

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОНДИЦІОНУВАННЯ ОСАДУ МЕТОДОМ ПОСИЛЕНОГО ОКИСЛЕННЯ (АОР) ПРИ ЗНЕВОДНЕННІ НАДЛИШКОВОГО АКТИВНОГО МУЛУ

Андрій Шевченко¹, Олег Златковський², Тамара Шевченко³

¹ LPP S.A., 39/44, вул. Łąkowa, Гданьск, 80-769, Республіка Польща

² PRODEKO-ELK Sp. z o.o., 9, вул. Стрефова, Елк, Республіка Польща, 19-300

³ Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
17, вулиця Маршала Бажанова, Харків, 61002, Україна

¹ канд. техн. наук, andrii.a.shevchenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9576-282X

² канд. техн. наук, інженер-технолог, zlatkovsky@ekoton.com, orcid.org/0000-0002-2350-5955

³ канд. техн. наук, доцент, tamara.shevchenko@kname.edu.ua, orcid.org/0000-0002-4513-6759

DOI: 10.32347/2524-0021.2020.34.44-54

Анотація. Питання утилізації осаду являється комплексною задачею, до рішення якої необхідно підходити, враховуючи не тільки економічні показники, а й локальні умови, такі як: наявність існуючої інфраструктури очисних споруд водовідведення, доступність енергоносіїв, кліматичні умови тощо. На теперішній час все більше муніципальних підприємств європейських країн споруджують комплекси з спалювання осадів. Підготовка осаду до спалювання займає значну частину бюджету через те, що його вологість та калорійність мають найбільший вплив як на параметри самого блока спалювання осаду, так і на його енергетичний баланс. Камерно-мембранні фільтр-преси – це один з небагатьох типів обладнання, яке дозволяє забезпечити максимальне зниження вологості осаду, а можливість його доукомплектування системами термічної обробки в одному закритому корпусі роблять його ще більш привабливим рішенням для малих і середніх очисних споруд з очищення стічних вод. Велику зацікавленість на сучасному етапі розвитку технологій очищення стічних вод та утилізації осадів має технологія посиленого окислення АОР, яка дозволяє видаляти біологічно стійкі органічні забруднювачі та призводить до інактивації патогенних мікроорганізмів. Метою даного етапу роботи була оцінка можливості застосування технології посиленого окислення АОР для кондиціонування осадів комунальних очисних споруд перед їх механічним зневодненням та визначення технологічних параметрів процесу фільтрування осаду. Проведені дослідження включали в себе лабораторні та промислові випробування. На основі проведених досліджень було встановлено, що технологія АОР може застосовуватися для скорочення витрат реагентів (залізовмісних, вапна) при кондиціонуванні осадів комунальних очисних споруд у разі фільтрування на камерно-мембранному фільтр-пресі. Найбільш економічне та технологічно оптимальне співвідношення Fe/Ca/H₂O₂ дорівнює 2/5/1 при дозуванні перекису водню H₂O₂ на рівні 1 г/л. При запропонованих дозуваннях реагентів можливе отримання фільтраційного осаду із залишковою вологістю на рівні 64–65% в порівнянні з 72–73% при використанні тільки заліза і вапна (початковий вміст сухої речовини в осаді на рівні 3%).

Ключові слова: технологія посиленого окислення (АОР), кондиціонування осаду, камерно-мембранний фільтр-прес, надлишковий активний мул, вапно, сульфат заліза, перекис водню.

ВСТУП

Питання утилізації осаду являється комплексною задачею, до рішення якої необхідно підходити, враховуючи не тільки економічні показники, а й локальні умови, такі як: наявність існуючої інфраструктури очисних споруд водовідведення, доступність енергоносіїв, кліматичні умови тощо [1–2].

На теперішній час все більше муніципальних підприємств європейських країн споруджують комплекси з спалювання осадів [3–4]. Цей метод, який ще до недавнього часу вважався нераціональним, став нормою, не дивлячись на достатньо високі інвестиційні та експлуатаційні витрати.

Підготовка осаду до спалювання займає значну частину бюджету через те, що його вологість та калорійність мають найбільший вплив як на параметри самого блока спалювання осаду, так і на його енергетичний баланс [5–7].

Камерно-мембранні фільтр-преси – це один з небагатьох типів обладнання, яке дозволяє забезпечити максимальне зниження вологості осаду, а можливість його доукомплектування системами термічної обробки в одному закритому корпусі роблять його ще більш привабливим рішенням для малих і середніх очисних споруд з очищення стічних вод [8, 9].

