

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра екології та природозахисних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності

183 Технології захисту навколишнього середовища

Тема роботи: Теоретичні основи технології очистки води від шкідливих речовин з використанням нанобульбашок

Виконав:
студент
Чорнуха Ігор Анатолійович

Керівник:
Професор, доктор наук
Пляцук Леонід Дмитрович

Залікова книжка
№ 22510291

Підпис: _____
дата, підпис

Підпис: _____

Консультант з охорони праці:
старший викладач Фалько В.В.

Підпис: _____
дата, підпис

Захищена з оцінкою

оцінка, дата

Секретар ЕК
старший викладач Батальцев Є.В.

Суми 2023

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра екології та природозахисних технологій
Спеціальність 183 Технології захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедрою _____
“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА
Чорнухи Ігора Анатолійовича

1. Тема проекту (роботи) Теоретичні основи технології очистки води від шкідливих речовин з використанням нанобульбашок затверджена наказом по університету від “21” листопада 2023 р. № 1315-VI
 2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) 25 грудня 2023 року
 3. Вихідні дані до проекту (роботи) дані щодо технології очистки води з використанням нанобульбашок; патентна база щодо методів очистки води.
 4. Зміст розрахунково–пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити) аналіз теоретичної основи нанобульбашок; аналіз методів очистки води з використанням нанобульбашок; способи генерації нанобульбашок; оцінка ефективності їх застосування у водоочищенні.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)
Схема механізму утворення нанобульбашки; схема створення нанобульбашок методом механічного перемішування; схема створення нанобульбашок методом виділення розчиненого газу під тиском; схема пристрою, що використовується для створення нанобульбашок методом періодичної зміни тиску; схема експериментальної установки для отримання нанобульбашок методом гідравлічного стиснення повітря; схема експериментальної установки, що використовується для створення нанобульбашок методом ультразвукової кавітації; схематичне зображення експериментальної установки, що використовується для створення нанобульбашок за допомогою гідродинамічної кавітації; схематичне зображення створення нанобульбашок методом обміну етанол–вода; схема генерації нанобульбашок за допомогою мікрохвиль.

5. Консультанти по проекту (роботі), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Фалько В.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Основні характеристики нанобульбашок та їх різниця в порівнянні зі звичайними бульбашками	Вересень 2023 р.	
2	Робота над розділом «Методи генерації нанобульбашок»	Вересень 2023 р.	
3	Застосування нанобульбашок в очищенні води	Жовтень 2023 р.	
4	Нанобульбашки як ефективний спосіб очистки стічних вод	Листопад 2023 р.	
5	Робота над розділом «Охорона праці та захист у надзвичайних ситуаціях»	27.11.23	
7	Оформлення роботи	16.12.23	

6. Дата видачі завдання 25.09.2023 року

Студент _____

І.А. Чорнуха

Керівник проекту _____

Л. Д. Пляцук

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг випускної кваліфікаційної роботи магістра

Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, який містить 36 найменувань. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 57 с., у тому числі 2 таблиці, 15 рисунків, список використаних джерел на 4 сторінках.

Мета роботи – підвищення ступеня екологічної безпеки за допомогою впровадження нової системи очистки води, з використанням нанобульбашок.

Відповідно до поставленої мети було вирішено такі *завдання*: провести літературний огляд за досліджуваною тематикою; провести критичний аналіз методів та способів очищення води; зробити аналіз способів поводження з певними забрудненнями води; визначити який еколого-економічний ефект від впровадження даної технології.

Об'єкт дослідження – нанобульбашки.

Предмет дослідження – підвищення очистки води за рахунок впровадження нової технології.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є діалектичний метод наукового пізнання, системний підхід.

