим ефективніше проходить процес зброджування, тим більше виділяється біогазу та швидше знижується вологість субстрату.

Кінетику переміни вологості комплексного добрива за концентрації кальцієвмісного шламу 5–8% на суху речовину наведено на рисунку 1.

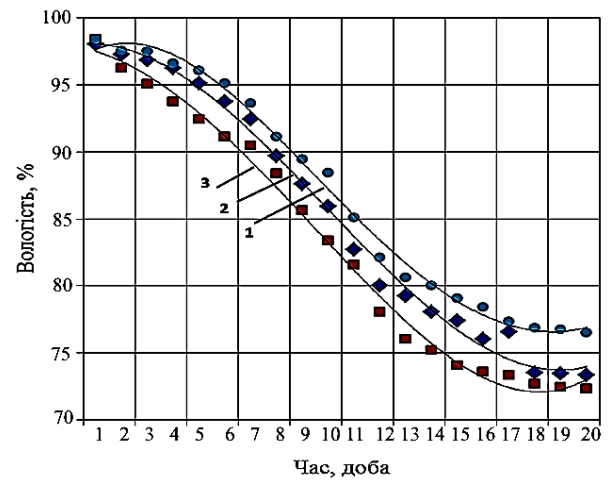


Рис. 1. Кінетика зміни вологості комплексного добрива з концентрацією шламу РКС 5 та 8% на суху речовину
 1 – суміш побутових відходів; 2,3 – суміш побутових відходів при додаванні кальцієвмісного шламу 5 та 8% на суху речовину

Визначено, що додавання кальцієвмісного шламу концентрацією менше 5% економічно не вигідно, оскільки не покриває економічні витрати. Швидкість зміни вологості субстрату у разі додавання кальцієвмісного шламу концентрацією 8% протікала більш інтенсивно порівняно з контрольною пробою, до якої кальцієвмісні шлами та активний мул не додавались. Найінтенсивніше процес зниження вологи протікав на 7–12 добу, вологість знизилася на 15,3–18,7%.

Кінетику переміни вологості комплексного добрива за концентрації кальцієвмісного шламу 10–13% на суху речовину наведено на рисунку 2.

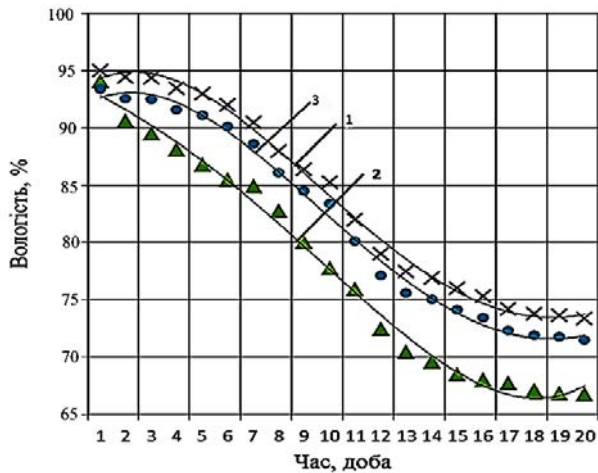


Рис. 2. Кінетика зміни вологості комплексного добрива з концентрацією шламу РКС 10 та 13% на суху речовину
1 – суміш побутових відходів; 2 – суміш побутових відходів у разі додавання кальцієвмісного шламу 10 та 13% на суху речовину

Під час додавання кальцієвмісного шламу концентрацією 10 та 13% швидкість спадання вологості добрива сповільнилась. Найбільш інтенсивно процес протікав на 7–12 добу, вологість вихідного субстрату в цей проміжок часу знизилася на 10,7–15,6%.

Кінетику зміни вологості субстрату за концентрації кальцієвмісного шламу 15–18% на суху речовину наведено на рисунку 3.