Зворотною стороною застосування камерно-мембранних фільтр-пресів є значна витрата реагентів і більш висока у порівнянні з традиційними типами обладнання вартість самого пресу. Ключом до рішення вищевказаних недоліків може бути удосконалення методів кондиціонування осаду, що дає можливість не тільки знизити дози реагентів і збільшити продуктивність фільтр-пресу.

Велику зацікавленість на сучасному етапі розвитку технологій очищення стічних вод та утилізації осадів має технологія посиленого окислення *AOP* (з англійської *Advanced Oxidation Process*) [10–14].

Посилені процеси окислення *AOP* є висококонкурентною технологією у очищенні стічних вод при видаленні біологічно стійких органічних забруднювачів (ХСК) та для інактивації патогенних мікроорганізмів, які не можливо видалити звичайними методами.

Під час очищення стічних вод методом *AOP* застосовують такі типи окиснювачів, як озон, перекис водню, діоксид титану тощо. У разі застосування озону чи перекису водню H_2O_2 гідроксильні радикали (OH^\cdot) утворюються в достатній кількості для видалення біологічно стійких органічних речовин, органічних забруднювачів, які контролюються, або й деяких неорганічних забруднювачів для підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод. Як правило, ефективність очистки в багатьох випадках залежить від обраного типу *AOP*, фізичних і хімічних властивостей забруднювачів, які необхідно видалити, та умов експлуатації. Слід підкреслити, що є також інформація про очищення фільтратів полігонів твердих побутових відходів з використанням технології *AOP* [15–18].

Ущільнені осади муніципальних очисних споруд водовідведення представляють собою водну суспензію з вмістом сухої речовини близько 2,5–3 %. По суті це теж біологічно забруднені води, які потребують подальшої обробки та утилізації. Тому питання їх зневоднення та санітарно-гігієнічної безпеки є найбільш актуальним.

Отже наша робота була спрямована на вивчення ефективності застосування технології посиленого окислення для кондиціонування осадів стічних вод муніципальних очисних споруд при їх механічному зневодненні.

Приведені в роботі дослідження являються етапом комплексного проекту, направленою на вдосконалення методів підвищення ефективності зневоднення осадів комунальних очисних споруд на камерно-мембранному фільтр-пресі.

МЕТА І МЕТОДИ

Метою даного етапу роботи була оцінка можливості застосування технології посиленого окислення АОР для кондиціонування осадів комунальних очисних споруд перед їх механічним зневодненням та визначення технологічних параметрів процесу фільтрування осаду.

Задачі, які були вирішені під час проведення досліджень, були такими:

- зробити оцінку ефективності застосування технології посиленого окислення АОР для кондиціонування надлишкового активного мулу;
- визначити оптимальні дози реагентів для кондиціонування осаду на камерно-мембранному фільтр-пресі;
- визначити параметри роботи обладнання для механічного зневоднення осаду (продуктивність, ступінь зневоднення).

Проведені дослідження включають в себе лабораторні та промислові випробування.

Лабораторні дослідження включали:

- визначення доз и типів реагентів, які застосовували для кондиціонування осадів;
- визначення параметрів фільтрування на лабораторній установці камерного пресу;
- визначення параметрів фільтрування на моделі камерно-мембранного фільтр-пресу.

- Промислові випробування включали:
- визначення параметрів зневоднення осаду на камерно-мембранному фільтр-пресі;
 - визначення оптимальних режимів кондиціонування осаду.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом дослідження був надлишковий активний мул муніципальних очисних споруд продуктивністю 10000 м³/добу, що розташовані на північному сході Польщі.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Перший етап – лабораторні дослідження

Дослідження впливу технології АОР на процес кондиціонування осаду були розпочаті з визначення оптимального співвідношення заліза та перекису водню на лабораторній установці, яка моделювала роботу камерного фільтр-пресу. Раніше нами були проведені попередні дослідження ефективності кондиціонування осаду в інтервалі співвідношення Fe/H₂O₂ від 1 до 4 [19, 20], в рамках даної роботи проведені більш детальні вимірювання (таблиця 1, рис. 1, 2) при двох різних значеннях вмісту H₂O₂ – 1 та 1,5 г/л. Визначалась тривалість фільтрування, вміст сухої речовини у фільтраційному осаді та продуктивність фільтрування з врахуванням часу додаткових операцій циклу.

