

А.О. Шевченко¹, О.Ю. Мясоєдов², Т.О. Шевченко³¹LPP S.A., Гданськ, Польща²Esmil Process Systems Ltd, Хай-Віком, Велика Британія³Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДИГЕСТАТУ СТІЧНИХ ВОД ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Представлені результати досліджень зневоднення дигестату стічних вод харчової промисловості. Запропоновано технологічну схему, що включає зневоднення анаеробно стабілізованого осаду стічних вод харчової промисловості на мультидисковому дегідраторі та наступна двоступенева очистка отриманого фільтрату на мембранах. Надана схема дозволяє отримати зневоднений осад у вигляді добрива та повернути отриманий пермеат на виробничі потреби.

Ключові слова: дигестат, кондиціонування осаду, коагулянт, флокулянт, зневоднення, мембранна очистка, кек, пермеат.

Постановка проблеми

Одним із сучасних питань у галузі очистки стічних вод є питання поводження з утвореними у процесі очистки осадами. Найбільш поширеним методом очистки стічних вод є біологічний метод, який передбачає внесення в систему активного мулу. Стічні води харчової промисловості характеризуються наявністю значних концентрацій органічних речовин, отже, утворені у процесі очистки таких стічних вод осади також будуть мати значний вміст органічної складової. Тому у цьому випадку рентабельним є процес анаеробного зброджування осадів стічних вод харчової промисловості у метантенках для отримання біогазу. Другим продуктом, отриманим у процесі зброджування, буде стабілізований осад або дигестат. Дигестат – це продукт біоконверсії органічних матеріалів у процесі метанового бродиння, в результаті чого комплексна органічна речовина розпадається до більш простих органічних сполук, мінералізованих речовин, мікробної біомаси та біогазу, що складається переважно з метану (55–70%) та вуглекислого газу (30–45%) [1, 2].

Дигестат за своїм походженням придатний для використання як органічне добриво або покращувач ґрунту. Він містить такі компоненти: азот – 2,3–4,2 кг/т, фосфор – 0,2–1,5 кг/т, калій – 1,3–5,2 кг/т. Ця субстанція близька за хімічним складом до компосту, отже, може застосовуватися як додаткове добриво для підвищення родючості ґрунтів. Фактично будівництво кожної біогазової станції передбачає утворення дигестату. В Україні дигестат на сьогодні утворюється на 18 біогазових установках промислового масштабу, а також на малих біогазових установках. Питомий вихід дигестату сягає орієнтовно 5–10 м³ на кожну вироблену МВт·год. Отже, за

досить наближеними оцінками загальний обсяг утворення сирого дигестату в Україні може становити 1,5–2,0 млн. т на рік [2].

У даній роботі запропонована гібридна технологічна схема для зневоднення дигестату стічних вод харчової промисловості, подальшої очистки отриманого фільтрату після зневоднення з можливістю повернення його у технологічний ланцюг з метою повторного використання.

Формулювання мети статті

Метою даної роботи є розробка гібридного технологічного процесу зневоднення дигестату стічних вод харчової промисловості та подальшої очистки отриманого фільтрату для повторного використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найбільш простим способом використання «сирого» дигестату як органічного добрива чи покращувача ґрунту є його безпосереднє внесення на поля без будь-якої попередньої обробки. Втім, така практика має ряд недоліків та обмежень, а тому не є поширеною.

Біогазові станції, як правило, працюють безперервно протягом року, що обумовлює необхідність накопичення дигестату на періоди між осіннім та весняним внесеннями на поля. Тривале зберігання в негерметичних резервуарах (лагунах) призводить до осідання твердих часток і їх накопичення. Зі збільшенням маси «неперетравлених» органічних речовин при тривалому зберіганні дигестату пропорційно збільшуються викиди парникового газу, метану, в атмосферу (до 5–10% його потенціалу в сировині). Окрім того, враховуючи часто досить високий вміст крупних часток у «сирому» дигестаті, існують технічні обмеження при розподіленні його в ґрунтах,

фактично залишаючи місце лише поверхневому розбризкуванню або розливу. При цьому втрачається значна частина легкодоступного азоту для рослин, а також поширюються на значні площі неприємні запахи. Враховуючи це, попередня обробка «сирого» дигестату в більшості випадків є необхідною [2–4].

