



Ковальчук В. А. [1; ORCID ID: 0000-0002-4098-7802],
д.т.н., професор
Кобилко І. В.,
здобувач вищої освіти третього рівня

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ КОМПАКТНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД МАЛИХ МОЛОКОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Молокопереробні підприємства відіграють важливу роль у харчовій промисловості, проте процес переробки молока супроводжується утворенням висококонцентрованих стічних вод. Кількість стічних вод, що утворюються на конкретному підприємстві, залежить від кількості перероблюваного молока, виду продукції, технології виробництва тощо. У статті, на основі аналізу статистичних даних, встановлено, що за кількістю утворених стічних вод значна кількість молокопереробних підприємств може бути віднесена до малих. Зазвичай такі підприємства розміщуються у сільській місцевості у невеликих населених пунктах, де немає потужних комунальних очисних споруд – приймачів стічних вод. Тому необхідно здійснювати глибоку очистку таких стічних вод. Розглянуто склад і властивості стічних вод молокопереробних підприємств. Представлено технологію глибокої очистки малих молокопереробних підприємств в компактних очисних спорудах, яка передбачає вилучення крупних відходів на решітках або ситах, видалення піску та інших мінеральних домішок в тангенційних піскоуловлювачах, очистку стічних вод від завислих речовин і жирів у відстійниках-флотаторах, двоступінчасту біологічну очистку в аеротенках-відстійниках підвищеної гідравлічної висоти зі струминною аерацією, глибоку доочистку на аерованих фільтрах з плаваючим пінополістирольним завантаженням та знезаражування. При проєктуванні очисних споруд малих молокопереробних підприємств було запропоновано здійснити просторово-функціональне комбінування споруд, відповідно до якого в одній споруді влаштовується відстійник-флотатор і аеротенк-відстійник першого ступеня, а в іншій – аеротенк-відстійник другого ступеня і аерований фільтр із плаваючим завантаженням. Компактні очисні споруди виготовляються із металу і розміщуються вище рівня землі. Розглянуто особливості конструкції таких компактних очисних споруд, переваги їх застосування, а також наведено приклад їх впровадження на малому молокопереробному підприємстві.

Ключові слова: малі молокопереробні підприємства; стічні води;

концентрації забруднень стічних вод; технологія очистки стічних вод в компактних очисних спорудах.

Постановка проблеми. Згідно зі статистичними даними [1] станом на 1 листопада 2022 року в Україні нараховувалося 354 підприємства, що здійснювали діяльність за видом «Переробка молока, виробництво масла та сирів». Якщо орієнтовно прийняти річну кількість молока, що надходить на переробні підприємства, рівною 3222,7 тисяч тонн у рік, то середня кількість перероблюваного молока у розрахунку на одне підприємство, становитиме 24,9 т/добу. При питомій витраті стічних вод, які утворюються у розрахунку на 1 т перероблюваного молока, 4 м³ [2], добова витрата стічних вод у середньому становитиме приблизно 100 м³/добу. Зрозуміло, що молокопереробні підприємства значно відрізняються за своєю продуктивністю, а це значить, що на переважній кількості молокопереробних підприємств добова витрата утворюваних стічних вод буде меншою від 100 м³/добу тобто вони можуть бути віднесені до малих. **Тому метою роботи є розробка технології і компактних споруд для очистки малих молокопереробних підприємств.**

Склад і властивості стічних вод молокопереробних підприємств залежать від виду продукції, що випускається, технологічного рівня і продуктивності підприємств, кількості використовуваної води, способу переробки сироватки, застосовуваних засобів миття і дезінфекції обладнання, трубопроводів та приміщень. Стічні води молокопереробних підприємств висококонцентровані за вмістом завислих речовин, жирів і забруднень, окислюваних біохімічним і хімічним шляхом, мають низький вміст амонійного азоту і підвищений вміст нітратів та фосфатів (таблиця). Показник рН стічних вод може коливатися в межах 4–11 [2].

Найчастіше малі підприємства молокопереробної промисловості розміщені у сільські місцевості або в невеликих містах де є малопотужні комунальні очисні споруди, тому очищені стічні води від цих підприємств мають скидатися у відкриті водойми.

