

УДК 532.528; 628.162.5

ЗАСТОСУВАННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ПРИСТРОЇВ У ПРОЦЕСАХ ВОДООЧИСТКИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Вітенько Т.М. канд. техн. наук, доцент,
Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя
Гашин О.Р. канд. техн. наук, ст. викл.,

Тернопільський інститут соціальних та інформаційних технологій, м. Тернопіль

У роботі проаналізовано стан питомого водоспоживання і водовідведення підприємствами молочної промисловості. Приведено якісні характеристики стічних вод, описано технологію їхньої очистки у локальних очисних спорудах. Досліджено кінетику інактивації санітарно-показникових мікроорганізмів у гідродинамічних кавітаційних пристроях статичного типу.

The paper analyzes the status of specific water and wastewater enterprises milk industry. Powered qualitative characteristics of wastewater technology described their treatment in the local sewage disposal. The kinetics of inactivation health pokaznykovyh microorganisms in the hydrodynamic cavitation devices static type.

На підприємствах молочної промисловості вода використовується в усіх технологічних процесах: для миття технологічного обладнання, трубопроводів, тари, панелей виробничих приміщень, охолодження молока і молочних продуктів, для роботи технічних і паросилових установок, а також у господарсько-побутових потребах [1]. Система водопостачання молокозаводів зазвичай передбачає прямотечійне, зворотне і повторне використання води. Водопостачання здійснюється із міських водогінних мереж або із власних свердловин. Зворотне використання води передбачається для холодильних, пастеризаційно-охолоджувальних, вакуум-випарних установок. В результаті отримують технічну воду, яку використовують для прибирання приміщень, миття автомашин та інших потреб. Величина споживання води молокозаводами залежить від їхньої потужності (таблиця 1).

Таблиця 1 – Норми питомого водоспоживання і водовідведення для підприємств молочної промисловості (у м³ на 1т переробленого молока) [2]

Тип підприємства і його потужність	Питоме споживання води			Питома витрата стічних вод			Беззворотне споживання води
	Оборотної і повторно використаної	Із водогону		Всього	Виробничих	Побутових	
		На виробничі потреби	На господарсько- побутові потреби				
1	2	3	4	5	6	7	8
Молокоприймальні пункти і сепараторні відділення	0	2.2	0.1	2	1.9	0.1	0.3
Міські молокозаводи продуктивністю т/добу							
До 50	30	6,3	0,7	5.6	4.9	0.7	1.4
50 – 200	30,5	5,8	0,7	5.2	4.5	0.7	1.3
200 – 400	31	5,4	0,6	4.8	4.2	0.6	1.2
> 4000	32	4	0,5	3.6	3.1	0.5	0.9

Аналіз даних, наведених у таблиці 1 засвідчує, що на потужних підприємствах зростає питоме споживання оборотної води, води повторного використання та меншими є питоме споживання води з водогону і розхід стічних вод. Ця динаміка є позитивною і вона зумовлена тим, що великі підприємства задля отримання більших прибутків використовують сучасні ресурсо- та енергозберігаючі технології та оснащення.

Внаслідок використання води в процесах миття обладнання, тари, при прибиранні виробничих приміщень утворюються стічні води забруднені залишками молока і молочних продуктів, відходами виробництва, реагентами, які застосовуються для миття обладнання тощо. При централізованому митті обладнання в каналізацію заводу скидають промивні стічні води і періодично (кожних 3 – 5 днів) відпрацьовані мийні розчини, луги та кислоти [3]. Величина рН промивних вод змінюється від 7,8 до 10,2, лужність від 1,9 до 4 мг-екв/л, рН відпрацьованих лужних розчинів коливається від 10 до 12, лужність – від 30 до 50 мг-екв/л. Коефіцієнти нерівномірності скидання стічних вод коливаються в залежності від потужності підприємства та знаходяться в межах 1,4 – 2. Температура стічних вод залежно від пори року і технології коливається в межах $16 < t < 33$ °С. За умови тривалого перебування стічних вод у каналізаційних мережах відбувається молочне бродіння, що призводить до закисання рідини і зниження рН. Також дуже важливими показниками якості стічних вод, які характеризують наявність органічних сполук є хімічне споживання кисню (ХСК) і біологічне споживання кисню (БСК), що змінюються залежно від виду продукції (табл. 2).

