

**ВПЛИВ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОЗИ АКТИВНОГО МУЛУ В АЕРОТЕНКАХ НА ПРИЙНЯТТЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ОЧИСНИХ СПОРУД ВОДОВІДВЕДЕННЯ**

**THE INFLUENCE OF CHOOSING THE OPTIMAL DOSE OF ACTIVATED SLUDGE IN AERATION TANKS ON MAKING DESIGN DECISIONS DURING RECONSTRUCTION OF WASTEWATER TREATMENT PLANTS**

**Проценко С.Б.**, канд. техн. наук, доц., ORCID: 0000-0002-1292-0651, **Новицька О.С.**, канд. техн. наук, доц., ORCID: 0000-0001-7286-9731, **Кіздеєв М.Д.**, канд. техн. наук, доц., ORCID: 0000-0002-1491-1695, **Кравченко Н.В.**, канд. техн. наук, доц., ORCID: 0000-0003-1336-4893 (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

**Protsenko S.B., PhD (Tech), Associate Professor**, ORCID: 0000-0002-1292-0651, **Novytska O.S., PhD (Tech), Associate Professor**, ORCID: 0000-0001-7286-9731, **Kisyeyev M.D., PhD (Tech), Associate Professor**, ORCID: 0000-0002-1491-1695, **Kravchenko N.V., PhD (Tech), Associate Professor**, ORCID: 0000-0003-1336-4893 (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

Оптимальна доза активного мулу в аеротенку має забезпечувати баланс між ефективністю біологічного очищення стічних вод (або продуктивністю аеротенка) та добрими седиментаційними властивостями мулу (або пропускнуою здатністю вторинного відстійника). На прикладі проєкту реконструкції очисних споруд водовідведення одного з великих міст України показано, що неврахування цього факту часом може призводити до прийняття нераціональних проєктних рішень та непотрібного ускладнення технологічної схеми очисних споруд. Натомість оптимізація дози активного мулу дозволяє знайти баланс продуктивності споруд у системі «аеротенк – вторинний відстійник», підвищити загальну пропускну спроможність цієї системи і значно спростити технологічну схему очисних споруд.

The optimal dose of activated sludge in the aeration tank should provide the balance between the efficiency of biological wastewater treatment in the aeration tank and the good sedimentation properties of the sludge in the

secondary settling tank. If the designers are not take into account this factor it can lead sometimes to making of irrational design decisions and unnecessary complication of the technological scheme of treatment facilities on the example of the project of reconstruction of water treatment facilities of one of the large cities of Ukraine. Thus, the excessive dose of sludge taken in the design led to the insufficient capacity of the existing six secondary settling tanks of the first technological line of the treatment plant. That is why the complex scheme of redistribution of part of the sludge mixture from the aeration tank of the first technological line of the treatment plant to ten secondary settling tanks of the second technological line was provided in the design. Such a decision led to the need for the new construction of two pumping stations for pumping the sludge mixture and return activated sludge, which caused certain objections of the design customer. The paper shows that reducing the calculated dose of activated sludge in the aeration tank allows increasing the allowable hydraulic load on the surface of the secondary settling tanks of the first technological line and increasing their capacity to the desired value. At the same time, as the aeration tank's capacity decreases, it remains sufficient to pass the design flow rate while ensuring the standard quality of treated wastewater. This allows refusing the use of a complex hydraulic load redistribution scheme between the secondary settling tanks of the first and second technological lines of treatment facilities and significantly simplify their further operation.