Для очистки стічних вод молокопереробних підприємств Національним університетом водного господарства та природокористування запропоновано технологію, яка передбачає:

- вилучення крупних відходів на решітках, ситах, сепараторах тощо;



Таблиця

Характеристика стічних вод молокопереробних підприємств [2]

Показники забруднення стічних вод	Значення показників забруднення стічних вод			
	маслозаводів	сирзаводів	міськмол-заводів	молочно-консервних комбінатів
рН	5,9	<u>4,18-6,37</u> 5,56	<u>4,4-8,6</u> 6,4	-
Завислі речовини, мг/дм ³	2860	<u>248-867</u> 493	<u>494-3069</u> 902	448-602
ХСК, мг/дм ³	5304	<u>910-6664</u> 4116	<u>687-10270</u> 5650	1100-2210
БСК _{повн} , мг/дм ³	-	<u>760-4508</u> 3547	-	920-1870
БСК ₅ , мг/дм ³	3126	<u>590-3925</u> 3335	<u>410-5893</u> 3559	890-1440
Жири, мг/дм ³	-	<u>32-146</u> 66	-	-
Азот амонійний, мг/дм ³	9,11	<u>5,8-8,8</u> 7,2	<u>95-262</u> 113	25-39
Нітрити (N), мг/дм ³	2,23	відс.	відс.	відс.
Нітрати (N), мг/дм ³	56,3	<u>29,4-37</u> 33,2	відс.	відс.
Фосфати (P), мг/дм ³	-	<u>49-295</u> 210	-	-

- вилучення піску та інших крупних мінеральних домішок в тангенційних піскоуловлювачах;
- гравітаційно-флотаційне видалення завислих речовин і жирів у відстійниках-флотаторах;
- двоступінчасту біологічну очистку висококонцентрованих стічних вод в аеротенках-відстійниках підвищеної гідравлічної висоти з струминною аерацією;
- глибоку доочистку на аерованих фільтрах із плаваючим пінополістирольним завантаженням;
- знезаражування.

Результати досліджень. При проектуванні очисних споруд малих молокопереробних підприємств мають бути враховані

наступні особливості.

Відмова від усереднення стічних вод. Усереднення дозволяє зменшити годинну витрату очищуваних стічних вод і вирівняти їх концентрації, що безумовно позитивно впливатиме на роботу споруд флоатаційної і біологічної очистки. Однак, розрахунковий об'єм усереднювачів становить приблизно 30–50% від об'єму аеротенків без будь-якого зменшення БСК стічних вод. При концентрації завислих речовин більше 500 мг/дм³, що характерно для стічних вод молокопереробної промисловості, досить складною має бути і механічна система перемішування вмісту усереднювача. Виходячи з цих обставин, доцільним уявляється відмова від спеціальних усереднювачів з подаванням стічних вод безпосередньо в аеротенк першого ступеня [3].

Застосування для видалення із стічних вод завислих речовин і жирів відстійників-флотаторів. Ці споруди працюють за схемою з рециркуляцією робочої рідини, короткотривалим відстоюванням стічних вод і сумісним висхідним рухом бульбашок повітря та частинок забруднень у зоні флоатації [4], що дає змогу: – збільшити загальну ефективність вилучення зависі за рахунок попереднього осадження погано флотованих більших частинок; – забезпечити максимальний ефективний контакт зависі із бульбашками повітря при сумісному висхідному рухові; – спростити процес видалення шламу і осаду за рахунок влаштування конічного дна і відносно малої площі круглих у плані відстійників-флотаторів.

Для успішного здійснення аеробної біологічної очистки стічних вод молокопереробних підприємств активним мулом період перебування неочищених стічних вод в анаеробних умовах повинен бути найкоротшим. Якнайшвидше здійснення аерації стічних вод сприятиме запобіганню молочнокислого бродіння лактози, зменшенню рН і тим самим створенню сприятливих умов для аеробної біологічної очистки стічних вод.

Для двоступінчастої біологічної очистки доцільно використовувати комбіновані аеротенки-відстійники підвищеної гідравлічної висоти (6–10 м) із поверхневою струминною аерацією. Похилі струмини, направлені по дотичній, забезпечують розкручування активного мулу в плані аеротенка і не допущення його осадження на дно аеротенка [5]. Підвищена висота зони відстоювання дозволяє збільшити дозу мулу і, відповідно, окислювальну потужність. Також забезпечується ефективне видалення амонійного азоту шляхом симультанної нітрифікації-



денітрифікації за рахунок створення аеробних умов у верхній і анаксовидних умов – у нижній частині зони аерації.

Для ефективної доочистки стічних вод передбачається застосування аерованих фільтрів із плаваючим завантаженням типу ФПЗ-4 із низхідним напрямком фільтрування.

