

Охрана окружающей среды

УДК 628.3.004.8

Карп І.М., *акад. НАН України, докт. техн. наук, проф.,* **П'яних К.Є.,**
канд. техн. наук, Нікітін Є.Є., докт. техн. наук

Інститут газу НАН України, Київ

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: pyanykh@i.ua

Проблема утилізації та знешкодження мулових осадів міських стічних вод та шляхи її вирішення (Огляд)

Осади стічних вод міст утворюються зазвичай із комунальних та промислових стоків. Вони містять багато шкідливих речовин: важкі метали, мінеральні речовини, шкідливі речовини органічного походження (тверді побутові відходи, фекалії тощо), бактеріальні забруднювачі. Проблема утилізації та гарантованого знешкодження осадів міських стічних вод є загальносвітовою. Вона не вирішена в повній мірі до цього часу. Європейські тенденції розвитку технологій утилізації осадів стічних вод полягають у скороченні або повній забороні їх сільськогосподарського використання та знезараженні органічних забруднювачів термічними методами. Набуває розповсюдження спалювання осадів стічних вод у киплячому шарі. Представляють інтерес низькотемпературні технології утилізації осадів стічних вод, при яких важкі метали залишаються у твердому залишку: піроліз, окислювальний піроліз, газифікація. В Інституті газу НАН України проведено попередні випробування утилізації сухих гранульованих осадів стічних вод у оберненому процесі газифікації. Отримано генераторний газ та гранули високої твердості, які можна використовувати як наповнювачі у будівництві. Запропоновано технологічну схему промислового процесу. *Бібл. 24, рис. 7, табл. 1.*

Ключові слова: осади стічних вод, знезараження, спалювання, газифікація.

Проблема утилізації та знешкодження мулових осадів міських стічних вод є проблемою світового масштабу, не вирішеною повною мірою до цього часу. Це в значній мірі пояснюється різноманітністю складу стічних вод. Слід відрізнити комунальні (каналізаційні) та промислові стоки або, що трапляється найчастіше, їх суміші. Вони містять забруднення різного походження: мінерального — пісок, частинки глини, масла, кислоти, луки, солі; органічного — тверді побутові відходи (ТПВ), фекалії, нафтопродукти, волосся, волокна рос-

лин; бактеріального — мікроорганізми такі, як кокки, палички, спірили, збудники шлунково-кишкових та інших хвороб, а також у великій кількості яйця гельмінтів, плісняві та дріжджеві гриби, водорості та ін.

Промислові стоки мають приблизно 15 найменувань (цинк, свинець, мідь, кадмій, нікель, марганець, хром, арсен, селен, сурма, ртуть та ін.). Вважається, що промислові стоки проходять первинне очищення безпосередньо на підприємствах, а небезпечні, зокрема медичні відходи, знешкоджуються на місцях та не попа-

дають у ТПВ та стоки. Однак на практиці ці вимоги часто порушуються.

Залежно від типу споруд, які використовуються для очистки стічних вод, та способів виділення з них осадів їх можна розділити на такі види: грубі, що затримуються решітками; важкі (пісок), що уловлюються пісковловлювачами; плаваючі жирові речовини, що скупчуються у відстійниках; суспензії, які осідають у первинних відстійниках; активний мул вторинних відстійників (мікроорганізми, що адсорбували частково окислені забруднення, які вилучені із стічних вод при біохімічному очищенні); анаеробно зброджені у метантенках, аеробно стабілізований активний мул або його суміш з осадам з первинних відстійників; активний мул чи осад із згущувачів або ущільнювачів; осади, що зневоднені у механічних апаратах, підсушені на мулових площадках чи термічно висушені [1–3].

Консистенція осадів залежить від їх вологості та змінюється від рідкої текучої до багноподібної маси при вологості від 97 до 80 %.

Кількість осадів комунальних стічних вод, за різними даними, складає по сухій речовині, млн т: у Великобританії, Франції, Італії – по 1,0–1,5; Німеччині – 2,5; Західній Європі в цілому – 7,4; Японії – 1,5. У Росії, за різними оцінками, щорічно утворюється до 2 млрд м³ осадів з вологістю 96–97 %, або 80–100 млн м³ по сухій речовині. Рівень їх використання оцінюється у 1,0–1,5 % [4].

Приблизна оцінка кількості осадів комунальних стічних вод в Україні може бути зроблена по аналогії з подібною оцінкою для Росії [3]. При споживанні води на одного мешканця 260 л/добу (дані для Москви), кількості міського населення України близько 30 млн чол. (70 % від загальної 42,6 млн чол.), вмісту твердого осаду у стоках 0,5 % кількість його у перерахунку на суху речовину становить 14,2 млн т/рік. Ця величина виглядає завищеною у порівнянні з кількістю осадів у деяких європейських країнах, як буде показано далі (в проекті PURE для країн у басейні Балтійського моря[5]).

Елементний склад осадів змінюється у широких межах. Зокрема, у сухій речовині осадів первинних відстійників міститься, %: С – 35–38; Н – 4,5–8,7; S – 0,2–2,7; N – 1,8–8,0; O – 7,6–35,4. У

межі вкладається і склад сухої речовини активного мулу [1].

Традиційні технології переробки осадів

Принципова схема традиційної технології переробки осадів стічних вод наведена на рис.1 [5]. На схемі не показана ділянка механічної очистки – решета та пісковловлювачи. За такою схемою, зокрема, побудована найбільша у Підмосков'ї Кур'янівська станція аерації (КСА) потужністю 3 млн м³ стічної води на добу [3], на якій щодобово утворюється 15–18 м³ осадів. Первинні та вторинні відстійники є басейнами діаметром 54 м та глибиною 5 м.

Біохімічна очистка здійснюється за схемою «аеротенк – вторинний відстійник». Аеротенки є чотирьохкоридорними ємностями глибиною 5–6 м та шириною коридорів 11–12 м з повним набором технологій повної біохімічної очистки від роздільної регенерації активного мулу до розосередженої подачі стічних вод та роздільних повітряних завіс між коридорами.

Збродження мулів відбувається у метантенках двох типів: монолітних бетонних обсягом 5600 м³ та повнозбірних обсягом 8200 м³. Режим роботи: мезофільний (до 35 °С), термофільний (50–55 °С). Широкі дослідження термофільного збродження здійснюються вже 30 років, але безрезультатно [5]. Тому наведені вище дані роботи [3] щодо термофільного збродження на КСА слід вважати ненадійними. Кількість біогазу, що виділяється, становить 9 тис. м³/добу, 75 % газу споживається у котельні. Пара від котельні використовується для підтримки температури у метантенках та інших потреб. Зневоднення осадів здійснюється у рівних долях механічними засобами та на мулових площадках поза містом. Станція займає



Рис.1. Типова схема традиційної технології переробки осадів міських стічних вод та види осадів у процесі переробки.

територію 200 га та поза містом 237 га; кількість працюючих становить 1700 чоловік. Аналогічні схеми очищення комунальних стоків використовуються за кордоном. Для прикладу на рис.2 показана очисна станція у м. Любек (Німеччина).

Утилізація мулу. Сільськогосподарське використання. Розподіл відходів по напрямках їх утилізації у різних країнах відрізняється. В огляді [3] для США він виглядає так, %: добрива — 36; спалювання — 16; вивіз на поля — 10; у накопичувачах — 38. Розподіл у Західній Європі, %: добрива з тенденцією до збільшення — 33; депонування з тенденцією до зменшення внаслідок заборони на зберігання та захоронення відходів — 15–20; спалювання із значним зростанням на перспективу у зв'язку з приписом щодо ліквідації звалищ — 4–11; рекультивация ландшафтів — до 10; компостування — 1–3.