**Ключові слова:**Очисні споруди, біологічне очищення, аеротенк, вторинний відстійник, доза активного мулу, седиментаційні властивості, технологічна схема, оптимізація

Wastewater treatment plants, biological treatment, aeration tank, secondary settling tank, dose of activated sludge, sedimentation properties, technological scheme, optimization

**Вступ.** Прийнята при проектуванні очисних споруд водовідведення доза активного мулу в аеротенку чинить комплексний вплив на пропускну спроможність системи «аеротенк – вторинний відстійник». Збільшення концентрації активного мулу в аеротенку підвищує ефективність біологічного очищення стічних вод та продуктивність аеротенка, оскільки більша маса мулу бере участь у розкладанні органічних речовин та нітрифікації. Проте надто висока концентрація мулу призводить до погіршення його седиментаційних властивостей, що ускладнює відділення мулу від очищених стічних вод у вторинному відстійнику і зменшує пропускну спроможність останнього. Натомість зниження дози активного мулу покращує його здатність до седиментації, але при цьому знижується

ефективність біологічного очищення, що зумовлює необхідність збільшення часу перебування стічних вод в аеротенку та, відповідно, об'єму аераційної споруди [1, 2, 3].

Отже, оптимальна концентрація активного мулу повинна забезпечувати баланс між ефективністю біологічного очищення стічних вод в аеротенку та добрими седиментаційними властивостями мулу у вторинному відстійнику. Віднайти цей баланс досить складно, і проєктувальники зазвичай нехтують цим завданням, що може призводити до прийняття ними нераціональних проєктних рішень.

Розглянемо дане питання на прикладі проєкту реконструкції очисних споруд водовідведення одного з великих міст України (через воєнний стан у нашій країні не будемо наводити його назву).

**Існуючий стан очисних споруд.** Технологічна схема діючих очисних споруд водовідведення передбачає очищення стічних вод від грубодисперсних і мінеральних домішок на механізованих решітках та в горизонтальних пісковловлювачах, після чого відбувається розподілення стоків на дві незалежні технологічні лінії механічного і біологічного очищення стічних вод (рис. 1).

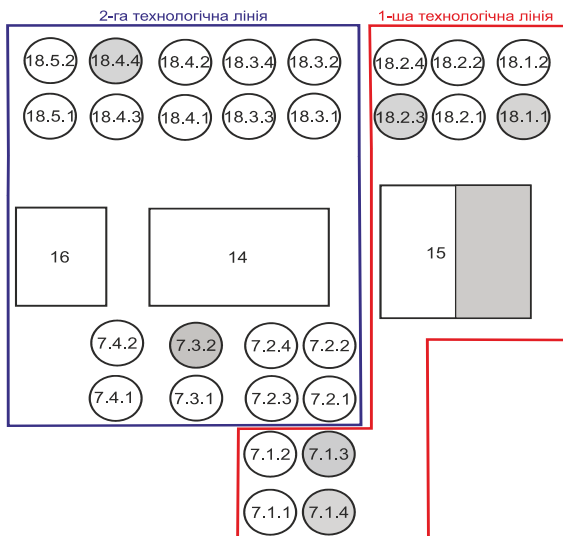


Рис. 1. Схема майданчика діючих очисних споруд з розташуванням первинних відстійників (7.1.1 – 7.4.2), аеротенків (14, 15, 16) і вторинних відстійників (18.1.1 – 18.5.2) та з розподіленням споруд за технологічними лініями (споруди, що виведені з експлуатації, позначені сірим кольором)

В першу технологічну лінію очисних споруд входять чотири первинні радіальні відстійники діаметром 40 м (див. рис. 1, поз. 7.1.1 – 7.1.4), чотири секції трьохкоридорного аеротенка загальним об'ємом 96 тис. м<sup>3</sup> (15) та шість вторинних радіальних відстійників діаметром 40 м (18.1.1 – 18.2.4). До складу другої технологічної лінії входять вісім первинних радіальних відстійників діаметром 40 м (7.2.1 – 7.4.2), чотири секції чотирьохкоридорного аеротенка об'ємом 96 тис. м<sup>3</sup> (14) та дві секції чотирьохкоридорного аеротенка об'ємом 48 тис. м<sup>3</sup> (16) і десять вторинних радіальних відстійників діаметром 40 м (18.3.1 – 18.5.2). Знезараження очищених стічних вод перед їх випуском у водойму здійснюють шляхом подачі хлорної води з хлораторної в контактний колодезь на скидному трубопроводі.

