

ЕЛЕКТРОЗНЕВОДНЕННЯ АКТИВНОГО МУЛУ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД м. ТЕРНОПОЛЯ

Орест Вербовський¹, Вадим Орел², Оксана Мацієвська³, Назарій Жеплінський⁴

Національний університет "Львівська політехніка"

12, вул С. Бандери, м. Львів, Україна, 79013

¹ канд. тех. наук, orest.v.verbovnyi@lpnu.ua, orcid.org/0000-0002-0410-7871

² канд. тех. наук, vadym.i.orel@lpnu.ua, orcid.org/0000-0002-3518-4597

³ канд. тех. наук, oksana.o.matsiievska@lpnu.ua, orcid.org/0000-0001-5784-0236

⁴ nazarii.zheplinskyi.hb.2022@lpnu.ua, orcid.org/0009-0005-6760-5375

DOI: 10.32347/2524-0021.2024.48.12-17

Анотація. Осади стічних вод, що утворюються на каналізаційних очисних спорудах, становить невеликий відсоток від об'єму очищених стічних вод. Проте, витрати на обробку та утилізацію осаду становлять ліву частку експлуатаційних витрат каналізаційних очисних споруд. Осади містять шкідливі й токсичні речовини. З іншого боку, осади є джерелом вуглецю, поживних речовин і мікроелементів, отже їх можна ефективно утилізувати. Важливим етапом утилізації осадів є їхнє зневоднення, зокрема із застосуванням електричного струму. Досліджували електрозневоднення активного мулу вологістю 98% з вторинних відстійників каналізаційних очисних споруд м. Тернопіль постійним електричним струмом. Експерименти проводили на лабораторному стенді з U-подібною скляною трубкою з вугільними стрижневими анодом і катодом. Ефект впливу електричного поля спостерігався в загасаючому періоді, коли після значного відділення води з осаду стічних вод, процес електрозневоднення сповільнюється. Отримані результати порівняно з результатами електрозневоднення активного мулу вологістю 98% з вторинних відстійників каналізаційних очисних споруд м. Тернопіль на стенді з графітовими стрижневим анодом і плоским катодом, отриманими іншими дослідниками. Електрозневоднення активного мулу на обох стендах дає практично однаковий ефект. Підтверджено, що зневоднення осадів стічних вод за допомогою постійного електричного струму можна використовувати на мулових майданчиках каналізаційних очисних споруд.

Ключові слова: каналізаційні очисні споруди, осади стічних вод, активний мул, зневоднення, електрозневоднення.

ВСТУП

Осади стічних вод є концентрованими відходами. Вони містять шкідливі й токсичні речовини, а також бактеріальні забруднення концентраціями в десятки і сотні разів більше, ніж у стічних водах.

Основна задача обробки осадів – отримання безпечного в санітарно-гігієнічному відношенні та придатного до транспортування продукту, який можна використовувати в сільському господарстві. Внаслідок значного вмісту колоїдних речовин осади погано віддають воду. На водовіддачу осадів значно впливають його вологість, хімі-

чний склад, структура, в'язкість, співвідношення вільної та зв'язаної води, ступінь дисперсності частинок твердої фази, тощо.

Осад, що утворюється на очисних спорудах, становить невеликий відсоток (близько 1%) від об'єму очищених стічних вод. Проте, витрати на обробку та утилізацію осаду становлять від 20% до 60% від експлуатаційних витрат очисної станції [1].

Осади є джерелом вуглецю, поживних речовин і мікроелементів, отже їх можна ефективно утилізувати [2].

Важливим етапом утилізації осадів є їхнє зневоднення, що дає змогу значно змен-

шити вологість (до 65...85%), а отже й об'єм осадів [3–6].