Основні напрямки використання осадів стічних вод у [2] визначені такі:

1) добрива у рідкому, зневодненому та сухому видах — органічні, органо-мінеральні для сільськогосподарських угідь, лук, садів, парків;

2) корма для тварин, птахів, риби, хутрових тварин — отримання кормових дріжджів з активним мулом, стоки цукрових заводів, отримання білку з активного мулу;

3) сировина — активний мул як наповнювач при виробництві картону, у виробництві целюлози, пластмаси, виділення цинку;

4) товарні продукти — отримання пірокарбону, сирової нафти, технічних жирів та масел, активованого вугілля;

5) матеріали — в'язучі, цегла, плити тощо, в основному отримані з відходів певних промислових виробництв: гідролізних, виробництва волокна, шлаків кольорової металургії;

6) енергетика — отримання теплової, електричної та механічної енергії. Сюди віднесені такі процеси: отримання газу як замітника бензину, сухого льоду з газу метантенків, хімічних товарів.

Як видно з цього переліку, основними узагальненими напрямками використання мулу є сільське господарство та енергетика. Інші напрямки використання мають «точковий» характер, бо пов'язані з відходами конкретних промислових підприємств: харчових, гідролізних, металургійних, целюлозно-паперових.

Численні напрямки та приклади використання осадів стічних вод (ОСВ), наведені у монографії [2], часто виглядають як ідеї та наміри, не підтверджені реальними даними. Так, не можна серйозно розглядати ефективність процесів отримання з ОСВ бензину або сухого льоду з газу метантенків, особливо приймаючи до уваги забруднення біогазу біоорганічними та неорганічними домішками. Хоча в монографії є дані про використання ОСВ для збільшення врожайності сільськогосподарських культур у різних регіонах Росії та частково в Україні, одночасно зауважується недостатня економічна ефективність такого використання з різних причин: невідповідності характеру ґрунту складу осадів; значними, інколи до сотень тонн на гектар, необхідними обсягами ОСВ для досягнення помітного результату; та найчастіше значними транспортними витратами, оскільки, як правило, місця утворення ОСВ знаходяться на значних відстанях від місць використання. У роботах [1, 2], в яких розглядається досвід ще радянських часів, не приділено достатньої уваги придатності ОСВ як добрив та кормів з точки зору їх шкідливості для людей та тварин.

У різних країнах стратегії утилізації осадів не однакові. Ще достатньо розповсюдженим є сільськогосподарське використання (Кіпр, Іспанія, Ірландія, Великобританія, Болгарія, Люксембург, Франція). В інших країнах переважає спалювання ОСВ з наступною утилізацією золи. Компостований або знезаражений іншими методами осад використовується при створенні зелених зон (наприклад, при озелененні парків). Концентрація біогенних елементів у золі є низькою, методи її підвищення знаходяться у стадії розроблення. Забруднюючі речовини, присутні в осадах, обмежують їх використання у сільському господарстві, хоча концентрації важких металів в осадах у багатьох країнах знижуються.

Інтерес мають стратегії утилізації осадів країн у басейні Балтійського моря, про які йдеться у звіті по проекту PURE, виконаного на замовлення ЄС [5]. Це Данія, Швеція, Фінляндія, Росія (частково), Естонія, Латвія,



Рис.2. Газгольдер, метантенки та газовий факел у м. Любек (Німеччина) [5]. Фото Entsorgungsbetriebe Luebeck.

Литва, Білорусь, Польща, Німеччина. Ці стратегії відображають загальноєвропейські тенденції. Загальна кількість осадів у цих країнах за сухою речовиною складає 3,5 млн т, з них у Німеччині 2,0 млн т, у Польщі 0,5 млн т.

У табл.1 наведені дані про вміст важких металів у осадах країн Балтійського регіону та відповідні нормативи ЄС [5]. З них видно, що фактична кількість важких металів у осадах більшості країн регіону нижча, ніж передбачена нормативами, або відповідає їм. Дещо менше наближення до нормативів спостерігається у Данії та Німеччині. У пострадянських країнах

та Польщі вміст більшості металів у осадах, ґрунті та середньорічне навантаження їх на одиницю площі сягає верхньої допустимої межі нормативу. З аналізу даних таблиці, враховуючи постійне накопичування забруднень, можна прийти до висновку, що використання ОСВ як добрив з точки зору зараження ґрунту важкими металами неприпустиме. Слід приймати до уваги й бактеріальне зараження.

Підсумовуючи вищесказане, можна прийти до висновку, що використання ОСВ як добрив та кормів для тварин може в кінцевому підсумку бути небезпечним для здоров'я люди-

Порівняльний аналіз гранично допустимих концентрацій важких металів, встановлених діючим законодавством країн Європи при використанні осадів у сільськогосподарських цілях

№, № з/п	Країна	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Концентрація в осаді, мг/кг сухої речовини								
1	Норматив: директива ЄС86/278	20–40	–	1000–1750	16–25	300–400	750–1200	2500–4000
2	Фінляндія	3	300	600	2	100	150	1500
3	Швеція	2	100	600	2,5	50	100	800
4	Данія*	0,8	100	1000	0,5	30	120	4000
5	Німеччина	10 (3)**	900	800	8	200	900	2500 (2000)**
6	Естонія	20	1000	1000	16	300	750	2500
7	Латвія	10	600	800	10	200	500	2500
8	Литва (I/II категорія)	1,5/20	140/400	75/1000	01.авг	50/300	140/750	300/2500
9	Польща	20	1000	500	16	300	750	2500
Концентрація в ґрунті, мг/кг сухої речовини								
1	Норматив: директива ЄС86/278 (6 < рН < 7)	1–3	–	50–140	1–1,5	30–75	50–300	150–300
2	Фінляндія (рН > 5,8, при стабілізації вапном 5,5)	0,5	200	100	0,2	60	60	150
3	Швеція	0,4	60	40	0,3	30	40	100–150
4	Данія	0,5	30	40	0,5	15	40	100
5	Німеччина	1,5 (1)**	100	60	1	50	100	200 (150)**
6	Естонія	3	100	50	1,5	50	100	300
7	Латвія	0,5–0,9	40–90	15–70	0,1–0,5	15–70	20–40	50–100
8	Литва***	1/1,5	50/80	50/80	0,6/1,0	50/60	50/80	160/260
9	Польща(легкий/середній/важкий)	1/2/3	50/75/100	25/50/75	0,8/1,2/1,5	20/35/50	40/60/80	80/120/180
Середньорічне навантаження на ґрунт, (г/га)/рік								
1	Норматив: директива ЄС86/278	150	–	12000	100	3000	15000	30000
2	Фінляндія	1,5	300	600	1	100	100	1500
3	Швеція	1,75	100	600	2,5	50	100	800
4	Данія	Законодавством країни не встановлено						
5	Німеччина	Законодавством країни не встановлено						
6	Естонія	150	4500	12000	100	3000	15000	30000
7	Латвія ***	30/35	600/700	1000/1200	08.окт	250/300	300/350	5000/6000
8	Литва ***	100/150	7000/10000	8000/12000	50/100	2000/3000	10000/15000	20000/30000
9	Польща	Законодавством країни не встановлено						

* Концентрація As в осаді в садівництві Данії – 25 мг/кг сухої речовини. ** Для легких ґрунтів з вмістом глини < 5 %, рН 5–6. *** ґрунт піщаний, піщаний суглинок або суглинок глинистий.

ни. У Нідерландах, Бельгії та Швейцарії сільськогосподарське використання ОСВ заборонено або обмежено, тому осади спалюють (у Нідерландах 100 %, у Швейцарії 95 %). Більше половини осадів спалюють також у Бельгії, Німеччині, Словенії. В інших країнах Європи, наприклад, у Фінляндії, Естонії та Норвегії компостований осад використовується для благоустрою зелених зон. У деяких країнах, наприклад, у Ісландії, Греції, на Мальті, весь осад вивозиться на полігони ТПВ. У Росії та Білорусі розповсюджене збирання осадів у мулонакопичувачах. Витоки з накопичувачів становлять небезпеку для водного середовища. Скидання осадів на полігони ТПВ зменшується у зв'язку з новими вимогами.