Ключові слова: НАНОБУЛЬБАШКИ, ОЧИЩЕННЯ ВОДИ, ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД, ФЛОТАЦІЯ, АЕРАЦІЯ, МЕМБРАННЕ ОЧИЩЕННЯ

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1. Основні характеристики нанобульбашок та їх різниця в порівнянні зі звичайними бульбашками.....	7
Розділ 2. Методи генерації нанобульбашок.....	13
Розділ 3. Застосування нанобульбашок в очищенні води.....	32
3.1 Аерація води.....	32
3.2 Деградація органічних забруднювачів і знезараження води.....	32
3.3 Повітряна флотація.....	33
3.4 Мембранне очищення.....	34
Розділ 4. Нанобульбашки як ефективний спосіб очистки стічних вод.....	37
Розділ 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	41
5.1 Техніка безпеки при роботі на очисних спорудах.....	41
5.2 Загальні вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	50
5.3 Пожежна безпека на очисних спорудах.....	51
Висновки.....	53
Перелік джерел посилання.....	54

Інв. №ГОДА.	Підп. і дата	Взаєм. інв.	Інв. №ДУБЛ.	Підп. і дата	ТС 22510291					
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	Теоретичні основи технології очистки води від шкідливих речовин з використанням нанобульбашок					
Розроб.	Чорнуха									
Перев.	Пляцук									
Н.Контр	Батальцев									
Затв.	Пляцук				Літ.	Аркуш	Аркушів			
					4	57	СумДУ, ф-т ТеСЕТ гр. ТС.м-22			

ВСТУП

Комплексний аналіз показує, що останніми роками наукові дослідження нанобульбашок пережили стрімке зростання. Незважаючи на те, що дослідження фізичних і хімічних властивостей нанобульбашок все ще займають найбільшу частину відомих публікацій, зростає кількість робіт, які публікуються щодо застосування нанобульбашок в екологічних сферах. Зокрема, значна кількість статей охоплює їх використання у різних процесах очищення води та стічних вод, що є об'єктом цього дослідження.

Крім того, в існуючій літературі також бракує двох суттєвих міркувань щодо використання технології нанобульбашок у галузі очищення води, а саме, економічної та екологічної оцінки використання нанобульбашок у традиційних системах очищення та потенціалу реального застосування цієї технології поза лабораторією. Таким чином, ця робота спрямована на надання більш повної та реалістичної картини застосування нанобульбашок на різних рівнях. В цій роботі ми визначимо та обговоримо проблеми та перспективи технології, одночасно проливаючи світло на останні досягнення даної технології у різних процесах очищення води за межами лабораторного масштабу, включаючи понад двадцять пілотних і повномасштабних тематичних досліджень. Крім того, ми проведемо попередній економічний та екологічний аналіз цієї технології у системах очищення стічних вод, щоб отримати уявлення про стійкість цієї технології для практичного великомасштабного застосування.

Хоча розробка технології все ще знаходиться на стадії дослідження, кілька переглянутих мною статей проливають світло на фундаментальні властивості нанобульбашок та їх роль у процесах очищення води. Більшість цих статей зосереджено на їх ролі у конкретних процесах очищення, таких як флотація, анаеробне зброджування та рекультивация ґрунтових вод, або взагалі розглядали застосування нанобульбашок у загальних процесах очищення

ІНВ. № ПОДАЛ.	ПІДП. І ДАТА	ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № ДУБЛ.	ПІДП. І ДАТА
---------------	--------------	-------------	--------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

Арк

5

води. Мною були докладені величезні зусилля для перегляду прогресу, досягнутого на даний момент задля розуміння того, які властивості нанобульбашок та як вони працюють. Також існують суперечки та невідповідності в опублікованій літературі щодо існування, властивостей та ефективності нанобульбашок, в чому нам і потрібно розібратись.

Мета роботи: проаналізувати технологію нанобульбашок в очищенні води.

Задачі:

- 1) Охарактеризувати нанобульбашки та яка їх різниця в порівнянні зі звичайними бульбашками;
- 2) Дізнатися які властивості нанобульбашок;
- 3) Розглянути які існують методи генерації нанобульбашок;
- 4) Дізнатися як нанобульбашки виконують очистку води.

Об'єкт дослідження: Технологія очистки води нанобульбашками.

Предмет дослідження: основи технології очистки води від шкідливих речовин.

Методи дослідження: аналітичні дослідження, літературний пошук, статистична обробка.

