

УДК 628.179.2

В.М. Бабаєв¹, В.В. Панов², Я.М. Хайло², В.М. Волков², М.П. Горох²¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна²Комунальне підприємство «Харківводоканал», Україна

АЛЬТЕРНАТИВНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ПОВНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ МУЛОВОГО ОСАДУ СТІЧНИХ ВОД

Розглядаються екологічно безпечні технологічні рішення утилізації мулового осаду стічних вод. Обґрунтовано порівняльний аналіз можливого використання технології мезофільного анаеробного зброджування та біохімічних процесів деструкції органічної складової побутових відходів і мулових осадів рідких стоків. Наведена методика розрахунку об'єму біогазу.

Ключові слова: енергетичний потенціал метаноутворення, гідроліз, мезофільне анаеробне зброджування, термічна утилізація, альтернативне біопаливо

Актуальність проблеми і аналіз ситуації

Екологічні проблеми в існуючих водогосподарських системах населених пунктів України здобули загальнодержавне і міжнародне значення. Основними забруднювачами водних об'єктів між галузями економіки України залишаються промисловість – 52 % від загального скиду стічних вод та житлово-комунальне господарство – 41 %.

Статистичні дані свідчать, що підприємства житлово-комунального господарства скидають біля 3400 млн м³ стічних вод, з них недостатньо очищеними – 1370 млн м³ (116 млн м³ без очищення) [1]. Аналіз існуючих в населених пунктах України та країнах СНД систем водовідведення всіх категорій стічних вод показує, що системи водовідведення становлять підвищену екологічну небезпеку щодо водних об'єктів, як в штатних умовах експлуатації, так і в аварійних ситуаціях..

Очищення стічних вод відноситься до багатовідхідної технології, в якій утворений осад являється великотоннажним відходом.

Актуальність проблеми осадів-відходів відображена в ряді Законів України, які зобов'язують виробників відходів мулового осаду позбавлятися від них. При цьому ігнорується сам факт відсутності технологій по їх утилізації [2].

Для порівняння, в Україні використовується практично один спосіб утилізації мулового осаду – складування (>95 %). Це пов'язано з тим, що якість вітчизняних осадів мулу стічних вод не відповідає вимогам нормативів за вмістом важких металів [3].

Процес розкладання органічних сполук мулових осадів в мезофільно анаеробних умовах призводить до утворення біогазу, що суттєво

впливає на «парниковий ефект». Із загальної кількості метану (СН₄), який щорічно поступає в атмосферу, 40-50 % утворюється в результаті антропогенної діяльності, причому більше 20 % з них припадає на об'єкти захоронення побутових відходів, включаючи і мулові осади рідких стоків, що розміщуються на мулових майданчиках (картах) біологічних очисних споруд.

Визначено, що здатність біогазу визивати «парниковий ефект» приблизно в 30 разів вище, ніж у вуглекислого газу СО₂. Метан СН₄ і діоксид вуглецю являються «парниковими» газами, що потребує обмеження їх емісії в атмосферу.

Вплив стічних вод і відходів на поверхневі води і джерела водопостачання є проблемою при удосконаленні моніторингу джерел водопостачання, схильних до антропогенного евтрофування (збільшення шкідливих речовин у водних екосистемах в результаті діяльності людини).

Директивні документи ЕС № 86/278 регламентують застосування мулових осадів стічних вод в залежності від способу їх переробки (звичайної або поглибленої) в якості добрив.

Директивою 2000/76 ЕС регламентовано дуже жорсткі нормативи по емісії шкідливих речовин в димових газах при спалюванні мулового осаду. На цей час внаслідок високих економічних витрат на спалювання осаду стічних вод і особливо на очищення димових газів (викидів) в Україні економічно важко використовувати сучасні термічні методи утилізації мулового осаду стічних вод.

Слід зазначити, що при апробації дрібних фракцій промислових і побутових відходів, вони є основними джерелами забруднення природного середовища в містах і на прилеглих територіях. Це обумовлено високим вмістом хімічних, в т.ч. токсичних, речовин у відходах мулового осаду.

Виходячи з того, що основна небезпека при складуванні мулових осадів полягає в міграції з них важких металів у ґрунт і водойми, важливо проаналізувати перспективні технологічні процеси повної утилізації мулового осаду стічних вод [4].

Мета

Мета роботи полягає в необхідності розроблення альтернативних технологічних методів повної утилізації мулового осаду на державному рівні, враховуючи основні напрямки вирішення проблеми утилізації осаду стічних вод.

Виклад основного матеріалу. Енергетичний потенціал метаноутворення при мезофільному анаеробному розкладанні органічної складової мулового осаду

В процесі очищення стічних вод утворюються багатотоннажні тверді відходи (осади стічних вод первинних та вторинних відстійників, відходи біологічних очисних споруд – надлишковий активний мул), які мають різний хімічний склад та фізико-механічні властивості, а також відносяться до різних класів небезпеки.

Муловий осад стічних вод на 70-80 % складається з органічних компонентів, більшість яких піддаються розкладанню в часі в умовах їх депонування на мулових майданчиках в результаті природних хімічних і біологічних процесів.

Оскільки відходи мулового осаду складаються і знаходяться депонованими на мулових майданчиках (картах) тривалий час, екосистема міст складування динамічна, тобто змінюється в часі.

Біохімічні процеси розкладання органічної частини мулового осаду мікроорганізмами називають ферментацією. Процес ферментації може протікати в аеробних умовах (аеробна ферментація), або в анаеробних умовах (анаеробна ферментація).

В результаті реакції гідролізу утворюються низькомолекулярні органічні речовини, які протягом короткого часу (декілька тижнів) проходять стадію киснево-нітратного окислення і розкладаються в аеробних умовах до води, діоксиду вуглецю і азоту. Процеси розкладання органічних речовин приведені на рис. 1.

Для анаеробних умов характерна стадія розпаду продуктів гідролізу. Тривалість цієї стадії – від 1 до 6 місяців. В результаті процесів ферментації та відновлення сульфатів органічні речовини руйнуються до низькомолекулярних кислот (утворюється, зокрема, оцтова кислота), діоксиду вуглецю і сульфиду водню, в невеликих кількостях виділяється метан (CH_4). При цьому утворюються проміжні продукти – карбонові кислоти і спирти.