Окрім згаданих вище, при проектуванні очисних споруд малих молокопереробних підприємств мають бути додатково враховані важливі обставини:

- можливість високого залягання ґрунтових вод;
- обмежені розміри майданчиків під очисні споруди і їх насиченість інженерними комунікаціями;
- необхідність будівництва або реконструкції очисних споруд в короткі терміни без будь-яких порушень технологічного циклу діючого підприємства.

Як показали розрахунки окремих споруд вони мають невеликий гідравлічний об'єм, потребують влаштування значної кількості технологічних трубопроводів невеликого діаметру, що вимагає застосування спеціальної теплової ізоляції для запобігання охолодженню і навіть замерзанню у зимовий період. З огляду на ці обставини, запропоновано здійснити просторово-функціональне комбінування споруд, відповідно до якого в одній споруді влаштовується відстійник-флотатор і аеротенк-відстійник першого ступеня, а в іншій – аеротенк-відстійник другого ступеня і фільтр із плаваючим завантаженням. На наш погляд це створює наступні переваги: 1) у одній споруді здійснити одразу декілька технологічних процесів очистки стічних вод; 2) дозволяє зменшити довжину, або взагалі відмовитись від влаштування комунікацій між окремими спорудами; 3) максимально використати тепло стічних вод для підтримання необхідного температурного режиму в спорудах у зимовий період; 4) забезпечити компактність очисних споруд.

Компактні споруди глибокої очистки стічних вод малих підприємств харчової промисловості. На основі розробленої технології були запропоновані компактні очисні споруди глибокої очистки стічних вод малих підприємств молокопереробної промисловості (рис. 1).

Стічні води, які відводяться від цехів і виробництв підприємства, спочатку проходять решітки, піскоуловлювачі і за необхідності – жируловлювачі, після чого надходять у насосну станцію, яка зазвичай розміщується на території підприємства. У випадку, коли господарсько-побутові стічні води на підприємстві не

змішуються з виробничими, компактні споруди глибокої очистки можуть розміщуватися безпосередньо на території підприємства.

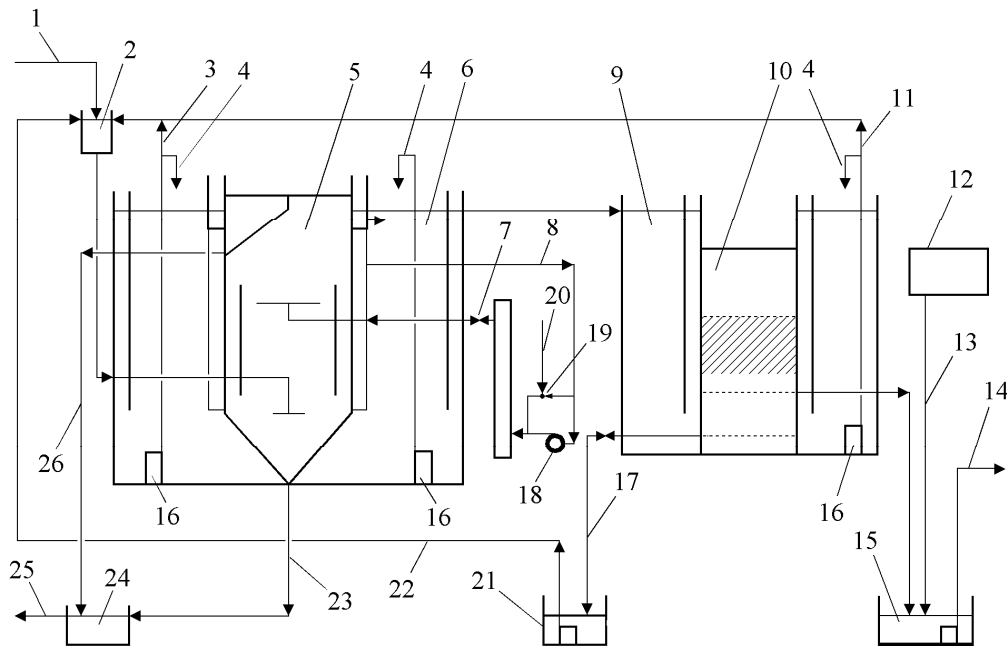


Рис. 1. Технологічна схема компактних споруд глибокої очистки стічних вод малих підприємств молокопереробної промисловості:

1 – подача неочищених стічних вод; 2 – приймальна камера; 3, 11 – надлишковий активний мул; 4 – струминні аератори; 5 – відстійник-флотатор; 6 – аеротенк-відстійник першого ступеня; 7 – редукційний клапан; 8 – робоча рідина; 9 – аеротенк-відстійник другого ступеня; 10 – фільтр з плаваючим завантаженням; 12 – хлораторна; 13 – хлорна вода; 14 – доочищені стічні води; 15 – контактний резервуар; 16 – насоси струминної аерації; 17 – промивна вода; 18 – флотаційний насос; 19 – водоструминний ежектор; 20 – повітря; 21 – насосна станція промивної води; 22 – подача промивної води в голову очисних споруд; 23 – осад; 24 – збірний резервуар осаду; 25 – осад та флотошлам на мулові майданчики; 26 – флотошлам

Далі стічні води перекачуються у приймальну камеру очисних споруд 2. Споруди будуються у вигляді двох круглих у плані металевих ємностей, розміщених вище рівня землі. У центрі першої ємності розміщується відстійник-флотатор 5, а на периферії – зона аерації і вторинний відстійник 6. Робоча рідина відстійника-флотатора самопливом надходить на флотаційний насос 18 після чого через напірний бак з редукційним клапаном 7 надходить у зону флотації. Насичення робочої рідини повітрям здійснюється за допомогою водоструминного ежектора 19, який встановлений на перемишці між напірним і всмоктувальним патрубками флотаційного



насоса. Далі після неповної біологічної очистки стічні води надходять в аеротенк-відстійник другого ступеня 9, в середині якого розміщений аерований фільтр з плаваючим пінополістирольним завантаженням 10.

Аерація мулової суміші в аеротенках обох ступенів здійснюється за допомогою поверхневих струминних аераторів, направлених під кутом 60° до горизонту, що гарантує розкручування мулової суміші в плані зон аерації для запобігання осадженню активного мулу. Подача мулової суміші з дна зони аерації на струминні аератори здійснюється за допомогою занурених насосів 16 або за допомогою відцентрових насосів, розміщених зовні біля ємностей очисних споруд.

Надлишковий активний мул з аеротенків обох ступенів подається у приймальну камеру очисних споруд 2, флотується у відстійнику-флотаторі і далі утилізується разом із флотошламом 26.

Періодичне промивання фільтра доочистки 10 здійснюється біологічно очищеною стічною водою, яка до початку промивки накопичується у надфільтровому просторі. Доочищені стічні води надходять у фільтр у вигляді окремих струмин, що забезпечує аерацію завантаження і підвищує ефективність доочистки. Промивна вода скидається в насосну станцію 21 звідки подається у приймальну камеру 2.

Доочищені стічні води надходять в контактний резервуар 15, де знезаражуються розчином гіпохлориту натрію, а далі перекачуються у водойму.

Компактні очисні споруди виготовляються на металообробних підприємствах у вигляді рулонів і монтуються безпосередньо на майданчику очисних споруд. Це дозволяє значно скоротити терміни будівництва у порівнянні з варіантом зведення очисних споруд із залізобетону, підвищити якість металоконструкцій, оскільки зварювання металевих аркушів у рулони здійснюється на заводах в автоматичному чи напівавтоматичному режимах із застосуванням сучасних методів контролю якості зварних швів. Сучасні полімерні покриття дозволяють запобігти корозії металу. Будівництво ємностей вище рівня землі дозволяє скоротити до мінімуму об'єми земляних робіт, площі котлованів, оскільки їх основою є піщана подушка. У сейсмічних районах і при просідаючих ґрунтах влаштовуються кільцеві або фундаменти з паль.

Прикладом компактних споруд для глибокої очистки стічних вод є, зокрема, очисні споруди молокопереробного підприємства ДП

«Ружин-молоко» продуктивністю 300 м³/добу. Очисні споруди влаштовані на базі двох металевих резервуарів діаметром по 9,3 м кожен (рис. 2). У виробничо-допоміжній будівлі передбачається розміщення флотаційного насоса, насосів струминної аерації, водоповітряного ежектора, напірного баку, електролізної установки для отримання розчину гіпохлориту натрію, а також електричного щита управління електрообладнанням. Очисні споруди будуть введені в експлуатацію після монтажу усього технологічного обладнання і виконання пусконаладжувальних робіт.



Рис. 2. Компактні очисні споруди молокопереробного підприємства ДП «Ружин-молоко»

Висновки. Розроблені компактні очисні споруди, які можуть застосовуватися для очистки стічних вод малих молокопереробних підприємств. Очисні споруди виготовляються із металу в заводських умовах і потім лише монтуються на місці встановлення, забезпечують необхідний ступінь очистки стічних вод, скорочення термінів проєктування, зменшення вартості і тривалості будівництва.