Ключовим питанням ефективності зневоднення осаду є вибір відповідного методу кондиціонування залежно від фізико-хімічних властивостей осаду [7]. Аналіз методів свідчить, що найчастіше попередню обробку осадів виконують: додаванням флокулянтів [8; 9]; ультразвуковою [10], мікрохвильовою [11; 12] та термічною [13; 14] обробкою. Для зменшення використання хімічних реагентів способи кондиціонування осадів комбінують [15–17]. Одним з найефективніших способів є електрозневоднення осадів, яке передбачає застосування електричного поля під час їх механічного зневоднення [17–19]. Більшість процесів механічного зневоднення включає два етапи. Перший – утворення фільтраційної шару осаду, другий – стиснення, коли вільну та фізико-механічно зв'язану воду вичавлюють з кеку завдяки застосуванню тиску. Електричне поле застосовують до однієї або обох стадій зневоднення, або до чи після процесу зневоднення осадів [17].

МЕТА І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи є дослідження процесу електрозневоднення активного мулу з вторинних відстійників каналізаційних очисних споруд м. Тернопіль постійним електричним струмом. Використовували емпіричні методи дослідження.

ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження процесу електрозневоднення активного мулу з вторинних відстійників запроектовано лабораторний стенд [21] (рис. 1).

На штативі 1 закріплено U-подібну скляну трубку 2 з внутрішнім діаметром 20 мм. Для проведення досліджень в U-подібну скляну трубку 2 заливали порцію активного мулу об'ємом 100 см³. Після цього в U-подібну трубку вставляли нерухомо вугільні електроди 3. Верхні кінці вугільних електродів під'єднано до випрямляча електричного струму 4. Випрямляч 4 під'єднано

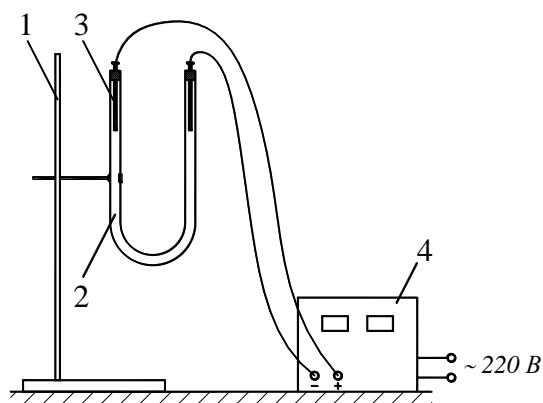


Рис. 1. Схема лабораторного стенду для електрозневоднення активного мулу з вторинних відстійників: 1 – штатив лабораторний; 2 – U-подібна скляна трубка; 3 – вугільний електрод; 4 – випрямляч електричного струму

Fig. 1. The laboratory-scale device scheme for electro-dewatering of activated sludge from secondary clarifiers: 1 – laboratory tripod; 2 – U-shaped glass tube; 3 – graphite electrode; 4 – electric-current rectifier

до електромережі змінного струму напругою 220 В.

На початку дослідження вмикали випрямляч і виставляли значення напруги. З випрямляча електричного струму на електроди подавали напругу 30 В, а отже крізь активний мул подавали постійний електричний струм.

Одночасно з вмиканням випрямляча розпочинали відлік часу проведення дослідження. Тривалість оброблення активного мулу постійним електричним струмом становила 24 год і 48 год. Електрозневоднення проводили за кімнатної температури.

Під дією електричного струму відбувалося відстоювання осаду з виділенням шару проясненої води висотою h .

По закінченню часу обробки активного мулу випрямляч електричного струму вмикали, з U-подібної трубки виймали електроди та вимірювали об'єм проясненої води.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

Об'єктом дослідження є активний мул з вторинних відстійників МКОС м. Тернопіль вологістю 98%.

Показано [21], що при обробленні активного мулу в U-подібній трубці ефект електрозневоднення є в загасаючому періоді: після значного відділення води з осаду стічних вод, процес сповільнюється.

Для порівняння розглянемо дослідження електрозневоднення осадів стічних вод на стенді з графітовими стрижневим анодом і плоским катодом [22]. Під час дослідження використовували систему пневматичного перемішування осадів.