Таким чином, з аналізу напрямків сільськогосподарського використання осадів стічних вод можна прийти до висновку про його недоцільність внаслідок таких причин:

- забруднення ґрунту важкими металами; бактеріальне його забруднення з поступовим накопиченням у ґрунті шкідливих речовин;
- ненадійність та висока вартість знезараження осадів від бактеріального забруднення;
- значні відстані від місць накопичення та переробки мулу до місць його використання;
- недостатня або відсутня економічна конкурентоспроможність використання біогенних елементів золи спалювання мулів як добрив у порівнянні з природними або синтетичними добривами. Недосконалість технологій вилучення із золи фосфору і азоту та відсутність гарантії не потрапляння в кінцевий продукт шкідливих речовин.

Можна також припустити, що використання золи у виробництві будівельних матеріалів (цегли, керамзиту) в цей час може бути незначним у зв'язку з новими будівельними енергозберігаючими технологіями, орієнтованими на використання нових матеріалів малої теплопровідності.

Термічна утилізація осадів. Спалювання осадів є єдиним способом, що гарантує непотрапляння органічних шкідливих речовин в організм людини в кругообігу осади – ґрунт – ґрунтові води – рослини – кормові рослини – тварини – людина – осади. Нами було оцінено кількість осадів в Україні у 14,2 млн т за сухою речовиною. У порівнянні з Німеччиною ця кількість (розрахована по аналогії з розрахунковими оцінками для Росії [3]), більша у 7 разів. Теплотворна спроможність ОСВ на суху масу, за даними вимірювань польської спеціальної вимірювальної лабораторії, становить 14,5–16,0 МДж/кг (3470–3820 ккал/кг). Для порівняння: ця величина менша теплотвор-

ної спроможності беззолної вологої маси молодого бурого вугілля (лігніту, 23,8 МДж/кг або 5700 ккал/кг). Якщо погодитися з тим, що кількість ОСВ в Україні 14,2 млн т та прийняти теплотворну спроможність 3500 ккал/кг, то загальний енергетичний потенціал ОСВ становитиме 7,1 млн т у.п. Навіть якщо не вважати цю цифру багаторазово завищеною, не слід від утилізації осадів очікувати суттєвого внеску у паливний баланс країни в цілому, оскільки осади розосереджені по багатьох точках на великій території та в кожній точці їх кількість порівняно невелика. З енергетичної точки зору теплоту спалювання або інших теплових методів переробки осадів слід використовувати для власних потреб утилізаційних установок та видачі деякої кількості теплової енергії розташованим поряд підприємствам та об'єктам соціальної сфери.

Слід також брати до уваги різний склад осадів міст із різною структурою промисловості або за її відсутності. Склад осадів таких міст, як Харків, Суми, Запоріжжя, буде суттєво відрізнятися від ОСВ Тернополя, Вінниці та Львова. Склад осадів є визначальним для вибору технології їх утилізації.

Спалюванню або іншій технології термічної обробки ОСВ обов'язково передують їх зневоднення або сушіння до вологості щонайменше 60 % або менше залежно від подальшого використання. В останні роки отримують все більше застосування комбіновані (гібридні) сушарки з використанням переважно сонячної енергії [3, 5–6]. Одна з них показана на рис.3.

У процесі сушки мул ворошиться різними пристроями, один з яких показаний на рис.4. Такі сушарки використовуються для установок утилізації ОСВ невеликої та середньої потужності (до 2 т/год). В установках більшої потужності використовують інші сушильні технології та обладнання: стрічкові, барабанні, контактні сушарки тощо.

Термічна утилізація відходів може бути моноспалювальною або передбачати сумісне спалювання з вугіллям. Вона налічує декілька технологій: моноспалювання у печах з киплячим шаром; у багатоподових печах; у циклонних та обертових печах; піроліз; газифікація. Сумісне спалювання відбувається у топках енергетичних котлів з киплячим шаром, факельних топках та у печах спалювання ТПВ.

До термічної утилізації можна віднести використання біогазу, але умовно, оскільки біогаз є проміжним продуктом традиційних технологій. Розглянемо далі деякі з зазначених вище технологій.



Рис.3. Гібридна сушарка осадів стічних вод.



Рис.4. Ворошильний пристрій «Turning pig» [6].

Використання біогазу. Він виділяється у метантенках при зброджуванні осадів первинних відстійників та надлишкового активного мулу при термофільних режимах їх реалізації. Як приклад, на станціях аерації Москви біогаз спалюється у парових котлах ДКВР 10/13; 75 % пари використовується для обігріву метантенків, решта — для опалювання приміщень у зимовий період та отримання гарячої води [3].

З посиланням на роботи [7–9] автор огляду [3] доводить недоцільність використання біогазу через його екологічні характеристики. Дослідження останніх років показали, що у біогаз поряд з горючими складовими — метаном та іншими газами — переходять сильні забруднювачі навколишнього середовища. Так, у пробах біогазу, отриманого зброджуванням стічних вод, що склалися з 60 % комунальних та 40 % виробничих стоків, виявлено 1–100 мкг/м³ миш'яку та сурми, по 10–1000 мг/м³ ртуті, телуру, свинцю, олова. Ці метали представлені сполуками, характерними для процесів гниття органічних речовин. Виявлені концентрації багаторазово перевищують ГДК цих сполук. Зокрема, в Росії ГДК ртуті, телуру, свинцю та олова складають 0,0003–0,05 мг/м³ [3].

Крім того, за даними російських досліджень, концентрації аміаку та сірководню, що

містяться у біогазі з метантенків та осадів, видалених з них після зброджування, перевищують ГДК на відстані 300–500 м від станцій аерації та мулових площадок [7].

Осади з метантенків періодично видаляються для подальшого їх депонування або утилізації. У зв'язку з цим виникає потреба припинення подальшого газовиділення з них для запобігання проблемам з їх транспортуванням та розміщенням на звалищах. Це здійснюється додатковою обробкою осадів аерацією, що зумовлює додаткові витрати [8].

Всі зазначені вище фактори: викиди у повітря значної кількості отруйних металів, аміаку та сірководню, необхідність додаткового оброблення осадів, вилучених з метантенків, — приводять до висновку про необхідність переосмислення та перегляду умов утилізації біогазу як відновлювального палива [9].

У Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління були детально досліджені проблеми утилізації ОСВ як добрив [10]. Досліджувалися мули найпотужнішої в Україні Бортницької станції аерації під Києвом. Надходження стічних вод на станцію — близько 1300 тис. м³ на добу. Щодооби при очищенні стічних вод Києва утворюється понад 9 тис. т мулу, який складають у картах на полях біля с. Ревне. Карти заповнені втричі більше допустимої норми, там лежить 9 млн м³ осаду та мулу, сумарна площа полів — 272 га.

На підставі виявлених в осадах високих концентрацій важких металів, значної кількості солей, забруднень органічними забруднювачами, наявності радіоактивності, а також перевищення ГДК аміаку та сірчаних газів в атмосфері навколо станції автори досліджень [10] не рекомендують використовувати осади в сільському господарстві без їх додаткової спеціальної обробки. У той же час вони рекомендують серед іншого зброджувати осади на біогаз, що, як було показано вище, не поліпшує екологічних характеристик технологій переробки мулів та стану навколишнього середовища.

