

**Шевченко Т.О.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

**Шевченко А.О.**

PRODEKO-ELK Sp. z o.o.

**Златковський О.А.**

PRODEKO-ELK Sp. z o.o.

## **ЗНЕВОДНЕННЯ АНАЕРОБНО СТАБІЛІЗОВАНОГО ОСАДУ КОМУНАЛЬНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД НА КАМЕРНО-МЕМБРАННОМУ ФІЛЬТР-ПРЕСІ: ПАРАМЕТРИ І ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ**

*У статті досліджено ефективність зневоднення анаеробно стабілізованої суміші сирого осаду та надлишкового активного мулу з комунальних очисних споруд на камерно-мембранному фільтр-пресі. Сучасні підходи до обробки та утилізації осадів побутових стічних вод вимагають реалізації енергетичного потенціалу цих осадів, тому вони потребують ефективного зневоднення для проведення подальшої термічної обробки. Ефективність зневоднення осадів може підвищити їх реагентне кондиціонування. У роботі наведено порівняння результатів дослідження зневоднення суміші осадів комунальних стічних вод з використанням для кондиціонування трьох таких типів реагентів: хлориду заліза, вапна, флокулянту. Дози реагентів були визначені експериментальним шляхом та визнані такими, за яких ефективність зневоднення на камерно-мембранному фільтр-пресі у разі використання різних типів реагентів для кондиціонування осаду була приблизно однаковою. Експеримент був проведений для продуктивності фільтр-пресу 140 л/м<sup>2</sup> за годину. Під час використання хлориду заліза для кондиціонування була вивчена ефективність зневоднення для продуктивності 100 л/м<sup>2</sup> за годину. З трьох досліджуваних типів реагентів при забезпеченні вологості вихідного кеку 74–75% у режимі роботи камерного фільтр-пресу найменша доза була встановлена при використанні флокулянта SNF 4800 – 0,7 т/кг сухої речовини осаду. Схожа ситуація була під час роботи у режимі камерно-мембранного фільтр-пресу, проте вологість кеку була меншою та складала 71–73%. Тобто ефективність роботи у режимі роботи камерно-мембранного фільтр-пресу була більшою. У ході роботи фільтр-пресу з різною продуктивністю – 100 та 140 л/м<sup>2</sup> за годину – з використанням реагенту хлориду заліза було встановлено, що збільшується оптимальна доза реагенту на 41,4%, а ефективність зневоднення становить 77–78% у режимі роботи камерного фільтр-пресу та 75–76% у режимі роботи камерно-мембранного фільтр-пресу.*

**Ключові слова:** камерно-мембранний фільтр-прес, кондиціонування, зневоднення, коагулянт, флокулянт, вапно.

**Постановка проблеми.** Утворення господарсько-побутових і виробничих стічних вод на території населених пунктів є одним з найбільш значущих чинників негативного впливу на стан навколишнього середовища. Повна біологічна очистка міських стічних вод супроводжується утворенням значних об'ємів осадів. Після зброджування або механічного зневоднення осади здебільшого складаються на спеціальних мулових майданчиках. Подібна утилізація осаду призводить не тільки до значних витрат земельних ресурсів, а й до збільшення забруднення ґрунтів і підземних вод токсичними компонентами, що входять до складу осадів.

Раціональна система водовідведення і очищення промислових, поверхневих і господарсько-побутових стічних вод є необхідним елементом життєзабезпечення кожного сучасного міста. Наявні в різних країнах технологічні схеми очищення стоків мають аналогічну структуру, однак способи утилізації відходів, що утворюються в процесі водоочищення, вельми різноманітні. Одним з факторів, що визначають спосіб утилізації відходів очисних споруд, є їх склад.

