

УДК 66.084.2 : 66.086.4

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АЗОТУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ВІБРОКАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ СТОКІВ МОЛОКОЗАВОДУ

Л. І. Шевчук

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: shev-lili@mail.ru

І. С. Афтаназів

Доктор технічних наук, професор**

E-mail: ivan.aftanaziv@gmail.com

О. І. Строган

Інженер I категорії**

E-mail: orestastrogan@gmail.com

Л. М. Предзимірска

Аспірант*

E-mail: lesichkaplm@gmail.com

*Кафедра технології органічних продуктів

Інститут хімії та хімічної технології

Національний університет «Львівська політехніка»

пл. Св. Юра 3/4, м. Львів, Україна, 79013

**Кафедра нарисної геометрії і графіки

Інститут математики і фундаментальних наук

Національний університет «Львівська політехніка»

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

Запропоновано ефективну технологію віброкавітаційного очищення стічних вод молокопереробних виробництв. Наведено конструкцію та принцип роботи створеного для цього електромагнітного вібраційного кавітатора. Показано, що спільною дією віброкавітації та азоту при очищенні стоків молокозаводу досягається вищих ступенів очищення від біологічних і органічних забруднень, ніж дією цих чинників окремо

Ключові слова: кавітація, вібраційний електромагнітний кавітатор, стічні води, хімічне споживання кисню, мікроорганізми, знезараження

Предложена эффективная технология виброкавитационной очистки стоков молокоперерабатывающих производств. Приведена конструкция и принцип работы созданного для этого электромагнитного вибрационного кавитатора. Показано, что общим действием виброкавитации и азота при очистке стоков молокозавода обеспечивается более высокая степень очистки от биологических и органических загрязнений, чем при их раздельном действии

Ключевые слова: кавитация, вибрационный электромагнитный кавитатор, сточные воды, химическое потребление кислорода, микроорганизмы, обеззараживания

1. Вступ

Прискорений розвиток харчових підприємств, у тому числі і молокопереробних, призводить до утворення значних обсягів стічних вод (СВ), переважна більшість яких на даний час скидається неочищеними у природні водойми, створюючи відчутне екологічне навантаження на навколишнє середовище. Скидання СВ є основною причиною забруднення водойм, що призводить до різкого погіршення їх гідрохімічного режиму, а отже, і умов життєдіяльності водних організмів (гідробіонтів). Надходження СВ у водойми призводить до засмічення їх нерозчинними речовинами, погіршення фізико-хімічних властивостей води і кисневого режиму, зміни рН води, підвищення мінералізації і вмісту органічних речовин, отруєння водних мешканців токсичними речовинами, що веде до порушення процесу самоочищення водойм [1]. Такий підхід до використання водних ресурсів є вкрай нераціональним в умовах зростаючого дефіциту та низької якості питної води, а також зростаючих тарифів на воду.

Погіршення якості води в природі свідчить про те, що методи очищення СВ, які використовують

промислові підприємства, не відповідають сучасним вимогам. Проблема очищення виробничих стоків від розчинених у воді органічних речовин є однією з найбільш важливих і одночасно важко розв'язуваних. Через підвищене забруднення джерел водопостачання традиційні технології, що застосовуються для обробки води, стали у більшості випадків недостатньо ефективними. Найчастіше традиційна схема очищення не відповідає якості води джерела водопостачання. Тому розроблення і застосування більш досконалих методів очищення стічних вод є комплексним завданням виняткової ваги.

Однією з актуальних задач при очищенні промислових і побутових стоків є застосування технологій, що не використовують хімічні реагенти, тобто технологій, що не призводять до утворення в процесі знезараження токсичних сполук (як у випадку застосування сполук хлору і хлорвмісних речовин) при одночасному повному знищенні патогенної мікрофлори і деструкції органічних забруднень. Найбільш безпечними з безреагентних способів знезараження є фізичні методи очищення води.