Через особливості рельєфу майданчика очисної станції споруди другої технологічної лінії розташовані приблизно на 1 м вище відповідних споруд першої технологічної лінії. Ця обставина є важливою і суттєво вплинула на прийняті у проєкті реконструкції очисних споруд рішення.

**Аналіз проєкту реконструкції очисних споруд.** Одним із завдань реконструкції діючих очисних споруд є зміна технології біологічного очищення стічних вод в аеротенках з метою підвищення ефективності видалення зі стоків біогенних елементів (азоту і фосфору) до нормативних показників. Це зумовлює необхідність проведення реконструкції ряду існуючих та будівництва низки нових технологічних споруд і виробничих корпусів зі встановленням відповідного обладнання (детальніше див. у статті [4]).

Через високу концентрацію у стічних водах біогенних елементів за порівняно невисокого вмісту органічних речовин проєктом реконструкції очисних споруд передбачене застосування таких заходів:

- зниження ефективності первинного прояснення стічних вод за рахунок зменшення кількості діючих первинних відстійників з дванадцяти до восьми (сім робочих та один резервний відстійники 7.1.1 – 7.2.4);
- застосування ацидофікації (преферментації) сирого осаду в первинних відстійниках, що сприятиме підвищенню вмісту у стічних водах органіки, яка легко окислюється і необхідна для біологічного видалення фосфору в аеротенках [2, 3];
- реалізація в аеротенках 15 і 14 технології спільного біологічного видалення азоту і фосфору за схемою йоганнесбурзького процесу JNB [1, 2, 3] (при цьому аеротенк 16 виводять з експлуатації);
- додаткове хімічне видалення фосфору шляхом реагентної обробки стоків гідроксихлоридом алюмінію [2].

Розрахункова продуктивність очисних споруд після їхньої реконструкції має становити 400 тис. м<sup>3</sup>/добу. Проектом реконструкції передбачено, що перша і друга технологічні лінії матимуть однакову пропускну спроможність (по 50% проектної витрати стічних вод, або по 200 тис. м<sup>3</sup>/добу). При цьому кількість та об'єми первинних відстійників і аеротенків обох ліній будуть однакові, проте різною буде кількість вторинних відстійників, а саме: 6 відстійників на першій та 10 на другій технологічних лініях.

Для вирівнювання гідравлічного навантаження між всіма вторинними відстійниками проектом реконструкції передбачене перекачування вертикальними осьовими насосами частини мулової суміші з нижнього лотка аеротенка першої лінії 15 в нижній лоток аеротенка другої лінії 14 для її подальшого перерозподілення по вторинних відстійниках другої технологічної лінії. Таке проектне рішення призводить до значного ускладнення схеми рециркуляції зворотного активного мулу з вторинних відстійників в аеротенки. Для його реалізації передбачена реконструкція існуючої та нове будівництво додаткової мулових насосних станцій. Слід сказати, що замовник проекту (місцевий «Водоканал») досить негативно поставився до описаної вище технологічної схеми, оскільки при її реалізації вона суттєво ускладнить подальшу експлуатацію очисних споруд.

**Обґрунтування вирішення існуючої проблеми.** Автори статті пропонують альтернативне технічне рішення, а саме: замість застосування схеми перерозподілення гідравлічного навантаження між вторинними відстійниками першої та другої технологічних ліній рекомендовано підвищити пропускну спроможність існуючих шести вторинних відстійників першої лінії до 200 тис. м<sup>3</sup>/добу шляхом зменшення розрахункової дози активного мулу в аеротенку 15 з проектної величини 3,15 г/дм<sup>3</sup> до рекомендованого значення 2,6 г/дм<sup>3</sup>. Це дозволить за решти незмінних параметрів підвищити допустиме гідравлічне навантаження на поверхню вторинних відстійників і збільшити їхню пропускну спроможність до потрібної величини. При цьому за рахунок зменшення загальної маси активного мулу в системі дещо зменшиться окислювальна потужність аеротенка 15, але його продуктивність буде достатньою для пропуску розрахункової витрати при забезпеченні нормативної якості очищених стічних вод. Запропоноване авторами технічне рішення дозволить зробити першу технологічну лінію очисних споруд абсолютно автономною від другої технологічної лінії та збільшити її пропускну

спроможність до потрібної величини – 50% від проектної продуктивності очисної станції.

