

УДК 628.336.3

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД ПЕРЕД АНАЕРОБНИМ ЗБРОДЖУВАННЯМ

С. В. Бойченко, д-р техн. наук, проф.;

С. Й. Шаманський, канд. техн. наук, доц.; А. Я. Ільченко

Національний Авіаційний Університет

crytema@yandex.ru

У статті наведено характеристику існуючих очисних споруд міжнародного аеропорту Бориспіль. На основі досліджень, подані найбільш ефективні методи попередньої обробки осадів господарсько-побутових стічних вод, які впливають на інтенсивність процесів гідролізу під час анаеробного збродження. Представлено основні технологічні вимоги до організації процесів збродження осадів стічних вод від авіапідприємств на стадії гідролізу органічних сполук. Проведено аналіз результатів техніко-економічного порівняння обраних варіантів попередньої обробки осадів. На підставі цього в статті сформувані висновки щодо доцільності використання тієї чи іншої технології попередньої обробки осадів стічних вод від авіапідприємства.

Ключові слова: осади стічних вод; гідроліз; інтенсифікація; біогаз; анаеробне збродження; хімічне споживання кисню (ХСК); беззолна речовина (БР); суха речовина (СР).

In the article the existing sewage treatment plant of Boryspil International Airport is characterized. Based on the researches, the most effective methods of pre-treatment of household wastewater sludges that affecting at the intensity of hydrolysis during anaerobic digestion was analyzed. The basic requirements for technological processes of digestion of wastewater sludges from aviation enterprise on the hydrolysis stage of organic compounds was presented. The analysis of technical and economic comparison results of selected variants of wastewater sludge pretreatment was performed. On this basis, it was formed conclusions regarding the usefulness of a technologies of wastewater sludge pretreatment from aviation enterprise.

Keywords: wastewater sludges; hydrolysis; intensification; biogas; anaerobic digestion; chemical oxygen demand (COD); ashless substance (AS); dry matter (DM).

Вступ

На сьогодні, проблема знешкодження та утилізації осадів стічних вод, які утворюються на каналізаційних очисних спорудах, посідає важливе місце в комплексі проблем захисту довкілля. Світовий досвід використання технології анаеробної переробки осадів стічних вод та інших органічних відходів для одержання біогазу з метою його подальшого використання свідчить про перспективність її впровадження. Беручи до уваги зазначені фактори, актуальним стає пошук ефективних методів попередньої обробки осадів стічних вод перед анаеробним збродженням.

Постановка завдання

Сьогодні стічні води міста Бориспіль та аеропорту, опиняються на полях фільтрації. Робочі навантаження цих полів, розташованих усього в одному кілометрі від злітно-посадкової смуги і приблизно на тій самій відстані від масиву Дубчанське, мінімум у три рази перевищують нормативні. При цьому частка стоків від аеропорту

становить близько 10 %. У той же час в місті Бориспіль будується багато житлових будинків, об'єктів інфраструктури. Відсутність очисних споруд несе загрозу техногенної катастрофи, а переповнені поля фільтрації можуть становити небезпеку і для самого аеропорту.

Для вирішення цієї проблеми та переходу на видобуток біогазу, необхідно визначитися з методами попередньої обробки осадів стічних вод та їхньою економічною рентабельністю.

Аналіз літературних даних

Останні дослідження [1, 2] показують, що в цілому для процесів анаеробного збродження важливими параметрами є температура субстрату, рН, вміст кисню в реакторі, наявність або відсутність відповідної мікрофлори і токсинів у субстраті, інтенсивність перемішування, тиск у реакторі і т. д. Крім того, для оптимального протікання, кожна стадія процесу часто вимагає особливих умов. Гідроліз також вимагає таких самих умов [3, 4].

Тому доцільно відокремити стадію гідролізу від інших стадій ферментації і створити оптимальні умови для його інтенсифікації.

Мета

Метою статті є проведення техніко-економічного порівняння обраних варіантів обробки осадів стічних вод авіапідприємства та формування комплексної картини сучасних наукових уявлень про методи інтенсифікації гідролізу.

Характеристика очисних споруд авіапідприємства

Міжнародний аеропорт Бориспіль є найбільш завантаженим аеропортом в Україні, він забезпечує близько 65 % пасажирських авіаперевезень України і щороку обслуговує понад 8 мільйонів пасажирів.