Як правило, першим етапом обробки дигестату на більшості біогазових станцій є розділення його на тверду та рідку фракції, переважно в сепараторах шнекового типу. При цьому об'єм рідкої фракції вдається зменшити на 10–20%, залежно від виду вхідної сировини та типу сепаратора. Сепарація призводить до утворення двох продуктів з різною функціональністю (табл. 1) [2, 4]:

- 1) твердої фракції із вмістом сухої речовини 20–40%, збагаченої вуглецем та фосфором;
- 2) рідкої фракції із вмістом сухих речовин 1–8%, збагаченої азотом та калієм.

Таблиця 1

Розподіл основних складових у рідкій та твердій фракціях після сепарації дигестату

Показник	Рідка фракція	Тверда фракція
Маса	80–90%	10–20%
Суха речовина	40–50%	50–60%
Органічні речовини	35–45%	55–65%
Зола	50–60%	40–50%
Загальний азот	65–75%	25–35%
Амонійний азот	70–80%	20–30%
Фосфор	35–45%	55–65%
Калій	70–80%	20–30%
Вуглець	30–40%	60–70%

На практиці існують два основних напрямки обробки дигестату з метою подальшого використання його як добрива, можливості подальшого транспортування отриманого продукту, виокремлення окремих складових, які можуть бути цінними для підвищення родючості ґрунтів [5, 6].

Перший метод – це концентрування. Концентрування може включати наступні методи [7–8]:

- сушіння та гранулювання твердої фракції – призводить до зменшення витрат на транспортування та внесення;
- випаровування рідкої фракції (атмосферне або вакуумне) – призводить до зменшення об'єму рідкої фракції до 50%, що дозволяє зменшити витрати на транспортування та внесення;
- фільтрація рідкої фракції (мікро-, ультра-, нанофільтрація, зворотний осмос) – дозволяє виконати концентрування фільтрату, виготовлення струвіту, призводить до зниження витрат на транспортування та внесення;

- віддувка аміаку повітрям або паром з рідкої фракції – використовується для зниження вмісту азоту у дигестаті при внесенні його в поля, а також для виробництва цінного добрива (сульфату амонію).

Другим напрямком обробки дигестату є виділення окремих сполук наступними методами:

- осадження струвіту ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) з пермеату після фільтрації – може використовуватися як синтетичний аналог добрива;
- адсорбція / гранулювання у рідкій фракції – виробництво гранульованого добрива повільної дії.

Із застосуванням відомих методів обробки із «сирого» дигестату можна отримати не менше 10 різних похідних продуктів, включно з рідкою / твердою фракцією, гранулами, отриманими як з твердої, так і з рідкої фракції, аналогами комерційних синтетичних добрив: сульфат амонію, аміачна вода, магній амоній фосфат (струвіт). Під час виробництва таких продуктів споживається електрична / теплова енергія та в ряді випадків – вода, реагенти, флокулянти та інші допоміжні матеріали. Збагачення / регулювання похідних продуктів додатковими макро- та мікронутрієнтами може відкрити нові можливості для стандартизації таких добрив та сприяти їх подальшій комерціалізації [7–9].

У роботі [9] розглянуто декілька сценаріїв обробки дигестату стічних вод з метою використання його у вигляді добрива на основі аналізу його життєвого циклу. Метою дослідження було зменшення втрат цінних компонентів для добрив, а саме азоту та фосфору. Сценарій 1 розглядає систему, в якій сирий дигестат безпосередньо розподіляється по ґрунту. В сценарії 2 сирий дигестат обробляється центрифугуванням з двома вилученими фазами (рідкою та твердою), які розподіляються по сільськогосподарським угіддям. В сценарії 3 моделюється більш довершена система наступної обробки, в якій сирий дигестат розділяється на фракції центрифугуванням з наступним сушінням твердого дигестату і подальшою обробкою рідкого дигестату за допомогою мембранної фільтрації. Розглянуті сценарії мають різний життєвий цикл, окремі складові щодо цінності отриманих компонентів та екологічну складову.