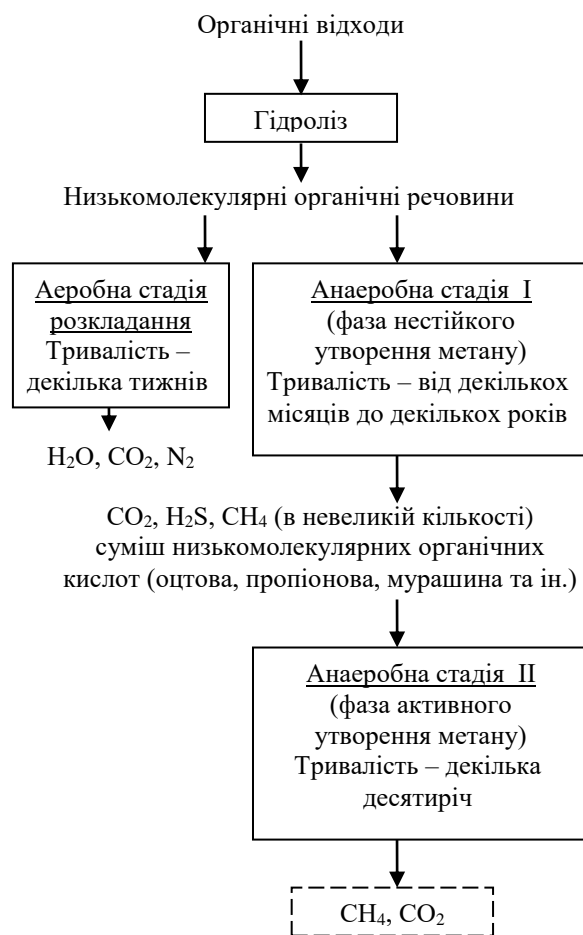


Рис. 1. Принципові процеси розкладання органічних речовин мулового осаду стічних вод

В анаеробних умовах більш високому вмісту вологи в муловому осаді відповідають більш активні біологічні процеси.

Субстрат як поживне середовище для мікроорганізмів відіграє важливу роль в процесах розкладання органічного складової мулового осаду (рис. 2).

В загальному виді процес розкладання органічних речовин мулового осаду може бути розділений на три стадії.

На першій стадії органічні розчинені речовини гідролізуються і під впливом ферментів мікробів розщеплюються до проміжних продуктів – жирних кислот, спиртів, водню і діоксиду вуглецю.

На другій стадії ацетогенічні групи мікробів перетворюють проміжні продукти, одержані на першій стадії, в оцтову кислоту, водень і діоксид вуглецю.

На третій стадії (заклучній), яка має назву метанового зброджування, органіка перетворюється в метан CH_4 і двоокис вуглецю CO_2 , а з вільних (CO_2) (H_2) також утворюється метан (рис. 3).