ІНВ.№ТОДЛ.	Підп. і дата
ВЗАЄМ.ІНВ.	ІНВ.№ДУБЛ.
Підп. і дата	Підп. і дата
Вип	Арк
№ ДОКУМ.	Підп.
ДСТ	ДСТ

ТС 22510291

Арк

6

РОЗДІЛ 1
ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОБУЛЬБАШОК ТА ЇХ РІЗНИЦЯ
В ПОРІВНЯННІ ЗІ ЗВИЧАЙНИМИ БУЛЬБАШКАМИ

ООН визначає доступ до безпечної питної води як право людини, а муніципальні та промислові стічні води потребують очищення перед тим, як потрапляють у водойми.

Загрози глобальній водній безпеці зросли протягом останніх десятиліть. Зростання населення та швидка індустріалізація призвели до значного збільшення муніципального та промислового споживання води, а також до нових забруднювачів, повсюдна присутність яких негативно вплинула на водне середовище та ускладнила систему водозабезпечення у міських та сільських районах. Традиційні процеси очищення виявилися більш обмеженими у задоволенні потреб перед лицем цих зростаючих проблем, що вимагають розробки більш ефективних процедур очищення. У цьому контексті нанобульбашки з їх багатьма унікальними характеристиками викликають зростаючий інтерес у різних сферах застосування, оскільки вони пропонують великі можливості для вдосконалення існуючих процесів очищення води та стічних вод у різних аспектах.

Ці заходи вимагають технологій обробки для видалення природних (наприклад, арсен, хром, фтор, марганець, радіонукліди, солі тощо) або антропогенних (наприклад, нітрати, фосфати, розчинники, фармацевтичні засоби тощо), хімічних речовин та часток (наприклад, віруси, бактерії), які спричиняють токсичність, щоб зробити річки, озера, морську воду, ґрунтову воду чи стічні води придатними для безпечного використання або повторного використання в міських та сільських водних системах.

Одним із швидко розвиваючих напрямів очистки води є використання нанотехнологій. Нанотехнології застосовуються в широкому спектрі науки і

Інв. № ПОДА.	Підп. і дата
Взєм. інв.	Інв. № БУБЛ.
Підп. і дата	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

техніки. Це пов'язано з можливістю створювати і модифікувати об'єкти розміром від одиниць до сотень нанометрів. Частинки подібного розміру мають унікальні фізико-хімічні та поверхневі властивості, вони відкривають нові можливості для застосування.

Прихильники нанотехнологій пропонують використовувати цю галузь дослідження для вирішення деяких проблем, з якими людство стикається у глобальних масштабах, таких як забезпечення постачання населення, яке постійно росте, безпечною питною водою.

Очищення води нанотехнологіями зараз продовжує розвиватися, і тому існує кілька різних способів. Одні з цих способів перебувають у розробці, інші широко використовуються.

Очищення води за допомогою цієї технології може бути використане для видалення відкладень, заряджених частинок, хімічних стоків, бактерій та інших хвороботворних мікроорганізмів. Дослідники з питань щодо очищення води пояснюють, що такі токсичні мікроелементи, як миш'як, в'язкі рідини, нафта можуть бути видалені з води за допомогою нанотехнологій.

Вченими були представлені пристрої з очищення води, які, очищаючи воду, відсівали віруси, бактерії, органічні речовини та важкі метали. Виявляється, деякі заводи з виробництва ліків вже використовують нанотехнології для очищення води від забруднень. І на сьогоднішній день подібна технологія очищення води стає промисловим стандартом.

Дослідники нанотехнологій вважають, що, незважаючи на відносну простоту даної технології, майбутнє покоління пристроїв для очищення води на основі нанотехнологій створюватимуться в більших масштабах і з використанням покращених методів очистки.

Очищення води, засноване на застосуванні нанотехнологій, досі не призводило до жодних порушень здоров'я людини, і не викликало проблеми екологічного характеру.