Розшарування фаз "вода-осад" за оброблення постійним електричним струмом наведено в координатах $t/t_{\max} - h/(t/t_{\max})$, де t_{\max} – максимальна тривалість оброблення осаду стічних вод.

Результати (рис. 2), отримані на стенді з стрижневим анодом і плоским катодом [22], залежать від режиму дослідження (табл. 1). Але електрозневоднення активного мулу на обох стендах дає практично однаковий ефект. Адже стрижневий анод забезпечує лише локальне оброблення об'ємів осаду стічних вод і викликає його циркуляцію, яка заважає рівномірній дії електричного поля [22].

Табл. 1. Режими дослідження на стенді з стрижневим анодом і плоским катодом

Table 1. Research modes on a bench with a rod anode and a flat cathode

Ч/ч	Показник	
	Електрична напруга U, В	Відстань між електродами, м
1.	10	0,06
2.	15	0,04
3.	20	0,02

У процесі електрозневоднення на обох стендах внаслідок електролізу спостерігали виділення бульбашок газу на електродах.

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Електрозневоднення осадів стічних вод за допомогою постійного електричного струму можна використовувати на мулових майданчиках каналізаційних очисних споруд.

У подальшому варто дослідити ефективність знезараження осадів стічних вод киснем, що виділяється на електроді в результаті електролізу.

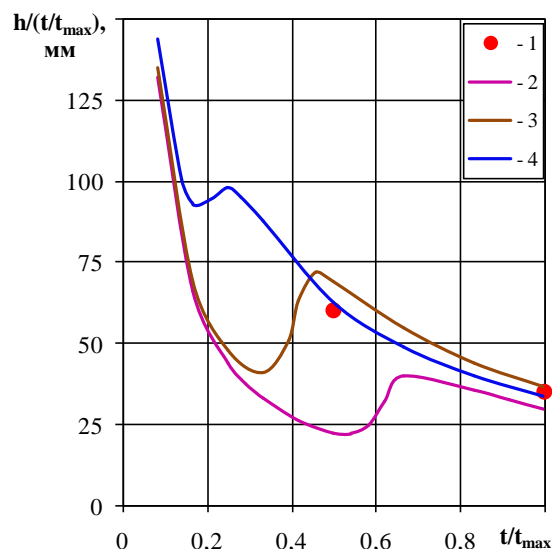


Рис. 2. Ефект зневоднення активного мулу з вторинних відстійників МКОС м. Тернопіль при обробленні постійним електричним струмом на стендах з стрижневими анодом і катодом при напрузі $U = 30$ В (1) та стрижневим анодом і плоским катодом (2–4) [22] при напрузі $U = 20$ В (2); 15 В (3); 10 В (4)

Fig. 2. Effect of dewatering in experiments with stable electrical current of activated sludge from secondary clarifiers from the Ternopil wastewater treatment plant on stands electro-dewatering cell with a rod anode and cathode at an applied voltage of 30 V (1) and electro-dewatering cell with a rod anode and a flat cathode (2–4) [22] at an applied voltage of 20 V (2); 15 V (3); 10 V (4)

ЛІТЕРАТУРА

1. Foladori P., Andreottola G., Ziglio G. Sludge reduction technologies in wastewater treatment plants // IWA publishing, 2010. <https://doi.org/10.2166/9781780401706>.
2. Meng X., Huang Q., Gao H., Tay K., Yan J. Improved utilization of phosphorous from sewage sludge (as Fertilizer) after treatment by Low-Temperature combustion // Waste management, 2018, 80, 349-358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.034>.
3. Wu B., Dai X., Chai X. Critical review on dewatering of sewage sludge: Influential mechanism, conditioning technologies and implications to sludge re-utilizations // Water