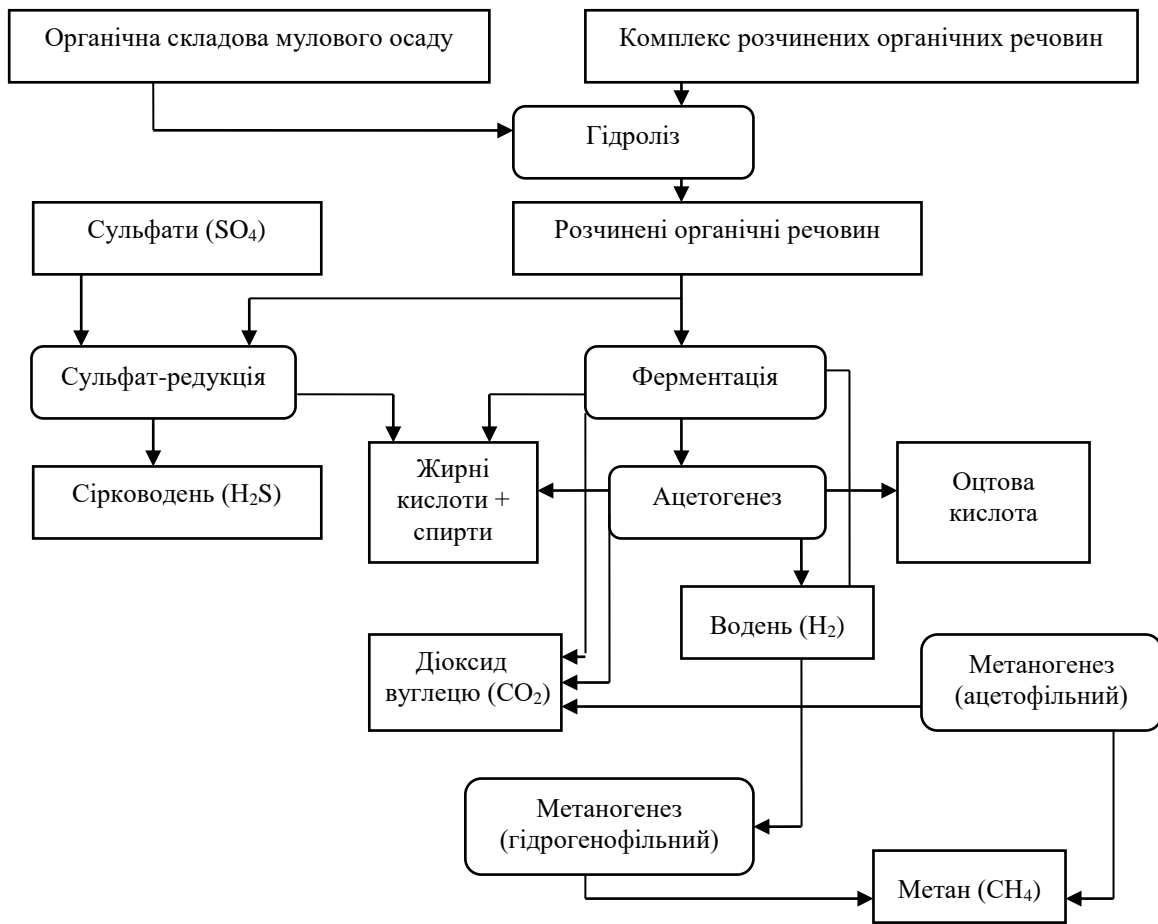


Рис. 2. Субстрати і головні мікробіальні групи метаногенеруючої екосистеми

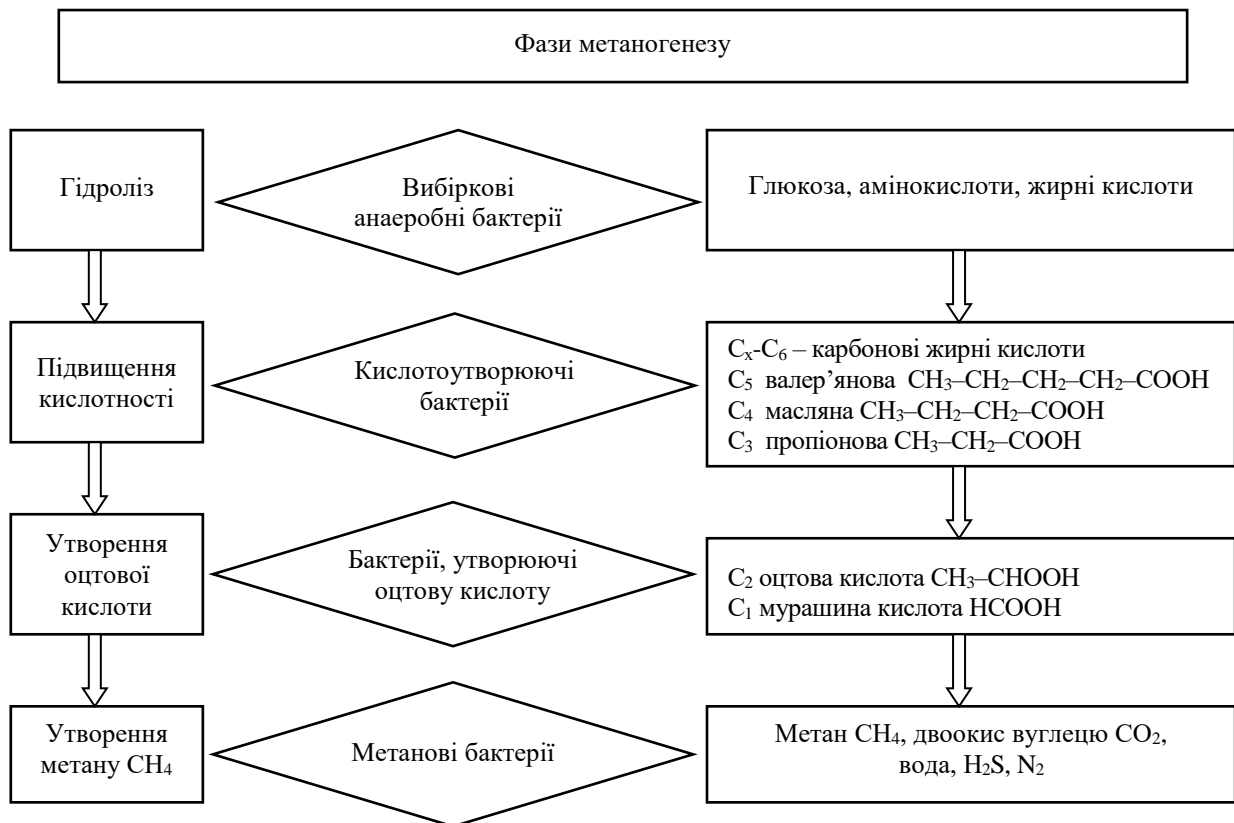
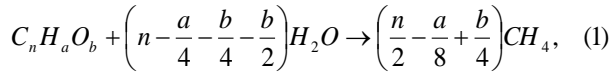


Рис. 3. Процеси утворення біогазу

Стехіометрично ці процеси можуть бути виражені рівнянням (1):



де n, a, b – стехіометричні коефіцієнти.

На процеси утворення метану CH₄ впливають абіотичні фактори:

- **Кисень.** Метаноутворюючі бактерії розвиваються в анаеробній зоні. Наявність кисню в значних концентраціях може гальмувати процес генерації метану CH₄.

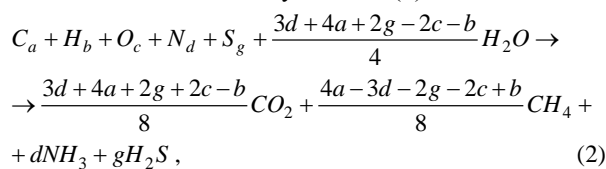
- **Водень.** При високих концентраціях водню з CO₂ і етанолу утворюються масляна і пропіонова кислоти. При зниженні тиску водню ці кислоти в кінцевому результаті перетворюються в метан.

- **pH та лужність.** Метаногенеруючі бактерії при мезофільному анаеробному розкладанні органічної складової відходів мулового осаду ефективно працюють при pH = 6...8. Із всіх абіотичних факторів pH має найбільше значення, оскільки при кислих значеннях pH процес метаноутворення може бути подавленим.

- **Вологість.** Багатьма дослідженнями доведено збільшення виходу метану CH₄ з підвищенням вологості органічної складової відходів мулового осаду від 20 до 60 %.

В анаеробних умовах більш активно проходять біологічні процеси [5].

Основну хімічну формулу анаеробного процесу можна записати в такому вигляді (2):



де a, b, c, d, g – кількість грам-молей відповідного хімічного елемента.

Знаючи молекулярну масу утворених сполук: CO₂(44), CH₄(16), NH₃(17), H₂S(34), H₂O (18), можна визначити маси речовин, що утворюються при анаеробному розкладанні 1 кг органічних відходів. Дані таких розрахунків наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Кількість грам-молей основних хімічних елементів в органічних відходах

Хімічний знак елемента	Маса в 1 кг органічних відходів, г	Кількість грам-молей	Умовне позначення кількості грам-молей
C	102,16	8,51	a
H	13,87	13,87	b
O	70,70	4,40	c
N	2,50	0,18	d
S	0,32	0,01	g
Всього:	189,55		

Метаноутворюючі бактерії можуть існувати тільки в анаеробних умовах, для їх відтворення необхідно більше часу, ніж для кислотоутворюючих бактерій. Швидкість анаеробного зброджування залежить від метаболічної активності метанових бактерій, яка в свою чергу залежить від:

- температури (оптимум t = 33-54 °C);
- відношення C/N (оптимум в діапазоні 10-16);
- величини pH (оптимум біля 6,5) та інших зовнішніх умов, наприклад, наявності в муловому осаді солей важких металів, аміаку, нітратів, сульфатів та ін.

При відхиленні від вказаних вище оптимальних умов збільшується виникнення летючих кислот і зменшується вихід метану CH₄.

Визначення об'єму біогазу при анаеробному зброджуванні мулового осаду

Для розрахунку кількісних і якісних характеристик утворення біогазу в якості вихідних даних приймається склад органічної частини мулового осаду, вміст основних хімічних елементів (табл. 1, 2) і кількість сухої речовини органічної складової осаду, здатної до розкладання в анаеробних умовах [6].

Аналіз літературних (технічних) даних дозволяє зробити висновок, що в середньому в 1 кг відходів суха органічна речовина складає 212,4 г.