Печі з киплячим шаром отримали найбільше розповсюдження за останні 30–40 років для спалювання та сушіння осадів. Вони застосовуються у США, Німеччині, Франції, Японії, Росії, Австрії та інших країнах. Зневоднені до вологості приблизно 35 % осади подаються в шар інертного матеріалу, нагрітого до температури загоряння. Як приклад, чотири печі з киплячим шаром конструкції «Пірофлюїд» встановлені на ЦСА у Санкт-Петербурзі [11]. Діаметр печей 6,7 м, потужність кожної 2,5–2,8 т сухої речовини на годину.

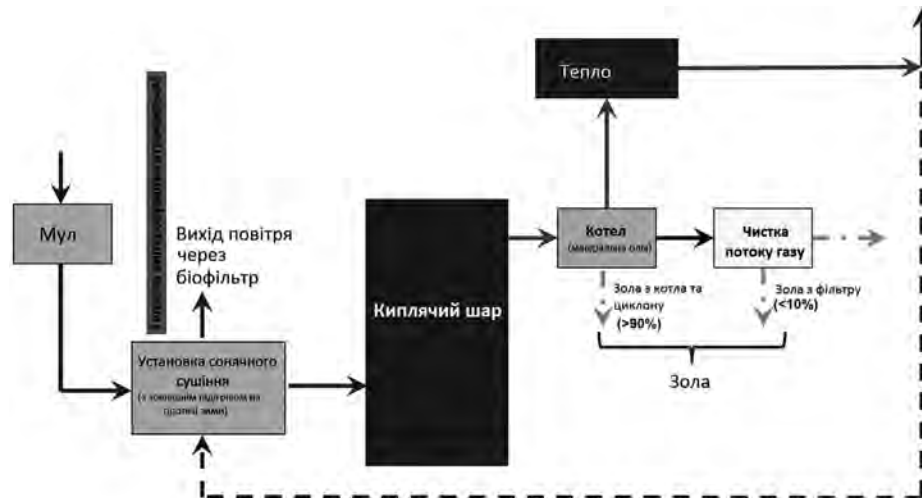


Рис.5. Принципова схема промислової установки спалювання мулу потужністю 17 тис. т/рік у киплячому шарі [6].

Найважливішим є питання екології. Димові гази містять золу-винос, важкі метали (Hg, Cd, Pb та ін.), кислотні гази (HCl, HF, SO₂). Димові гази очищуються від пилу та часток важких металів у електрофільтрі, охолоджуються у колоні Вентурі з 250–300 до 80 °С у кислому (рН 2–3) водному середовищі, де одночасно уловлюються кислотні домішки (HCl, HF), залишки золи та возгонки важких металів. Промивна вода циркулює у замкненому контурі; незначна її частка зливається у каналізацію та повертається у голову очисних споруд, після чого гази направляються у промивну колону із лужним розчином, де уловлюється сірчаний ангідрид. Оксиди азоту не утворюються завдяки низькій температурі процесу. Вважається, що прийнята схема газоочищення відповідає найбільш жорстким російським та європейським вимогам до викидів забруднюючих речовин.

Зола у кількості 30 т/добу використовується у виробництві цегли. Пара котлів-утилізаторів забезпечує виробничі та побутові

потреби ЦСА, поставляється зовнішнім споживачам.

У доповіді [6] наведені детальні дані про діючі установки спалювання ОСВ у киплячому шарі в Австрії. Потужність першої установки, яка експлуатується з 2005 р., становить 17 тис. т/рік (рис.5). Вартість утилізації мулу в ній близько 40 євро/т.

Друга установка потужністю 30 тис. т/рік введена в дію у 2012 р. Переваги спалювання у киплячому шарі: рівномірність температур у шарі; інтенсивний теплообмін; стадійність процесу (газифікація, окислення); низька температура горіння та низькі значення викидів NO_x, CO, SO₂ (можливе додавання вапна у шар), Cl, F, токсичних органічних речовин; відсутність необхідності у додатковому паливі при достатньо зневодненій сировині; добре вигорання з малими втратами; можливість використання мулів у великому діапазоні їх теплотворної спроможності.

Сушарка першої установки сонячна, другої – механічна. Обидві мають масляні котли-

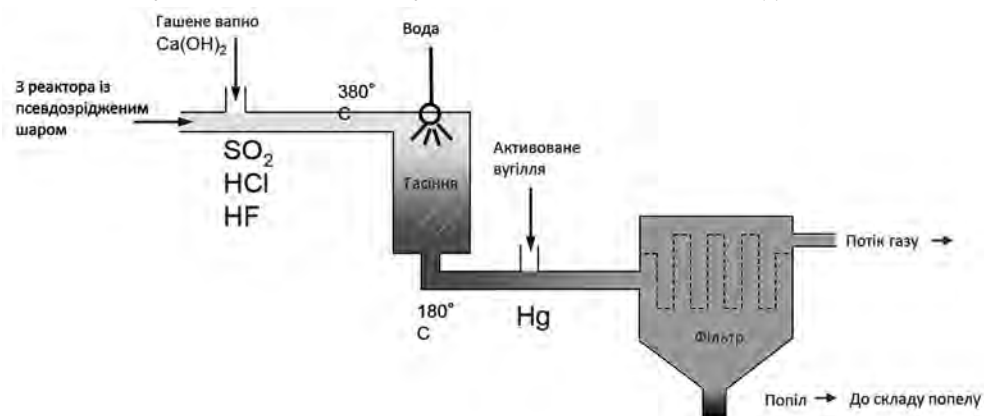


Рис.6. Принципова схема системи очищення викидних газів установки спалювання мулу у печі з киплячим шаром [6].

утилізатори та ідентичні системи очищення димових газів із впорскуванням гідроксиду кальцію та керамічними фільтрами (рис.6). Швидке охолодження продуктів горіння від 380 до 180 °С попереджає можливість утворення діоксинів та фуранів. Система очищення димових газів відрізняється від тієї, що встановлена у Санкт-Петербурзі на печах «Пірофлюїд».

Нижча теплотворна спроможність мулу вологістю 25 % становить 11,5 МДж/кг, але у топку подається суміш сухого та вологого (75 %) мулу з усередненою вологістю 47 % та теплотворністю 4,2 МДж/кг. Контактна сушарка має 2 ступеня конденсації вологи. Топка киплячого шару має відкриті сопла у поді. Час перебування матеріалу у топці більший 2 с при температурі 850 °С.

У роботі [6] стверджується, що в цілому децентралізоване спалювання ОСВ у киплячому шарі є надійною та сучасною технологією, яка може бути привабливою для інших компаній. Впровадження цієї технології сповільнюється через конкуренцію інших, у тому числі шкідливих, але ще дозволених способів утилізації ОСВ. Економічність описаної технології буде зростати по мірі розвитку способів вилучення з них фосфору. Існують та використовуються також двоступінчасті апарати з киплячим шаром [3, 12].

Багатоподові печі [3]. Використовуються у ПАР, Німеччині, інших країнах. Їх продуктивність близько 2 т/добу. Вони складаються з двох зон: верхньої — сушарки; нижньої — топки з киплячим шаром. Осад первинних відстійників та надлишковий мул ущільнюються до вмісту твердого 5–6 %, підігріваються теплоносієм масляного котла до 60 °С, зневоднюються у центрифугах до вологості 25–30 % та подаються у піч. Вихідні гази з печі з температурою 850 °С поступають у масляний котел, далі у електрофільтр та мокрий скруббер. Про очищення газів інформації не надано.

Циклонні печі не отримали широкого розповсюдження. Відомо про одну дослідно-промислову установку продуктивністю по твердому та пастоподібному ОСВ 150 кг/год у м. Орехово-Зуєво під Москвою [3]. У піч подаються осад, висушені до порошку. Вихідні гази не очищуються.