Обробка дигестату – це сталі рішення, яке здатне вирішити проблему надлишку поживних речовин та керування ними в сільськогосподарських районах. Воно може замінити традиційні процеси видалення азоту (аеробну біологічну очистку) ланцюжком підвищення цінності, що зберігає поживні речовини в замкнутому циклі [10].

Тому пошук нових методів та технологій для обробки дигестату стічних вод харчового виробництва має велике значення з погляду економічної доцільності, технічних можливостей виробництва та отримання товарного продукту, а саме добрив, збагачених цінними біологічно корисними компонентами.

Виклад основного матеріалу

Робота виконана на технічній базі Промислової групи «ESMIL» (Велика Британія) та в рамках науково-дослідних робіт кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова.

У роботі наведені результати пілотних досліджень процесу обробки дигестату стічних вод харчової промисловості.

Мета випробувань полягала в тому, щоб обрати відповідний процес обробки дигестату стічних вод харчового виробництва, щоб вирішити проблему збільшення кількості осаду та утворення дигестату.

Досліджувані процеси обробки дигестату включали:

- хімічне кондиціонування (дозування флокулянтів і коагулянтів);
- механічне зневоднення за багатодисковою технологією (з мультидисковим шнековим зневоднювачем ESMIL MDQ) [11];
- два етапи мембранного розділення (з використанням зворотноосмотичних RO-мембран, вібраційного зсувного процесу (VSEP), цвіттерійонних ZI-мембран).

За об'єкт дослідження було обрано дигестат стічних вод харчового виробництва. Осад попередньо обробили за допомогою шнекового преса для

видалення волокон, соломи або будь-яких грубих твердих частинок, які могли перервати роботи через засмічення труб або насосів. Перед початком досліджень було проведено вимірювання рН та вмісту твердої речовини (табл. 2).

Таблиця 2

Вихідні параметри якості дигестату				
рН	Вміст сухої речовини, %	Загальна кількість розчинених речовин, %	Завислі речовини, %	Примітка
7,72	4,07	3,26	0,810	Висока в'язкість

Метою технологічного рішення є відділення твердої фази від осаду та очищення рідкої фази для досягнення якості води відповідно до санітарних норм скиду. Тверда фаза буде використовуватися як сухе добриво, яке легко зберігати та транспортувати; частина рідкої фази буде повторно використана в процесі очищення, інша частина буде придатна для скидання в каналізацію, водойми або для повторного використання в процесі ферментації чи для інших технологічних / технічних потреб.

Технологічна схема розробленого гібридного процесу обробки дигестату стічних вод харчової промисловості наведена на рис. 1.