Таблиця 1. Результати лабораторних досліджень зневоднення осаду із застосуванням технології АОР

Table 1. The results of laboratory studies of sludge dehydration using AOP technology

Доза реагенту (Fe ²⁺), г/л	Доза перекису водню (H ₂ O ₂), г/л	Час фільтрування, хв	Вміст сухої речовини у осаді, %	Співвідношення Fe / H ₂ O ₂	Продуктивність, л/м ² на годину
0	0	–	1,99	–	–
1	1	15	16,1	1,00	172
1,5	1	16	18,2	1,50	170
2	1	16	19,6	2,00	165
2,5	1	18	18,8	2,50	153
1,5	1,5	17	18,5	1,00	159
2,3	1,5	16	19,7	1,53	159
3	1,5	25	19,8	2,00	137
3,8	1,5	35	17,6	2,53	96

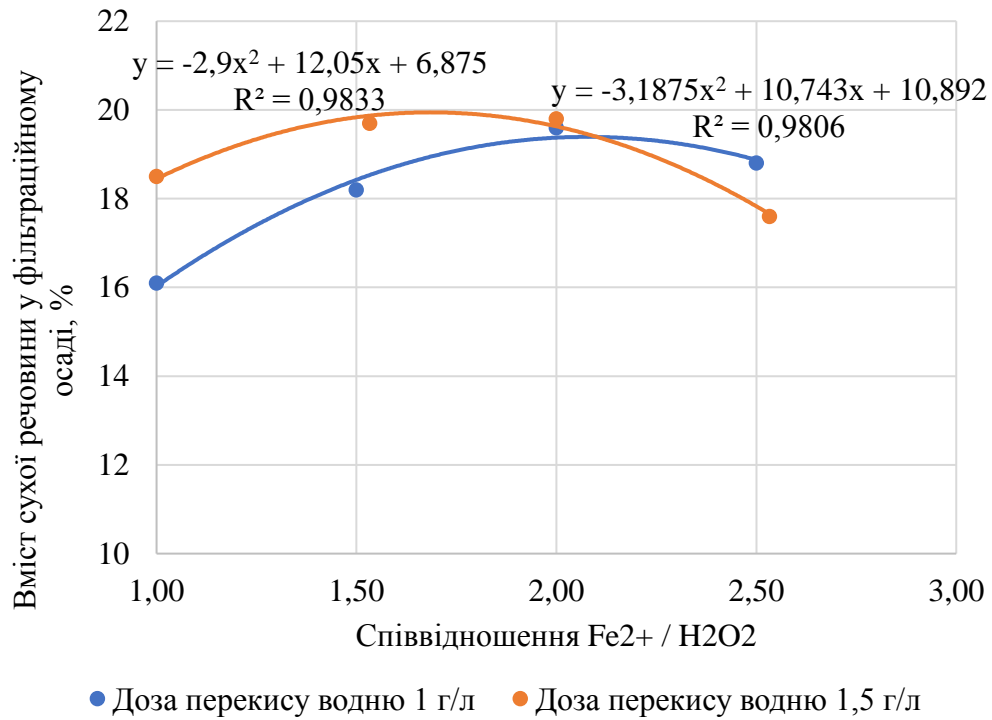


Рис. 1. Залежність вмісту сухої речовини фільтраційного осаду від співвідношення Fe^{2+}/H_2O_2
Fig. 1. The dependence of the dry matter content of the filtration sludge on the ratio Fe^{2+}/H_2O_2