Таблиця 2

Склад основних компонентів в % мас та характеристика біогазу

Характеристика	Компоненти біогазу				Базова суміш (60%CH ₄ + 4-40 % CO ₂)
	CH ₄	CO ₂	H ₂	H ₂ S	
Об'ємна частка, %	50-60	30-40	< 1	< 3	100
Об'ємна теплота згоряння, МДж/м ³	35,8	–	10,8	22,8	21,5
Температура запалювання, °C	65-750	–	585	–	650-750
Критичний тиск, МПа	4,7	7,5	1,3	8,9	7,5-8,9
Оптимальна щільність, г/л	0,72	1,93	0,09	1,54	1,2
Критична температура, °C	-82,5	31,0	–	100	2,5
Критична щільність, г/л	102	468	31	349	320

В розрахунках прийнято, що біогаз виходить з відходів при температурі 30 °С.

Перерахунок щільності газів при цій температурі визначається за формулою (3):

$$\frac{PV}{T_o} = const, \quad (3)$$

де P – тиск газу, p = 760 мм в.ст.;

V – об'єм газу, V = m / ρ, m – маса газу;

T – абсолютна температура газу (за шкалою Кельвіна), T = t + 273, t – температура за шкалою Цельсія.

Щільність CO₂ (при 30 °С) складає 1,7596 кг/м³; CH₄ – 0,6380; NH₃ – 0,6863; H₂S – 1,3699.

Об'єм суміші утворюваних газів визначається за формулою (4):

$$V_c = \sum_i^n V_i, \quad (4)$$

де V_i – парціальний об'єм визначеного (i-го) газу.

Щільність суміші газів визначається за формулою (5):

$$P_c = \frac{M_c}{V_c}, \quad (5)$$

де M_c – маса суміші газів.

Наведені об'єми утворення газів можна вважати лише потенційними, оскільки на практиці ні аеробного, ні анаеробного процесу в чистому виді не буває, ці процеси завжди йдуть одночасно.

Біологічні процеси являються ключовими і виражені фазами аеробного і мезофільного анаеробного розкладання органічної складової мулового осаду з утворенням біогазу.

Підраховано, що з 1 т відходів мулового осаду утворюється біля 200-250 м³ біогазу.

Спрощений процес утворення біогазу відображає реакція (конверсія глюкози в метан): C₆H₁₂O₆ → 3CH₄ + 3CO₂.

Основні компоненти біогазу: метан – 40-75 % (як правило, 50-60 %), діоксид вуглецю – 30-40 %, азот – 5-15 %, кисень – 0-2 %, сірководень та інші токсичні сполуки в невеликих кількостях.

В залежності від вмісту метану біогаз має теплоту згоряння від 15 до 20 МДж/м³ (3600-4800 ккал/м³), що відповідає 50 % теплоти згоряння природного газу. В середньому теплота згоряння біогазу складає 17,6 МДж/м³.

На підставі узагальнених результатів численних лабораторних досліджень, складена математична модель визначення питомого виходу біогазу за період його активної стабілізованої генерації. Ця модель описується формулою (6):

$$Q_{t1} = \frac{1,8G_o(1-10^{-kt})}{\left(\frac{59-W}{13}\right)^4}, \quad (6)$$

де Q_{t1} – питомий вихід біогазу, м³/т відходів;

G_o – 1,868 C_{акт} (0,014T + 0,28);

C_{акт} – активний органічний вуглець, г/т відходів;
T – температура депонованого мулового осаду, °С (температура коливається від 28 до 32 °С);

k – постійна розкладання, що дорівнює відношенню вуглецю до загального азоту (C/N);

t – тривалість періоду стабілізованого виходу біогазу, рік;

W – природна вологість відходів мулового осаду, %.

Для практичних розрахунків зручніше користуватися відомим рівнянням виходу біогазу при метановому бродінні (7):

$$Q_{t2} = 10^{-6} R(100-W)(0,92Ж + 0,62У + 0,34Б), \quad (7)$$

де Q_{t2} – питомий вихід біогазу за період активного виходу, кг/кг відходів;

W – середня вологість відходів осаду, %;

R – вміст органічної складової у відходах, на суху масу, %;

Ж – вміст жироподібних речовин в органічних відходах мулового осаду, %;

У – вміст вуглецеводянистих речовин в органічних відходах, %;

Б – вміст білкових речовин в органічних відходах осаду, %;

W, R, Ж, У, Б – визначаються аналізами відібраних проб відходів.

Період активного виходу біогазу становить в середньому двадцять років. За цей час генерується близько 80 % від загальної кількості біогазу, одержуваного з 1 т відходів мулового осаду.

Найбільше практичний інтерес визивають процеси, що виникають на полігонах твердих побутових відходів, оскільки вони пов'язані з утворенням значної кількості шкідливих міграцій в довкілля: біогаз – в атмосферу, а фільтрати – в ґрунтові води.

Біологічні процеси є ключовими і виражені фазами аеробного і анаеробного розкладання органічних речовин з утворенням біогазу та фільтрату (рис. 4).

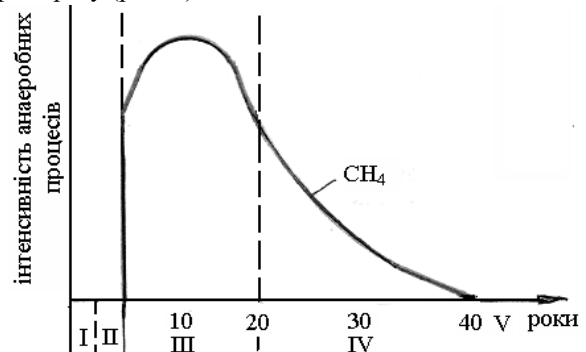


Рис. 4. Стадії динаміки анаеробного процесу на реальному полігоні побутових відходів:

I – адаптаційна; II – експоненціальний розвиток;

III – стаціонарно стабільна; IV – затухання;

V – біологічної інертності

Як видно з рис. 4, процес розкладання органічної складової побутових відходів в часі проходить ряд стадій, кожна з яких характеризується визначеним рівнем виходу біогазу. Як правило, виділяють наступні п'ять фаз розкладання органічної складової (50-80 %) побутових відходів:

- 1) аеробне розкладання (декілька тижнів);
- 2) анаеробне розкладання (кислотогенна фаза – 1-6 місяців);
- 3) анаеробне розкладання з незначним виділенням метану CH_4 (змішане зброджування – півроку-10 років);
- 4) анаеробне розкладання з постійним виділенням метану CH_4 (10-30 років);
- 5) затухання анаеробних процесів з утворенням гумусу (30-40 років).

Таким чином, з часом процес метаногенезу по мірі розкладання органічних побутових відходів затухає. На практиці, як правило, повне «затухання» процесу метаногенезу з одержанням гумусу враховують до 40 років. Теоретично процес метаногенезу триває до 70 років.

Для орієнтовних розрахунків об'ємів метану вважають, що 42,5 % біогазу виділяється в перші 6 років, і ще 57,5 % – за послідові 15 років.