Як і переважна більшість інших підприємств та комунальних господарств, аеропорт є споживачем певної кількості води. Внаслідок її використання, вона забруднюється різними відходами господарювання, втратами виробництва тощо. Концентрація і склад забрудників води перебуває в тісному зв'язку зі сферою її застосування. Унаслідок цього склад використаних вод є досить різноманітним і часто несталим [5].

Стічними (з позицій каналування) є води, які були використані для тих чи інших потреб і дістали при цьому додаткові домішки (забруднення), що змінили їхній першопочатковий хімічний склад або фізичні властивості. До стічних відносять також води, що стікають з території населених пунктів підприємств як наслідок випадання атмосферних опадів (дощів, снігу та його танення тощо). Всі утворені стічні води повинні бути видалені (каналізовані).

На території аеропорту Бориспіль існує дві системи дощової каналізації закритого типу з одним випуском у р. Іква.

Перша система містить зливоприймачі і зливові мережі від частини території штучної злітно-посадкової смуги № 1, рулільних доріжок, платформи ДП «ЗОД» і платформи «F», акумулюючої ємкості і насосної станції поверхневого стоку.

Друга система поверхневих стоків містить систему приймання та транспортування поверхневих стоків від злітно-посадкової смуги № 2 і службово-технічної території.

Дощові води з аеропорту по самопливному магістральному колектору діаметром 1000 мм поступають на очисні споруди, що мають дві секції розділені нафтовловлювальною сіткою. Майданчик очисних споруд розташовується на відстані 8,3 км на південь від аеропорту та на відстані 2,7 км від східної околиці с. Ревне.

Склад очисних споруд:

- секція відстою;
- нафтовловлювальна стінка;
- нафтозбиральна ємність;
- секція додаткової аерації.

Очисні споруди проектувались як став-відстійник на період дощів і як біологічний став в період між дощами. Очисні споруди здійснюють механічну очистку стічних вод та їх аерацію, а також захист споруд від поверхневих вод з прилеглої території.

Господарсько-побутова каналізація включає в себе 4 каналізаційно-насосні станції (КНС), до яких стоки з території аеропорту стікаються існуючими самопливними трубопроводами. Звідси стоки стікають до головної КНС, після чого прямують на поля фільтрації. При цьому осадки господарсько-побутових стічних вод попередньо не проходять обробки.

Поля фільтрації являють собою територію загальною площею 64 га, розділену земляними валами на ділянки по 0,7–0,9 га кожна, що експлуатується комунальним підприємством — «Бориспільводоканал». Приблизно 10 000 м³ стічних вод опиняються на полях фільтрації кожного дня, близько 10 % з яких — від аеропорту.

Методи попередньої обробки осадів стічних вод

Переробка осадів стічних вод від авіапідприємств у метантенку, незважаючи на можливість отримати додаткове альтернативне джерело енергії — біогаз, а також екологічно безпечне добриво, на жаль, неефективна в Україні.

Проблема полягає в тому, що технології зброджування, які використовуються сьогодні, не є досконалими. Процеси бродіння займають багато часу, а вихід біогазу є незначним. З урахуванням особливостей кінетики цих процесів можна створити більш ефективні технології.

Для інтенсифікації можна використовувати попередню обробку осадів. Вона повинна бути направлена на розкладання органічної речовини і трансформації її з нерозчинного стану в розчинний.

Для попередньої обробки можна використовувати такі методи: механічне подрібнення; кислотне оброблення (кислотний гідроліз); оброблення лугом (лужний гідроліз); нагрівання до високих температур 100–180 °С (термогідроліз); лужне оброблення і нагрівання (термолужний гідроліз) та ультразвукове опромінення (ультразвуковий гідроліз)[6].

Кислотний і лужний гідроліз — методи попередньої обробки, за яких відбувається розкладання органічної речовини під впливом кислот або лугів.

При термогідролізі розкладання органіки відбувається під дією високих температур (100–180 °C), при ультразвуковій обробці — за рахунок ультразвукової кавітації. Термолужний гідроліз поєднує два руйнуючих фактори: вплив високих температур і лугів.

Термолужна обробка, незважаючи на високий ступінь руйнування активного мулу, поступається за поширеністю термообробці в зв'язку з високими витратами на реагенти.

Більшого поширення в даний час отримує технологія, яка передбачає термогідроліз активного мулу за температури 130–180 °C і відповідному тиску (понад 6 бар), що має назву «Процес Cambi» та «Процес Biothelys™». Застосування цього методу дозволяє підвищити глибину розпаду беззольної речовини і пришвидшити вихід біогазу на 30 %.