2. Аналіз літературних джерел і постановка проблеми

Одним із ефективних фізичних методів інтенсифікації хіміко-технологічних процесів у рідинах є кавітаційний вплив на оброблюване середовище. При кавітаційній обробці рідина піддається потужному енергетичному впливу, який супроводжується появою в рідині напружень розтягу високого градієнту, що зумовлюють руйнування міжмолекулярних зв'язків у рідині та формування із наявних в рідині зародків кавітації кавітаційних бульбашок. Одночасно внаслідок колапсу бульбашок має місце виділення енергії у міжфазовому шарі рідини, що оточує бульбашку. Миттєве тимчасове накопичення енергії у міжфазовому шарі рідини ініціює протікання у потоці рідинного середовища різноманітних ефектів [2]. Кавітація в рідинах, із поміж іншого, ініціює різні фізико-хімічні явища; сонолюмінесценцію (світіння рідин); хімічні ефекти (звуко-хімічні реакції); ерозію твердого тіла (руйнування поверхні); диспергування (здрібнювання твердих часток у рідині) і емульгування (змішування і гомогенізація рідин, що не змішуються) [3]. Ці кавітаційні явища широко використовуються в промисловості для інтенсифікації технологічних процесів [4].

При забезпеченні якості води фахівці стикаються з проблемою мікробіологічного забруднення води, адже навіть вода з підземних джерел може містити одичні клітини патогенних мікроорганізмів. Застосування кавітації призводить до дезінфекції води від мікроорганізмів *Escherichia coli* [5–8], *Legionella pneumophila* [5], *Salmonella typhi* [4, 7], *Corynebacterium diphtheriae* [4], *Staphylococcus aureus* [7], *Bacillus subtilis* [4, 9]. Гідроксильні радикали утворені при схлопуванні кавітаційних пухирців ушкоджують, насамперед, тонку клітинну стінку: атакують клітинну мембрану, що веде до лізису клітинної стінки, відбувається розрив цитоплазматичної мембрани; втрата структурної цілісності клітинної стінки і витік внутрішньоклітинних компонентів є головними причинами загибелі клітин [8].

Однак аналіз літературних першоджерел засвідчив, що стандартного промислового обладнання, придатного для ефективної кавітаційної обробки значних обсягів виробничих стоків, якими є і стоки молокопереробних виробництв, не існує. Ультразвукові технології в промислових виробництвах використовуються рідко. Великі енергетичні витрати, відсутність нормативних документів, що регламентують використання методу, роблять спосіб УЗ знезараження неконкурентоспроможним для промислового використання [10]. Більше того, навіть наявні зразки дослідного кавітаційного устаткування, створені у різноманітних науково-дослідних установах, за своїми параметрами та конструктивною будовою не відповідають тим вимогам, що висуваються у сьогоденні до якості та високого ступеня очищення та знезараження стічних вод. І однією із найвагоміших причин, що обмежують промислове застосування очисних УЗ-технологій, є притаманні їм доволі відчутні питомі (на одиницю об'єму обробленої рідини) енергозатрати.

Враховуючи, що затрати енергії на утворення парогазової фази в кавітаційному полі близькі до третини загального підведеного їй обсягу, цілком доречним видається пошук шляхів пониження затрат енергії на самозбурення і стабільне підтримання кавітацій-

ного процесу в оброблюваній рідині. Тим більше, що кавітаційну обробку рідин здійснюють переважно в кавітаторах закритого типу, тобто як правило, без доступу атмосферного повітря, що в процесі обробки стрімко знижує кількість розчинених у рідині повітря та газів, молекули яких постають зародками кавітаційних мікробульбашок. Даний процес супроводжується стрімким зменшенням в ній кількості зародків кавітації, і як наслідок, пониженням інтенсивності кавітаційного поля та ефективності кавітаційної обробки. А наявність газових включень в рідині має домінуючий вплив на збурення кавітаційних явищ [3]. Тому правомірним є твердження, що поєднання кавітаційного та одночасного реагентного оброблення сприятиме суттєвому прискоренню окисно-відновних реакцій та поліпшенню якості очищеної води [11].