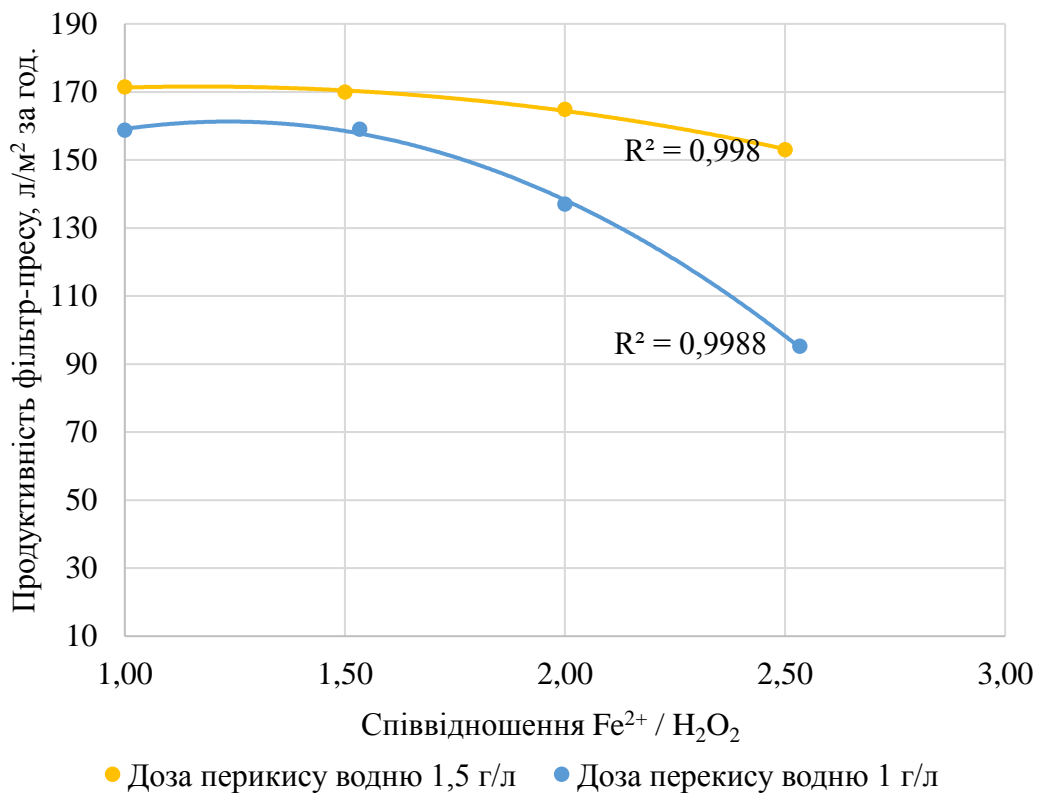


Рис. 2. Залежність продуктивності фільтрування від співвідношення Fe^{2+} / H_2O_2
Fig. 2. Dependence of filtration productivity on the Fe^{2+} / H_2O_2 ratio

Як видно з даних таблиці 1 та рис. 1–2, як для вмісту сухої речовини, так і для продуктивності спостерігається максимум ефективності у діапазоні співвідношення Fe^{2+} / H_2O_2 від 1 до 2. При цьому максимум вмісту сухої речовини зміщений ближче до 2, а максимум продуктивності – ближче до 1. Через те, що значення продуктивності визначається не тільки тривалістю фільтрування, але й залежить від всього циклу роботи, то у подальшому пріоритетним було визначено отримання максимального вмісту сухої речовини у фільтраційному осаді.

Другий етап – напівпромислові дослідження

В таблиці 2 представлені результати вивчення впливу застосування технології *AOP* на параметри фільтрування у порівнянні з традиційною обробкою хлорним залізом та вапняним молоком з використанням напівпромислового тестового фільтр-пресу.

Результати таблиці 2 показують, що без реагентної обробки суспензія фільтрується дуже погано, повільно, отриманий фільтраційний осад відрізняється м'якою, гелеподібною структурою, малою товщиною, не тримає форму, не відшаровується від ткани-

ни. Збільшення тиску фільтрування в цьому випадку призводить тільки до ще швидшого утворення «замикаючого шару» на поверхні фільтрувальної тканини.

Додавання хлорного заліза і вапняного молока в співвідношенні 1:2,5 призводить до закономірного зростання ефективності фільтрування, як в якісному, так і в кількісному сенсах. При цьому ефективність зростає пропорційно збільшенню доз реагентів, що додаються. Так, при додаванні хлорного заліза в кількості до 10% по залізу і вапняного молока в кількості до 30% за активним хлором, час фільтрування знижується в 5 разів, продуктивність фільтрування виростає в 6 разів, вологість фільтраційного осаду скорочується до 75%; осад стає щільним, цільним, добре відстає від тканини як єдине ціле, практично не залишаючи на ній слідів. Такий осад може бути вивантажений на стрічковий або шнековий транспортер, безпосередньо в приймальний бункер або кузов автомобіля і вивезений в насипному вигляді.

На рис. 3 наведено фото осаду, отриманого на напівпромисловому тестовому фільтр-пресі із застосуванням технології *AOP*.

Таблиця 2. Результати досліджень зневоднення осаду на напівпромисловому тестовому фільтр-пресі.

Table 2. The results of studies of sludge dehydration on a semi-industrial test filter press.

Показник	Номер досліджу				
	1	2	3	4	5
Вміст сухої речовини у вихідному осаді, %	3	3	3	3	3
Об'єм осаду, мл	100	100	100	100	100
Технологія обробки	без	$FeCl_3 + CaO$	$FeCl_3 + CaO$	$FeSO_4 + CaO + H_2O_2$	$FeSO_4 + CaO + H_2O_2$
Доза заліза, г/л	-	2	4	2	2,5
Доза кальцію, г/л	-	5	10	5	10
Доза перекису, г/л	-	-	-	1	1,5
Тиск фільтрування, бар	6	6	6	6	6
Час фільтрування, хв.	600	300	120	75	73
Продуктивність, л/м ² на годину	5	12	30	45	46
Вологість осаду, %	84	88	78	71	69



Рис. 3. Вид фільтраційного осаду з застосуванням технології АОР

Fig. 3. Type of filtration sludge using AOP technology

Для перевірки ефективності кондиціонування комунального осаду за технологією АОР залізо вводилось у вигляді сульфату заліза (II), кальцій в вигляді вапняного молока. Для процесу окислення додавався 35% розчин перекису водню.