Розрахунки об'ємів утворення біогазу на умовному полігоні побутових відходів визначають за спрощеною формулою (8):

$$q = \frac{0,4253 \cdot M \cdot V_c}{5,5}, \quad (8)$$

де $V_c = 0,217 \text{ м}^3/\text{кг}$ – об'єм біогазу, утворюваного з 1 кг органічної речовини побутових відходів;

M – кількість побутових відходів, депонованих на умовному полігоні.

За статистичними даними в Україні щорічно накопичується до 14 млн т твердих побутових відходів, що еквівалентно 255 млн м^3 біогазу на рік. На прикладі м. Харкова (другий по величині мегаполіс України), щорічно накопичується до 740 тис. т побутових відходів, що еквівалентно 13,5 млн м^3 /рік біогазу.

В Україні існує 140 великих полігонів, на яких депоновано за останні 15-20 років 70-100 млн т побутових відходів. За наведеною методикою можна розрахувати, що на цих полігонах щорічно утворюється 1,3 -1,8 млрд. м^3 біогазу.

Через негативний вплив біогазу на довкілля власники полігонів побутових відходів і депонованих мулових осадів в більшості розвинених країн на законодавчому рівні примушуються до запобігання його стихійного розповсюдження. Негативний вплив біогазу на рослинність проявляється в пригніченні рослинності на прилеглих до полігонів побутових відходів територіях і місць депонованих мулових осадів.

У зв'язку з цим в багатьох країнах світу за останнє десятиріччя одержали широке розповсюдження технології добування і утилізації біогазу. Наприклад, в Німеччині добування біогазу становить близько 35-40 млн м^3 /рік, що дозволяє одержувати щорічно до 150 млн кВт·год електроенергії, заощаджувати 15 тис. т/рік нафти. В Швеції за рахунок збору і утилізації біогазу забезпечується 18-20 % енергоресурсів.

На українських полігонах побутових відходів біогаз практично не збирається.

Технологічні рішення проблеми повної утилізації мулового осаду стічних вод

Наразі в Україні застосовується традиційна схема очищення міських стічних вод, яка включає механічні, фізико-хімічні та біологічні методи. Заключним етапом обробки стічних вод перед скидом у водоймища являється їх дезінфекція з метою знищення патогенних мікроорганізмів.

Існуючий стан з обробкою мулового осаду стічних вод на комплексах біологічного очищення (на прикладі м. Харкова) є показовим для великих каналізаційних споруд в Україні. Однак з урахуванням розрахунків і рекомендацій технологічних рішень робочого проекту «Удосконалення системи мулового господарства каналізаційних очисних споруд м. Харкова», технологічна схема обробки осадів не є завершеною.

Аналіз літературних даних дозволяє зробити висновок, що на цей час існує багато способів утилізації мулових осадів, але найбільш перспективні можна поділити на групи:

- захоронення;
- складування (депонування на мулових картах);
- використання в різних галузях промисловості;
- отримання альтернативного палива;
- термічна утилізація мулового осаду;
- використання в якості добрив.

Захоронення осадів стічних вод застосовується як метод утилізації у випадках коли стічні води, а значить і осади, які утворилися в процесі їх очищення, містять в собі токсичні речовини, які через санітарно-гігієнічні обмеження чи економічні показники не дають можливості використовувати мулові осади як добриво, сировину, добавки в промисловості та ін.

Складування (депонування) осаду стічних вод і надлишкового активного мулу на мулових картах і/або накопичувачах з послідовним використанням перероблених відходів в якості технічних ґрунтів. Складуванню (депонуванню) підлягають попередньо зневоднені відходи осаду з вологістю не більше 80 %.

Використання мулового осаду стічних вод в різних галузях промисловості. Мулові осади стічних вод після відповідної обробки можуть бути

використані як домішки при виготовленні цегли та цементу, що не знижує якості продукції.

Виходячи з ситуації, що склалася, необхідно знаходити нові альтернативні методи та напрямки утилізації мулових осадів. Утилізація осадів стічних вод може бути застосована в технології виробництва асфальтобетону. В промислових умовах муловий осад після спеціальної технологічної підготовки використовують як домішки в асфальтове покриття доріг [7].

На рис. 5 представлена технологічна схема підготовки мулового осаду стічних вод.

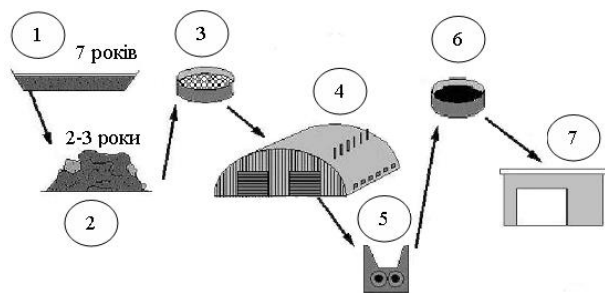


Рис. 5. Технологічна схема підготовки осаду стічних вод до утилізації у дорожньому будівництві:

- 1 – мулові майданчики (карти); 2 – відвал зневоднення і мінералізації осаду;
- 3 – обладнання переднього просіву зневодненого мулового осаду; 4 – ангар природної сушки просіяного осаду; 5 – валковий млин механічного диспергування; 7 – склад готової продукції

Муловий осад після очисних споруд скидається на муловий майданчик (1). Згідно технології, витримується не менше семи років з метою мінералізації. Після досягнення вологості менше 70 % муловий осад транспортується у відвали (2), де в ньому продовжуються процеси зневоднення і мінералізації. Після досягнення (2-3 роки) вологості 30-40 % муловий осад передається на попередній просів через сито з розміром осередків 5 мм (3).

Наступним етапом підготовки стає сушка просіяного матеріалу в спеціальних ангарах (4) природної сушки, обладнаних вентиляцією.

Висушений матеріал піддається механічному диспергуванню на валковому млині (5).

Завершальним етапом є просів диспергованого матеріалу до фракцій розміром 1,25-2 мм (6).

Наведена технологія застосування мулового осаду впроваджена на промисловій базі КП «Луганська МДПМК-34». Апробована технологія підготовленого до утилізації мулового осаду означає, що із категорії відходів він переходить в категорію корисного продукту – сировинного компонента асфальтобетонної суміші.

Фізико-механічні характеристики асфальтобетонної суміші на основі підготовленої сировини з мулового осаду приведені у табл. 3.