Розрахунки, що були виконані згідно з методикою стандарту ATV-DVWK-A 131E (2000) [5], підтверджують цю тезу. Так, зменшення розрахункової дози активного мулу в аеротенку з 3,15 до 2,6 г/дм<sup>3</sup> дозволяє збільшити допустиме гідравлічне навантаження на поверхню вторинних відстійників з 1,32 до 1,60 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год). Відтак пропускна спроможність шести існуючих вторинних відстійників першої технологічної лінії збільшується з 9950 до 12080 м<sup>3</sup>/год (201 тис. м<sup>3</sup>/добу за коефіцієнта годинної нерівномірності водовідведення 1,44).

Водночас сумарна кількість біомаси за сухою речовиною в аеротенку при зниженні дози мулу зменшиться з проектної величини 268 тис. до 222 тис. кг. Проте при необхідному віку мулу в аеротенку не менше 8,5 діб, його розрахунковому добовому приросту 26 тис. кг/добу та добовому навантаженню на аеротенк за БПК<sub>5</sub> 24 тис. кг/добу за цієї кількості біомаси розрахункова продуктивність аеротенка становитиме 204 тис. м<sup>3</sup>/добу (при забезпеченні нормативної якості очищених стічних вод), тобто буде цілком достатньою для пропуску розрахункової витрати стічних вод.

Отже, оптимізація дози мулу в аеротенку дозволяє підвищити пропускну спроможність вторинних відстійників першої технологічної лінії очисних споруд до потрібної величини і відмовитись від складної схеми перерозподілення стічних вод та зворотного активного мулу між технологічними лініями, проти якої висловлював свої заперечення замовник проекту.

**Висновки.** Оптимальна доза активного мулу в аеротенку має забезпечувати баланс між ефективністю біологічного очищення стічних вод в аераційній споруді та добрими седиментаційними властивостями мулу у вторинному відстійнику. На прикладі проекту реконструкції очисних споруд водовідведення одного з великих міст України показано, що неврахування цього факту проектувальниками часом може призводити до прийняття нерациональних проектних рішень та непотрібного ускладнення технологічної схеми очисних споруд. Натомість оптимізація дози активного мулу дозволяє знайти баланс продуктивності споруд у системі «аеротенк – вторинний відстійник», підвищити загальну пропускну спроможність цієї системи і значно спростити технологічну схему очисних споруд.

1. Qasim, S. R., & Zhu, G. (2018). Wastewater Treatment and Reuse. Theory and Design Examples. Vol. 1: Principles and Basic Treatment. CRC Press, Taylor & Francis Group. doi: <https://doi.org/10.1201/b22366>
2. van Haandel, A. C., & van der Lubbe, J. G. M. (2012). Handbook of Biological Wastewater Treatment. Design and Optimisation of Activated Sludge Systems. 2nd ed. IWA Publishing. doi: <https://doi.org/10.2166/9781780400808>
3. Henze, M., van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008). Biological Wastewater Treatment. Principles, Modelling and Design. IWA Publishing. doi: <https://doi.org/10.2166/9781789060362>
4. Protsenko, S., Kizyeyev, M., & Novytska., O. (2023). Computer modelling of operation of existing wastewater treatment plant during its reconstruction. Journal Environmental Problems, 8(4), 263-270. doi: <https://doi.org/10.23939/ep2023.04.263>
5. Standard ATV-DVWK-A 131E. (2000, May). Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants. ATV-DVWK Water, Wastewater and Waste. Retrieved from [https://dlscrib.com/download/atv-dvwk-a-131e\\_58ff62c7dc0d60307d959e98\\_pdf](https://dlscrib.com/download/atv-dvwk-a-131e_58ff62c7dc0d60307d959e98_pdf)