Під час експерименту 4 співвідношення Fe^{2+} / H_2O_2 взято рівним 2, доза вапняного молока взята в 2,5 рази вище, ніж вміст заліза, як широко відоме стандартне значення. Отриманий осад має щільну структуру в вигляді єдиного конгломерату, добре відділяється від тканини, має вологість на рівні 70–71%, що навіть краще, ніж осад, отриманий при подвійній дозі хлорного заліза і вапняного молока без застосування технології АОР (дослід 5).

Під час експерименту 5 співвідношення Fe^{2+} / H_2O_2 знижено до 1,5 при вмісті

перекису на рівні 1,5 г/л, доза вапняного молока підвищена до 4 доз заліза, що при застосуванні технології «хлорне залізо + вапняне молоко» зазвичай є надмірною і не призводить до зростання ефективності зневоднення. Тривалість і продуктивність фільтрування практично не змінюються в порівнянні з дослідом 4, вологість фільтраційного осаду знаходиться на рівні 69–70%.

У подальших дослідженнях планується доповнювати матрицю дослідження для отримання більш широкої картини впливу абсолютних і відносних величин концентрацій заліза, кальцію і перекису водню. В рамках даної роботи ставилася прикладна задача для осаду конкретних очисних споруд.

Третій етап – промислові дослідження

Для підтвердження даних, отриманих з використанням лабораторного обладнання, були проведені випробування за допомогою пілотного камерно-мембранного фільтр-преса ВК-16.4.30-S безпосередньо на території очисних (рис. 4). Дози реагентів обрані за дослідом 5 таблиці 2 з економічних міркувань.

Фільтраційний осад, отриманий із застосуванням технології АОР для кондиціонування осаду наведено на рис. 5.

Параметри роботи пілотного фільтр-пресу наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Параметри роботи пілотного фільтр-пресу

Table 3. Parameters of the pilot filter press

Об'єм суспензії, л	500
Вміст сухої речовини в осаді, %	2,9
Доза заліза, г/л (додавалось у вигляді $FeSO_4 \times 7 H_2O$)	2
Доза кальцію, г/л (додавався у вигляді 20% розчину CaO)	5
Доза H_2O_2 , г/л (додавався в вигляді 35% розчину)	1
Перемішування 5 хвилин, $об^{-1}$	150
Зажим фільтр-пресу, хв.	3
Тривалість фільтрування, хв.	60
Тиск фільтрування, бар	4
Мембранний віджим, тривалість, хв.	3
Мембранний віджим, тиск, бар	12
Просушка осаду, тривалість, хв.	3
Просушка осаду, тиск, бар	6
Вивантаження кеку з фільтр-пресу, тривалість, хв.	3
Вологість осаду / вміст сухої речовини (рис. 5), %	64 / 36



Рис. 4. Пілотний камерно-мембранний фільтр-прес ВК-16.4.30-S
Fig. 4. Pilot chamber-membrane filter press ВК-16.4.30-S



Рис. 5. Фільтраційний осад, отриманий із застосуванням технології АОР для кондиціонування осаду
Fig. 5. Filtration sludge obtained using AOP technology for sludge conditioning

В результаті тестових випробувань отримано фільтраційний осад (кек) з вмістом сухої речовини на рівні 35–36%. Безумовно, мембранний віджим і просушування осаду внесли свій вклад в зниження вологості. Спираючись на великий практичний досвід можна констатувати, що величина подібного впливу знаходиться на рівні 4–5%. Тобто без мембранного віджимання і просушування вологість фільтраційного осаду очікувалась би на рівні 30–31 %, що корелюється з даними, отриманими на напівпромисловому та лабораторному обладнанні.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

На основі проведених досліджень зроблено наступні висновки:

1. Технологія *AOP* може бути застосована для кондиціонування осадів комунальних очисних споруд перед механічним зневодненням.

2. Технологія *AOP* може застосовуватися для скорочення витрат реагентів (залізовмісних, вапна) при кондиціонуванні осадів комунальних очисних споруд при фільтруванні на камерно-мембранному фільтр-пресі.

3. Найбільш економічне і технологічно оптимальне співвідношення $Fe / Ca / H_2O_2$ дорівнює 2/5/1 при дозуванні перекису водню H_2O_2 на рівні 1 г/л.

4. При запропонованих дозуваннях реагентів можливе отримання фільтраційного осаду із залишковою вологістю на рівні 64–65% в порівнянні з 72–73% при використанні тільки заліза і вапна (початковий вміст сухої речовини в осаді на рівні 3%).