Сумісне спалювання ОСВ з вугіллям у енергетичних установках використовувалося у Німеччині. Вугільні установки без проблем можуть використовувати до 5 % зневоднених до 60 % шламів, які мають теплотворну спроможність 4,4 МВт/кг. Для очищення викидних газів від такого шкідливого компонента, як

ртуть, перед електрофільтром впорскують буровугільний кокс та використовують вугільні адсорбери. Ступінь очищення від ртуті сягає 75–85 %. Вартість знешкодження ОСВ при сумісному спалюванні зменшується у 5,6 рази порівняно із спеціалізованими установками [3, 13]. У деяких літературних джерелах сповіщається про сумісне спалювання ОСВ із ТПВ у обертових печах. Але можна уявити, що очисні установки для комбінованого спалювання ОСВ із ТПВ, вугіллям або біопаливом у енергетичних установках мають бути непомірно складними, оскільки мають забезпечувати очищення від широкого спектру забруднюючих компонентів.

Піроліз ОСВ. Піроліз є одним з найбільш розроблених процесів переробки ОСВ як окремо, так і у комплексі з переробкою ТПВ [14]. Перевагами над іншими технологіями утилізації ОСВ є менша витрата повітря у порівнянні з спалюванням відходів, а також широкі можливості використання продуктів процесу. Високотемпературний піроліз здійснюється при 750–800 °С. Продуктами піролізу є напівкокс (пірокарбон) — 45 %, первинний дьоготь (іноді його називають сировою нафтою) — 20 %, пірогаз — 10 %. Виділяється 15 % водяної пари, 10 % складають втрати. Пірокарбон можна використовувати як паливо або вилучати з нього азот та фосфор. Із дьогтю при фракційній розгонці можна отримати парафіни, феноли, інші органічні сполуки. На жаль, не вказано, від якої початкової маси визначена кількість продуктів: сухої маси, механічно чи термічно зневоднених або сирих ОСВ.

Вказується, що недоліками піролітичних установок є їх підвищена пожежна небезпека, значна кількість кислотоутворюючих речовин у вихідних газах, що потребує використання обладнання з високою корозійною стійкістю. При невеликих масштабах переробки ОСВ економічно недоцільно будувати багатопланові та складні хімічні виробництва поряд з установками піролізу.

Цікавою є інформація про низькотемпературний піроліз. У роботі [2] повідомляється, що у 70–80-х рр. минулого сторіччя було побудовано близько 300 піролітичних установок в основному для переробки ТПВ, частково для переробки ТПВ разом з мулами стічних вод та зовсім мало для переробки тільки ОСВ. Переважна кількість установок була побудована у ФРН та Японії, а у США всього 12 одиниць. У [2] з посиланням на [15] повідомляється, що у Мілані з 1977 р. експлуатується піролізна установка потужністю 10 т/добу у перерахунку на абсолютно сухі відходи. На переробку надхо-

дить 70 % ТПВ та 30 % ОСВ. Піроліз здійснюється при температурі 120–300 °С під тиском 0,1–0,3 МПа. Реактор основного блоку має такі розміри, м: довжина – 6; ширина – 3; висота – 12. Будується установка з десяти подібних блоків. Як продукти отримують 20–30 % сирової нафти, 20–30 % горючих газів та 40–60 % вугілля у вигляді напівкоксу. Економічність процесу забезпечується саме виробництвом рідкого палива.

Особливість низькотемпературного піролізу полягає у тому, що речовина, яка переробляється, переходить у нафту спочатку у газоподібному стані, тільки після конденсації стікає у вигляді сирової нафти. Позитивним є те, що при невисоких температурах піролізу виключається можливість випаровування токсичних солей важких металів. Внаслідок малого вмісту сірки у сирій нафті вона може бути порівняна з кращими сортами природної нафти. Солі важких металів при низькотемпературному піролізі залишаються у напівкоксі, що потребує вироблення технологій його використання. Щодо більшого вмісту азоту у порівнянні з сировою нафтою, то він видаляється у вигляді солей аміаку у процесі промивки.

При всіх відображених у [2, 15] позитивних особливостях низькотемпературного піролізу слід прийняти до уваги, що поряд із зазначеним вище збільшенням концентрації важких металів у коксозольному залишку зростає його зольність до 70–80 %, що утруднює використання його як енергетичного ресурсу. Це має відношення також до високотемпературного процесу.

Незважаючи на недоліки, російська компанія «Піролиз Еко» вважає піроліз найбільш економічним та екологічно найбільш чистим способом переробки ОСВ [16].

Газифікація ОСВ. Різноманітні технології газифікації ОСВ відображені у публікаціях в основному у вигляді патентів та пропозицій. У патенті РФ ТОВ «Бизон» (Казань) [17] пропонується перед газифікацією змішувати та перетирати ОСВ з матеріалами, що містять целюлозу. Кількість матеріалів – 95 % у розрахунку на суху масу. Газифікація здійснюється при температурі 950 °С, газ йде на спалювання. У [18] стверджується, що газифікація при такій температурі забезпечує перехід металів у золі у невилуговувальну форму. Завдяки цьому дисперсний шлам може безпечно використовуватися у будівництві.

У [19] розглядаються способи видалення осадів з території очисних споруд: спалювання, газифікація, піроліз. Суть пропозицій полягає у необхідності у всіх названих технологіях по-

передньої пелетизації осадів після їх зневоднення. Склад осаду як палива Щелковських міжрайонних очисних споруд, %: S – 2,6; N – 5,7; H – 5,8; O – 18,3; C – 48,6; зольність – 15. Теплота згоряння – 4,77 МДж/кг. У зольний залишок переходить 37,8 % первинної маси ОСВ. Наведено аналіз складу золи ОСВ, мг/кг: V – 434; Co – 30; Mn – 620; Cu – 1462; As – 27; Ni – 282; Sr – 1343; Pb – 2023; Cr – 434; Zn – 4649. Температура деформації 960 °С. Генераторний газ спалюється у вихровій топці. В огляді привертає увагу та породжує питання наведене значення теплової спроможності осадів, яке відрізняється від даних інших джерел, а також розбіжність у показниках зольності.

Деякі розробки в галузі газифікації ОСВ спрямовані на виробництво синтез-газу [20–22]. Так, Державний інститут азотної промисловості РФ пропонує суміш ОСВ та ТПВ після висушування та подрібнення піддавати парокисневій газифікації в потоці під тиском [20]. Така технологія пов'язана з небезпекою високих температур і тисків та потребує висококваліфікованого персоналу. Виглядає маловірогідною реалізація подібної технології на підприємствах комунальної сфери.

Заслуговує на увагу оригінальна спільна розробка компаній «Alianse Ekonom Poland» (Польща), «AMTR Scientific Ltd.» (Ізраїль) та громадської організації «Фонд розвитку водочисних технологій» (Україна) щодо отримання з твердих залишків каналізаційних стоків синтез-газу, теплової та електричної енергії у газогенераторній установці [21].

Оригінальність розробки полягає у розділенні осаду та води із застосуванням магнітного поля. Перед розділенням осади піддають обробці залізовмісним коагулянтном з магнітними властивостями у присутності біоорганічного каталізатора, при цьому усувається запах. Далі відбувається флокуляція аніонним флокулянтном із знезаражувальними властивостями. При цьому створюється магнітний осад високої щільності, який відділяється від води у магнітному полі та подається у шнековий гранулятор з пакуванням у Big Bag для подальшого дозрівання, вивозу та зберігання. Вологість осаду у вигляді пелет становить 10–20 %, що співставимо з тепловим висушуванням після центрифугування або використання фільтр-пресів. Завдяки магнітним та гідрофобним властивостям осаду зниження його вологості продовжується після закінчення процесу розділення. Калорійність пелет 7,4–14,8 МДж/кг (1800–3600 ккал/кг); в еквіваленті 1 т пелет у середнь-



Рис.7. Технологічна схема заводу утилізації мулу повітряно-кисневою газифікацією з виробництвом електроенергії у двигуні внутрішнього згорання.