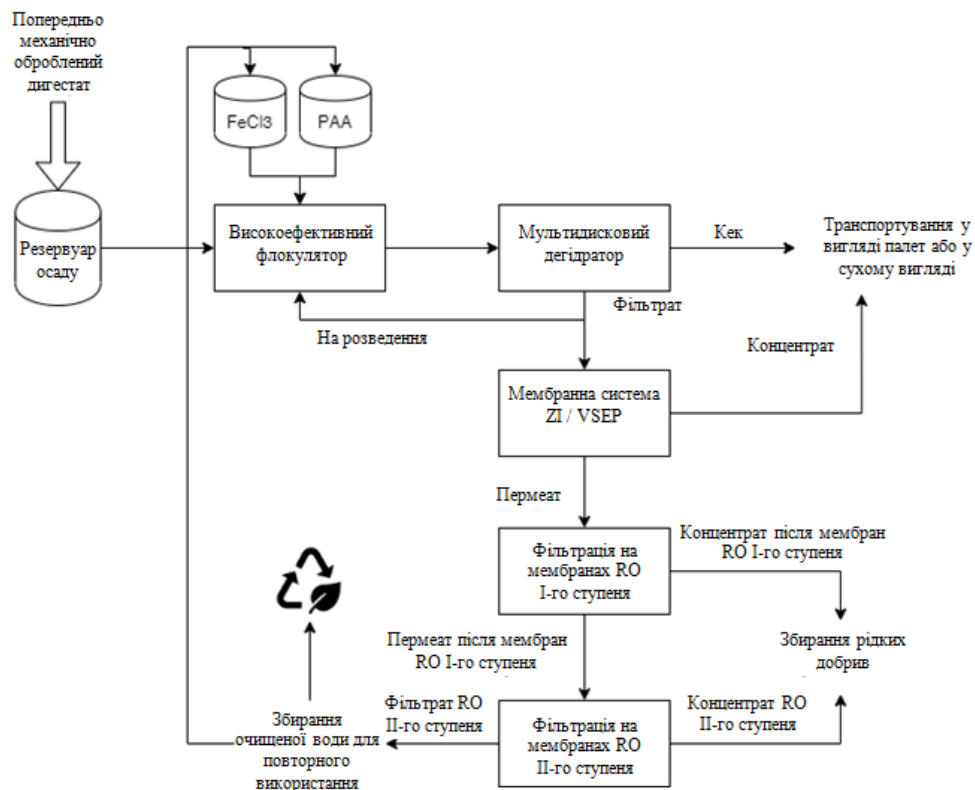


Рис. 1. Технологічна схема розробленого гібридного процесу обробки дигестату стічних вод харчової промисловості

Технологічним процесом передбачено, що попередньо механічно підготовлений анаеробно зброжжений осад (дигестат) стічних вод харчової промисловості подається у високоефективний флокулятор, куди подається розчин коагулянту та флокулянта для інтенсифікації подальшого процесу зневоднення на мультидисковому шнековому зневоднювачі MDQ (виробництво ESMIL). Через високу в'язкість вихідного дигестату у технологічній схемі передбачено його розбавлення перед етапом зневоднення. Розбавлення відбувається очищенням фільтратом після етапу мембранної очистки. Відокремлений кек може бути перероблений у насипному вигляді або у вигляді палет з вмістом сухої речовини 10–35% та використаний у якості добрива. Для видалення грубих твердих часток з осаду перед кондиціонуванням можна застосовувати різні типи грохотів, такі як гвинтові преси, вібраційні грохоти тощо. Як альтернативу можна застосувати багатодисковий прес з роликівим типом, який поєднує процеси просіювання та зневоднення.

Технологія багатодискового зневоднення на сьогодні є найефективнішою з погляду споживання енергії, води та хімікатів, праці та обслуговування, а також ефективності зневоднення. Існує багато успішних випадків використання цієї технології на анаеробних дигестатах. Вона демонструє набагато кращі результати порівняно з центрифужними декантерами щодо експлуатаційних витрат, витрат на технічне обслуговування, робочої сили та надійності процесу. Альтернативи хімічному кондиціонуванню такого складного мулу наразі не знайдено.

Технологія багатодискового зневоднення дозволяє отриманий фільтрат направляти на доочистку на мембранах.

Рідка фракція (фільтрат), віділений у процесі зневоднення, направляється на перший етап мембранного розділення з використанням мембран ZI / VSEP. Мембранна система VSEP – це мембранна система, яка використовує обробку, посилену вібраційним зсувом, яка допомагає збільшити швидкість фільтрації, підтримує чистоту поверхні фільтра та запобігає забрудненню. Все це дозволяє використовувати мембранну систему без необхідності ретельного попереднього очищення, що робить її важливою технологією для очищення складних стоків, таких як дигестати [12]. Запропонована вібраційна мембранна система (VSEP) підходить для обробки потоків з більшою кількістю завислих твердих речовин, ніж звичайні мембранні технології, які часто забиваються.

Цвіттерійні мембрани менш стійкі до забруднення, ніж технологія VSEP, але їх високі гідрофільні властивості дозволяють використовувати їх для помірно забруднених рідин.