5. Додатково застосування технології *AOP* дозволяє виключити санітарну обробку зневодненого осаду.

6. Фільтрат характеризується вмістом заліза на рівні 1,8–2 мг/л, що, при поверненні в «голову процесу», дозволить скоротити витрати на коагулянт при осадженні фосфатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шквірко О. М., Тимчук І. С., Мальований М. С. Адаптація світового досвіду утилізації осадів стічних вод до екологічних умов України. Науковий вісник НЛТУ України, 2019, т. 29, № 2. URL: https://www.researchgate.net/publication/332884102_Adaptacia_svitovogo_dosvidu_utilizacii_osadi_v_sticnih_vod_do_ekologicnih_umov_Ukraini.

2. Свірідова В. А., Медведєва О. В. Основні проблеми утилізації осадів стічних вод. Наукові записки, Вип.14, 2013. С. 101–105.

3. Kasina M., Wendorff-Belon M., Rafal Kowalski P., Michalik M. Characterization of Incineration Residues from Wastewater Treatment Plant in Polish City: a Future Waste Based Source of Valuable Elements? Journal of Material Cycles and Waste Management. Vol. 21, p. 885–896 (2019).

4. Vamvuka D., Alexandrakis S., Galetakis M. Combustion Performance of Sludge From a Wastewater Treatment Plant in Fluidized Bed. Factorial Modeling and Optimization of Emissions. Front. Energy Res., 07 May 2019. doi:10.3389/fenrg.2019.00043

5. Khalili A., Jamshidi Sh., Khalesidoust M. Evaluation of Sewage Sludge for Incineration (Case study: Arak Wastewater Treatment Plant). June 2017. Applied Energy 1(3). 249–258. doi: 10.22097/eeer.2017.47251

6. Biswas B.K., Inoue K., Harada H., Ohto K., Kawakita H. Leaching of Phosphorus from Incinerated Sewage Sludge Ash by Means of Acid Extraction Followed by Adsorption on Orange Waste Gel. Journal of Environmental Sciences (China), 01 Jan 2009, 21(12):1753-1760. doi: 10.1016/s1001-0742(08)62484-5.

7. Latosińska J., Gawdzik J. The Impact of Combustion Technology of Sewage Sludge on Mobility of Heavy Metals in Sewage Sludge Ash. Ecol Chem Eng S. 2014; 21(3). P. 465-475 doi: 10.2478/Eces-2014-0034.

8. Камерно-мембранний фільтр-прес. URL: https://ua.ekoton.com/product/chamber_membrane_filter_press/

9. Zlatkovskiy O., Shevchenko A., Shevchenko T. Use of Fly Ash for Conditioning Excess Activated Sludge During Dewatering on Chamber Membrane Filter Presses. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 3/10 (99) 2019. P. 17–23.

10. Радченко Н. Л. Новые подходы в области очистки промышленных сточных вод. Наукові праці, випуск 47, 2015. Т.1. С. 52–57.

11. **Garrido-Cardenas J. A., Esteban-García B., Agüera A., Sánchez-Pérez J. A., Manzano-Agugliaro F.** Wastewater Treatment by Advanced Oxidation Process and Their Worldwide Research Trends. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020, 17, 170; doi:10.3390/ijerph17010170.

12. **Deng Y., Zhao R.** Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. *Current Pollution Reports*, volume 1, p. 167–176 (2015).

13. **Reda Elkacmi R., Bennajah M.** Advanced Oxidation Technologies for the Treatment and Detoxification of Olive Mill Wastewater: a General Review. *Journal of Water Reuse and Desalination* (2019) 9(4): 463–505. doi:10.2166/wrd.2019.033

14. **Ghime D., Ghosh P.** Advanced Oxidation Processes: A Powerful Treatment Option for the Removal of Recalcitrant Organic Compounds. *Advanced Oxidation Processes – Applications, Trends, and Prospects*, Ciro Bustillo-Lecompte, IntechOpen, June 10th 2020. doi: 10.5772/intechopen.90192.