1. Держстат оприлюднив дані щодо кількості молокопереробних підприємств на 1 листопада 2022 року / Держ. ком. статистики України. Спілка молочних підприємств України. Джерело: Інфагро, UA-82.5. URL: <https://t.me/ua825/121> (дата звернення: 25.02.2025). 2. Ковальчук В. А. Склад і властивості стічних вод підприємств молокопереробної промисловості. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. 2012. Вип. 1(57). С. 59–66. 3. Ковальчук В. А. Компактні споруди глибокої очистки стічних



вод малих підприємств харчової промисловості. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. 2022. Вип. 41. С. 346–353. 4. Kovalchuk V. A. Wastewater treatment by flotation. *Water Supply and Wastewater Removal* : monografie / Politechnika Lubelska. Lublin University of Technology. Lublin, 2020. P. 135–162. 5. Ковальчук В. А. Біологічна очистка стічних вод в аеротенках-відстійниках зі струминною аерацією. *Ринок інсталяцій*. 2010. № 5. С. 11–13.

REFERENCES:

1. Derzhstat opryliudnyv dani shchodo kilkosti molokopererobnykh pidpriemstv na 1 lystopada 2022 roku / Derzh. kom. statystyky Ukrainy. Spilka molochnykh pidpriemstv Ukrainy. Dzherelo: Infahro, UA-82.5. URL: <https://t.me/ua825/121> (data zvernennia: 25.02.2025). 2. Kovalchuk V. A. Sklad i vlastyvoli stichnykh vod pidpriemstv molokopererobnoi promyslovosti. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky*. 2012. Vyp. 1(57). S. 59–66. 3. Kovalchuk V. A. Kompaktni sporudy hlybokoi ochystky stichnykh vod malykh pidpriemstv kharchovoi promyslovosti. *Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy* : zb. nauk. prats. 2022. Vyp. 41. S. 346–353. 4. Kovalchuk V. A. Wastewater treatment by flotation. *Water Supply and Wastewater Removal* : monografie / Politechnika Lubelska. Lublin University of Technology. Lublin, 2020. P. 135–162. 5. Kovalchuk V. A. Biolohichna ochystka stichnykh vod v aerotenkakh-vidstiinykakh zi strumynnoiu aeratsiieiu. *Rynok instaliatsii*. 2010. № 5. S. 11–13.

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

Doctor of Engineering, Professor,

Kobylko I. V.,

Post-graduate Student

¹*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

FEATURES OF DESIGNING COMPACT TREATMENT PLANTS FOR SMALL DAIRY PROCESSING ENTERPRISES

Dairy processing enterprises play an important role in the food industry, but the milk processing leads to the formation highly concentrated wastewater. The amount of wastewater generated at a particular enterprise depends on the amount of processed milk, type of product, production technology, etc. The article, based on the analysis of statistical data, establishes that by the amount of wastewater generated, a significant number of dairy processing enterprises can be classified as small. Typically, such enterprises are located in rural areas in small settlements where there are no powerful municipal wastewater treatment facilities – wastewater receivers. Therefore, it is necessary to carry out deep cleaning of such wastewater. The composition and properties of wastewater from dairy

processing enterprises are considered. The technology of deep cleaning of small dairy enterprises in compact treatment facilities is presented, which involves the removal of large waste on grates or sieves, the removal of sand and other mineral impurities in tangential sand traps, the purification of wastewater from suspended solids and fats in flotation tanks, two-stage biological treatment in aerotanks-settlements of increased hydraulic height with jet aeration, deep secondary treatment in aerated filters with floating polystyrene foam loading and disinfection. When designing treatment facilities for small dairy enterprises, it was proposed to carry out their spatial and functional combination of structures, in accordance with which a flotation tank and aerotank-settlement of the first stage are arranged in one structure, and in the other – aerotank-settlement of the second stage and an aerated filter with a floating loading. Compact wastewater treatment plants are made of metal and are located above ground level. The design features of such compact wastewater treatment plants, the advantages of their use, and an example of their implementation at a small dairy processing plant are considered.

Keywords: small dairy processing plants; wastewater; wastewater pollution concentrations; wastewater treatment technology in compact wastewater treatment plants.

Отримано: 05 травня 2025 року
Прорецензовано: 09 червня 2025 року
Прийнято до друку: 16 червня 2025 року