Таблиця 3
Фізико-механічні характеристики асфальтобетонної суміші з наповнювачем мулового осаду стічних вод

Матеріал	Вміст в % мас	Міцність при стисненні, МПа		Водо насичення	Набряк	Коефіцієнт водостійкості
		20 °С	50 °С			
Щебено-піщана суміш	94 %					
Муловий осад стічних вод	6 %	4	2,7	2,5	0,6	0,93
Бітум	7 %					
Вимоги ДСТУ Б.В.2.7-119-2003, тип В	–	2,6-2,4	1,3-1,2	1,0-2,5	0,5-0,85	не менше 0,85

Технологія отримання біопалива реалізує утилізацію мулового осаду стічних вод з отриманням рідкого альтернативного біопалива. Ця технологія використовує кавітаційну обробку рідкої дисперсної системи (суспензії) – суміші мулового осаду з відходами нафтопродуктів (відпрацьовані машинні масла всіх видів, нафтошлам, важка нафта, мазут різних марок та ін.).

На рис. 6 зображена схема експериментальної установки отримання альтернативного біопалива (АБП) з мулових осадів у мобільному варіанті виконання. Основними пристроями, що входять в установку, є гідродинамічний модуль, що здійснює турбулентно-кавітаційну обробку, конденсатор для конденсації легкої фракції АБП та камера змішувача.

В основу розробленої технології утилізації мулових осадів покладене використання кавітації, під дією якої відбуваються глибокі фізико-хімічні зміни на молекулярному рівні. Гідродинамічні коливання в рідині викликають розриви і трансформацію молекулярних зв'язків. В результаті турбулентно-кавітаційної обробки при точкових впливах температури у десятки тисяч градусів та високих тисків відбувається пастеризація і стерилізація робочої суміші. Продукт обробки – ультрадисперсна горюча емульсія з високою теплотворною здатністю, близькою до мазуту Ф12 [8].

Технологічна схема термічної утилізації осаду рідких стоків полягає в тому, що вона забезпечує сушку не тільки зневодненого мулового осаду, а й «хвостів», що утворюються після вироблення біогазу, виробництва біопалива.

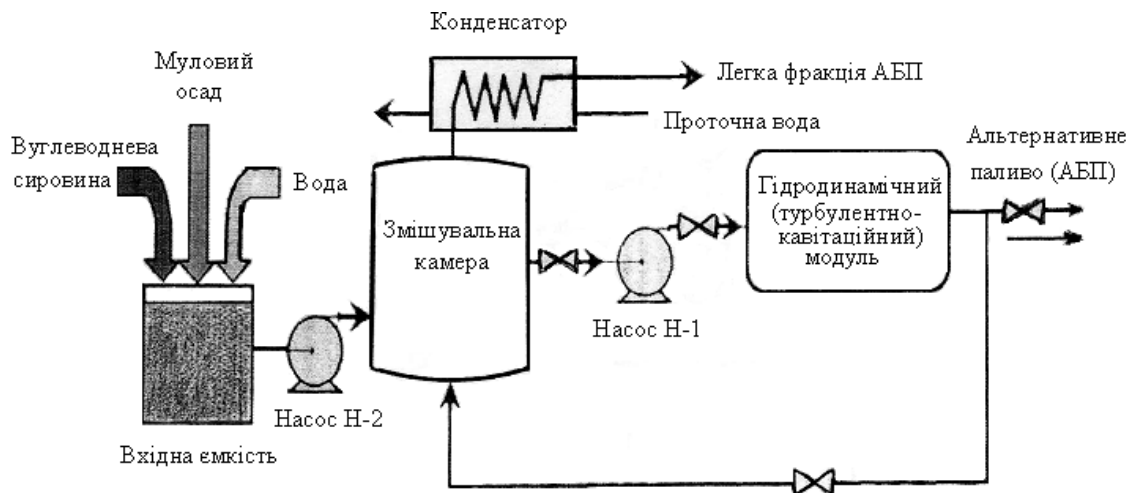


Рис. 6 . Схема експериментальної установки отримання альтернативного біопалива з мулових осадів

Термічна утилізація – найбільш радикальний метод утилізації мулових осадів, який набуває широкого розповсюдження в світовій практиці через постійне подорожчання енергії і підвищення вимог охорони природного середовища.

Стимування розповсюдження методу спалювання мулових осадів в Україні, та й у світі, було з причини високої вологості осадів мулу, яка становить не менше 70 %.

За останні роки впроваджується ефективне обладнання попередньої сушки мулових осадів, термічні печі, які продуктивно функціонують як при спалюванні сухого осадку вологістю 20-25 %, так і підсушеного мулового осадку з вологістю 60-70 %, а також когенераційної установки отримання теплової та електричної енергії. Укрупнена технологічна схема термічної утилізації осадку стічних вод приведена на рис. 7.

