



УДК 628.312

<https://doi.org/10.31713/vt320252>

Ковальчук В. А. [1; ORCID ID: 0000-0002-4098-7802],
д.т.н., професор,
Когут С. В. [1; ORCID ID: 0009-0005-3285-5788],
здобувач вищої освіти третього рівня

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

МЕТОД ПОКРАЩЕННЯ ОСАДЖУВАНОСТІ АКТИВНОГО МУЛУ

Здатність активного мулу до осадження та ущільнення характеризує муловий індекс – відношення об'єму активного мулу в кубічних сантиметрах після відстоювання протягом 30 хв у циліндрах об'ємом 1 л до 1 г сухої речовини активного мулу. Головним чинником, який визначає величину мулового індексу, є навантаження на мул. Крім навантаження, на муловий індекс впливають достатність розчиненого кисню в муловій суміші, наявність в стічних водах токсичних елементів, легкоокислюваних органічних речовин (цукор, глюкоза, спирт). Встановлено, що при очищенні стічних вод в шахтних аеротенках і в окситенках значення мулового індексу суттєво зменшується. В свою чергу муловий індекс визначає дозу мулу в аеротенку, коефіцієнт рециркуляції активного мулу, ефективність роботи вторинних відстійників. В останні роки велику зацікавленість викликає метод зменшення величини мулового індексу шляхом вакуумування мулової суміші перед вторинними відстійниками. Очевидно, що внаслідок видалення газів під час вакуумування мулової суміші відбувається зміна структури пластівців активного мулу, що зумовлює покращання його осаджуваності. Метою роботи є експериментальна перевірка ефективності методу вакуумної дегазації мулової суміші міських каналізаційних очисних споруд. Дослідження виконувалися на експериментальній установці, яка являє собою камеру, виготовлену з органічного скла, у верхній частині штуцер для подачі мулової суміші і підключення до вакуум-насосу, у дні влаштований вентиль для випуску вакуумованої мулової суміші в циліндр. Після завершення вакуумування відкривали випускний вентиль і повільно зливали мулову суміш у скляний мірний циліндр об'ємом 1 л після чого визначали об'єм мулу за різні проміжки часу. На першому етапі дослідження виконували при різних значеннях вакууму – 0,02, 0,04, 0,06 і 0,07 МПа. За робоче було прийняте значення вакууму 0,04 МПа. На другому етапі було встановлено оптимальну тривалість вакуумування – 3 хвилини. Нескладні розрахунки показали, що доза активного мулу в аеротенку може збільшитися 1,39 рази, що вказує на перспективність і

доцільність застосування на каналізаційних очисних спорудах процесу вакуумування мулової суміші.

Ключові слова: мулова суміш; муловий індекс; вакуумування мулової суміші.

Постановка проблеми. Муловий індекс характеризує здатність активного мулу до осадження та ущільнення. Муловий індекс визначається як об'єм активного мулу в кубічних сантиметрах після відстоювання протягом 30 хв у циліндрах об'ємом 1 л, віднесений до 1 г сухої речовини активного мулу [1].

Муловий індекс показує, який об'єм займає біоценоз активного мулу у стані спокою. Для добре працюючих аеротенків на міських очисних спорудах $J = 80-120 \text{ см}^3/\text{г}$, глибоко мінералізований мул може мати індекс $60-90 \text{ см}^3/\text{г}$. При «спуханні» активного мулу його муловий індекс перевищує $150-200 \text{ см}^3/\text{г}$. Такий мул погано осідає і відділяється від води у вторинних відстійниках, виноситься з очищеною водою, внаслідок чого зменшується загальний ефект очистки в аеротенку.

Муловий індекс залежить від багатьох чинників: навантаження на активний мул; достатньої кількості біогенних елементів (передусім фосфору); достатності розчиненого кисню в муловій суміші; наявності в стічних водах токсичних елементів, що можуть призвести до загибелі частини активного мулу; наявності в стічних водах легкоокислюваних органічних речовин (цукор, глюкоза, спирт).

Головним чинником, який визначає величину мулового індексу, є навантаження на мул (рис. 1). При очистці міських стічних вод в інтервалі навантажень на активний мул за $\text{БСК}_{\text{повн}}$ $500-1300 \text{ мг}/(\text{г}\cdot\text{добу})$ муловий індекс різко зростає, і нормальна робота очисних споруд стає практично неможливою. Дещо зростає муловий індекс і при низьких навантаженнях на активний мул.