15. **Bethi Bh., Shirish H., Sonawane S. H., Bhanvase B. A., Gumfekar S. P.** Nanomaterials-Based Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: A Review. *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification*. Vol. 109, November 2016, P. 178–189. doi: 10.1016/j.cep.2016.08.016

16. **Richard Vijay R., Basker Gunukula B., Tittlebaum M. E.** Industrial Wastewater Treatment by an Advanced Oxidation Process. *Journal of Environmental Science and Health, Part A Toxic / Hazardous Substances and Environmental Engineering*. Volume 36, 2001. doi: 10.1081/ESE-100102924

17. **Covinich L. G., Bengoechea D. I., Fenoglio R. J., Area M. C.** Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment in the Pulp and Paper Industry: A Review. *American Journal of Environmental Engineering*, 2014; 4(3). P. 56–70. doi:10.5923/j.ajee.20140403.03

18. **Krishnan S., Rawindran H., Sinnathambi C. M., Lim J. W.** Comparison of Various Advanced Oxidation Processes Used in Remediation of Industrial Wastewater Laden with Recalcitrant Pollutants. 29th Symposium of Malaysian Chemical Engineers (SOMChE) 2016 IOP. Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 206 (2017). doi:10.1088/1757-899X/206/1/012089

19. **Шевченко А. О., Златковський О. А., Шевченко Т. О.** Зневоднення анаеробно стабілізованого осаду комунальних очисних споруд

на камерно-мембранному фільтр-пресі: параметри і ефективність роботи. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Том 30 (69) Ч. 2, № 5, 2019. С. 172–176.

20. **Шевченко А. О., Мясосдов О. Ю., Шевченко Т. О.** Кондиціонування осаду побутових стічних вод методом посиленого окислення (AOP). The 4th International scientific and practical conference «Priority directions of science development» (February 3–4, 2020). Lviv, Ukraine. 2020. P. 275–279.

REFERENCES

1. **Shkvirko O. M., Timchuk I. S., Malovaniy M. S. (2019).** Adaptation of light to the disposal of sedimentary waters to the ecological minds of Ukraine. *Scientific Bulletin of NLTU Ukraine*, 29(2). Retrieved from

https://www.researchgate.net/publication/332884102_Adaptacia_svitovogo_dosvidu_utilizacii_osadi_v_sticnih_vod_do_ekologicnih_umov_Ukraini.

2. **Sviridova, V. A., & Medvedeva, O. V. (2013).** The main problems of disposal of sedimentary waters. *Naukovi zapiski*, 14, 101-105.

3. **Kasina, M., Wendorff-Belon, M., Rafal Kowalski, P., & Michalik, M. (2019).** Characterization of Incineration Residues from Wastewater Treatment Plant in Polish City: a Future Waste Based Source of Valuable Elements? *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21(4), 885-896. doi: 10.1007/s10163-019-00845-1

4. **Vamvuka, D., Alexandrakis, S., & Galetakis, M. (2019).** Combustion Performance of Sludge From a Wastewater Treatment Plant in Fluidized Bed. Factorial Modeling and Optimization of Emissions. *Front. Energy Res.*, 7. doi: 10.3389/fenrg.2019.00043

5. **Khalili, A., Jamshidi, Sh., & Khalesidoust, M. (2017).** Evaluation of Sewage Sludge for Incineration (Case study: Arak Wastewater Treatment Plant). *Applied Energy*, 1(3), 249-258. doi: 10.22097/eeer.2017.47251

6. **Biswas, B. K., Inoue, K., Harada, H., Ohto, K., & Kawakita, H. (2009).** Leaching of Phosphorus from Incinerated Sewage Sludge Ash by Means of Acid Extraction Followed by Adsorption on Orange Waste Gel. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 21(12), 1753-1760. doi: 10.1016/s1001-0742(08)62484-5.

7. **Latosińska, J., & Gawdzik, J. (2014).** The Impact of Combustion Technology of Sewage Sludge on Mobility of Heavy Metals in Sewage Sludge Ash. *Ecol Chem Eng S.* 21(3), 465-475. DOI: 10.2478/Eces-2014-0034.