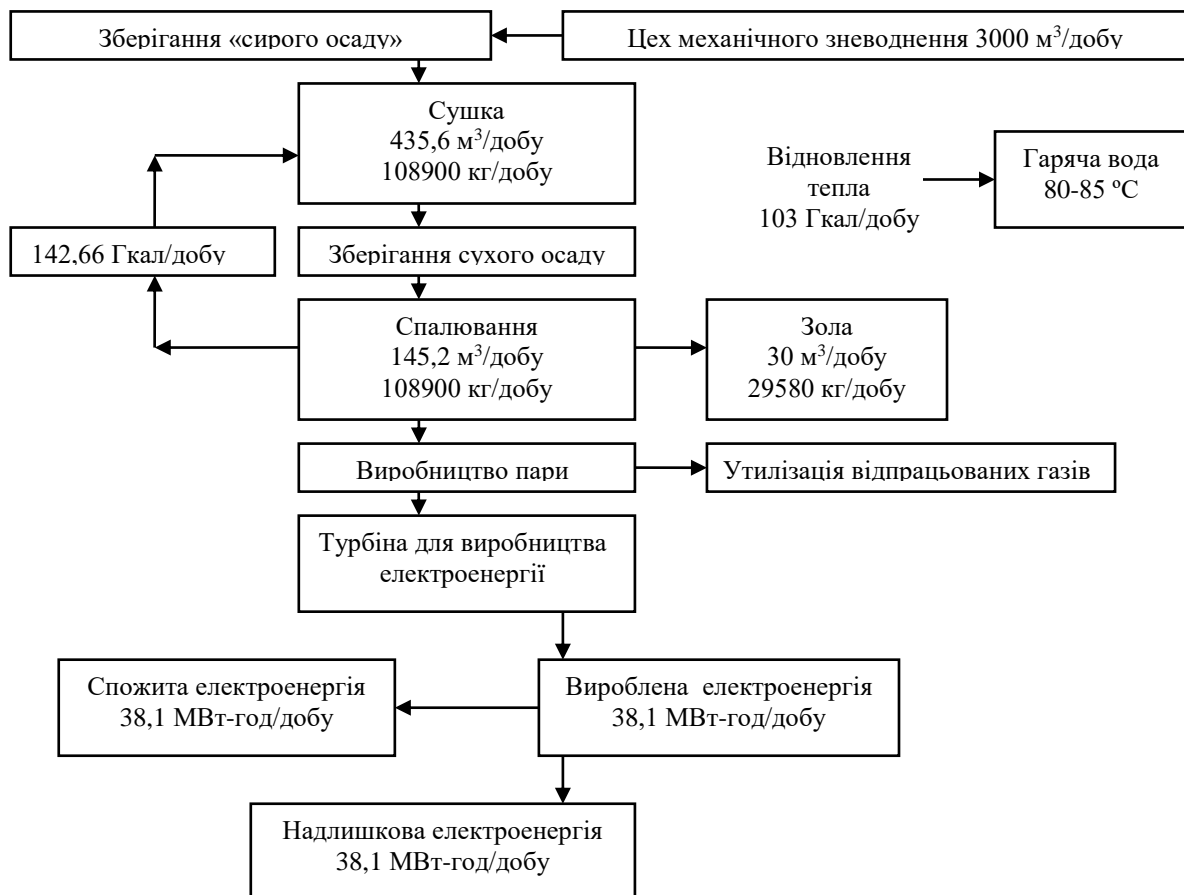


Рис. 7. Укрупнена балансова схема спалення мулового осадку

В процесі термічної переробки відходів мулу знижується його маса й одночасно відбувається концентрування токсичних компонентів, що знаходяться в первинних відходах, тому в технологічну схему термічної утилізації необхідно включати попередню обробку з метою зниження токсичності початкового матеріалу.

Порівняльний аналіз можливого використання технології анаеробного мезофільного зброджування мулових осадів з отриманням біогазу та технології термоутилізації з отриманням теплової та електричної енергії на очисних спорудах великих міст (особливо мегаполісів) України потребує кількісних характеристик теплової та електричної

енергії і біогазу з використанням реальних результатів визначення фізико-хімічних особливостей сумішей мулових осадів (табл. 4).

З табл. 4 видно, що більше додаткової енергії, як електричної, так і теплової, отримується при впровадженні технології термоутилізації, оскільки при зброджуванні розкладається лише певна частина органічної речовини мулового осаду, а при спалюванні вона використовується в повному обсязі. В той же час отримані розрахункові дані дозволяють більш точно визначити доцільність вибору того чи іншого процесу з урахуванням всього спектру витрат.

Таблиця 4

Усереднені результати обробки сумішей мулового осаду

Найменування	Стадія обробки осадів	
	Мезофільне анаеробне зброджування	Спалювання
Маса сухої речовини осадів на початку процесу	108900 кг/добу	108900 кг/добу
Маса сухої речовини осадів після процесу	76062 кг/добу	29580 кг/добу
Обсяг осадів на початку процесу	3000 м ³ /добу	435,6 м ³ /добу (кек)
Обсяг осадів після процесу	3000 м ³ /добу	30 м ³ /добу (зола)
Кількість надлишкової електроенергії в теплу пору року	40,15 МВт-год/добу	38,1 МВт-год/добу
Кількість надлишкової теплової енергії в теплу пору року	36,1 Гкал/добу	103 Гкал/добу
Кількість надлишкової електроенергії в холодну пору року	31,1 МВт-год/добу	38,1 МВт-год/добу
Кількість надлишкової теплової енергії в холодну пору року	-7,69 Гкал/добу	103 Гкал/добу
Кількість надлишкової електроенергії за рік	13568,75 МВт-год	13906,5 МВт-год
Кількість надлишкової теплової енергії за рік	7199,6 Гкал/рік	37595,0 Гкал/рік

Очевидно з енергетичної точки зору найбільш вигідним являється варіант прямого спалювання (термоутилізація). Укрупнена схема цього процесу по технології фірми «VOMM» (Італія) приведена на рис. 7.

Світова практика при апробуванні комплексної утилізації мулового осаду свідчить про те, що термічні методи являються найбільш ефективними з точки зору техніко-економічних показників.

Використання в якості добрив мулових осадів очисних споруд можливе при наявності органічних речовин. Суха речовина свіжеутворених осадів мулу приблизно на 70 % складається з органічних речовин; осадки мулу містять до 6-7 % азоту, приблизно таку ж кількість фосфору та до 0,5 % калію.

Крім цього, до складу мулового осаду входять мікроелементи, що є необхідним для стабільного росту рослин. За такими показниками мулові осадки можуть вважатися цінними органічно-мінеральними азотно-фосфорними добривами, що відповідають державним стандартам в Україні.

З огляду на особливості законодавства, наприклад, в Австрії та Швеції в якості добрив використовують 13-15 % осадків стічних вод, в той

же час як в Швейцарії цей показник становить 50 %, а в Англії досягає 53 %.

В країнах Європейського союзу існує загальний порядок застосування мулового осаду стічних вод в сільському господарстві в якості органічно-мінерального добрива, регламентований Директивою ЄС № 86/278/ЄЕС. Однак осадки стічних вод концентрують в собі основні забруднюючі речовини, які в силу їх високої токсичності, за даними ЮНЕСКО, є найбільш небезпечними забруднювачами [9].

Особливу загрозу представляють хлор- та сірковмісні сполуки, а також металоорганічні складові, які, як правило, відносяться до суперекотоксикантів, що обмежує мулові осадки в якості добрив.

Загальні висновки

Аналіз статистичних даних, а також прогнозних показників свідчить про сформовану загальносвітову тенденцію підвищення рівня водоспоживання (водовитрати). Особливо це характерно для розвинених країн світу. Збільшення водоспоживання пов'язано з ростом господарсько-побутових та промислових стічних вод. В процесі

очищення стічних вод утворюються багатотоннажні тверді відходи мулових осадів.

Муловий осад, що утворюється на очисних каналізаційних спорудах, складається на мулових полях фільтрації. Розширення мулових майданчиків неможливе через відсутність вільних площ землі та нерациональне для довготривалого депонування мулового осаду.

Процес розкладання органічної складової осадів стічних вод в мезофільних анаеробних умовах призводить до утворення біогазу, який суттєво впливає на «парниковий ефект». Обмеження емісії біогазу в атмосферу можливе при впровадженні технологічних рішень утилізації депонованих осадів стічних вод.

Промислові і побутові відходи стічних вод являються основними джерелами забруднень довкілля. Це обумовлено високим вмістом хімічних і токсичних речовин.

Для повної утилізації мулового осаду стічних вод, важливим буде впровадження перспективних технологічних рішень з розробкою й апробуванням альтернативних технологічних методів утилізації мулових осадів як на регіональному, так і на державному рівнях.