ІНВ. № ПОДАЛ.	ПІДП. І ДАТА	ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № ДУУБЛ.	ПІДП. І ДАТА

Однією із найкращих технологій очистки води є нанобульбашки. З моменту відкриття нанобульбашок у 1994 році, вони привертають все більшу увагу своїми захоплюючими властивостями та досліджуються для застосування в різних галузях навколишнього середовища, включаючи водопостачання та очищення стічних вод. Однак, незважаючи на інтенсивні дослідження фундаментальних властивостей нанобульбашок, особливо протягом останніх п'яти років, суперечки та розбіжності перешкоджають їх практичному застосуванню. Поки що огляди досліджень нанобульбашок в основному зосереджувалися на їх ролі у конкретних процесах очищення або загальних застосуваннях, підкреслюючи підтвердження концепції та історії успіху в основному в лабораторному масштабі. Таким чином, не вистачає ретельного аналізу, який підтверджує потенціал нанобульбашок за межами стендової шкали.

Останнім часом нанобульбашки широко використовуються як високоефективний засіб і екологічно чистий газорідний процес відновлення водних екосистем, очистки каналізаційних та стічних вод та вирощування аквакультури.

Відповідно до критеріїв класифікації розміру бульбашок, бульбашки діаметром від 1 мкм -1000 мкм визначаються як нанобульбашки. Існування нанобульбашок на межі рідина-тверде тіло було перевірено різними методиками. Серед них атомно-силовий мікроскоп [1], який показує, що нанобульбашки на межі розділу рідина-тверде тіло подібні до сферичних ковпачків, і їх поздовжня висота зазвичай дорівнює від декількох нанометрів до кількох десятків нанометрів, а поперечний діаметр становить від кількох десятків до сотень нанометрів. У порівнянні з традиційними бульбашками нанобульбашки були виділені завдяки їхнім перевагам, серед яких малий розмір, велика питома площа поверхні, тривалий час перебування у воді, висока ефективність масообміну, високий дзета-потенціал межі розділу, і здатність генерувати гідроксильні радикали (у хімії є одними з найважливіших

ІНВ. №ТОАЛ.	ПіАП. і АСТА	ВЗАЄМ.ІНВ.	ІНВ. №ДУБЛ.	ПіАП. і АСТА
-------------	--------------	------------	-------------	--------------

Вип	АРК	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

природних оксидантів, і упродовж тисячоліть вони сприяли очищенню нашої атмосфери). Ці характеристики значно відрізняються від тих традиційних великих бульбашок.

Нанобульбашки класифікуються на поверхневі нанобульбашки та об'ємні нанобульбашки, як показано на рисунку 1.1.

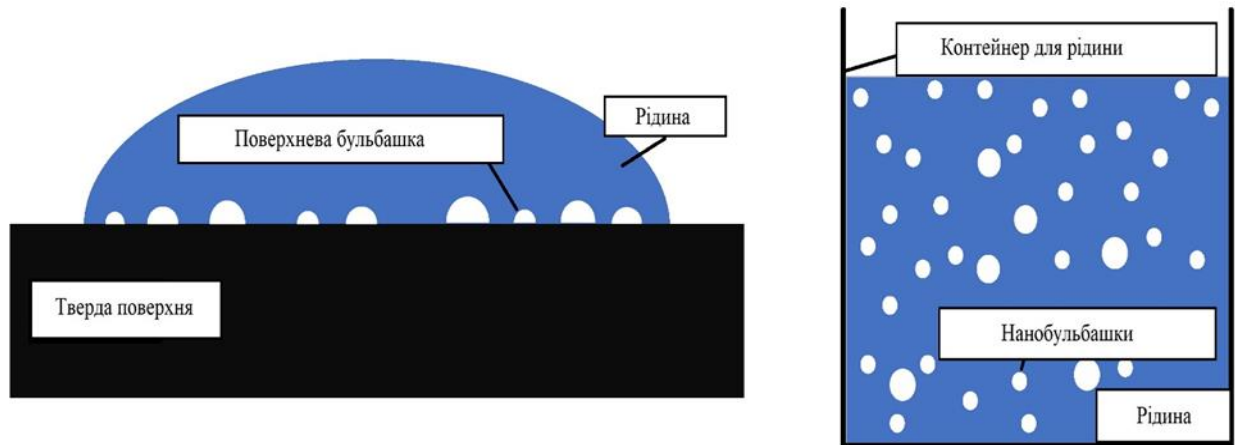


Рисунок 1.1 – Поверхневі та об'ємні нанобульбашки.