Для реалізації будь-яких методів переробки осадів стічних вод слід виконати зневоднення через високу вологість цих відходів. Зневоднення проводять в декілька етапів. Спочатку здійсню-

ють механічне зневоднення, використовуючи для цього вакуум-фільтри, центрифуги, фільтр-преси та інші пристрої. Після механічного зневоднення буде раціональним проведення термічної сушки осаду. Вона дозволяє не тільки зменшити обсяг осаду, а й здійснити його знезараження. Термічна сушка широко застосовується в таких європейських країнах, як Данія, Німеччина, Фінляндія [1, с. 16].

Одним з напрямів обробки осаду міських стічних вод є використання енергетичного потенціалу осаду стічних вод. Відомими способами реалізації енергетичного потенціалу осадів стічних вод є спалювання і піроліз. Перевагами цих термічних методів утилізації осадів стічних вод є значне зниження обсягу і маси утилізованого відходу і мінімізація його негативного впливу на навколишнє середовище [2, с. 37].

Методи термічної обробки пропонують вирішення проблем захоронення осадів та вилучення їх енергетичного потенціалу, тому що енергія може бути залучена і використана, деякі небезпечні матеріали можуть бути знищені або видалені, а цінні поживні речовини, такі як фосфор, можуть бути використані в вироблених продуктах або виокремлені з цих продуктів. При вивченні економічних характеристик трьох методів термічної обробки – спалювання, газифікації та піролізу – застосовувався порівняльний аналіз на основі запропонованого набору критеріїв. До цього набору входить вартість, енергоефективність, вилучення поживних речовин, ринкова вартість продукту і гнучкість. Було встановлено, що спалювання осаду стічних вод дає найкращі результати з погляду витрат на обробку, енергоефективності, вилучення поживних речовин і гнучкості щодо вмісту сухої речовини в сировині. Піроліз працює краще за все з погляду ринкової вартості продуктів, що генеруються, і гнучкості щодо розміру установки [3, с. 3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ефективне протікання процесу зневоднення осадів стічних вод зумовлює перебіг подальшої термічної обробки. Саме тому аналіз та обрання найбільш ефективного методу зневоднення є актуальним питанням.

Для попередньої підготовки осадів перед зневодненням або утилізацією та для зниження питомого опору й поліпшення властивостей вологовіддачі осадів внаслідок зміни їх фізико-хімічної структури й форм, застосовують кондиціонування. Кондиціонування осадів проводять реагентними й безреагентними методами. У пер-

шому випадку відбувається коагуляція колоїдних часток, що призводить до розриву сольвентних оболонки і зміни форм зв'язку води. Це сприяє зміні структури осаду й поліпшенню його властивостей вологовіддачі. Як коагулянти використовують розчини солей заліза, алюмінію, вапна.

Автори роботи [4, с. 1] вивчали використання різних типів реагентів для кондиціонування надлишкового мулу з очисних споруд стічних вод та досліджували процес зневоднення. Результати експериментів показали, що хлорид заліза ( $\text{FeCl}_3$ ) може утворювати дрібні і концентровані частинки мулу. Крім того, були отримані нові мінеральні фази для побудови зневодненого каркасу з додаванням вапна, а здатність до згортання була підвищена утворенням колоїдного гідроксильного полімеру, який був індукований завдяки лужному середовищу.

Крім того, розмір частинок флокул значно збільшувався після дозування катіонного полімеру (флокулянту). Зв'язана вода могла видалятися за допомогою вилучення щільно пов'язаної позаклітинної полімерної речовини. Отже, продуктивність та ефективність зневоднення поліпшилися. Однак наявність високоміцних органічних речовин у фільтратах осаду, що спричинена додаванням вапна, може призвести до нестабільної експлуатації очисних споруд, оскільки відносно високі концентрації органічних сполук з бензолом були домінуючими у фільтратах осаду, що зневоднювався.