Тому кавітаційну обробку рідин, у тому числі і очищення стоків, доречно здійснювати при подачі на ділянку обробки газу, різновид якого обирають залежно від виду оброблюваної рідини та характеру технологічного процесу обробки. Тим самим не тільки підвищують якість кінцевого продукту, а і понижують тривалість обробки завдяки вищій інтенсивності кавітаційного поля. При цьому, завдяки скороченню тривалості обробки, зменшуються енергозатрати на здійснення технологічного процесу, а головне, знижується відсоток затрат енергії на формування в рідині парогазової фази, яка передуює сомозародженню кавітації і невпинно супроводжує кавітаційне поле. Адже молекули розчинених у рідині повітря та газів суттєво знижують міцність молекулярних зв'язків води в цілому, постаючи причиною мікронадривів її суцільності, які у подальшому на рівні із твердими зваженими домішками та мікрочленими формуються у зародки кавітації. І зрозуміло, що чим більша кількість в рідині зародків кавітації, в тому числі і молекул розчинених газів, тим нижча міцність прошарків та струменів води, тим менша кількість енергії витрачається на формування в рідині парогазової фази, тобто на стабільне підтримання кавітаційного поля. І навпаки, по мірі дегазації оброблюваної води в закритому від доступу повітря чи інших газів кавітаційному полі, його інтенсивність знижується, а тривалість обробки зростає.

Таким чином, із вище викладеного слідує, що процеси кавітаційної обробки водних розчинів доречно здійснювати при неперервній подачі на ділянку обробки певного газу, розчинені мікробульбашки якого поставатимуть зародками кавітації, понижуватимуть міцність прошарків оброблюваної води, її опір розриву суцільності. Завдяки цьому понижуватиметься рівень енергії, необхідний для збурення кавітації, зменшуватиметься і повніше використовуватиметься підведена на ділянку обробки зовнішня енергія, спрямована на стабільне підтримання кавітаційного процесу. Подача найбільш ефективного газу в кавітаційне поле, сприятиме і підвищенню ефективності процесу очищення та знезараження від органічних та біологічних забруднень стоків молокопереробних виробництв.

3. Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є створення ефективного способу кавітаційного очищення стоків харчових

виробництв та обладнання для його промислового використання.

У задачі дослідження входило:

- розробка конструкції придатного для обробки значних обсягів рідин вібраційного кавітатора;
- визначення основних технологічних параметрів віброкавітаційної очисної обробки та їх впливу на показники якості очищення стоків молокопереробних виробництв;
- підбір ефективних для біологічного знезараження супутніх кавітаційної обробці газів;
- встановлення відповідності кінетики акустичної кавітації щодо специфіки віброкавітації для виявлення можливості практичного використання даних віброкавітаційних пристроїв.

4. Конструкція та принцип роботи електромагнітного вібраційного кавітатора

У НУ «Львівська політехніка» створено спосіб віброрезонансної кавітаційної обробки рідин, специфічною особливістю якого є органічне поєднання високої інтенсивності формованого кавітаційного поля із значною продуктивністю обробки. Для його реалізації тут розроблено нові конструкції віброкавітаторів, які прості за своєю конструктивною будовою, енергоощадні та зручні у експлуатації та обслуговуванні. У загальному в цих електромагнітних вібраційних кавітаторах збудниками кавітації, тобто твердими тілами, що переміщуються в потоці води, являються коливні деки із пронизуючими їх поверхню кризними отворами, при протіканні крізь які із високою швидкістю в оброблюваній рідині формуються розтягуювальні напруження високого градієнту. Ці напруження зумовлюють руйнування міжмолекулярних зв'язків у рідині та формування із завжди наявних в рідині зародків кавітації кавітаційних бульбашок, лавиноподібне наростання кількості яких власне і формує кавітаційне поле.

Розроблений нами низькочастотний вібраційний електромагнітний кавітатор резонансної дії зображений на рис. 1, *а*, на рис. 1, *б* – відображено його поперечний переріз А-А.