- research, 2020, 180, 115912. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115912>.
4. **Cao B., Zhang T., Zhang W., Wang D.** Enhanced technology based for sewage sludge deep dewatering: a critical review // *Water Research*, 2021, 189, 116650. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116650>.
5. **Skinner S. J., Studer L. J., Dixon D. R., Hillis P., Rees C. A., Wall R. C., Cavalida R. G., Usher S. P., Stickland A. D., Scales P. J.** Quantification of wastewater sludge dewatering // *Water Research*, 2015, 82, 2–13. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.04.045>.
6. **Wójcik M., Stachowicz F.** Influence of physical, chemical and dual sewage sludge conditioning methods on the dewatering efficiency // *Powder Technology*, 2019, 344, 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.001>.
7. **Zhang X., Ye P., Wu Y.** Enhanced technology for sewage sludge advanced dewatering from an engineering practice perspective: a review // *Journal of Environmental Management*, 2022, 321, 115938. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115938>.
8. **Wang H. F., Hu H., Wang H. J., Zeng R. J.** Combined use of inorganic coagulants and cationic polyacrylamide for enhancing dewaterability of sewage sludge // *Journal of Cleaner Production*, 2019, 211, 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.208>.
9. **Hu P., Zhuang S., Shen S., Yang Y., Yang H.** Dewaterability of sewage sludge conditioned with a graft cationic starch-based flocculant: Role of structural characteristics of flocculant // *Water Research*, 2021, 189, 116578. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116578>.
10. **Ghafarzadeh M., Abedini R., Rajabi R.** Optimization of ultrasonic waves application in municipal wastewater sludge treatment using response surface method // *Journal of Cleaner Production*, 2017, 150, 361–370. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.159>.
11. **Bozkurt Y. C., Apul O. G.** Critical review for microwave pretreatment of waste-activated sludge prior to anaerobic digestion // *Current opinion in environmental science & health*, 2020, 14, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.10.003>.
12. **Jákófi Z., Lemmer B., Hodúr C., Beszédes S.** Microwave and ultrasound based methods in sludge treatment: A review // *Applied Sciences*, 2021, 11(15), 7067. <https://doi.org/10.3390/app11157067>.
13. **Tsybina A., Wuensch C.** Analysis of sewage sludge thermal treatment methods in the context of circular economy // *Detritus*, 2018, 2(1), 3. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2018.13668>.
14. **Verbovskiy O., Zhuk V., Orel V., Popadiuk I.** Optimization of the process of decreasing the filtration resistance of sewage sludge by thermal pretreatment: a case study for the Lviv WWTP // *Water Science & Technology*, 2023, 88(7), 1688–1698. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.317>.
15. **Liu Z., Luo F., He L., Wang S., Wu Y., Chen Z.** Physical conditioning methods for sludge deep dewatering: A critical review // *Journal of Environmental Management*, 2024, 360, 121207. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121207>.
16. **Kowalczyk M.** The Influence of the Addition of Cement and Zeolite on the Increase in the Efficiency of Sewage Sludge Dewatering in the Pressure Filtration Process // *Energies*, 2024, 17(3), 685. <https://doi.org/10.3390/en17030685>.
17. **Mahmoud A., Olivier J., Vaxelaire J., Hoadley A. F.** Electrical field: a historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering // *Water research*, 2010, 44(8), 2381–2407. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.01.033>.
18. **Tuan P.-A., Mika S., Pirjo I.** Sewage sludge electro-dewatering treatment – a review // *Drying Technology*, 2012, 30(7), 691–706. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.654874>.
19. **Olivier J., Mahmoud A., Vaxelaire J., Conrardy J.-B., Citeau M., Vorobiev E.** Electro-dewatering of anaerobically digested and activated sludges: an energy aspect analysis // *Drying Technology*, 2014, 32 (9), 1091–1103. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.884133>.
20. **Вербовський О. В., Косик В. П., Швед Г. Б.** Кондиціювання осаду стічних вод випрямленим електричним струмом // *Вісник Державного університету "Львівська політехніка". Серія: Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматика*, 1996, №304, С. 9–11.
21. **Вербовський О., Оrel В., Мацієвська О., Деркач Д.** Зневоднення осадів стічних вод за допомогою електричного поля // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : науково-технічний збірник*, 2022, вип. 40, С. 16–25. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.40.16-25>
22. **Вітенько Т. М., Карпінська І. А.** Дослідження впливу електричного поля на обезводнення осадів стічних вод // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Хімія, технологія речовин та їх застосування*, 2002, №461, С. 227–230.