Параметри, що характеризують процес зневоднення шлама стічних вод на малих очисних спорудах, було проаналізовано у роботі [5, с. 99]. Для аналізу було відібрано дві комунальні очисні споруди, що подібні за потужністю та технологією очищення стічних вод. Було зроблено порівняння ефективності зневоднення непідготовленого та кондиціонованого мулу. Як реагент був використаний катіонний поліелектроліт. Зневоднення мулу відбувалося на вакуум-фільтрі та шляхом гравітаційного згущення. За оптимальних доз обраного поліелектроліту було встановлено, що випробуваний мул мав незначне зменшення об'єму після обробки, адже кінцевий обсяг непідготовлених зразків після 2-годинного згущення зменшився на 3%. Проте найменше значення кінцевої вологості кондиціонованого мулу становило 64,0%.

У дослідженні [6, с. 2468] з метою кондиціонування та зневоднення анаеробно стабілізованого активованого мулу був внесений шлам глинозему для вивчення ролі сульфату алюмінію у покращенні зневоднення змішаного мулу, а також

у іммобілізації фосфору у відокремленій надмуловій воді. Експерименти продемонстрували, що оптимальне співвідношення суміші для двох осадів становить 2:1 (анаеробний мул : осад глинозему). Це може призвести до зниження концентрації фосфору на 99% у відокремленій надмуловій воді через адсорбцію фосфору алюмінієм у мул. Навантаження за фосфором на очисних спорудах збільшувалося через повернення надмулових вод у процес очищення стічних вод. Отже, такий спосіб кондиціонування та зневоднення може забезпечити значне зниження навантаження за фосфором на очисні споруди. Крім того, використання осаду глинозему сприятливо впливає на підвищення зневоднення змішаного мулу. Було встановлено, що оптимальна доза полімеру (Superglo C2260) для анаеробно стабілізованого мулу становила 120 мг/л, тоді як оптимальна доза для змішаного мулу (співвідношення 2:1) становила 15 мг/л, що підкреслює величезну економію полімеру (флокулянту). Однак для повномасштабного застосування вказаного методу кондиціонування слід враховувати комплексний і економічно ефективний аналіз технологічних можливостей, транспортування мулу, розширення утилізації кеку, а також потенціал додаткового введення й економії полімерів тощо.

З огляду на сказане можна дійти висновку про актуальність вивчення питання кондиціонування осадів комунальних стічних вод із застосуванням різних типів реагентів, визначення та порівняння їх ефективних доз. Також важливим питанням є визначення ефективності роботи обраного типу обладнання, яке буде застосовуватися для зневоднення вказаних осадів.

**Постановка завдання.** Метою виконання роботи було дослідження методів реагентного кондиціонування осадів комунальних стічних вод та визначення ефективності роботи камерно-мембранного фільтр-пресу під час зневоднення вказаного типу осадів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Дослідження реагентних методів кондиціонування осадів комунальних стічних вод та їх подальше зневоднення проводилося на комунальних очисних спорудах каналізації на пілотній установці, технологічна схема якої наведена на рисунку 1. Тип осаду, який досліджувався, – анаеробно стабілізована суміш сирого осаду та надлишкового активного мулу.

Технологічна схема пілотної установки включала подачу суміші осадів з ємності вихідного осаду до змішувача. Для інтенсифікації процесу кондиціонування суміші осадів у змішувач вводи-

лися різні реагенти (хлорид заліза, вапно, флокулянт SNF 4800). Далі осад направлявся на зневоднення на камерно-мембранному фільтр-пресі.

Останнім часом все більшого розповсюдження для зневоднення осадів стічних вод набули камерно-мембранні фільтр-преси [7, с. 19].

Камерно-мембранний фільтр-прес – це серія вертикальних плит, що мають канали і покриті тканиною для підтримки кеку. Плити змонтовані в корпусі, верхні опори якого з'єднані двома важкими горизонтальними і паралельними брусами або рейками. Конструктивно фільтр-преси поділяються на преси з верхньою підвіскою плит і з бічною підвіскою плит.