До його складу входять (рис. 1, *а*) завантажувальна 6, робоча 9 та відповідна 14 камери. Робоча камера 9 з'єднана із завантажувальною 6 та відповідною 14 із можливістю відносних переміщень через гнучкі гофри 8 та 12. На робочій камері 9 закріплено набраний із листового заліза кільцевий якір 10, а камера та якір через кронштейни 2 та циліндричні пружні стержні 5 з'єднані із закріпленнями на трубах завантажувальної 6 та відповідної 14 камер реактивних масах 11. Співвісно якореві 10 до кожної із закріплених на завантажувальній 6 та відповідній 14 камері реактивних масах 11 прикріплено корпус 4 електромагніта. У корпусі 4 співвісно якореві 10 розташовані кільцеві статор 15 із котушкою обмотки 3. Кожен із статорів 15 із котушкою обмотки 3 та спільним якорем 10 формують два симетрично розміщених відносно якоря 10 електромагніти. Обмотки електромагнітів під'єднані до мережі змінної напруги живлення із зміщенням по фазі, таким чином, що у першому півперіоді синусоїдальної змінної напруги якір притягується до одного із крайніх електромагнітів, а у другому півперіоді – до іншого електромагніту.

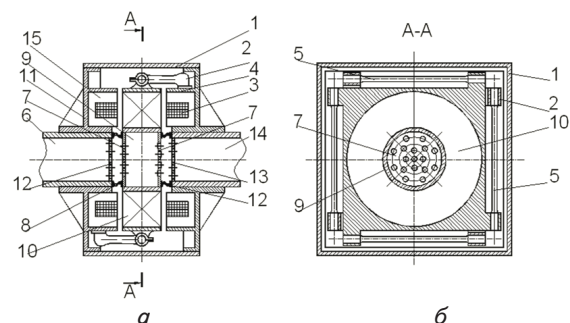


Рис. 1. Низькочастотний вібраційний електромагнітний кавітатор резонансної дії для очисної обробки стічних вод від органічних та біологічних забруднювачів:

а – принципова схема вібраційного електромагнітного кавітатора резонансної дії; *б* – поперечний переріз А-А вібраційного електромагнітного кавітатора резонансної дії

Співвісно розташовані статори 15 із котушками обмоток 3 та якір 10 з робочою камерою 9 утворюють кільцевий електромагнітний вібророзбудник із двома електромагнітами та спільним якорем. Електромагнітний вібророзбудник у поєднанні із прикріпленими до реактивної маси пружними стержнями 5 формують двомасну резонансну коливну систему. Перша з коливних мас – наповнена оброблюваною рідиною робоча камера 9 із прикріпленим до неї якорем 10 та деками 7, друга – статори 15 із обмотками 3, реактивні маси 11 із масивними трубами завантажувальної 6 та відповідної 14 камер.

До якоря та статора жорстко прикріплені деки 7 та 13 – збудувачі кавітації із рівномірно розташованими по всій їх площі отворами для протікання оброблюваної рідини. Діаметри отворів у деках 7 та 13 рівні амплітуді коливань робочої камери, а віддаль між сусідніми отворами – потрійному значенню амплітуди. Пари прикріплених до якоря та статора дек розміщені симетрично на вході та виході робочої камери 9.

Від потрапляння сторонніх предметів до коливних систем електромагнітний вібророзбудник захищено захисним кожухом 1.

Робота вібраційного електромагнітного кавітатора здійснюється наступним чином. По трубі завантажувальної камери 6 в робочу камеру 9 під незначним тиском або самотоком подають оброблювану рідину. Одночасно на обмотки 3 котушок електромагнітів із вище відзначеним зміщенням по фазі подають напругу. Електромагніти по чергово притягують до себе якір 10 із наповненою оброблюваною рідиною робочою камерою 9, прогинаючи при цьому пружні циліндричні стержні 5 (рис. 1, *б*). Прогин та пружність циліндричних стержнів 5 розраховано таким чином, що вони забезпечують резонансні коливні режими робочої камери 9 та унеможливають співвдаряння якоря 10 та статорів 15 між собою. Почергове протягування якоря 10 до електромагнітів 15 трансформується у направлені плоскопаралельні коливні переміщення наповненої оброблюваною рідиною робочої камери 9. Ці коливання відбуваються із певними розрахунковими амплітудами та частотою, рівною подвоєній частоті подачі напруги на котушки кільцевих електромагнітних вібророзбудників. Так, при частоті змінної напруги мережі живлення обмоток 3

електромагнітів 50 Гц частота коливань робочої камери 9 буде рівною 100 Гц. Разом із коливною робочою камерою 9 плоскопаралельні переміщення здійснюють і прикріплені до камери деки 7 із отворами, пересікаючи потік неперервно поступаючої в цю камеру оброблюваної рідини. По мірі наближення коливних дек 7 до нерухомих дек 14 тиск рідини між деками наростає, що сприяє проштовхуванню оброблюваної рідини крізь отвори у нерухомих деках 14 із швидкістю, рівній швидкості переміщень дек 7.