Зрозуміло, що чим менше значення мулового індексу, тим краще активний мул осаджується й ущільнюється у вторинних відстійниках, тим менше рециркуляційного мулу потрібно перекачувати в аеротенки і навпаки. Кількість рециркуляційного мулу встановлюється за так званим коефіцієнтом (ступенем) рециркуляції.

На величину мулового індексу сильно впливають, також, і умови здійснення процесу біологічної очистки стічних вод. Встановлено, що при здійсненні процесу біологічної очистки в шахтних аеротенках, в умовах підвищеного тиску і високих концентрацій розчиненого кисню значення мулового індексу



становить 60–98 см³/г. Аналогічне явище зафіксовано і при очистці стічних вод в так званих окситенках: доза мулу в окситенках приймається рівною 5–12 г/дм³, концентрація розчиненого кисню 6–12 мг/дм³, муловий індекс зменшується в 1,3–1,4 рази у порівнянні із звичайним, а коефіцієнт приросту мулу складає 0,25 [1; 2].

В останні роки в закордонній літературі з'явилися матеріали із застосування для зменшення мулового індексу мулової суміші методу вакуумної дегазації. Опубліковані результати застосування вакуумної дегазації за кордоном свідчать про багато переваг цього методу, однак в них відсутні необхідні відомості та рекомендації щодо розрахунку, конструювання та експлуатації вакуумних дегазаторів [1; 2]. **Тому метою роботи на першому етапі є експериментальна перевірка ефективності методу вакуумної дегазації.** Надалі будуть розроблені конструкції дегазаторів і технологічні схеми їх застосування для інтенсифікації біологічної очистки стічних вод.

Результати досліджень. Перевірка ефективності методу вакуумної дегазації здійснювали на експериментальній установці, змонтованій в лабораторії кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи НУВГП. Установка являє собою камеру, виготовлену з органічного скла (рис. 1). В верхній частині камери змонтований штуцер для подачі мулової суміші і підключення до вакуум-насосу, у дні влаштований вентиль для випуску вакуумованої мулової суміші в циліндр.

В дослідженнях для створення вакууму використовується пристрій «Медичний відсмоктувач 7Е-А», який працює на базі безмасляного поршневого вакуумного насосу. Вакуум регулюється за допомогою манометра, який входить до складу пристрою, технічні характеристики якого наведені в табл. 1.

Проби мулової суміші відбирали на виході з аеротенків діючих очисних споруд Рівненського обласного виробничого комунального підприємства водопровідно-каналізаційного господарства (РОВОКП ВКГ) м. Рівне. Відбір мулової суміші здійснювали згідно з ДСТУ ISO 5667-10:2005 «Якість води. Відбирання проб. Частина 10. Настанова щодо відбирання проб стічних вод». В усіх пробах мулової суміші визначалися концентрації сухої речовини активного мулу.

Пробу мулової суміші об'ємом 1 л злегка збовтували, заливали в установку і підключали до вакуумної лінії (рис. 2, 3). Тривалість вакуумування фіксували за допомогою секундоміра. Після завершення вакуумування відкривали випускний вентиль і повільно

зливали мулову суміш у скляний мірний циліндр об'ємом 1 л. У другому циліндрі досліджували іншу частину тієї само проби мулової суміші, яка не піддавалася вакуумуванню. Дослідження виконували при температурі 20° С.