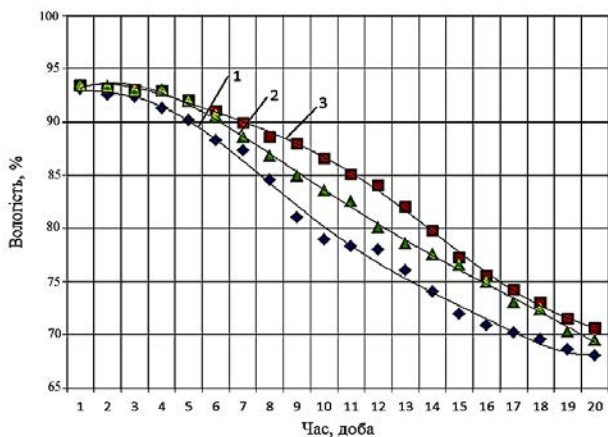


Рис. 3. Кінетика зміни вологості комплексного добрива з концентрацією шламу РКС 15 та 18% на суху речовину
1 – суміш побутових відходів; 2 – суміш побутових відходів у разі додавання кальцієвмісного шламу 15 та 18% на суху речовину

Найбільшу активність протікання процесу анаеробного зброджування спостерігали на 7–12 добу. Більш ефективною виявилася концентрація шламу 8–13% на суху речовину. Вологість

субстрату до анаеробного зброджування склала до 92–95%, тоді як вологість субстрату без шламу РКС та активного мулу – до 80–83%. Ефективність процесу анаеробного зброджування знизилася за концентрації шламу більше 15%, що пояснюється суттєвим впливом такої концентрації шламу на життєдіяльність метаноутворюючих бактерій. Встановили, що у разі додавання до промислових відходів активного мулу та кальцієвмісного шламу концентрацією 8–13% на суху речовину вологість добрива збільшується в 1,1–1,3 рази.

Дослідили показники якості комплексного добрива, отриманого методом анаеробного зброджування з додаванням кальцієвмісного шламу концентрацією 5–18% на суху речовину та активного мулу (таблиця 1). Масова частка води в добриві не перевищує 67,5–73,3%. Вологість добрива зростає зі зменшенням концентрації шламу РКС. Зольність добрива – 31,2–32,5% та кислотність добрива – 6,5 вказує на нейтральне середовище.

Концентрація металів в добриві не перевищує гранично допустиме значення, тому добриво є безпечним для навколишнього середовища. При додаванні шламу РКС концентрацією 5–18% на суху речовину, добриво містить Ca 34,778 – 38,912%, K 30,697 – 34,346%, P 0,01 – 0,026% та N 32,697 – 36,583%.

Отже, для найбільш ефективного використання добрива слід враховувати отримані показники якості. Найбільший вміст Ca, K та N містить добриво з концентрацією шламу РКС 10%.

Висновки. Досліджено кінетику зміни вологості комплексного добрива в процесі його отримання з промислових відходів за додавання 5–18% кальцієвмісного шламу на суху речовину та активного мулу (вихідний субстрат) методом анаеробного зброджування.

Рекомендовано ведення процесу анаеробного зброджування в мезофільному режимі за додавання до нього кальцієвмісного шламу концентрацією 8–13% зменшує вологість отриманого добрива в 1,1–1,3 рази, одночасно під час попередньої обробки сировини фрезерною мішалкою процес зброджування прискорюється у 0,6–0,7 разів. Загальна кількість утвореного біогазу через 20 діб становить 0,53–0,58 дм³/кг порівняно з контрольною пробою, в яку шлам не додавали, 0,32 дм³/кг.

Експериментально визначено вплив добавки кальцієвмісного шламу РКС на якість отриманого комплексного добрива. Концентрація металів у добриві не перевищує гранично допустиме

Усереднені показники якості комплексного добрива

Найменування мікроелемента	Концентрація мікроелемента, %					
	5	8	10	13	15	18
Al	0,022	0,024	0,047	0,036	0,083	0,099
N	32,697	34,54	36,583	32,788	32,972	33,025
Si	0,032	0,033	0,019	0,066	0,025	0,038
P	0,026	0,018	0,01	0,01	0,018	0,018
S	0,045	0,048	0,051	0,045	0,046	0,046
Cl	0,12	0,127	0,135	0,121	0,121	0,121
K	30,697	32,428	34,346	30,782	30,954	31,005
Ca	34,778	36,739	38,912	34,874	35,07	35,127
Ti	0,054	0,043	0,039	0,057	0,043	-
Cr	0,009	0,011	0,007	0,008	0,02	0,006
Mn	0,027	0,023	0,024	0,02	0,013	0,012
Fe	1,268	1,116	0,863	0,972	0,401	0,375
Ni	-	-	-	0,002	0,007	-
Cu	0,007	0,005	0,005	0,005	0,009	0,008
Zn	0,028	0,03	0,032	0,029	0,029	0,029
Br	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Rb	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Sr	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Ag	0,013	0,014	0,015	0,013	0,013	0,013
Cd	0,014	0,015	0,016	0,014	0,014	0,014
Tb	0,144	0,152	0,161	0,145	0,146	0,146
W	0,005	0,003	0,003	0,003	0,006	0,006
Re	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

значення, тому добриво є безпечним для навколишнього середовища. За додавання шламу РКС концентрацією 5–18% на суху речовину, добриво містить Ca 34,778 – 38,912%, K 30,697 – 34,346%, P 0,01 – 0,026% та N 32,697 – 36,583%. Найбільший вміст Ca, K та N спостерігався в добриві з концентрацією шламу РКС 10%.