При рекомендованій амплітуді коливань дек $A=1,5-2$ мм і частоті $f=100$ Гц максимальна швидкість, з якою дека перетинає потік рідини, становить $V=4 \cdot f \cdot A=4 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 10^{-3}=0,8$ м/с, чого достатньо для формування кавітаційного поля. Співвісним розташуванням коливних та нерухомих дек, що здійснюють коливні рухи назустріч одна одній, забезпечується підвищення тиску та швидкості гідравлічних потоків оброблюваної рідини при її протіканні крізь отвори, які облаштовані у деках-збурювачах кавітації. У наслідок цього струмені рідини втрачають щільність та міцність, а із завжди наявних у рідині зародків кавітації лавиноподібно зароджуються, збільшуються у своєму об'ємі та сплескують кавітаційні бульбашки, які і формують кавітаційне поле високої інтенсивності. Рівномірним розташуванням отворів в деках 7 та 14 забезпечується рівномірність інтенсивності кавітаційного поля по всій площі поперечного перерізу робочої камери 9, тобто рівномірність обробки рідини.

Завдяки симетричному розташуванню дек-збурювачів кавітації протікаючи через робочу камеру 9 рідина двічі піддається кавітаційній обробці. Після проходження в робочій камері подвійної кавітаційної обробки рідина через відвідну камеру 14 подається для подальшого цільового використання.

Основними регульованими технологічними параметрами даного кавітатора для віброкавітаційної обробки рідин є:

- залежна від амплітуди та частоти їх коливань швидкість просторових переміщень дек-збурювачів кавітації у оброблюваному рідинному потоці;
- потужність електромагнітів приводу коливних рухів збурювачів кавітації;
- тиск та швидкість потоку оброблюваної рідини;
- наявність, різновид та кількість поданого на ділянку обробки супутнього газу;
- тривалість перебування оброблюваної рідини на ділянці кавітаційної обробки.

Кожен із цих параметрів легко піддається регулюванню регулюючою електро-, гідро- чи пневмоапаратурою, надаючи можливість за кінцевими параметрами обробки та енергозатратами на її здійснення обрати оптимальні режими кавітаційної обробки певних рідин.

Залежно від діаметра робочої камери та трубопроводів подачі рідини, величини яких обирають із діапазону від 5 до 10 дюймів, продуктивність кавітаційної обробки в режимі неперервної подачі оброблюваної рідини становить $1,5-2,0$ м³/год.

Основною перевагою вібраційного електромагнітного кавітатора порівняно із відомими є висока продуктивність, придатність для обробки значних обсягів рідин в неперервному їх потоці у поєднанні із забезпеченням високої якості та рівномірності обробки рідин.

5. Результати експериментальних досліджень впливу віброрезонансної кавітаційної обробки на очищення стічних вод

Дослідження впливу віброрезонансної кавітаційної обробки на показники якості очищення стічних вод проводили на стоках молокозаводу ТОВ «Кременецьке молоко». Очисну обробку здійснювали дискретною у віброкавітаторі з об'ємом робочої камери $1,5$ дм³ при амплітуді коливань дек-збурювачів кавітації $A=1,5$ мм та резонансній частоті $f=75$ Гц. Ступінь очищення стічної води оцінювали за змінами загальноприйнятих показників органічного забруднення стічної води – хімічного споживання кисню ХСК, мг/дм³, та її біологічного забруднення, яке відображає загальне мікробне число МЧ, КУО/см³. Обробку здійснювали при неперервній подачі у кавітаційну зону інертного газу азоту із витратою 15 см³/л, яка відповідає закону Генрі-Дальтона розчинності газів у воді. Перевагу азоту із поміж інших різновидів газів було надано із міркувань найефективнішої його знезаражувальної дії на властиві стічними водами молокопереробних виробництв мікроорганічні забруднювачі у поєднанні із доступною його вартістю.