REFERENCES

1. Foladori, P., Andreottola, G., & Ziglio, G. (2010). Sludge reduction technologies in wastewater treatment plants. *IWA publishing*. <https://doi.org/10.2166/9781780401706>.
2. Meng, X., Huang, Q., Gao, H., Tay, K., & Yan, J. (2018). Improved utilization of phosphorous from sewage sludge (as Fertilizer) after treatment by Low-Temperature combustion. *Waste management*, 80, 349-358. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.09.034>.
3. Wu, B., Dai, X., & Chai, X. (2020). Critical review on dewatering of sewage sludge: Influential mechanism, conditioning technologies and implications to sludge re-utilizations. *Water research*, 180, 115912. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115912>.
4. Cao, B., Zhang, T., Zhang, W., & Wang, D. (2021). Enhanced technology based for sewage sludge deep dewatering: a critical review. *Water Research*, 189, 116650. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116650>.
5. Skinner, S. J., Studer, L. J., Dixon, D. R., Hillis, P., Rees, C. A., Wall, R. C., Cavalida, R. G., Usher, S. P., Stickland, A. D., & Scales, P. J. (2015). Quantification of wastewater sludge dewatering. *Water Research*, 82, 2-13. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.04.045>.
6. Wójcik, M., & Stachowicz, F. (2019). Influence of physical, chemical and dual sewage sludge conditioning methods on the dewatering efficiency. *Powder Technology*, 344, 96-102. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.12.001>.
7. Zhang, X., Ye, P., & Wu, Y. (2022). Enhanced technology for sewage sludge advanced dewatering from an engineering practice perspective: a review. *Journal of Environmental Management*, 321, 115938. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115938>.
8. Wang, H. F., Hu, H., Wang, H. J., & Zeng, R. J. (2019). Combined use of inorganic coagulants and cationic polyacrylamide for enhancing dewaterability of sewage sludge. *Journal of Cleaner Production*, 211, 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.208>.
9. Hu, P., Zhuang, S., Shen, S., Yang, Y., & Yang, H. (2021). Dewaterability of sewage sludge conditioned with a graft cationic starch-based flocculant: Role of structural characteristics of flocculant. *Water Research*, 189, 116578. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116578>.
10. Ghafarzadeh, M., Abedini, R., & Rajabi, R. (2017). Optimization of ultrasonic waves application in municipal wastewater sludge treatment using response surface method. *Journal of Cleaner Production*, 150, 361-370. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.159>.
11. Bozkurt, Y. C., & Apul, O. G. (2020). Critical review for microwave pretreatment of waste-activated sludge prior to anaerobic digestion. *Current opinion in environmental science & health*, 14, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.10.003>.
12. Jákó, Z., Lemmer, B., Hodúr, C., & Beszédes, S. (2021). Microwave and ultrasound based methods in sludge treatment: A review. *Applied Sciences*, 11(15), 7067. <https://doi.org/10.3390/app11157067>.
13. Tsybina, A., & Wuensch, C. (2018). Analysis of sewage sludge thermal treatment methods in the context of circular economy. *Detritus*, 2(1), 3. <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2018.13668>.
14. Verbovskiy, O., Zhuk, V., Orel, V., & Popadiuk, I. (2023). Optimization of the process of decreasing the filtration resistance of sewage sludge by thermal pretreatment: a case study for the Lviv WWTP. *Water Science & Technology*, 88(7), 1688-1698. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.317>.
15. Liu, Z., Luo, F., He, L., Wang, S., Wu, Y., & Chen, Z. (2024). Physical conditioning methods for sludge deep dewatering: A critical review. *Journal of Environmental Management*, 360, 121207. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121207>.
16. Kowalczyk, M. (2024). The Influence of the Addition of Cement and Zeolite on the Increase in the Efficiency of Sewage Sludge Dewatering in the Pressure Filtration Process. *Energies*, 17(3), 685. <https://doi.org/10.3390/en17030685>.
17. Mahmoud, A., Olivier, J., Vaxelaire, J., & Hoadley, A. F. (2010). Electrical field: a historical review of its application and contributions in wastewater sludge dewatering. *Water research*, 44(8), 2381-2407. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.01.033>.
18. Tuan, P.-A., Mika, S., & Pirjo, I. (2012). Sewage sludge electro-dewatering treatment – a review. *Drying Technology*, 30(7), 691-706. <https://doi.org/10.1080/07373937.2012.654874>.
19. Olivier, J., Mahmoud, A., Vaxelaire, J., Conrardy, J.-B., Citeau, M., & Vorobiev, E. (2014). Electro-dewatering of anaerobically digested and activated sludges: an energy aspect analysis. *Drying Technology*, 32 (9), 1091-1103. <https://doi.org/10.1080/07373937.2014.884133>.
20. Verbovskii, O. V., Kosyk, V. P., Shved, H. B. (1996). Kondytsiuvannia osadu stichnykh vod vpyriamlenym elektrychnym strumom. *Visnyk*