Кондиціонований осад подається на фільтр-прес насосами за зростаючого тиску. Тиск наповнення – 8 атм. Тиск дожиму – до 15 атм. Час подачі осаду і утворення шару кеку – 40–30 хв. Час дожиму – 15–20 хв. Час вивантаження – 15 хв. Загальна тривалість фільтроциклу – до 90 хв. За вологості вихідного осаду від 94% до 97% вологість кеку становить 68–70%.

Конструкція щільного камерно-мембранного фільтр-пресу дозволяє експлуатувати його в таких режимах: робота тільки камерного фільтр-пресу, робота камерно-мембранного фільтр-пресу. У ході дослідження проведено порівняння роботи щільної установки камерно-мембранного фільтр-пресу в двох вищевказаних режимах роботи.

Було проведено декілька серій дослідів: 1 серія – з введенням хлориду заліза ( $\text{FeCl}_3$ ); 2 серія – з введенням вапна; 3 серія – з введенням флокулянту SNF 4800. Вихідна суміш осаду мала вологість 96–97%, дози коагулянтів коливались в різних діапазонах, що наведені в таблиці 1. Дози розраховувались на тонну сухої речовини осаду. Було виконано порівняння ефективності зневоднення осаду у разі використання камерного фільтр-пресу та камерно-мембранного фільтр-пресу.

Після зневоднення суміші осадів визначалася вологість кеку за допомогою лабораторного вологометра.

У таблиці 1 наведені результати пілотних випробувань зі зневоднення суміші осадів на камерному або камерно-мембранному фільтр-пресах з кондиціонуванням осаду різними типами реагентів.

Дози реагентів були визначені експериментально та визнані такими, за яких ефективність зневоднення на камерно-мембранному фільтр-пресі у разі використання різних типів реагентів для кондиціонування осаду була приблизно однаковою.

Експеримент був проведений для продуктивності фільтр-пресу 140 л/м<sup>2</sup> за годину. При використанні хлориду заліза для кондиціонування також була вивчена ефективність зневоднення для продуктивності 100 л/м<sup>2</sup> за годину.

Отриманий кек мав вологість в межах 71–78%, щільну структуру, його можна було транспортувати для подальшої обробки та утилізації. Утилізація зневодненої суміші можлива шляхом спалювання. Горіння осаду можливе завдяки вмісту органічних часток в активному мулі та сирому

осаді. Отримана під час спалювання зола в подальшому може бути використана як наповнювач для виробництва будівельних матеріалів, як основа для дорожнього покриття або паливо для ТЕЦ.

**Висновки.** Після аналізу отриманих даних можна дійти певних висновків.

1. З трьох досліджуваних типів реагентів при забезпеченні вологості вихідного кеку 74–75% у режимі роботи камерного фільтр-пресу найменша доза була встановлена під час використання флокулянта SNF 4800 – 0,7 т/кг сухої речовини осаду.

Таблиця 1

Результати пілотних випробувань зі зневоднення суміші осадів на камерно-мембранному фільтр-пресі

Параметр	Од. вим.	Режим роботи фільтр-пресу			
		Камерний	Камерно-мембранний	Камерний	Камерно-мембранний
Вологість вихідного осаду	%	96–97	96–97	96–97	96–97
Продуктивність фільтрування	л/м <sup>2</sup> за год.	140	140	100	100
Доза коагулянту (FeCl <sub>3</sub> )	кг/т. с.р.	133	133	188	188
Доза вапна (CaO)	кг/т. с.р.	311	311	–	–
Доза флокулянту (SNF 4800)	кг/т. с.р.	0,7	0,7	–	–
Вологість зневодненого осаду	%	74–75	71–73	77–78	75–76