Однак для запровадження цих процесів, необхідно здійснити витрати на капітальне будівництво вузла термогідролізу (реакторів, теплообмінників і системи подачі пари), що здійснює нагрів, охолодження і рециркуляцію активного мулу, що трохи знижує привабливість даного методу.

Світова практика показує, що ультразвукова попередня обробка є одним з нових перспективних методів підвищення біодоступності осадів і виходу біогазу в процесі анаеробного зброджування.

За літературними даними, застосування цього методу попередньої обробки при зброджуванні активного мулу в лабораторних і пілотних реакторах, дозволяє підвищити глибину розпаду беззольної речовини (БР) на 10–56 %, залежно від умов обробки [7].

Відсутність необхідності застосування реагентів, можливість простого вбудовування ультразвукових диспергаторів в існуючі технологічні схеми робить цей метод привабливим для перспективного використання.

Однак, це — енергоємна технологія, і доцільність її застосування потребує ретельного економічного розрахунку ефективності для конкретного авіапідприємства.

Аналіз ефективності досліджуваних методів обробки осадів та їх техніко-економічні показники

Згідно з дослідженнями [8–10], при використанні всіх досліджуваних методів обробки було отримано підвищення концентрації розчинного

ХСК в 2–12 разів (залежно від методу) без зміни вмісту СР і БР активного мулу.

Обраними методами можна досягати таких збільшень розпаду БР:

- механічне подрібнення — 2,2 %;
- кислотний гідроліз — 5,7 %;
- лужний гідроліз — 8,7 %;
- термогідроліз (160 °C) — 23 %;
- ультразвуковий гідроліз — 20 %.

Базуючись на результатах досліджень, було проведено техніко-економічний аналіз методів попередньої обробки осадів, враховуючи витрати на електроенергію, реагенти і вартість необхідних установок.

Критерієм порівняльної економічної ефективності капіталовкладень є мінімум приведених витрат. Найбільш вигідною є схема з меншою сумою приведених витрат.

Вихідними даними для визначення вартості обладнання є перелік встановленого обладнання, а також ціни на обладнання, що приймалась за прейскурантами. Також було відомо, що за 24 год кількість стічних вод від аеропорту Бориспіль сягає 800 м³, а кількість осадів стічних вод приймалась рівною 1 % від загальної кількості стічних вод, тобто 8 м³.

Величина експлуатаційних витрат визначалась підсумовуванням витрат по кожному елементу витрат, обчислену прямим розрахунком за такими основними статтями: матеріали (реагенти-розчинники) та електроенергія. Результати техніко-економічного аналізу наведені у табл. 1.

Розрахунок показав, що механічне подрібнення і обробка трипсином є найдешевшим методом попередньої обробки осадів. У той же час метод є найменш ефективним серед інших. Наступні по вартості кислотний та лужний гідроліз є також малоефективними методами (5,7 і 8,7 %, відповідно), проте вартість обробки 1 м³ осаду за допомогою лужного гідролізу доволі висока (267 грн за 1 м³). Найбільш ефективні методи обробки — ультразвуковий та термогідроліз, водночас є найдорожчими для авіапідприємства у зв'язку з великою вартістю обладнання та великих обсягів споживання електроенергії. Базуючись на результатах техніко-економічного аналізу, є доцільним ввести критерій ефективності конкретного методу обробки осадів.

Відношення вартості обробки 1 м³ осаду та збільшення глибини розпаду БР конкретного методу наведено у табл. 2.

Таблиця 1

Відповідність вартості і ефективності різних методів попередньої обробки осадів стічних вод

Метод попередньої обробки	Найменування обладнання	Найменування реагентів	Вартість реагентів, грн/рік	Вартість обладнання, грн	Вартість електроенергії, грн/рік	Вартість обробки 1м ³ осаду, грн	Збільшення глибини розпаду БР у процесі ферментації, %
Механічне подрібнення і обробка трипсином	Кульовий млин МШР-2000	Фермент «Трипсин»	14600	89000	85672	34.34	2.4
Термічна обробка	Нагрівальна установка АННн-0.63-01	-	-	900000	915257	313.44	23
УЗ гідроліз	УЗ технологічний комплекс П100-35/9	-	-	2000000	1285092	440.01	20
Лужний гідроліз	Дані відсутні	Гідроксид натрію та соляна кислота для нейтралізації	779640	-	Дані відсутні	267	8.7
Кислотний гідроліз	Дані відсутні	Соляна кислота та гідроксид натрію для нейтралізації	233600	-	Дані відсутні	110.94	5.7