ому дорівнює 330 м³ природного газу. Витрати електроенергії — не більше 2,5 кВт·год/т. Автори розробки вважають можливим використання цієї технології для обробки ТПВ та інших відходів: тирси, торфу, вугілля, пластмаси, резини, — які можна додавати у брикети (пелети). Склад коагулянту, біоорганічного каталізатору та флокулянту не надається.

Перевагами цієї технології можна вважати відсутність метантенків, мулових полів, недоліками — високу вартість попередньої хімічної обробки осадів та виробництва пелет, а також необхідність вирішення проблеми використання коксозольного залишку.

Російська компанія «Енергопромсистемы» пропонує пересувне обладнання для підготовки та газифікації ОСВ, а також гною, курячого посліду у синтетичний або генераторний газ [22]. Установа розміщується у трьох 12-метрових контейнерах, що можуть транспортуватися залізничним або автотранспортом. Ніяких даних про випробування, як і у більшості робіт, що розглядалися вище, не наведено. Публікація має виключно рекламний характер. Важко уявити можливих споживачів такої технології.

Інститутом газу НАН України спільно з польськими компаніями «CARBONEX» та «ЭКТОП» запропонована технологія утилізації мулу шляхом газифікації та виробництва на цій основі електричної енергії. Проведені попередні дослідження елементів технологічної схеми. Газифікації піддавали мул у вигляді гранул 20–25 мм, висушений у гібридних сушарках до вологості 9,7 %. Теплотворна спроможність вихідного мулу становила 14,5 МДж та золи 1,5 МДж за рахунок остаточного вуглецю. Проведені дослідження показали, що в ході газифікації мулових залишків утворюється зола, вміст вуглецю в якій залежить від гранулометричного складу вихідного палива та режиму експлуатації газогенератора. У процесі газифікації матеріал перебуває в високотемпера-

турній зоні з рівнем температур більше 1000 °С не менше 1 хв з подальшим поступовим охолодженням без доступу кисню. Такий режим обробки гарантує знешкодження біологічних забруднень. Зола, що утворюється в процесі газифікації, має вигляд гранул високої міцності, які можуть використовуватися в будівельній промисловості, зокрема замість щебеню у будівництві доріг. Для підвищення тепло-

творної спроможності генераторного газу та температури газогенератора у зоні газифікації запропоновано використовувати повітря, збагачене киснем. Технологія покладена в основу проекту утилізації ОСВ у м. Запоріжжя [23]. Вивчається можливість використання описаної технології в інших містах, зокрема для газифікації підсушеного зброшеного мулу [24]. Попередній економічний аналіз проектів з газифікацією ОСВ навіть при використанні збагаченого киснем повітряного дуття підтверджує їх конкурентоспроможність. Проект технологічної схеми газифікації мулу показано на рис.7.

Висновки

Осади стічних вод належать до одного з основних забруднювачів навколишнього середовища: землі, води, повітря. Їх знешкодження та утилізація є світовою проблемою, яка не вирішена належним чином до цього часу. Вона є об'єктом дослідження та розробок численних наукових та інших причетних до цієї справи установ та організацій.

Осади стічних вод, як правило, комбіновані та складаються з комунальних та промислових стоків. Вони містять шкідливі речовини неорганічного та органічного походження. До перших належать у більшості солі важких металів, до других — побутові відходи, фекалії, нафтопродукти, волокна рослин, жири, а також забруднювачі бактеріального походження — численні збудники хвороб.

Приблизно 33–35 % ОСВ використовується як добрива у сільському господарстві у Європі та США. Аналіз напрямків сільськогосподарського використання осадів стічних вод приводить до висновку про його недоцільність внаслідок забруднення ґрунту важкими металами та бактеріального забруднення з поступовим накопиченням у ґрунті шкідливих речовин; ненадійності та високої вартості знезараження осадів від бактеріального забруднення; економічної неефектив-

ності у порівнянні із застосуванням традиційних органічних або синтетичних добрив та, як правило, значних транспортних витрат для доставки мулу до місць його використання.

Щодо використання у сільському господарстві золи від спалювання мулів треба зауважити, що технології вилучення із золи фосфору та азоту недосконалі та не гарантують непогрязлення в кінцевий продукт шкідливих речовин.

Світова тенденція полягає в обмеженні використання ОСВ та золи від їх спалювання як добрив, домішок у корми тварин, навіть для рекультивативної земель. У Нідерландах та Швейцарії таке використання ОСВ заборонено, у деяких інших країнах вкрай обмежено.

Єдиним надійним способом позбавлення ОСВ від органічних забруднювачів є їх термічна обробка: спалювання, піроліз та газифікація. Спалювання ОСВ може бути моно або спільне з іншими паливами: вугіллям, твердими побутовими або іншими відходами. Моноспалювання здійснюють у печах обертових, багатоподових, циклонних та печах з псевдорозрідженим киплячим шаром (КШ).

Кожна із зазначених технологій має свої переваги та недоліки. Загальні переваги термічних технологій — повне знешкодження органічних складових ОСВ та придатність золи до депонування на полігонах. Загальні недоліки — неконтрольоване випаровування солей важких металів у димові гази та необхідність, як наслідок, встановлення коштовних систем газоочистки, інколи необхідність вирішення проблеми переробки золи перед її депонуванням. Зола може містити залишки важких металів та недопалений вуглець. При недостатньому рівні зневоднення ОСВ перед спалюванням необхідно витрачати додаткову енергію для їх термічного підсушування. Це стосується в основному технології спалювання у КШ. Всі термічні технології є брутто збитковими.

Щодо основних характеристик технологій термічної нейтралізації необхідно виділити наступне.

Перевагою обертових та багатоподових печей є об'єднання в одному робочому просторі зон сушіння та горіння, що забезпечує можливість використання недостатньо зневоднених осадів. Недоліками обертових печей є нещільність, висока капітало- та енергоємність. Недоліками багатоподових печей є також висока капіталоємність, наявність рухомих частин, корозія елементів, нерівномірність температур в об'ємі речовини.

Перевагою печей з КШ є рівномірність температур у шарі, низька температура горіння та низькі значення викидів NO_x , CO , SO_2 (можливе додавання вапна у шар), Cl , F , токсичних органічних речовин; відсутність необхідності у

додатковому паливі при достатньо зневодненій сировині; добре вигоряння з малими втратами; можливість використання мулів у великому діапазоні їх теплотворної спроможності. Вважається достатньою теплотворна спроможність ОСВ, що подаються у топковий простір, на рівні 4,2 МДж/кг. Недоліками технології КШ є високий ККД перетворення теплової енергії осадів у електричну, необхідність ретельного догляду та вживання заходів для непогрязлення габаритних включень у робочий простір та поломки транспортуючого обладнання, злипання та спікання шихти, корозія елементів, значний пиловинос, обмежений діапазон регулювання процесу. Незважаючи на ці недоліки технологія КШ найбільш розповсюджена для спалювання ОСВ.

Спільне спалювання потребує відповідних печей, як на ТЕС або сміттєспалювальних заводах, а також оснащення таких печей сучасною очисткою димових газів. Для прийому, змішування та подачі мулу, а в окремих випадках для додаткової очистки димових газів можуть бути потрібні цільові витрати. Приймання мулу на спалювання платне.

Піроліз ОСВ не знайшов широкого застосування. Вважається, що ця технологія може бути самоокупною за рахунок утворення так званої сирової нафти у кількості 20–30 % від сухої маси ОСВ. Сира нафта може використовуватися безпосередньо як котельно-пічне паливо. Після перегонки з неї можна отримати серед численних органічних речовин високоякісні малосірчані моторні палива: бензин та дизельне паливо. При низькотемпературному піролізі основна кількість важких металів залишається у зольному залишку. Недоліками піролізу є наявність у золі самоспалахуючих речовин, що потребує спеціальних умов їх розміщення. Значна кількість кислотоутворюючих речовин у вихідних газах потребує використання обладнання з високою корозійною стійкістю. Зольність коксозольного залишку становить 70–80 %, що утруднює використання його як енергетичного ресурсу та унеможливує його безпечне депонування.