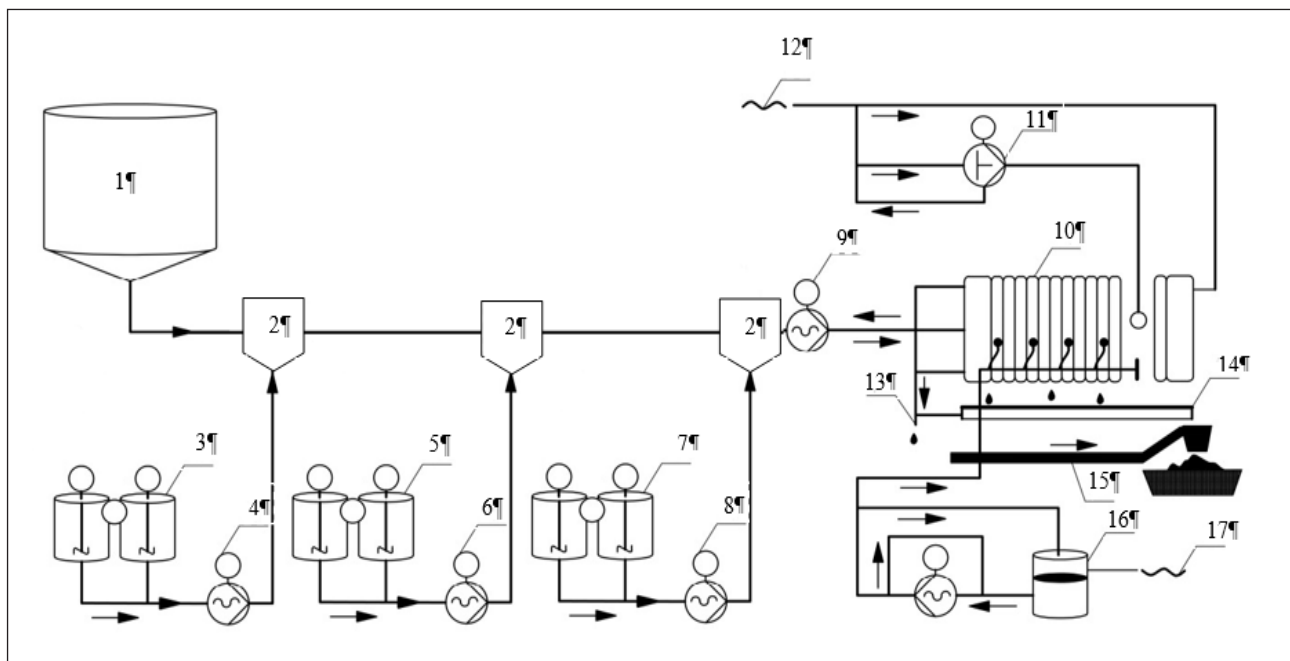


Рис. 1. Технологічна схема пілотної установки зневоднення суміші осадів:

- 1 – ємність вихідного осаду; 2 – змішувач; 3 – система приготування розчину коагулянту;
- 4 – насос дозування коагулянту; 5 – система приготування розчину вапна; 6 – насос дозування вапна;
- 7 – система приготування розчину флокулянту; 8 – насос дозування флокулянту; 9 – насос подачі осаду на камерно-мембранний фільтр-прес; 10 – камерно-мембранний фільтр-прес; 11 – система промивання фільтрувального полотна; 12 – подача води питної якості; 13 – відведення фільтрату; 14 – система відведення крапельних витоків і води від промивання тканини; 15 – система відведення зневодненого осаду;
- 16 – система дожиму мембран; 17 – подача технічної води



2. Схожа ситуація була при роботі у режимі камерно-мембранного фільтр-пресу, проте вологість кеку була меншою та становила 71–73%. Тобто ефективність роботи у режимі роботи камерно-мембранного фільтр-пресу більша.

3. У разі роботи фільтр-пресу з різною продуктивністю 100 та 140 л/м<sup>2</sup> за годину з використанням реагенту хлориду заліза було встановлено, що збіль-

шується оптимальна доза реагенту на 41,4%, а ефективність зневоднення становить 77–78 % у режимі роботи камерного фільтр-пресу та 75–76% у режимі роботи камерно-мембранного фільтр-пресу.