Найбільш небезпечними домішками в біогазі є CO₂ та H₂, тому для запобігання отруєнь та задухи під час проведення дослідів працівникам лабораторії рекомендовано використовувати засоби індивідуального захисту (халат, маска, рукавички) та обладнати приміщення лабораторії загальною обмінною та місцевою вентиляцією.

Список літератури:

1. Пахненко Е.П. Осадки сточных вод и другие нетрадиционные органические удобрения. 2007 г. Москва, 2015. 314 с.
2. European Commission Council directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on landfill of waste. *European Journal of Communication*. 1999. P. 1–19. ELI: <http://data.europa.eu/eli/dir/1999/31/oj>.
3. Eitzer B.D. Emissions of volatile organic chemicals from municipal solid waste composting facilities. *Environmental Science and Technology*. 1995. No 29(4). P. 896–902.
4. Brown V.J. Biogas a bright idea for Africa. *Environmental Health Perspectives*. 2006. No 114(5). P. 300–303.
5. The structure of the bacterial and archaeal community in a biogas digester as revealed by denaturing gradient gel electrophoresis and 16S rDNA sequencing analysis/ F.H. Liu, S.B. Wang, J.S. Zhang, J. Zhang, X. Yan, H.K. Zhou, G.P. Zhao, Z.H. Zhou. *Journal of applied microbiology*. 2009. Vol. 106. No 3. P. 952–966.

6. Mesophilic versus thermophilic anaerobic digestion of cattle manure: methane productivity and microbial ecology/ V. Moset, M. Poulsen, R. Wahid, O. Højberg, H.B. Møller. *Microbial Biotechnology*. 2015. Vol. 8. No 5. P. 787–800. doi: 10.1111/1751-7915.12271.

7. ДСТУ 4077-2001. Якість води. Визначання рН (ISO 10523:1994, MOD). Введ. 2001-01-01. Київ : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2003. 16 С.

8. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Москва : МГУ, 1970. 179 с.

Shumylo K.P., Belyanska A.R., Kryukovskaya O.A. RESEARCH OF ENERGY-ECOLOGICAL METHOD OF RECYCLING INDUSTRIAL AND DOMESTIC WASTES

One of the problems of scientific interest is the rational waste management, including waste collection, composting, consumption, reduction of waste. This article considers energy – ecological method of processing industrial and domestic wastes and its impact on the environment. It is theoretically founded and experimentally proved the expediency of processing industrial and domestic wastes by anaerobic fermentation with the addition of the initial mixture of activated sludge and sludge solution of calcium nitrate (RKS), and the impact of the products of anaerobic fermentation on the human body. Dangerous and harmful factors of the impact on the human body, during the functioning of energy-ecological technology of waste processing, and methods of its prevention are considered. The quality levels of the resulted complex fertilizers based on industrial and domestic wastes, activated sludge and RKS sludge are investigated.

We investigated the effect of adding calcium-containing RKS sludge and solution of calcium nitrate in concentrations 5, 8, 10, 13, 15, 18% in the methane tank with a solution of domestic wastes and municipal wastewater. The kinetics of change in humidity of the obtained fertilizer after the addition of sludge with different concentration is presented. Comparing the obtained experimental and mathematical relationships, we can see that there is a significant difference between them when the optimum concentration of sediment is added, and a positive effect is observed during the experimental test. It was determined the quality of concentrations of 25 chemical elements of the obtained fertilizers after the addition of calcium-containing sludge to the bioreactor.

Based on the experimental data, a technology for the production of complex fertilizers was developed using an adjuster calcium-containing sludge. The main means of individual protection in the investigation of the energy-ecological method of processing industrial and domestic wastes are recommended.

Key words: *industrial and domestic wastes, occupational Safety and Health, anaerobic fermentation, biogas unit, complex fertilizer.*