Результати експериментальних досліджень представлено на рис. 2 та рис. 3 і в табл. 1. Вихідні значення показників забруднення досліджуваної стічної води становили $XCK_0=10000$ мг/дм³ та $MЧ_0=2,5 \cdot 10^5$ КУО/см³, що властиво переважаючій більшості молокозаводів. Для порівняння ефективності різних умов очисної обробки на графіках представлено експериментальні криві, що відповідають очищенню СВ при барботуванні самого лише газу азоту, при віброкавітаційній обробці без подачі азоту та при сумісній дії барботування азоту і віброкавітації (рис. 2). Встановлено, що барботування азоту впродовж перших 30 хвилин очисної обробки дозволяє понизити рівень ХСК на 20 %. За аналогічної тривалості осібної віброкавітаційної обробки цей показник знижується на 35 %, а за сумісної дії віброкавітації та азоту – на 60 %. Досягнутий при цьому мінімальний рівень ХСК становить 4000 мг/дм³, що знаходиться в межах допустимих для стоків молокозаводів норм. По мірі наростання тривалості обробки у всіх трьох випадках рівень ХСК пропорційно знижується, сягнувши у кінцевому після 1,5 год. для барботування азоту його зменшення на 35 %, для осібної віброкавітаційної обробки – на 75 %, для сумісної дії віброкавітації та азоту – на 90–95 %.

Вплив барботування азоту та сумісної дії азоту і віброкавітації на біологічне знезараження відображено на рис. 3. Як і у попередньому випадку, барботуванням азоту за 30 хв. обробки досягається зменшення мікробного числа на 10 %, а після досліджуваної тривалості обробки 1,5 год. – на 25–30 %. Значно ефективнішою для біологічного знезараження є сумісна дія азоту і віброкавітації. Вже за перші 30 хв. такої обробки мікробне число зменшується на 70 %, що відповідає вимогам норм біологічного забруднення стоків молокозаводів. Після півторагодинної обробки біологічне забруднення тут практично усувається повністю.

При розрахунку ефективних констант швидкостей руйнування органічних сполук, було встановлено, що криві спрямляються в координатах $\ln XCK/XCK_0 - t$. Тобто процес руйнування органічних сполук за умов

віброкавітаційної обробки відбувається за реакцією першого порядку аналогічно, як і за умов акустичної кавітації. Був встановлений синергізм дії віброкавітації в присутності газу, що підтверджено розрахованими значеннями ефективних констант руйнування органічних сполук:

$$k_{\text{вібро}/N_2} \gg k_{N_2} + k_{\text{вібро}} (4,4 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1} \gg 0,71 \times 10^{-4} \text{ c}^{-1} + 2,02 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}).$$

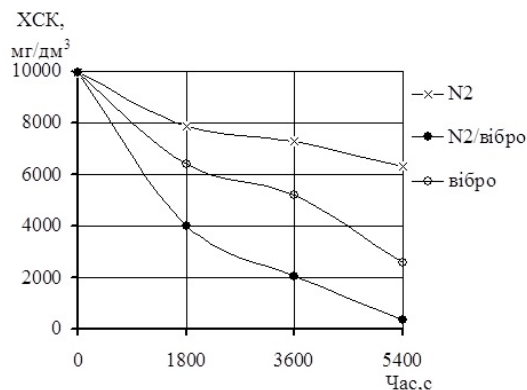


Рис. 2. Залежність зміни ХСК від часу віброкавітаційної обробки СВ молокозаводу в атмосфері азоту