4. Результати проведення експерименту свідчать про те, що робота пілотної установки в режимі камерно-мембранного фільтр-пресу є більш ефективною.

#### Список літератури:

1. Валетов Д.С., Кашенко О.В. Анализ методов утилизации осадков городских сточных вод. *Academy*, 2018. С. 16–20.
2. Poós T. et al. Thermal Dewatering of Waste Sludge in Agitated Drum Dryer. *Acta Polytechnica Hungarica*. Vol. 11, No. 3. 2014. P. 37–50.
3. Tsybina A., Wuensch C. Analysis of Sewage Sludge Thermal Treatment Methods in the Context of Circular Economy. *DETRITUS*. Vol. 02. 2018. P. 3–15.
4. Wang S., Ma C., Zhu Y. et al. Deep Dewatering Process of Sludge by Chemical Conditioning and its Potential Influence on Wastewater Treatment Plants. *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. P. 1–9.
5. Wolny L. Dewatering of Conditioned Sludge in Small Wastewater Treatment Plants. *Environment Protection Engineering*. Vol. 41, No. 2. 2015. P. 99–105.
6. Yang Y. et al. Co-Conditioning of the Anaerobic Digested Sludge of a Municipal Wastewater Treatment Plant With Alum Sludge : Benefit of Phosphorus Reduction in Reject Water. *Water Environment Research*. 2007. № 79 (13). P. 2468–2476.
7. Zlatkovskiy O., Shevchenko A., Shevchenko T. Use of Fly Ash for Conditioning the Excess Activated Sludge During Deliquescence at Chamber-Membrane Filter Presses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3/10 (99) 2019. P. 17–23.

#### **Shevchenko T.O., Shevchenko A.O., Zlatkovskiy O.A. ELABORATION OF ANAEROBICALLY STABILIZED SLUDGES OF COMMUNAL CLEANING PLANTS ON THE CHAMBER-MEMBRANE FILTER PRESS: PARAMETERS AND EFFICIENCY OF WORK**

*The efficiency of dehydration of anaerobically stabilized mixture of crude sediment and excess active sludge from municipal treatment plants on a chamber-membrane filter press is investigated in the article. Modern approaches to the treatment and disposal of domestic sewage sludge require the realization of the energy potential of this sewage sludge, so they require efficient dehydration for further heat treatment. The efficiency of sludge dewatering can increase their reagent conditioning. The paper compares the results of a study of dewatering a mixture of municipal sewage sludge with the use of three types of reagents for conditioning: iron chloride, lime and flocculant. Doses of reagents were determined experimentally and were designed for which the efficiency of dehydration on the chamber membrane filter press when using different types of reagents for sediment conditioning was approximately the same. The experiment was conducted for a filter press capacity of 140 l/m<sup>2</sup> per hour, while the use of iron chloride for conditioning also examined the efficiency of dehydration for productivity of 100 l/m<sup>2</sup> per hour. Of the three reagent types tested, while providing a source cake humidity of 74–75% in the chamber filter press mode, the lowest dose was set using a flocculant (SNF 4800) – 0.7 t/kg of sediment dry matter. The situation was similar when operating in the chamber-membrane filter press, but the humidity of the cake was lower and was 71–73%. That is, the efficiency in the mode of operation of the chamber-membrane filter press is greater. In the case of a filter press with varying productivity of 100 and 140 l / m<sup>2</sup> per hour using an iron chloride reagent, it was found that the optimal reagent dose increased by 41.4%, and the dehydration efficiency was 77–78% in the chamber filter mode, press and 75–76% in the chamber-membrane filter press mode.*

**Key words:** chamber membrane filter press, conditioning, dehydration, coagulant, flocculant, lime.