Відповідно до принципу плавучості, швидкість підйому бульбашок у воді зменшується разом із зменшенням розмірів самих бульбашок. У порівнянні зі звичайними бульбашками самі нанобульбашки мають менший об'єм і утримують плавучість та мають більш міцну поверхню, через що вони довго не руйнуються. Дослідження показали, що швидкість зростання нанобульбашок з розміром менше 1 мкм набагато повільніша, ніж у броунівського руху (невпорядкований, хаотичний рух дрібних частинок, завислих у рідині або газі), отже, нанобульбашки здаються більш стабільними у воді протягом тривалого часу [2]. Загалом, швидкість перенесення газу значною мірою залежить від площі масообміну газорідинної фази, так що з нанобульбашками вона набагато вище. Відповідно до закону Генрі, нанобульбашки зазнають самогерметизації та розчинення [3], що може

ІНВ.№ТОДЛ.	Підп. і дста	Взаєм.інв.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і дста	Вип	АРК	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ	ТС 22510291	Арк
											10

призвести до того, що швидкість розчинення газу у воді досягне перенасиченого стану, при цьому підвищивши ефективність масообміну газ-рідина.

Однак головний цікавий момент щодо нанобульбашок полягає в тому, що, згідно з загальноприйнятою моделлю Епштейна-Плессета, вони не повинні бути стабільними більше кількох мілісекунд: проміжок часу настільки короткий, що виявити їх майже неможливо. Отже, можна сказати, що теоретично вони не повинні існувати.

І, тим не менше, вони існують. У 2008 році дослідники опублікували перші докази довгострокової стабільності поверхневих нанобульбашок. Через сім років вчені нарешті отримали незаперечний доказ довгострокової стабільності поверхневих нанобульбашок. Вчені спостерігали, що вони були стабільними протягом п'яти днів. Однак на сьогоднішній день немає наукового консенсусу щодо стабільності об'ємних нанобульбашок.

Нанобульбашки присутні лише на гідрофобних поверхнях. Незважаючи на те, що поверхневі нанобульбашки, ймовірно, поширені в природі, вони в основному залишаються непоміченими. Вони були зображені за допомогою атомно-силової мікроскопії у воді, як насиченій розчинним газом, так і недостатньо насиченій, а також у різних розчинниках, таких як формальдегід, нітрат етиламонію та нітрат пропіламонію.

Поєднання адсорбції іонів на поверхні бульбашок і створення протиіонів на внутрішній поверхні зумовлює високий дзета-потенціал нанобульбашок, який подібний до колоїдних частинок (речовини, що складаються з дуже маленьких часток матерії, які присутні в іншому матеріалі).

Крім того, колапс нанобульбашок за відсутності зовнішніх подразників може генерувати гідроксил радикалів, що було експериментально продемонстровано за допомогою спектроскопії електронного спінового резонансу [4-5]. У той момент, коли межа розділу газ-рідина зникає через

ІНВ. № ПОДА.	Підп. і дата	Взаєм. інв.	ІНВ. № АУБЛ.	Підп. і дата
--------------	--------------	-------------	--------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

Арк

11

схлопування бульбашки, надзвичайно висока концентрація заряджених іонів, накопичених на межі розділу через процес самоагнітання нанобульбашок для розчинення, миттєво вивільнить хімічну енергію, яка, у свою чергу, вивільнить гідроксил радикалів. Кількість гідроксильних радикалів, утворених руйнуванням нанобульбашок, залежить від типу бульбашок і значення рН розчинів. Як правило, кисневі нанобульбашки більш схильні до утворення гідроксильних радикалів.

Переваги нанобульбашок перед традиційними бульбашками полягають не лише в їхній ефективності розчинення кисню у воді. Вони характеризуються високим масообміном, утворенням гідроксильних радикалів шляхом колапсу, високим дзета-потенціалом на межі розділу, тому можуть покращити ефективність реакції хімічних речовин і забруднюючих речовин, розкладаючи органічні речовини, які важко розкласти в звичайних умовах. Як новий процес без вторинного забруднення, ця технологія має перспективи успішного застосування, хоча існують деякі проблеми, такі як більш висока вартість і енергоспоживання генераторів, в порівнянні зі звичайними пристроями для генерації бульбашок.