Загальне гідравлічне відновлення для обох варіантів мембрани майже однакове. VSEP, як запатентована технологія, впливає на вартість, але є на-

дійним процесом для роботи з високим вмістом твердих речовин у вихідному осаді.

Отриманий концентрат буде перероблятися разом з кеком з етапу зневоднення. Пермеат після першого етапу мембранного очищення направляється на доочистку на двоступеневу зворотноосмотичну установку. Мембранна система зворотного осмосу видаляє з фільтрату більшість розчинних домішок. Мембрана зворотного осмосу (RO) – це спіралью намотаний поліамідний тонкоплівковий композитний елемент. RO-мембрана може видаляти дуже маленькі іони на основі їх іонного заряду. RO-мембрани дуже широко використовуються у водопідготовці. Вони здатні видаляти іони та органічні сполуки [13, 14].

Концентрат з I-го та II-го ступенів зворотноосмотичних мембран може бути використаний у якості добрива, а фільтрат – повертається у технологічний ланцюг для повторного використання. Також фільтрат після двох ступенів зворотноосмотичних мембран може бути використаний для технологічних потреб самого виробництва.

Етап зневоднення дигестату на мультидисковому шнековому зневоднювачі MDQ (виробництво ESMIL) був ефективним, більша частина фільтрату відділялася в гравітаційній зоні дегідратора (табл. 3).

Таблиця 3
Параметри дигестату після зневоднення на мультидисковому гвинтовому пресі MDQ (виробництво ESMIL)

№	Параметр	Значення
1	Вміст завислих речовин у фільтраті	1,50 г/л
2	Вміст сухої речовини у вихідній сировині (дигестаті)	4,07%
3	Вміст сухої речовини в кеці	14,7%
4	Коефіцієнт розведення	1:1
5	Витрата флокулянта	14,9 кг/т сух. реч.
6	Витрата коагулянту	6,8 л або 40% FeCl ₃ /м ³
7	Продуктивність дегідратора MDQ-201	16,1 кг сух. реч./год
8	Гідравлічне навантаження (за вихідним осадом)	0,4 м ³ /год

Результати досліджень щодо якісних параметрів фільтрату після різних етапів очистки відображені в табл. 4.

Згідно з отриманими даними експериментальних досліджень було встановлено, що запропонований гібридний технологічний процес обробки дигестату стічних вод харчової промисловості, що включає хімічне кондиціонування (дозування фло-

кулянтів і коагулянтів), механічне зневоднення на мультидисковому шнековому зневоднювачі ESMIL MDQ та два етапи мембранного розділення, дозволяє досягти ефективності видалення основних забруднень в таких діапазонах: ХПК – 98,43%, амонійний азот – 99,35%, фосфати – 99,99%.

Таблиця 4

Концентрації забруднень у фільтраті після різних етапів очистки

Параметри	Вихідний дигестат	Фільтрат після MDQ	Пермеат після мембран VSEP	Пермеат після мембран RO
ХПК, мг/л	–	7 000	400	110
NH ₃ , мг/л	4 320*	1 270*	189	27,9
PO ₄ , мг/л	2 130	68,9	<0,1	0,03

Примітка: * – хімічний аналіз містить певну похибку, оскільки зниження концентрації в обох стічних водах (твердій і рідкій фракціях) хімічно неможливе

Висновки

Проведені експериментальні дослідження показали високу ефективність хімічного кондиціонування осаду та процесу механічного зневоднення. Прозорість фільтрату була достатньою для використання ультрафільтраційних мембран ZI або VSEP та мембран RO на наступному етапі.

Використання додаткового ступеня доочистки фільтрату на мембранах RO є ефективним та доцільним у разі, якщо потрібна висока якість очищеної води. Процес очистки можна припинити на будь-якій стадії залежно від потреб очищення.

Ефективність змішування осаду з водою (фільтратом), коагулянтном і флокулянтном була важливою для всіх досліджуваних зразків осаду, тому процес вимагає точного вибору флокулянта і коагулянту (та їх концентрацій). Коефіцієнт розведення відіграє важливу роль у ефективності процесу та споживанні хімікатів, і його слід точно регулювати, щоб зменшити експлуатаційні витрати.