Розглянуті промислові методи утилізації відходів рідких стоків з виконанням в подальшому розрахунку і оцінки економічної ефективності наведених вище технологічних рішень визначають найефективнішим методом термоутилізацію мулового осаду. Цей метод дозволяє вести процеси без залучення енергетичних ресурсів та додатково отримувати енергоресурси – теплову і електричну енергію. В цілому до переваг термічного методу утилізації мулових осадів відноситься висока ефективність, знезараження осадів стічних вод від патогенної мікрофлори та значне зниження обсягів депонованих мулових осадів.

Література

1. Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Харківській області [Текст]. – Харків, 2007. – 271 с.
2. Дрозд, Г. Я. Надежность канализационных сетей [Текст] / Г. Я. Дрозд // Водоснабжение и санитарная техника. – 1995. – №10. – С. 2-4.
3. Горох, Н. П. Экологическая оценка вредных веществ при комплексной утилизации муниципальных отходов / Н. П. Горох // Коммунальное хозяйство городов. – Харьков, 2005. – №63. – С. 171-181.
4. Усовершенствование системы илового хозяйства канализационных очистных сооружений г. Харькова [Текст]: рабочий проект. – Харьков, 2003. – 80 с.
5. Технологические основы промышленной переработки отходов мегаполиса [Текст]: учеб. пособие / А. В. Гриценко, Н. П. Горох, Н. В. Внукова и др.; под общ. ред. И. В. Коринько, А. В. Гриценко, А. Н. Туренко. – Харьков: ХНАДУ, 2004. – 360 с.

6. Управление отходами. Сточные воды и биогаз полигонов захоронения твердых бытовых отходов [Текст]: монография / Я. И. Вайсман [и др.]; под ред. Я. И. Вайсмана. – Пермь : Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2012. – 259 с.

7. Дрозд, Г. Я. Техничко-экологические записки по проблеме утилизации осадков городских и промышленных сточных вод [Текст] / Г. Я. Дрозд, Н. И. Зотов, В. Н. Маслак. – Донецк: ИЭП НИИ Украины, 2001. – 340 с.

8. Подготовка к проведению испытаний опытно-промышленного образца технологического комплекса утилизации осадков сточных вод и получения на их основе альтернативного биотоплива на производственной площадке комплекса биологической очистки «Безлюдовский» [Текст]: отчет о научно-технической работе. – Харьков: ХНУРЭ, 2014. – 34 с.

9. Туровский, И. С. Осадки сточных вод: обезвоживание и обеззараживание. – М.: Де Ли принт, 2008. – 376 с.

References

1. National report on the state of the environment in the Kharkiv region (2007). Kharkiv, 271.
2. Drozd, G. Ya. (1995). Reliability of sewer networks. *Water supply and sanitary engineering*, 10, 2-4.
3. Gorokh, N. P. (2005). Environmental assessment of harmful substances at complex utilization of municipal waste. *Utilities of the cities*, 63, 171-181.
4. Improvement of the sludge system of wastewater treatment facilities in Kharkiv (2003). Kharkiv, 80.
5. Gritsenko, A. V., Gorokh, N. P., Vnukova, N. V., Korin'ko, I. V., Turenko, A. N., Shubov, L. Ya. (2004). Technological bases of industrial processing of waste of metropolis. Kharkiv: KhNADU, 360.
6. Vaisman, Ya. I. [and others] (2012). Waste management. Sewage and biogas of landfills for burial of solid household waste. Perm: Publishing house of Perm national research Polytechnic University, 259.
7. Drozd, G. Ya., Zotov, N. I., Maslak, V. N. (2001). Technical and environmental notes on the problem of utilization of precipitation in urban and industrial waste water. Donetsk: IEP NIN of Ukraine, 340.
8. Preparation for tests of a prototype industrial complex of wastewater sludge utilization and the production of alternative biofuels on the basis of "Bezlyudovsky" biological treatment complex (2014). Kharkiv: KNURE, 34.
9. Turovsky, I. S. (2008). Wastewater sludge: dewatering and disinfection. Moscow: De Lee Print, 376.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ф.В. Стольберг, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

Автор: БАБАЄВ Володимир Миколайович
доктор наук з державного управління, професор
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – babaev@kname.edu.ua

Автор: ПАНОВ Віталій Володимирович
Комунальне підприємство «Харківводоканал»
E-mail – office@vodokanal.kharkov.ua

Автор: ХАЙЛО Яна Миколаївна
Комунальне підприємство «Харківводоканал»
E-mail – vodokanalfed@.ukr.net

Автор: ГОРОХ Микола Прохорович
Комунальне підприємство «Харківводоканал»
E-mail – hkov_invest@yahoo.com

Автор: ВОЛКОВ Владлен Миколайович
Комунальне підприємство «Харківводоканал»
E-mail – kancelkhvs2@aqua.kharkov.ua

ALTERNATIVE PROCESS SOLUTIONS OF THE WASTEWATER SLUDGE COMPLETE UTILIZATION PROBLEM

V. Babayev¹, V. Panov², Ya. Khailo², V. Volkov², M. Gorokh²

¹О.М. Beketov Kharkiv National University of Municipal Economy, Ukraine

² Kharkivvodokanal, Communal Enterprise, Ukraine

Under consideration is the problem of utilization of multi-tonnage waste of deposited sludge sediments of sewage. The current tendency of development of the industrial sector and urbanization of the territories contributes to the increase of water supply and creates an additional load on the objects of treatment facilities and on the environment as a result of the long-term storage of deposited sludge sediments and excessive active sludge.

The alternative technological solutions of the problem of complete utilization of sewage sludge: such as burial, storage (depositing on sludge maps), usage in various industry fields, obtaining alternative biofuels, thermal utilization of sludge, usage as fertilizer are given.

The comparative analysis of possible usage of the technology of mesophilic anaerobic digestion and biochemical processes of destruction of the organic component of domestic waste and sludge sediments of liquid effluents is substantiated.

The methodology for calculating quantitative and qualitative characteristics of formation and determination of biogas volumes during anaerobic digestion of sludge sediment is given. The traditional methods of dewatering of the sediment with the subsequent thermal utilization are analyzed.

Technological schemes of preparation of deposited sludge sediments of sewage for utilization in road construction, experimental installation of obtaining alternative biofuel from sludge sediment, balance scheme of thermoistilization of sludge sediment are considered.

The averaged results of treatment of sludge sediment mixtures are given with the definition of the most effective technologies for the complex utilization of sludge sediments in terms of technical-economic indicators.

Keywords: energy potential of methane formation, hydrolysis, mesophilic anaerobic digestion, thermal utilization, alternative biofuel