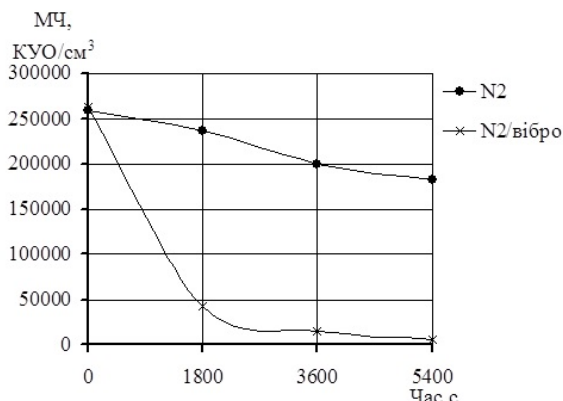


Рис. 3. Залежність зміни МЧ від часу віброкавітаційної обробки СВ молокозаводу в атмосфері азоту

Різке зменшення МЧ у віброкавітаційних умовах за наявності азоту (рис. 3) ще раз підтверджує ефективність даного процесу руйнування МО у СВ молокозаводу із ефективністю 98,1 %. Отже, віброкавітаційний вплив на рідке середовище, за рахунок вищезазначених ефектів, дозволяє досягти істотної інтенсифікації хімічних перетворень у водних потоках.

При обробці СВ ТОВ «Кременецьке молоко» в атмосфері самого лише азоту спостерігалось незначне зменшення ХСК (рис. 2) та МЧ (рис. 3). Ступінь руй-

нування органічних сполук становив лише 36 %. При проведенні досліджень у віброкавітаційних умовах в присутності азоту протягом двох годин обробки було досягнуто ступеня очищення 96,5 %. Значення ХСК в кінці процесу становило 350 мг/дм³, що у 18 раз нижче порівняно із обробкою самим газом та у 7 раз нижче віброкавітаційної обробки без застосування газу.

Значення ефективних констант швидкостей руйнування МО та органічних домішок представлено у табл. 1, де спостерігається ефективність сумісної дії азоту та віброкавітації, оскільки значення констант для даного досліджуваного об'єкту є на порядок вищими, порівняно із відповідними константами при барботуванні самого лише газу.

Таблиця 1

Залежність зміни ефективної константи швидкості відмирання МО та руйнування органічних сполук в атмосфері азоту при віброкавітаційній обробці СВ

Умови процесу	k·10 ⁴ , c ⁻¹	
	по МЧ	по ХСК
N ₂	0,6	0,71
N ₂ /вібро	6,28	4,4

Як показали результати проведених досліджень, використання азоту дозволяє збільшити швидкість перебігу процесів, глибину хімічних перетворень та одержати високий ступінь очищення стічних вод.

5. Висновки

Створено спосіб віброрезонансної кавітаційної обробки рідин і для його реалізації розроблено вібраційний електромагнітний кавітатор резонансної дії, основною перевагою якого є висока продуктивність, придатність для обробки значних обсягів рідин у неперервному їх потоці у поєднанні із забезпеченням рівномірності обробки рідин.

Експериментально підтверджено, що використання азоту в віброкавітаційних умовах підвищує швидкість очищення стоків молокозаводу від органічних та біологічних забруднень на порядок. Підтвердженням ефективності сумісної дії газу та віброкавітації є дані щодо розрахунку ступеня руйнування мікроорганізмів та органічних складових. Розроблена технологія забезпечує високу ефективність очищення стічних вод молокозаводу: від органічних забруднень за ХСК – 96,5 %, при значеннях показника ХСК на вході – 10000 мг/дм³ і від біологічних забруднень – 98,1 %, при початковій кількості мікроорганізмів – 2,5·10⁵ КУО/см³.

Наведені експериментальні дані показали доцільність та ефективність використання віброкавітації в присутності азоту для інтенсифікації очистки стічних вод промислових підприємств, що має велике значення для охорони довкілля та екології гідросфери.

Література

1. Кульський, Л. А. Химия воды: Физико-химические процессы обработки природных и сточных вод [Текст] / Л. А. Кульський, В. Ф. Накорчевекая. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 240 с.