Ефективність зневоднення щодо сухості кеку показала гірші результати, ніж очікувалося, але підлягає подальшому дослідженню, якщо цей параметр є важливим. Під час випробувань положення напірної пластини не регулювалося, його зміна положення може значно знизити вологість отриманого кеку.

Дослідження показало, що процес може успішно використовувати фільтрат для розведення дигестату замість прісної води. Мембранний пермеат також можна використовувати для розведення розчинів коагулянту та флокулянта.

Література

1. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води : навч. посіб. / [В. М. Савицький,

В. К. Хільчевський, О. В. Чунар'ов, М. В. Яцюк] ; за ред. В. К. Хільчевського ; Київ. нац. ун-т ім. Т. Шевченка. – Київ: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2007. – 152 с. – Режим доступу: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/06/vidhody_virob.pdf, вільний (дата звернення: 14.11.2023).

2. Що таке дигестат? [Електрон. ресурс] / Форум зі сталого агробізнесу – SAF Україна (Sustainable Agribusiness Forum) : сайт. – Київ, 2017–2023. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <https://saf.org.ua/news/984/>, вільний (дата звернення: 14.11.2023).

3. Conceptual design of an integrated hydrothermal liquefaction and biogas plant for sustainable bioenergy production / J. Hoffmann, S. Rudra, S. S. Toor, J. B. Holm-Nielsen, L. A. Rosendahl // *Bioresource Technology*. – 2013. – Vol. 129. – P. 402–410. – DOI: [10.1016/j.biortech.2012.11.051](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.11.051).

4. Food-waste anaerobic digestate as a fertilizer: The agronomic properties of untreated digestate and biochar-filtered digestate residue / S. Song, J. W. Lim, J. T. E. Lee [et al.] // *Waste Management*. – 2021. – Vol. 136. – P. 143–152. – DOI: [10.1016/j.wasman.2021.10.011](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.10.011).

5. The Effectiveness of Digestate Use for Fertilization in an Agricultural Cropping System / M. O. Doyeni, U. Stulpinaite, A. Baksinskaite, S. Suproniene, V. Tilvikiene // *Plants*. – 2021. – Vol. 10 (8). – Article 1734. – DOI: [10.3390/plants10081734](https://doi.org/10.3390/plants10081734).

6. Sewage Sludge Management and Application in the Form of Sustainable Fertilizer / G. Sugurbekova, E. Nagyzbekkyzy, A. Sarsenova [et al.] // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15 (7). – Article 6112. – DOI: [10.3390/su15076112](https://doi.org/10.3390/su15076112).

7. Analysis of Mechanical Dewatering of Digestate / K. Mudryk, J. Frączek, M. Jewiarz, M. Wróbel, K. Dziejdzic // *Agricultural Engineering*. – 2016. – Vol. 20, Issue 4. – P. 157–166. – DOI: [10.1515/agriceng-2016-0073](https://doi.org/10.1515/agriceng-2016-0073).

8. Świątczak P. Treatment of the liquid phase of digestate from a biogas plant for water reuse / P. Świątczak, A. Cydzik-Kwiatkowska, M. Zielińska // *Bioresource Technology*. – 2019. – Vol. 276. – P. 226–235. DOI: [10.1016/j.biortech.2018.12.077](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.077).

9. Life cycle assessment of digestate post-treatment and utilization / E. Angouria-Tsorochidou, M. Seghetta, A. Trémier, M. Thomsen // *Science of The Total Environment*. – 2022. – Vol. 815. – Article 152764. – DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.152764](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152764).

10. Anaerobic digestate management, environmental impacts, and techno-economic challenges / B. Lamolinara, A. Pérez-Martínez, E. Guardado-Yordi [et al.] // *Waste Management*. – 2022. – Vol. 140. – P. 14–30. – DOI: [10.1016/j.wasman.2021.12.035](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.035).