Таблиця 2 – Споживання кисню в процесах окиснення органічних речовин, в залежності від складу молока і молочних продуктів [2]

Продукт	Суша речовина, %	Жир, %	Білок, %	Лактоза, %	ХСК, кг/т	БСК, кг/т
Молоко свіже	11,5 – 12,5	3 – 4	3,3	4,8	192,9 – 218,6	135,5 – 156,2
Молоко знежирене	8,3 – 8,47	0,02 – 0,06	3,3	4,7 – 4,9	112 – 115,3	72,4 – 75,1
Пахта	7,7 – 8,0	0,4 – 0,86	3	4	104,5 – 111,9	72,4 – 75,1
Сироватка	6 – 6,2	0,1 – 0,2	1	4,5 – 4,7	72 – 77	51,6 – 55,9
Вершки	40,4 – 43	33 – 35	2	3	871 – 936	695 – 747

Стічні води молокопереробних заводів містять тверді домішки: часточки сиру, молочні плівки та ін., які потрапляють в каналізаційні мережі після миття технологічного обладнання (табл. 3).

Таблиця 3 – Якісні показники стічних вод підприємств молочної промисловості [2]

Підприємства	Легкі речовини, мг/л	ХСК, мг/л	БСК, мг/л	Жири, мг/л	Хлориди, мг/л	Азот, мг/л	Фосфор, мг/л	рН	Зазальне мікробне число, ос/мл	Колі-індекс
Молокозаводи	350	1400	1200	До 100	150	60	8	6,5–8,5	340	238000
Заводи сухого і згущеного молока	350	1200	100	До 100	150	50	7	6,8–7,4	290	28000
Сироробні заводи	350	3000	2400	До 100	200	90	16	6,2–7	320	96000

Як видно з таблиці, виробничі стічні води підприємств харчової промисловості належать до категорії забруднених здебільшого органічними речовинами, тому відповідно до постанови Кабінету Міністрів України №465 від 25.03.1999 р. “Правила охорони природних вод від забруднення зворотними водами”, вони повинні обов’язково очищатися в очисних спорудах. Технологія водоочищення є уніфікованою для підприємств молочної промисловості.

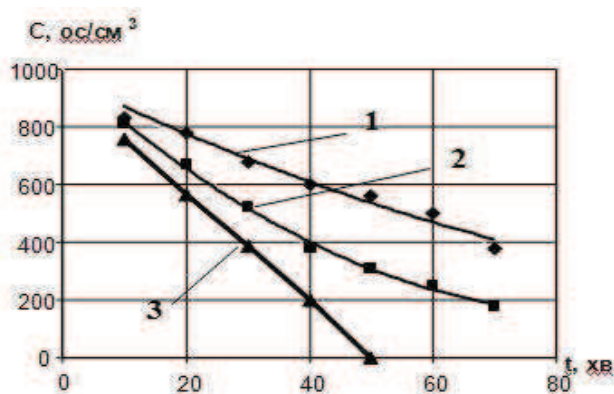
На першому етапі здійснюють очистку стічних вод від жиру за допомогою відстоювання, флотації, коагуляції. Під час відстоювання стічних вод забираються великі часточки жиру та інші легкі речовини. Флотацією видаляють із води дрібнодисперсні легкі речовини, в тому числі жир, які володіють гідрофобними властивостями. За допомогою коагуляції видаляються як тонкодисперсні легкі речовини так і емульсовані, колоїдні домішки [3].

Вимоги епідеміологічної безпеки передбачають, що перед випуском очищених стічних вод у водойми необхідно здійснити їхнє знезаражування. Для цього застосовують хлорне вапно або газоподібний хлор. Кількість хлору, необхідного для досягнення бажаного ефекту знезаражування визначають виходячи з бактеріологічних показників стічних вод, концентрації і виду забруднень. Відповідно СНиПШ – 32 – 74 доза хлору для стічних вод після механічної очистки становить 10 мг/дм^3 , після неповної і повної штучної біологічної очистки – відповідно 5 і 3 мг/дм^3 . Проте вміст залишкового хлору у воді є небажаним, оскільки він порушує самоочисні функції водойм. Тому важливим і актуальним є застосування альтернативних методів знезаражування води, які б замінили хлорування, або дозволили зменшити вміст хлору. З усіх відомих сучасних методів впливу варто звернути увагу на фізичні методи обробки води, зокрема гідродинамічну кавітацію.