Газифікація ОСВ є найменш вивченим процесом та ще не отримала практичного застосування. Перевагами газифікації є високі значення ККД при використанні генераторного газу для виробництва електроенергії у двигунах внутрішнього згоряння; порівняно низькі температури процесу, що забезпечує низькі значення випаровування важких металів у генераторний газ; високий рівень перетворення органічних речовин осадів у енергію генераторного газу; отримання зольного залишку у вигляді гранул високої міцності, що забезпечує можливість їх пря-

мого використання у будівництві або безпечно-го депонування. Недоліками процесу є необхідність використання попередньо гранульованого та термічно висушеного осаду та необхідність збагачення повітря киснем для підвищення теплотворної спроможності генераторного газу. Попередні експериментальні дослідження процесу газифікації ОСВ, виконані в Інституті газу НАН України, підтвердили перспективність цієї технології.

Пріоритетом у справі утилізації ОСВ є їх знешкодження у порівнянні з корисним використанням. З урахуванням цієї тенденції набуває скорочення сільськогосподарського використання осадів. Можна очікувати, що з часом термічна обробка осадів буде основним напрямком їх утилізації. В майбутньому можна уявити очисну станцію, яка складається з вхідних фільтрів, первинних відстійників, коагуляторів, механічних зневоднювачів, гібридних сушарок та установок спалювання або іншого обладнання для їх термічної переробки з очисткою димових газів. Зола буде депонуватися, мулових полів не буде. Для гарантованого непотрапляння залишків важких металів у ґрунт при депонуванні золи вона буде пакуватися у водонепроникні контейнери.

Список літератури

1. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. — М. : Стройиздат, 1988. — 257 с.
2. Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод. — Л. : Стройиздат, 1988. — 248 с.
3. Лотош В.Е. Утилизация канализационных стоков и осадков. — <http://www.lotosh.1gb.ru/fopp/txt/sewageutil.pdf>.
4. Протасов В.Ф., Молчанов А.В. Экология, здоровье и природопользование в России. — М. : Финансы и статистика, 1995. — 528 с.
5. Good practices in sludge management. Baltic Sea Region. Project EU «PURE». — http://www.purebalticsea.eu/index.php/gpsm:good_practices:ru
6. Glatzer A., Schild H. Operational Experiences from Austrias First Medium Sized Sewage Sludge Mono-Incineration Plant in Grosswilfersdorf Austria // Proceedings of 4th Central European Biomass Conference, Graz, Austria, Jan. 15–18, 2014.
7. Карелин А.О., Карелин О.Н., Лучкевич В.С. Средства по очистке городских канализационных стоков как источники загрязнения атмосферы // Гигиена и санитария. — 2000. — № 3. — С. 12–14.
8. Steiner A. Verfahren zum abstoppen von faulprozessen in faulslxhlamm // Pat. 402289. (Austria). Priority 30.12.1994. Publ.25.03.1997.
9. Feldmann J., Kleimann J. Fluchtige Metallverbindungen im Faulus // Korrespond. Abwasser. — 1997. — Bd. 44, № 1. — S. 99–104.
10. Бондар О.І., Лозовицький П.С., Машков О.А., Лозовицький А.П. Екологічний стан накопичених осадів стічних вод м. Києва. — Київ : Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, 2016. — С. 17–22.
11. Гумен С.Г., Большемеников А.Я., Марич К.В. Обработка осадков сточных вод на центральной станции аэрации С.-Петербурга // ВСТ. — 1998. — № 10. — С. 10–13.
12. Klarschlammverbrennung bei angelaufen // Chem.-Ing.-Tech. — 1995. — Bd. 67, № 4. — S. 364–365.
13. Kopp M., Kahlke J., Schulte W. Mitverbrennung von Klarschlamm in Kohleversungsanlagen // All. Pap. — 1995. — Bd. 119, № 14. — S. 297–299.
14. Утилизация осадков бытовых сточных вод (пироліз). — <http://stroy-spravka.ru/.../utilizatsiya-osadkov-bytovykh-stochnykh>.
15. Tabasaran O. La pirolisi comt metodo attnale di trattamentoper il recupero energetico dei rofinti // Ing. amient Inger in e depur. — 1979. — Vol. 8, № 1. — P. 40–45.
16. Утилизация осадков сточных вод без иловых площадок путем переработки в товарную продукцию. — <http://www.pirilizeco.ru> > ... > Пироліз
17. Пат. 2176264 РФ, МПК⁷ С 10 J 3/00, С 02 F 11/18, С 02 F 11/12. Способ переработки осадков городских сточных вод / В.В.Наместников, С.Э.Межеричский, Ю.М.Филиппов и др. — Оpubл. 27.11.2001.
18. Тимофеева С.С., Баранова А.Н., Бабаян А.Э., Зубарева Л.Д. Комплексная оценка технологий утилизации осадков сточных вод гальванических производств // Химия и технология воды. — 1991. — Т. 13, № 1. — С. 68–71. — <https://www.google.com.ua/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8>
19. Антропов А.П., Зайченко В.М., Куфтов А.Ф., Умнова О.М. Способы утилизации осадка сточных вод с территории очистных сооружений. Презентация доклада Объединенного Института высоких температур РАН и МГЭУ им. Баумана. — <http://www.reenfor.org/upload/files/7ea57ef33af7b2401ef8892008d9ac2e.pdf>
20. Гудымов Э.А., Родионов Б.Н. Газификация осадков сточных вод и бытового мусора // Экология и пром-сть России. — 1997, ноябрь. — С. 11–12.
21. Получение синтез-газа, тепловой и электрической энергии в газогенераторной установке из твердых остатков канализационных стоков. — Режим доступа: <http://relyef.com/wp-content/uploads/2015/12/Презентация-для-инвесторов.pdf>
22. Утилизация и переработка иловых осадков сточных вод. — <http://singaz.com.ua/pererabotka-ilovyh-osadkov.html>
23. Попереднє ТЕО проекту «Будівництво цеху утилізації осаду після механічного зневоднення на центральних каналізаційних очисних спорудах Лівого берега ЦОС № 1 м. Запоріжжя». Скорегована редакція // Проект USAID «Муниципальная энергетична реформа в Україні». — 2016. — 33 с.
24. Проект реконструкції очисних споруд та будівництво станції виробництва біогазу у м. Львові. Повнення Техніко-економічного обґрунтування // Контракт ЄБРР: C29880/SWUK-2014-09-04

Надійшла в редакцію 19.01.17

Карп И.Н., *акад. НАН Украины, докт. техн. наук, проф.*, **Пьяных К.Е.**,
канд. техн. наук, **Никитин Е.Е.**, *докт. техн. наук*
Институт газа НАН Украины, Киев
ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: pyanykh@i.ua

Проблема утилизации и обезвреживания иловых отложений городских сточных вод и пути ее решения (Обзор)

Осадки сточных вод городов образуются обычно из коммунальных и промышленных стоков. Они содержат множество вредных веществ: тяжелые металлы, минеральные вещества, вредные вещества органического происхождения (твердые бытовые отходы, фекалии и др.), бактериальные загрязнители. Проблема утилизации и гарантированного обеззараживания осадков городских сточных вод общемировая. Она не решена в полной мере до настоящего времени. Европейские тенденции развития технологий утилизации осадков сточных вод заключаются в сокращении или полном запрете их сельскохозяйственного использования и обеззараживании органических загрязнителей термическими методами. Приобретает распространение сжигание осадков сточных вод в кипящем слое. Представляют интерес низкотемпературные технологии утилизации осадков сточных вод, при которых тяжелые металлы остаются в твердом остатке: пиролиз, окислительный пиролиз, газификация. В Институте газа НАН Украины проведены предварительные испытания утилизации сухих гранулированных осадков сточных вод в обращенном процессе газификации. Получены генераторный газ и гранулы высокой твердости, которые можно использовать в качестве наполнителей в строительстве. Предложена технологическая схема промышленного процесса. *Библ. 24, рис. 7, табл. 1.*

Ключевые слова: осадки сточных вод, обеззараживание, сжигание, газификация.