11. Мультидисковий шнековий зневоднювач MDQ/MDC [Електрон. ресурс] / Група Esmil : сайт. – Харків, 2023. – Оновлюється постійно. – Режим доступу: <https://ua.esmil.eu/product/multi-disc-screw-press/>, вільний (дата звернення: 14.11.2023).

12. Application of Vibrating Reverse Osmosis Technology for Nutrient Recovery from Pig Slurry in a Circular Economy Model / E. Vega, L. Paredes, E. A. N. Marks [et al.] // *Membranes*. – 2022. – Vol. 12 (9). – Article 848. – DOI: [10.3390/membranes12090848](https://doi.org/10.3390/membranes12090848).

13. Simonič M. Reverse Osmosis Treatment of Wastewater for Reuse as Process Water—A Case Study / M. Simonič // *Membranes*. – 2021. – Vol. 11 (12). – Article 976. – DOI: [10.3390/membranes11120976](https://doi.org/10.3390/membranes11120976).

14. Extending the life of water reuse reverse osmosis membranes using chlorination / B. M. Souza-Chaves, M. A. Alhussainiet, V. Felix [et al.] // *Journal of Membrane Science*. – 2022. – Vol. 642. – Article 119897. – DOI: [10.1016/j.memsci.2021.119897](https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119897).

Reference

1. Savytskyi, V. M., Khilchevskiy, V. K., Chunarov, O. V., & Yatsiuk, M. V. (2007). *Production and consumption wastes and their impact on soils and natural waters: study guide*

- (V. K. Khilchevskiy, Ed.). Publishing and Polygraphic Centre 'Kyiv University'. Retrieved from: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/06/vidhody_virob.pdf [in Ukrainian]
2. Kucheruk, P. (2020, April 16). *What is digestate?* SAF Ukraine (Sustainable Agribusiness Forum). Retrieved from: <https://saf.org.ua/en/news/984/>
3. Hoffmann, J., Rudra, S., Toor, S. S., Holm-Nielsen, J. B., & Rosendahl, L. A. (2013). Conceptual design of an integrated hydrothermal liquefaction and biogas plant for sustainable bioenergy production. *Bioresour. Technol.*, 129, 402–410. DOI: [10.1016/j.biortech.2012.11.051](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.11.051)
4. Song, S., Lim, J. W., & Lee, J. T. E. et al. (2021). Food-waste anaerobic digestate as a fertilizer: The agronomic properties of untreated digestate and biochar-filtered digestate residue. *Waste Management*, 136, 143–152. DOI: [10.1016/j.wasman.2021.10.011](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.10.011)
5. Doyeni, M. O., Stulpinaite, U., Baksinskaite, A., Suproniene, S., & Tilvikienė, V. (2021). The Effectiveness of Digestate Use for Fertilization in an Agricultural Cropping System. *Plants*, 10(8), 1734. DOI: [10.3390/plants10081734](https://doi.org/10.3390/plants10081734)
6. Sugurbekova, G., Nagyzbekzyzy, E., & Sarsenova, A. et al. (2023). Sewage Sludge Management and Application in the Form of Sustainable Fertilizer. *Sustainability*, 15(7), 6112. DOI: [10.3390/su15076112](https://doi.org/10.3390/su15076112)
7. Mudryk, K., Frączek, J., Jewiarz, M., Wróbel, M., & Dziedzic, K. (2016). Analysis of Mechanical Dewatering of Digestate. *Agricultural Engineering*, 20(4), 157–166. DOI: [10.1515/agriceng-2016-0073](https://doi.org/10.1515/agriceng-2016-0073)
8. Świąteczak, P., Cydzik-Kwiatkowska, A., & Zielińska, M. (2019). Treatment of the liquid phase of digestate from a biogas plant for water reuse. *Bioresour. Technol.*, 276, 226–235. DOI: [10.1016/j.biortech.2018.12.077](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.077)
9. Angouria-Tsorochidou, E., Seghetta, M., Trémier, A., & Thomsen, M. (2022). Life cycle assessment of digestate post-treatment and utilization. *Science of The Total Environment*, 815, 152764. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2021.152764](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152764)
10. Lamolinara, B., Pérez-Martínez, A., & Guardado-Yordi, E. et al. (2022). Anaerobic digestate management, environmental impacts, and techno-economic challenges. *Waste Management*, 140, 14–30. DOI: [10.1016/j.wasman.2021.12.035](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.035)
11. Esmil Group. (2023). *MDQ/MDC Multi-Disc Screw Press*. Retrieved from: <https://esmil.eu/product/multi-disc-screw-press/>
12. Vega, E., Paredes, L., & Marks, E. A. N. et al. (2022). Application of Vibrating Reverse Osmosis Technology for Nutrient Recovery from Pig Slurry in a Circular Economy Model. *Membranes*, 12(9), 848. DOI: [10.3390/membranes12090848](https://doi.org/10.3390/membranes12090848)
13. Simonič, M. (2021). Reverse Osmosis Treatment of Wastewater for Reuse as Process Water—A Case Study. *Membranes*, 11(12), 976. DOI: [10.3390/membranes11120976](https://doi.org/10.3390/membranes11120976)
14. Souza-Chaves, B. M., Alhussainiet, M. A., & Felix, V. et al. (2022). Extending the life of water reuse reverse osmosis membranes using chlorination. *Journal of Membrane Science*, 642, 119897. DOI: [10.1016/j.memsci.2021.119897](https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119897)

Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.С. Карагяур, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: ШЕВЧЕНКО Андрій Олександрович
кандидат технічних наук, керівник проекту
LPP S.A.
E-mail – andrii.a.shevchenko@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9576-282X>

Автор: МЯСОЄДОВ Олексій Юрійович
магістр наук з хімії, інженер-технолог
Esmil Process Systems Ltd
E-mail – miaso.keo@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6630-0952>

Автор: ШЕВЧЕНКО Тамара Олександрівна
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
Харківський національний університет міського
господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – tamara.shevchenko@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4513-6759>

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR TREATMENT OF WASTEWATER DIGESTAT FROM THE FOOD INDUSTRY

A. Shevchenko¹, O. Miasoiedov², T. Shevchenko³

¹LPP S.A., Gdansk, Poland

²Esmil Process Systems Ltd., High Wycombe, England, UK

³O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

This article proposes a hybrid technological scheme for dewatering the digestate of wastewater from the food industry, further cleaning the obtained filtrate after dehydration with the possibility of returning it to the technological chain for reuse. At least ten different derivative products can be obtained from digestate, including liquid/solid fraction, granules obtained from both solid and liquid fractions, and analogues of commercial synthetic fertilisers: ammonium sulphate, ammonia water, magnesium ammonium phosphate (struvite).

The purpose of the experimental studies was to choose an appropriate process for treating digestate of food production wastewater to solve the problem of increasing the amount of sediment and the formation of digestate. The investigated digestate treatment processes include the next: chemical conditioning (dosing of flocculants and coagulants), mechanical dewatering using multi-disc technology (with ESMIL MDQ multi-disc screw press), two stages of membrane separation (using reverse osmosis (RO) membranes, vibrating shear process (VSEP), zwitterionic (ZI) membrane).

The cake separated after the dehydration stage can be processed in bulk or pallets with 10–35% dry matter content and used as fertiliser. Due to the high viscosity of the initial digestate, the technological scheme provides for its dilution before the dehydration stage. Dilution occurs with the purified filtrate after the membrane purification stage. The effectiveness of dehydration on cake dryness showed worse results than expected but deserves further investigation if this parameter is significant. Using an additional stage of filtrate purification on RO membranes is efficient and appropriate if high-quality purified water is required. The cleaning process can be stopped at any stage, depending on the cleaning needs.

The obtained results regarding the efficiency of the cleaning process after RO membranes showed the following values for the main pollutants: COD – 98.43%, ammonium nitrogen – 99.35%, and phosphates – 99.99%.

Keywords: digestate, sludge conditioning, coagulant, flocculent, dehydration, membrane purification, cake, permeate.