2. Федоткин, И. М. Кавитация. Кавитационная техника и технология, их использование в промышленности [Текст] / И. М. Федоткин, И. С. Гулий. – К.: Полиграфкнига, 1997. – Ч. 1. – 839 с.
3. Сиротюк, М. Г. Акустическая кавитация [Текст]: монография / М. Г. Сиротюк; отв. ред.: В. А. Акуличев, Л. Р. Гаврилов. – М.: Наука, 2008. – 271 с.
4. Хмелев, В. Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности [Текст] / В. Н. Хмелев, А. Н. Сливин, Р. В. Барсуков, С. Н. Цыганок, А. В. Шалунов. – Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.
5. Evora, V. F. Ultrasonic Disinfection of Water Suspensions of Escherichia Coli and Legionella Pneumophila [Text] / V. F. Evora, G. J. Kavarnos // NUWC-NPT Technical Report 11,086, 1999. – 18 p.
6. Коваль, І. З. Ефективна дія ультразвуку на бактерії групи кишкової палички [Текст] : зб. наук. пр. / І. З. Коваль, Л. І. Шевчук, В. Л. Старчевський // Хімія, технологія речовин та їх застосування. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». – 2010. – № 667 – С. 234–237.
7. Евстигнеев, В. В. Кавитация в технологиях очистки сточных вод [Текст] / В. В. Евстигнеев, В. А. Кулагин // В мире научных открытий. – 2010. – № 5 (11), Ч. I. – С. 87–90.
8. Центер, И. М. Обеззараживание поверхности стекла высокочастотным ультразвуком [Текст] / И. М. Центер // Вестник ВСГУТУ. – 2013. – № 4 (43). – С. 174–177.
9. Joyce, E. The development and evaluation of ultrasound for the treatment of bacterial suspensions. A study of frequency, power and sonication time on cultured bacillus us species [Text] / E. Joyce, S. S. Phull, J. P. Lorimer, T. J. Mason // Ultrasonics Sonochemistry. – 2003. – № 10. – P. 315–318.
10. Василяк, Л. М. Применение ультразвука для обеззараживания воды [Текст] / Л. М. Василяк и др. // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. – № 8. – С. 6–9.
11. Некоз, О. І. Кавітаційна технологія очищення стічних вод від токсичних речовин [Текст] / О. І. Некоз, О. А. Литвиненко, Р. В. Логвінський // Вибірці в техніці та технологіях. – 2012. – № 2. – С. 112–115.

Описано математичну модель для розрахунку щільності упаковки наповнювачів різної дисперсності. Показано вплив щільності упаковки наповнювачів на експлуатаційні властивості покриттів з водно-дисперсійних фарб. Встановлено, що найбільшу міцність на розрив і стійкість до волого стирання мають покриття, отримані з водно-дисперсійних фарб із сумішшю наповнювачів, що забезпечує максимальну щільність упаковки частинок у покритті

Ключові слова: водно-дисперсійні фарби, покриття, наповнювачі, карбонати, щільна упаковка частинок, математична модель

Описана математическая модель для расчета плотности упаковки наполнителей различной дисперсности. Показано влияние плотности упаковки наполнителей на эксплуатационные свойства покрытий из водно-дисперсионных красок. Установлено, что наибольшую прочность на разрыв и стойкость к влажному истиранию имеют покрытия, полученные из водно-дисперсионных красок со смесью наполнителей, которая обеспечивает максимальную плотность упаковки частиц в покрытии

Ключевые слова: водно-дисперсионные краски, покрытия, наполнители, карбонаты, плотная упаковка частиц, математическая модель

УДК 667.647.22

ВПЛИВ ЩІЛЬНОСТІ УПАКОВКИ НАПОВНЮВАЧІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДНО- ДИСПЕРСІЙНИХ ПОКРИТТІВ

Т. А. Караваєв

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра товарознавства та експертизи
непродовольчих товарів
Київський національний торговельно-
економічний університет
вул. Кіото, 19, м. Київ, Україна, 02156
E-mail: karavayev@meta.ua

1. Вступ

Питанням підвищення експлуатаційних властивостей лакофарбових покриттів приділяється значна увага науковців і практиків. Одним із шляхів розвитку у цьому напрямі є забезпечення максимальної щіль-

ності упаковки частинок наповнювача у полімерній матриці лакофарбового покриття. Це дозволяє підвищити ряд експлуатаційних властивостей покриттів, знизивши при цьому собівартість фарби.

Актуальність статті полягає у тому, що створення щільної упаковки частинок здійснювалося у покрит-