Karp I.M., *Academician of National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor*, **Pyanykh K.E.**, *Candidate of Technical Sciences*,
Nikitin E.E., *Doctor of Technical Sciences*

The Gas Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev
39, Degtyarivska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: pyanykh@i.ua

The Problem of Disposal and Destruction of Sewage Sludge and its Solutions (Review)

Sewage sludge of cities usually are formed of municipal and industrial wastewater. They contain many harmful substances such as heavy metals, mineral substances, harmful substances of organic origin wastes (solid domestic wastes, feces, etc.), bacterial pollutants. The problem of utilizing and secure disposal of precipitation of urban wastewater (WWS) is a global. It is not solved fully by this time. European trends of sewage sludge disposal are the reduction or total ban on their agricultural use and disinfecting organic pollutants by thermal methods. Acquires distribution WWS combustion in a fluidized bed. Low-temperature technology of sewage sludge disposal in which the heavy metals remain in the solid residue of the process are interesting. This are pyrolysis, oxidative pyrolysis and gasification. The Gas Institute of NAS of Ukraine conducted preliminary tests of utilizing of dry granular WWS in the reversed process of gasification. Producer gas and pellets with high hardness were obtained; pellets can be used as fillers in construction. Technological scheme of the industrial process is proposed. *Bibl. 24, Fig. 7, Tab. 1.*

Key words: sewage sludge, utilizing, disinfection, combustion, gasification.

References

1. Turovskii I.S. Obrabotka osadkov stochnykh wod, Moscow : Stroyizdat, 1988, 257 p. (Rus.)
2. Evilevich A.Z., Evilevich M.A. Utilizatsiia osadkov stochnykh vod, Lenngrad : Stroyizdat, 1988, 248 p. (Rus.)
3. Lotosh V.E. Utilizatsiia kanalizatsionnykh stokov i osadkov. — Access mode: <http://lotosh.1gb.ru/fopp/txt/sewageutil.pdf>. (Rus.)
4. Protasov V.F., Molchanov A.V. Ekologiya, zdorovie i prirodopolzovaniie v Rossii, Moscow : Fhinary i statistika, 1995, 528 p. (Rus.)
5. Good practices in sludge management, Baltic Sea Region, Project EU «PURE». — Access mode: http://www.purebalticsea.eu/index.php/gpsm:good_practices:ru
6. Glatzer A., Schild H. Operational Experiences from Austrias First Medium Sized Sewage Sludge Mono-Incineration Plant in Grosswilfersdorf Austria, *Proceedings of 4th Central European Biomass Conference*, Graz, Austria, 15–18 Jan., 2014, Graz, 2014.
7. Karelin A.O., Karelin O.N., Luchkevich V.S. Sooruzheniia po ochistke gorodskikh kanalizatsionnykh stokov kak istochniki zagriazneniia atmosfery, *Gigiena i sanitaria*, 2000, (3), pp. 12–14. (Rus.)
8. Steiner A. Verfahren zum abstoppen von faulprocessen in faulslamm // Pat. 402289. (Austria). Priority 30.12.1994, Publ. 25.03.1997.
9. Feldmann J., Kleimann J. Fluchtige Metallverbindungen im Fauls, *Korrespond. Abwasser*, 1997, 44 (1), pp. 99–104. (De)
10. Bondar O.I., Lozovitsky P.S., Mashkov O.A., Lozovitsky A.P. Ekologichni stan nakopychennykh osadiv stichnykh vod m. Kieva, Kiev : Derzhavna ekologichna akademiia pislidiplomnoi osvity ta upravlinnia, 2016, 17 p. (Ukr.)
11. Gumen S.G., Bolshemennikov A.J., Marich K.V. Obrabotka osadkov stochnykh vod na tsentralnoii stantsii aeratsii S.-Peterburga, *VST*, 1998, (10), pp. 10–13. (Rus.)
12. Klarschlammverbrennung bei angelaufen, *Chem.-Ing.-Tech*, 1995, 67 (4), pp. 364–365. (De)
13. Kopp M., Kahlke J., Schulte W. Mitverbrennung von Klarschlammen in Kohleversorgungsanlagen, *All. Pap.*, 1995, 119 (14), pp. 297–299.
14. Utilizatsiia osadkov bytovykh stochnykh vod. — <http://www.stroy-spravka.ru/.../utilizatsiya-osadkov-bytovykh-stochnykh>. (Rus.)
15. Tabasaran O. La pirolisi comt metodo attnale di trattamentoper il recupero energetico dei rofinti, *Ing. amient Inger in e depur*, 1979, 8 (1), pp. 40–45.
16. Utilizatsiia osadkov stochnykh vod bez ilovykh ploschadok putem pererabotky v tovarnuui produktsiui. — Access mode: <http://pirolizeco.ru> (Rus.)
17. Namestnikov V.V., Mezheritskii S.E., Philippov Yu.M., Krivenko I.V., Marchenko G.N., Panarin A.V., Andreeva T.V., Patent № 2176264 Ru. — Opubl. 27.11.2001. (Rus.)
18. Timofeeva S.S., Baranova A.N., Babaian A.E., Zubareva L.D. Kompleksnaia otsenka tekhnologii utilizatsii osadkov stochnykh vod galvanicheskikh proizvodstv, *Khimiia i tekhnologiya vody*, 1991, 13 (1), pp. 68–71. — Access mode: <https://www.google.com.ua/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8> (Rus.)
19. Antropov A.P., Zaichenko V.M., Kuftov A.F., Umnova O.M. Sposoby utilizatsii osadka stochnykh vod s territorii ochistnykh sooruzhenii. Prezentatsiia doklada Obiedinennogo Instituta vysokikh temperatura RAN i MGEU im. Baumana. — Access mode: <http://www.reenfor.org/upload/files/7ea57ef33af7b2401ef8892008d9ac2e.pdf> (Rus.)
20. Gudymov E.A., Rodionov B.N. Gazifikatsiia osadkov stochnykh vod i bytovogo musora, *Ekologiya i promyshlennost Rossii*, 1997, Nov., pp. 11–12. (Rus.)
21. Polucheniie sintezgaza, teplovoi i elektricheskoi energii v gasogeneratornoi ustanovke iz tverdykh ostatkov kanalizatsionnykh stokov. — Access mode: http://www.relyef.com/wp-content/uploads/2015/12/Prezentatsiia_dlia_investorov.pdf (Rus.)
22. Utilizatsiia i pererabotka ilovykh osadkov stochnykh vod. — Access mode: <http://singaz.com.ua/pererabotka-ilovykh-osadkov.html> (Rus.)
23. Poperednie TEO proektu «Budivnytstvo tsekh utylizatsii osadu pislia mekhanichnogo znevodnennia na tsentralnykh kanalizatsiinykh ochysnykh sporudakh Livogo berega TSOS № 1 m. Zaporizhzhia». Skoregovana redaktsiia : Proekt USAID «Munitsipalna energetychna rephorma v Ukraini», 2016, pp. 33. (Ukr.)
24. Proekt rekonstruktsii ochysnykh sporud ta budivnytstvo stantsii vyrobnytstva biogasu u m.Lvovi. Ponovlennia Tekhniko-ekonomichnogo obgrutuvannia, Kontract EBRR: C29880/SWUK-2014-09-04. (Ukr.)

Received January 19, 2017