Таблиця 2

Метод попередньої обробки	Критерій ефективності методу, грн / %
Механічне подрібнення і обробка трипсином	14.3
Термічна обробка	13.62
Ультразвуковий гідроліз	22
Лужний гідроліз	30.68
Кислотний гідроліз	19.46

Згідно з отриманими результатами, термічна обробка та механічне подрібнення з обробкою трипсином є найбільш раціональними методами за співвідношенням «ціна-якість». Показник ефективності для лужного гідролізу свідчить про те, що метод є найменш ефективним серед інших.

Висновки

Існуючі технології анаеробного зброджування через властиві їм недоліки не дозволяють ефективно їх використовувати на очисних спорудах авіапідприємств для переробки осадів стічних вод. Це призводить до проблем з утилізацією цих

осадів. Досліджувані методи попередньої обробки осадів дозволяють інтенсифікувати цей процес, скоротити тривалість цієї стадії, і, отже, тривалість всього процесу.

Однак різні методи попередньої обробки осадів вимагають різних капіталовкладень, та мають різну вартість за обробку 1м³ осаду. В результаті виконаних розрахунків встановлено, що зі збільшенням глибини розпаду БР, зростає вартість обраного методу. Введення критерія ефективності конкретного методу обробки показало, що найбільш раціональними методами є термічна обробка та механічне подрібнення з обробкою трипсином.

Досліджувані методи потребують подальшого вивчення у виробничому середовищі. Створення установок (метантенків), які зможуть реалізувати обрану технологію дозволить відкрити нові перспективи переробки осадів стічних вод авіапідприємств, отримання додаткових джерел енергії та екологічно безпечних добрив.

ЛІТЕРАТУРА

1. Седнин В. А. Анализ факторов, влияющих на производство биогаза при сбраживании осадка сточных вод / А. В. Седнин, И. Н. Прокопья, А. А. Шимукович // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ—ЭНЕРГЕТИКА: Теплотехника. — 2009. — № 5. — С. 49–58.
2. Кущев Л. А. Теоретические аспекты процесса получения биогаза при анаэробной ферментации органических отходов / Л. А. Кущев, Д. Ю. Суслов, А. И. Алифанова // Science Time, 2014. — №10. — С. 258–262.
3. Шаманський С. Й. Енергоефективна та екологічно безпечна технологія стабілізації осадів стічних вод авіапідприємств / С. Й. Шаманський, С. В. Бойченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. — 2015. — №5/8 (77). — С. 39–45.
4. Шаманський С. Й. Технологія гідролізу органіки як стадія анаеробного зброджування осадів стічних вод авіапідприємств / С. Й. Шаманський, А. Я. Ільченко // Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи. II міжнародна науково-практична конференція, 4–6 листопада 2015 р.: тези доп., Львів, 2015. — С. 314–315.
5. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко [та ін.]. — К. : Лібра, 2000. — 552 с.
6. Монахова Н. Г. Сравнение разных методов предобработки осадков сточных вод для интенсификации процесса метанового сбраживания / Н. Г. Монахова, В. Г. Коробцова, М. В. Кеврина // Водоочистка, 2013, № 1. — С. 22–28.
7. Тием А., Ультразвуковая дезинтеграция избыточного активного ила для улучшения анаэробной стабилизации / А. Тием, К. Никель, М. Зеллхорн, У. Нейс // Water Res., 2001, № 35(8). — С. 2003–2009.
8. Данилович Д. А. Влияние предварительной обработки осадков сточных вод на полноту протекания процесса метанового сбраживания / Д. А. Данилович, М. Н. Козлов, М. В. Кеворина, Д. В. Гусев // Вода: технологии, материалы, оборудование, экология, 2009, № 2. — С. 24–26.
9. Савельева Л. Н. Комплексная технология обработки осадков городских сточных вод / Л. Н. Савельева. — Новосибирск, 2004. — 73 с.
10. Ковалев В. В. Теоретические и практические аспекты совершенствования процессов биогазовой технологии / В. В. Ковалев, Д. В. Унгурияну, О. В. Ковалева // Проблемы региональной энергетики, 2012. — №1. — С.102–114.

Стаття надійшла до редакції 23.11.2016