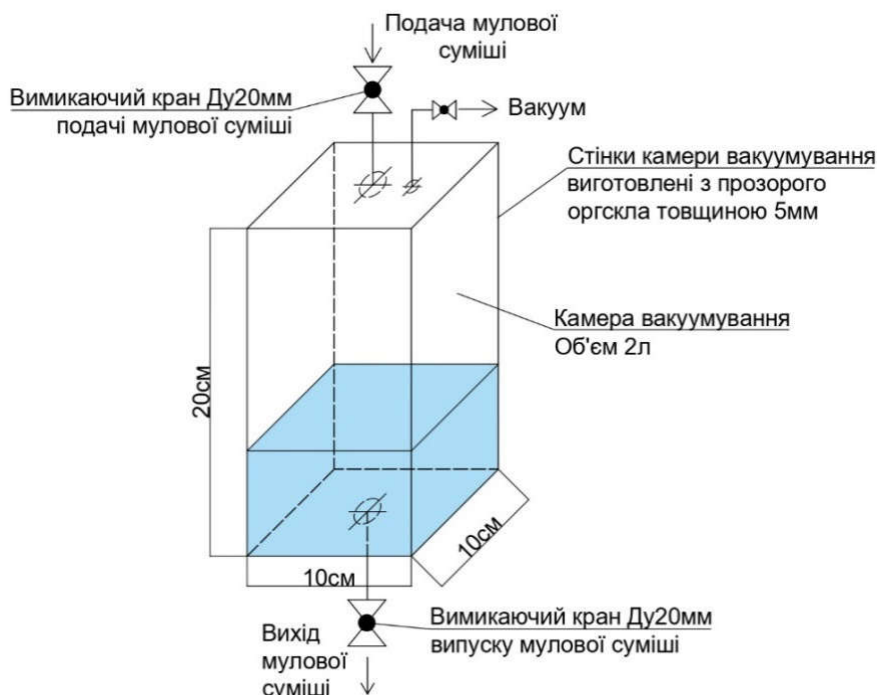


Рис. 1. Схема установки для вакуумування мулової суміші

Таблиця 1

Технічні характеристики вакуумного пристрою

№	Параметр	Величина
1	Максимальний вакуум	не менше 0,075 Мпа
2	Діапазон регулювання вакууму	від 20 кПа до макс. значення
3	Макс. потік по повітрю	не менше 18 л/хв.
4	Макс. потік по рідині	не менше 6 л/хв.
5	Рівень шуму	не більше 65 дБ(А)
6	Маса нетто	4,4 кг
7	Споживана потужність	90 ВА
8	Габаритні розміри	280 x 196 x 285 (мм)
9	Параметри живлення	~ 220 В/50Гц

Після випускання 1 л вакуумованої мулової суміші у циліндр включався секундомір і фіксувався об'єм мулової суміші в даний момент часу. Такі ж дослідження виконувалися і на пробі мулової суміші, яка не піддавалася вакуумуванню.



Рис. 2. Зовнішній вигляд установки до початку експериментів

На першому етапі досліджень вибирали величину вакууму. Для цього проби піддавали вакуумуванню тривалістю 60 с при різних значеннях вакууму – 0,02, 0,04, 0,06 і 0,07 МПа (рис. 4). Із отриманих результатів слідує, що збільшення величини вакууму призводить до зменшення об'єму мулу при тій самій тривалості дослідження. Однак, враховуючи можливості реального здійснення процесу вакуумування на очисних спорудах, було прийняте рішення за робоче значення вакууму 0,04 МПа. Початкова концентрація мулу за сухою речовиною становила 2,56 г/дм³.

На рисунку 5 представлені результати вакуумування мулової суміші з початковою концентрацією мулу за сухою речовиною 2,56 г/дм³ протягом різного часу з яких слідує, що найменших об'єм мулу досягається при тривалості вакуумування 3 хвилини.