8. **Chamber-membrane filter-press. (2020).** Retrieved from https://ua.ekoton.com/product/chamber_membrane_filter_press/
9. **Zlatkovskiy, O., Shevchenko, A., & Shevchenko, T. (2019).** Use of Fly Ash for Conditioning Excess Activated Sludge During Dewatering on Chamber Membrane Filter Presses. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 3/10(99), 17-23.
10. **Radchenko, N. L. (2015).** New approaches in the field of industrial waste water treatment. *Naukovi pratsi,* 47(1), 52-57.
11. **Garrido-Cardenas, J. A., Esteban-García, B., Agüera, A., Sánchez-Pérez, J. A., & Manzano-Agugliaro, F. (2020).** Wastewater Treatment by Advanced Oxidation Process and Their Worldwide Research Trends. *International Journal of Environmental Research and Public Health,* 17, 170; doi:10.3390/ijerph17010170.
12. **Deng, Y., Zhao, R. (2015).** Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. *Current Pollution Reports,* 1, 167-176. doi: 10.1007/s40726-015-0015-z
13. **Reda Elkacmi, R., Bennajah, M. (2019).** Advanced Oxidation Technologies for the Treatment and Detoxification of Olive Mill Wastewater: a General Review. *Journal of Water Reuse and Desalination,* 9(4), 463-505. doi: 10.2166/wrd.2019.033
14. **Ghime, D., & Ghosh, P. (2020).** Advanced Oxidation Processes: A Powerful Treatment Option for the Removal of Recalcitrant Organic Compounds In: *Advanced Oxidation Processes – Applications, Trends, and Prospects,* Ciro Bustillo-Lecompte, Intech Open. doi: 10.5772/intechopen.90192.
15. **Bethi, Bh., Shirish, H., Sonawane, S. H., Bhanvase, B. A., & Gumfekar, S. P. (2016).** Nanomaterials-Based Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: A Review. *Chemical Engineering and Processing – Process Intensification,* 109, 178-189. doi: 10.1016/j.cep.2016.08.016
16. **Gunukula R. V. B., & Tittlebaum M. E. (2001).** Industrial Wastewater Treatment by an Advanced Oxidation Process. *Journal of Environmental Science and Health, Part A Toxic / Hazardous Substances and Environmental Engineering,* 36(3), 307-320. doi: 10.1081/ESE-100102924
17. **Covinich, L. G., Bengoechea, D. I., Fenoglio, R. J., & Area, M. C. (2014).** Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment in the Pulp and Paper Industry: A Review. *American Journal of Environmental Engineering,* 4(3), 56-70. doi:10.5923/j.ajee.20140403.03
18. **Krishnan, S., Rawindran, H., Sinnathambi, C. M., & Lim J. W. (2016).** Comparison of Various Advanced Oxidation Processes Used in Remediation of Industrial Wastewater Laden with Recalcitrant Pollutants. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering,* 206, 012089. doi:10.1088/1757-899X/206/1/012089
19. **Shevchenko, A. O., Zlatkovskiy, O. A., & Shevchenko, T. O. (2019).** Dehydration of anaerobically stabilized sludge of municipal treatment facilities on the chamber-membrane filter press: parameters and efficiency. *Scientific notes of TNU named after V.I. Vernadsky,* 30(69). 172-176.
20. **Shevchenko, A. O., Myasoyedov, O. Y., & Shevchenko T. O. (2020).** Conditioning of sewage sludge by the method of advanced oxidation (AOP). *The 4th International scientific and practical conference «Priority directions of science development»* (February 3–4, 2020). Lviv, Ukraine. 275-279.

Study of the Efficiency of Sludge Conditioning by the Method of Advanced Oxidation Process (AOP) During Dewatering of Excess Activated Sludge

Andriy Shevchenko, Oleg Zlatkovskiy, Tamara Shevchenko

Abstract. The issue of sludge disposal is a complex task that needs to be addressed, taking into account not only economic indicators but also local conditions, such as: the availability of existing sewage treatment plant infrastructure, energy availability, climatic conditions and so on. Currently, more and more municipal enterprises in European countries are building sludge incineration plants. Preparation of sludge for incineration occupies a significant part of the budget since its humidity and caloric content have the greatest impact on the parameters of the sludge incineration unit and its energy balance. Chamber-membrane filter presses are one of the few types of equipment that allows to ensure the maximum reduction of sludge moisture, and the possibility of its completion with heat treatment systems in one closed housing make it an even more attractive solution for small and medium wastewater treatment plants. Of great interest at the present stage of development of wastewater treatment and sludge disposal technology is the technology of advanced oxidation of AOR, which allows to remove biologically stable organic pollutants and leads to inactivation of pathogenic microorganisms. The purpose of this stage was to evaluate the possibility of using the technology of advanced oxidation of AOP for conditioning sludge of municipal treatment plants before their mechanical dehydration and to determine the technological parameters of the sludge filtration process. The studies included laboratory and industrial tests. Based on the research, it was found that AOP technology can be used to reduce the consumption of reagents (iron, lime) in the conditioning of municipal sewage sludge in the case of filtration on a chamber-membrane filter press. The most economically and technologically optimal ratio of Fe / Ca / H₂O₂ is equal to 2/5/1 at the dosage of hydrogen peroxide H₂O₂ at the level of 1 g / l. At the proposed dosages of reagents, it is possible to obtain a filtration sludge with a residual moisture content of 64–65% compared to 72–73% using only iron and lime (initial dry matter content in the sludge at 3%).

Keywords: advanced oxidation process (AOP), sludge conditioning, chamber-membrane filter press, excess activated sludge, lime, ferrous sulfate, hydrogen peroxide

Стаття надійшла до редакції 17.11.2020