Derzhavnoho universytetu "Lvivska politekhnikha". Seriia: Teploenerhetyka. Inzheneriia dovkillia. Avtomatyka, 304, 9–11. [in Ukrainian]

21. **Verbovskiy, O., Orel, V., Matsiyevska, O., Derkach, D. (2022).** Sewage sludge dewatering by electric field. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic, 40, 16–25.* [in Ukrainian] <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2022.40.16-25>

22. **Vitenko T. M., Karpinska I. A. (2002).** Doslidzhennia vplyvu elektrychnoho polia na obezvodnennia osadiv stichnykh vod. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnikha". Seriia: Khimiia, tekhnolohiia rehovyn ta yikh zastosuvannia, 461, 227–230.* [in Ukrainian]

Electro-dewatering of activated sludge of sewage treatment plants, Ternopil

Orest Verbovskiy, Vadym Orel, Oksana Matsiyevska, Nazarii Zheplinskyi

Abstract. The sewage sludge formed at wastewater treatment plants constitutes a small percentage of the volume of treated wastewater. However, the costs associated with sludge treatment and disposal account for the lion's share of the operational expenses of wastewater treatment plants. The sludge contains harmful and toxic substances. On the other hand, sludge is a source of carbon, nutrients, and trace elements, meaning it can be effectively utilized. An important stage in sludge disposal is its dewatering, particularly with the use of electric current. The study investigated the electro-dewatering of activated sludge with a moisture content of 98% from secondary clarifiers at the Ternopil wastewater treatment plant using direct electric current. Experiments were conducted on a laboratory setup with a U-shaped glass tube and carbon rod anode and cathode. The effect of the electric field was observed during the fading period, when, after a significant amount of water had been separated from the sludge, the electro-dewatering process slowed down. The obtained results were compared with those from the electro-dewatering of activated sludge with a moisture content of 98% from secondary clarifiers at the Ternopil wastewater treatment plant on a setup with a graphite rod anode and a flat cathode, as reported by other researchers. Electro-dewatering of activated sludge on both setups produced practically the same effect. It was confirmed that sludge dewatering using direct electric current can be applied on sludge drying beds at wastewater treatment plants.

Key words: wastewater treatment plant, sewage sludge, activated sludge, dewatering, electro-dewatering

Стаття надійшла до редакції 05.10.2024