Метою роботи є дослідження інактивуєчого впливу гідродинамічної кавітації на санітарно-показникові мікроорганізми, які містяться у стічних водах молокозаводів та розробка удосконалених технологічних рішень для локальних очисних споруд підприємств молочної промисловості з використанням гідродинамічних кавітаційних пристроїв статичного типу.

З технологічної і експлуатаційної точки зору доцільним є застосування статичних пристроїв у вигляді труби Вентурі, встановленої у циркуляційний контур [4]. Результати приведені у роботі [5] свідчать про те, що ефективність процесу знезаражування залежить від режимів обробки. Найефективніше даний процес відбувається за значень числа Рейнольдса $Re=8 \cdot 10^4$ і стадії кавітації $\lambda=2,6$. Це пояснюється оптимальним значенням числа кавітації (0,4), максимумом ударного тиску, пульсації температури, інтенсивною кумуляцією, що в свою чергу призводить до утворення хімічно-активних сполук радикалів гідроксилу OH^\bullet і пероксиду H_2O_2 . З подальшим зменшенням числа кавітації спостерігається утворення дрібних бульбашок, які зливаються у каверни, і бульбашок великих розмірів, більша частина яких пульсує не сплескуючись. Тому усі дослідження проводили за $Re=8 \cdot 10^4$ і $\lambda=2,6$.

Мікрофлора стічних вод підприємств молочної промисловості є дуже різноманітною, тому як



1 – *Staphylococcus aureus*; 2 – *Streptococcus faecalis*;

3 – *Escherichia coli*.

($Re=8 \cdot 10^4$; $C_0 \approx 10^3 \text{ ос./см}^3$; $T=25^\circ\text{C}$)

Рис. 1 – Залежність концентрації санітарно-показникових мікроорганізмів від часу обробки у кавітаційному контурі

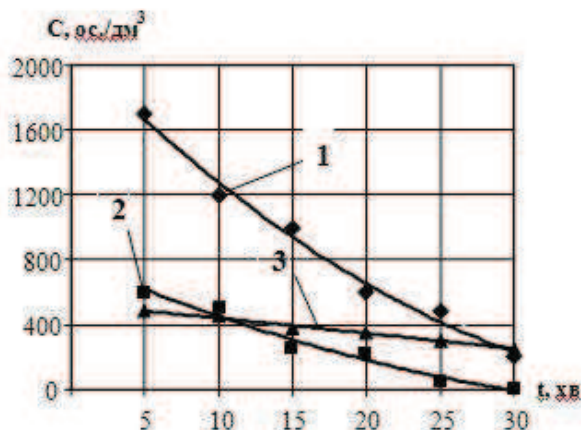
Для вивчення знезаражуючого впливу гідродинамічної кавітації на природні асоціації бактерій використовували стічну воду Тернопільського міськмолокозаводу. Санітарно-мікробіологічний контроль відповідно до СанПіН № 4630-88 “Охрана поверхностных вод от загрязнений” здійснювали за індексом лактозопозитивних кишкових паличок (ЛКП), індексом кишкової палички *E.coli* та індексом ентерококів. Результати приведено на рис. 2.

Як видно з цього рисунка, найбільше значення початкового забруднення має індекс ЛКП – 2000, наступним є індекс *E.coli* – 900, і найменше значення має індекс ентерококів – 500. За час обробки 30 хвилин найефективніше відбулася інактивація лактозопозитивних кишкових паличок (після обробки

об'єкт досліджень використовували санітарно-показникові мікроорганізми, які є показниками санітарного неблагополуччя і потенційної небезпеки досліджуваних вод, а саме *Escherichia coli*, *Streptococcus faecalis* та *Staphylococcus aureus*. У дистильовану воду окремо вносили монокультури мікроорганізмів до концентрації $\approx 10^3 \text{ ос./см}^3$ (що відповідає забрудненню стічних вод молокозаводів), забезпечували температуру оброблюваної суспензії мікроорганізмів $T=25 \pm 5^\circ\text{C}$ (середньорічна температура стічних вод). Результати досліджень приведені на рисунку 1.

Як видно з рисунка, найбільшою стійкістю до впливу гідродинамічної кавітації володіють стафілококи, щодо виживання їм поступаються ентерококи і найуразливішими серед досліджуваних об'єктів є бактерії групи кишкової палички. Важливим є те, що гідродинамічна кавітація здійснює інактивуєчий вплив на усі досліджувані мікробні об'єкти, при цьому час обробки є співмірним із експозицією хлору концентрацією 3–5 мг/дм^3 .