Рис. 3. Зовнішній вигляд установки при виконанні експериментів

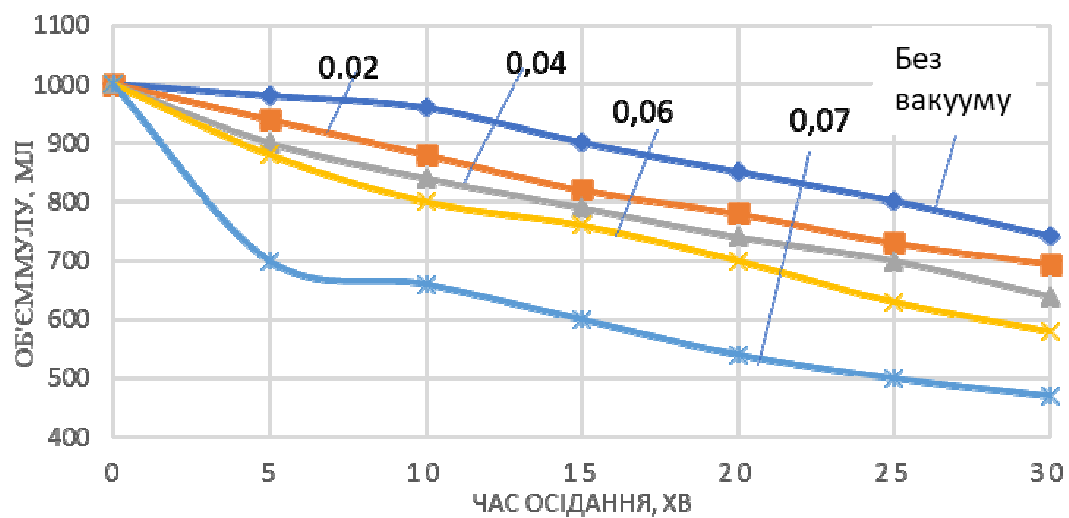


Рис. 4. Залежність об'єму мулу від величини вакууму

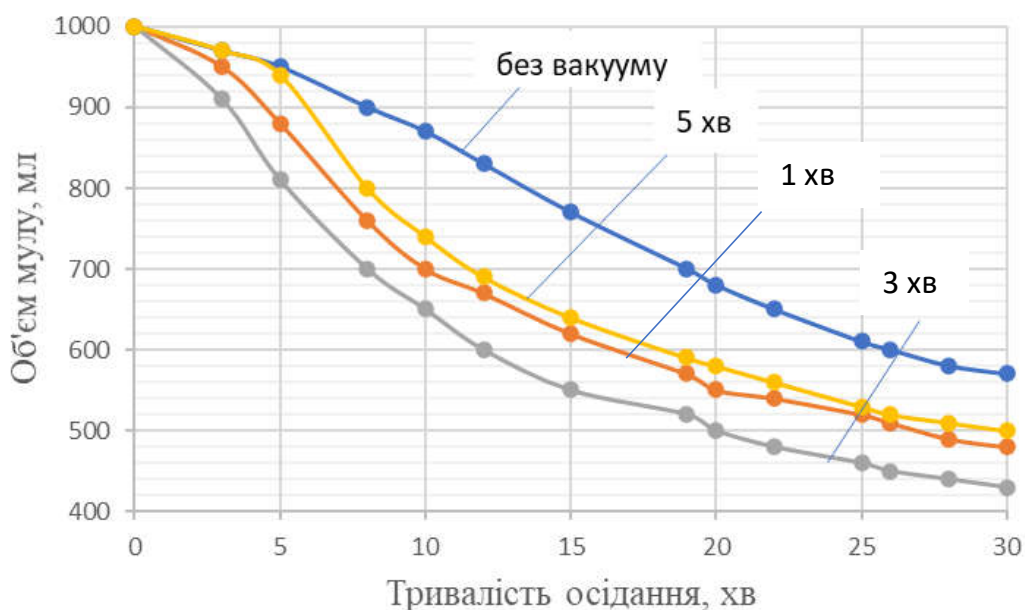


Рис. 5. Залежність об'єму мулу від тривалості вакуумування

Для оцінки ефективності вакуумування активного мулу виконаємо деякі розрахунки. Спочатку визначимо муловий індекс для тривалості вакуумування 3 хвилини – він становитиме $430 / 2,56 = 168 \text{ см}^3/\text{г}$. Доза мулу після вакуумування буде становити $2,56 / 0,43 = 5,95 \text{ г}/\text{дм}^3$.

За формулою (В.12) ДБН встановимо значення коефіцієнта рециркуляції активного мулу в аеротенку – $2,56 / (1000/168 - 2,56) = 0,75$, а потім за формулою (В.15) – дозу мулу в аеротенку $5,95 / (1/2 \cdot 0,75 + 1) = 3,57 \text{ г}/\text{дм}^3$. Таким чином, доза активного мулу в аеротенку може збільшитися у $3,57 / 2,56 = 1,39$ рази.

Зростання дози мулу в аеротенку зумовить збільшення окислювальної потужності аеротенка, що дасть можливість збільшити його продуктивність без будь-якого збільшення об'єму. Дегазація мулової суміші за рахунок видалення повітря, вуглекислого газу та азоту призведе до покращення роботи вторинних відстійників за рахунок зменшення флоатації мулу на поверхню.

Висновки. Виконані попередні дослідження процесу вакуумування мулової суміші показали його перспективність і доцільність застосування на каналізаційних очисних спорудах оскільки процес вакуумування мулової суміші; 1) зумовлює зменшення мулового індексу; 2) дозволяє збільшити дозу мулу в

аеротенку і зростання його окислювальної потужності; 3) покращує роботу вторинних відстійників.

1. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод. Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с. 2. Сіньов О. П. Інтенсифікація роботи і реконструкція каналізаційних очисних споруд : навч. посіб. К. : ІСДО, 1994. 136 с. 3. Maciejewski M., Oleszkiewicz J. A., Golcz A., Nazar A. Degasification of mixed liquor improves settling and biological nutrient removal. *Water Pract Technol.* 2010. Vol. 5. P. 1–7. 4. A. Gnida, M. Skonieczna. Vacuum treatment changes characteristics of activated sludge. *International Journal of Environmental Science and Technology.* 2020. Vol. 17. P. 2073–2084. 5. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ : Мінрегіон України, 2013. 127 с.

REFERENCES:

1. Kovalchuk V. A. Ochystka stichnykh vod. Rivne : VAT «Rivnenska drukarnia», 2002. 622 s. 2. Sinov O. P. Intensyfikatsiia roboty i rekonstruktsiia kanalizatsiinykh ochysnykh sporud : navch. posib. K. : ISDO, 1994. 136 s. 3. Maciejewski M., Oleszkiewicz J. A., Golcz A., Nazar A. Degasification of mixed liquor improves settling and biological nutrient removal. *Water Pract Technol.* 2010. Vol. 5. P. 1–7. 4. A. Gnida, M. Skonieczna. Vacuum treatment changes characteristics of activated sludge. *International Journal of Environmental Science and Technology.* 2020. Vol. 17. P. 2073–2084. 5. DBN V.2.5-75:2013. Kanalizatsiia. Zovnishni merezhi ta sporudy. Osnovni polozhennia proektuvannia. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2013. 127 s.

Kovalchuk V. A. [1; ORCID ID: 0000-0002-4098-7802]

Doctor of Engineering, Professor,

Kohut S. V. [1; ORCID ID: 0009-0005-3285-5788],

Post-graduate Student

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne

METHOD FOR IMPROVING SETTLEMENTABILITY OF ACTIVATED SLUDGE

The ability of activated sludge to settle and compact is characterized by the sludge index – the ratio of the volume of activated sludge in cubic centimeters after settling for 30 minutes in cylinders with a volume of 1 liter to 1 g of dry matter of activated sludge. The main factor that determines the value of the sludge index is the load on the sludge. In addition to the load, the sludge index is affected by the sufficiency of dissolved oxygen in the sludge mixture, the presence of toxic elements in wastewater, and easily oxidizable organic substances (sugar, glucose, alcohol). It has been established that when wastewater is treated in deep shaft aeration tanks and in oxytanks, the



value of the sludge index is significantly reduced. In turn, the sludge index determines the dose of sludge in the aeration tank, the activated sludge recirculation coefficient, and the efficiency of secondary settling tanks. In recent years, a method of reducing the value of the sludge index by vacuuming the sludge mixture before secondary settling tanks has attracted great interest. It is obvious that as a result of the removal of gases during the vacuuming of the sludge mixture, the structure of the activated sludge flakes changes, which leads to an improvement in its settleability. The aim of the work is to experimentally verify the effectiveness of the method of vacuum degassing of the sludge mixture of urban sewage treatment plants. The research was carried out on an experimental installation, which is a chamber made of organic glass, in the upper part there is a fitting for supplying the sludge mixture and connecting it to a vacuum pump, at the bottom there is a valve for releasing the vacuumed sludge mixture into a cylinder. After the vacuuming was completed, the outlet valve was opened and the sludge mixture was slowly drained into a glass measuring cylinder with a volume of 1 l, after which the volume of the sludge was determined at different time intervals. At the first stage, the research was carried out at different vacuum values – 0,02, 0,04, 0,06 and 0,07 MPa. The working vacuum value was taken to be 0.04 MPa. At the second stage, the optimal duration of vacuuming was established – 3 minutes. Simple calculations showed that the dose of activated sludge in the aeration tank can increase by 1,39 times, which indicates the prospects and feasibility of using the process of vacuuming the sludge mixture in sewage treatment plants.

Keywords: sludge mixture; sludge index; vacuuming of sludge mixture; vacuum value; vacuuming duration; efficiency of the vacuuming process.

Отримано: 15 червня 2025 року
Прорецензовано: 08 вересня 2025 року
Прийнято до друку: 25 вересня 2025 року