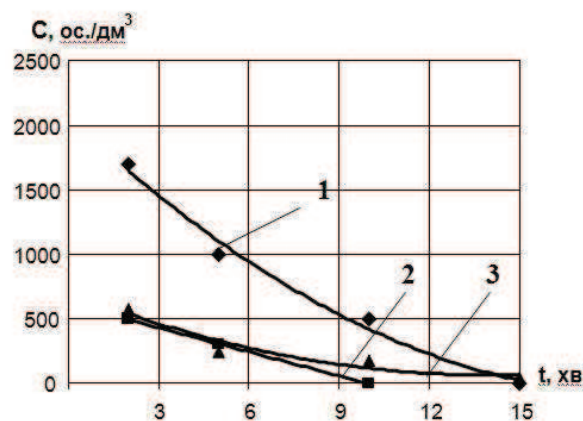
індекс ЛКП – 200) і найповільніше (лише на 50 %) змінився показник по ентеробактеріях (після обробки індекс ентерококів 250). Це підтверджує результати, наведені на рис. 1, де встановлено, що швидкість інактивації мікроорганізмів *Streptococcus faecalis* є меншою ніж швидкість інактивації *E.coli*. З результатів, поданих на рис. 2 спостерігається, що за 30 хв обробки у кавітаційному модулі повного знезараження не досягнуто, для отримання необхідного ефекту потрібно збільшити час обробки, але це не вигідно з економічної точки зору. У попередніх дослідженнях [4, 5] було встановлено, що комплексне використання хімічних реагентів і гідродинамічної кавітації забезпечує синергічний ефект. На рис. 3 наведено результати досліджень комплексного впливу ефектів гідродинамічної кавітації і кальцію хлориду CaCl_2 концентрацією 2 мг/дм³.



- 1 – індекс ЛКП (контроль 2000 ос./дм³);
- 2 – індекс *E.coli* (контроль 900 ос./дм³);
- 3 – індекс ентерококів (контроль 500 ос./дм³).

($Re=8 \cdot 10^4$; $C_0 \approx 10^3$ ос./см³; $T=25 \pm 5$ °C, стічна вода Тернопільського міськмолкозаводу)

Рис. 2 – Залежність санітарних показників з часом кавітаційної обробки



- 1 – індекс ЛКП (контроль 2500 ос./дм³);
- 2 – індекс *E.coli* (контроль 800 ос./дм³);
- 3 – індекс ентерококів (контроль 700 ос./дм³).

($Re=8 \cdot 10^4$; $C_0 \approx 10^3$ ос./см³; $T=25 \pm 5$ °C, стічна вода Тернопільського міськмолкозаводу, концентрація активного хлору $C_{\text{Cl}}=2$ мг/дм³)

Рис. 3 – Інактивація санітарно-показникових мікроорганізмів при кавітаційній обробці з одночасним внесенням CaCl_2

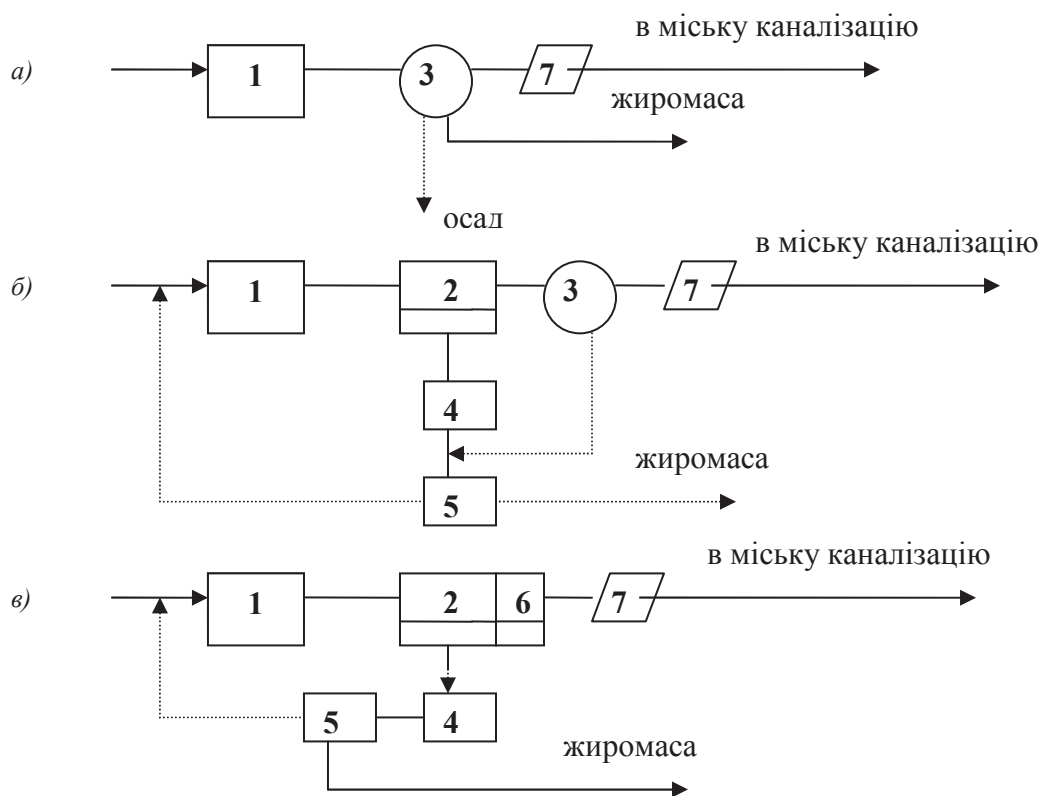
Проведені дослідження показали, що використання комплексного методу дозволяє за 15-17 хвилин досягнути повного знезараження, при цьому зменшується потреба хлору на 50-70 %. Інтенсифікуюча дія комплексного методу знезараження з використанням хлорреагентів пояснюється тим, що кальцію хлорид CaCl_2 в умовах кавітаційного перемішування взаємодіє з ОН групами і переходить у хлорне вапно CaOCl_2 або $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ (дана хімічна сполука має більший окислювальний потенціал).

Окрім того, в умовах кавітаційного перемішування утворюється велика кількість парогазових бульбашок, які періодично сплескуються створюючи градієнти тисків, пульсації температур виникнення кумулятивних струминок. Ці фактори сприяють швидкому проникненню хімічного реагенту (в даному випадку CaOCl_2) в середину клітини. Отримані результати засвідчують, що даний метод є не тільки ефективним, але й екологічним.

Разом з тим, гідродинамічна кавітація має певні переваги перед хімічними окисниками, серед яких можна відмітити такі: відсутність негативного впливу на якісні показники води; комплексна обробка хімічними реагентами в умовах кавітаційного перемішування дозволяє на 50-70 % зменшити кількість окисників; даний метод має високу продуктивність і відповідає вимогам великотоннажного виробництва [5].

Отже, на основі проведеного теоретичного аналізу існуючих технологій очистки стічних вод на підприємствах молочної промисловості [1, 3] та отриманих результатах по знезараженню, нами було роз-

роблено удосконалені технологічні схеми очисних станцій з використанням гідродинамічних кавітаційних пристроїв (рис. 4).



1 - насосна станція; 2 - електрокоагулятор; 3 - жировловлювач; 4 - піногасник; 5 - сепаратор;
6 - електрофлотатор; 7 - кавітаційний модуль.

Рис. 4 – Схеми локальної очистки стічних вод підприємств молочної промисловості

Висновки

Наведені в роботі результати досліджень щодо процесу інактивації санітарно-показникових мікроорганізмів у гідродинамічному кавітаційному пристрої свідчать про достатню ефективність, екологічність та доцільність даного методу для знезаражування стічних вод підприємств молочної промисловості.

Література

1. Перцевий Ф.В. Технологія переробки молока. / Перцевий Ф.В., Гурський П.В. – Харків : ХДУХТ, 2006. – 378с.
2. Ткаль Т.К. Технохимический контроль на предприятиях молочной промышленности. / Ткаль Т.К. – М. : Агропромиздат, 1990. – 192с.
3. Храцов А.Г. Безотходная технология в молочной промышленности. / Храцов А.Г. Нестеренко П.Г. –М. : Агропромиздат, 1989. – 279с.
4. Гашин О. Оцінка ефективності та інтенсивності роботи кавітаційних пристроїв у технології водопідготовки. / Гашин О., Вітенько Т. // Енергетика та електрифікація. – 2009р. – №1. – С. 49–52.
5. Гашин О.Р. Інтенсифікація процесів знезараження води з використанням гідродинамічних кавітаційних пристроїв : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук.: спец. 05.17.21 / О.Р. Гашин – Київ, 2009. – 20 с.