Крім того, стабільність утворених бульбашок піддається впливу різних факторів, таких як електроліт, рН, температура води, структура та принцип генератора, які потрібно вдосконалювати. Відповідно, велика увага повинна бути приділена зниженню витрат та енергоспоживання, одночасно забезпечуючи стабільність та виробництво нанобульбашок, а також подальше розширення їхнього застосування, наприклад, у поєднанні з традиційною технологією окиснення.

ІНВ.№ТОДЛ.	Підп. і дста
Взаєм.інв.	ІНВ.№ДУБЛ.
Підп. і дста	Підп. і дста
ІНВ.№ТОДЛ.	Підп. і дста

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ГЕНЕРАЦІЇ НАНОБУЛЬБАШОК

Макробульбашки та мікробульбашки, які більші за нанобульбашки, як впливає з їх назв, широко застосовуються в процесах очищення води, включаючи флотацію та очищення мембрани. Однак ці більш грубі бульбашки швидко зникають у воді, піднімаються і руйнуються на поверхні, або стискаються і розчиняються у воді, що обмежує їх загальну ефективність. З іншого боку, нанобульбашки дуже стабільні та можуть існувати у воді від кількох годин до кількох місяців. Окрім високої стабільності, нанобульбашки мають інші відмінні властивості, такі як високе співвідношення площі поверхні до об'єму, високий негативний дзета-потенціал, низька плавучість і здатність генерувати радикали, що дозволяє їм робити свій внесок у фізичні, хімічні та біологічні процеси очищення води. Технологія нанобульбашок розглядається як тип зеленої нанотехнології, через її потенціал частково замінити або вдосконалити звичайні технології, які вимагають значного використання енергії або хімікатів, і дозволяють перейти до економічно ефективних процесів очистки без використання хімікатів.

Тепер ми більш детально розглянемо декілька методів генерації нанобульбашок:

1. Метод механічного перемішування

Створення нанобульбашок з використанням механічного перемішування передбачає піддавання рідині, що містить поверхнево-активні речовини, повторюваному обертальному перемішуванню за допомогою механізму. Високий зсув, інтенсивна турбулентність, ефекти зіткнення та гідродинамічна кавітація, викликана під час перемішування, сприяють взаємодії між газовою та рідкою фазами, що призводить до утворення бульбашок. Ці бульбашки, які піддаються численним циклам перемішування,

ІНВ. № ПОДА.	ПІДП. І ДАТА	ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № АУБУБ.	ПІДП. І ДАТА
--------------	--------------	-------------	---------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

Арк

13

зазнають безперервного зсуву, що призводить до утворення поступово менших бульбашок, що в кінцевому підсумку породжує нанобульбашки [6]. Etchepare та ін. [7] провели експерименти щодо створення нанобульбашок з використанням методу механічного перемішування, використовуючи експериментальну установку, показану на рисунку 2.1. Результати показали, що цей метод може швидко генерувати нанобульбашки, які можуть залишатися стабільними понад 60 днів. Senthilkumar та ін. [8] використовували механічне перемішування для створення нанобульбашок в маслі для теплопередачі. Результати показали, що отримані нанобульбашки мали діаметр менше 200 мкм, і їх присутність могла покращити теплопровідність і в'язкість теплоносія. Jadhav та ін. [9] провели дослідження з використанням різних порожнистих обертових механізмів, щоб дослідити вплив різних порожнистих форм, швидкостей обертання, часу роботи та температур на генерацію нанобульбашок у чистій воді. Результати показали, що, хоча щільність суттєво різнилася в різних порожнистих формах, розподіл розмірів, середній діаметр бульбашки та дзета-потенціал залишалися відносно постійними. Крім того, збільшення швидкості обертання, подовження часу роботи та підвищення температури дозволили утворити більшу концентрацію бульбашок, оскільки ці дії сприяли вивільненню більшої кількості повітря з води.

ІНВ.№ТОДЛ.	Підп. і дста	Взаєм.інв.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і дста

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ

ТС 22510291

Арк

14

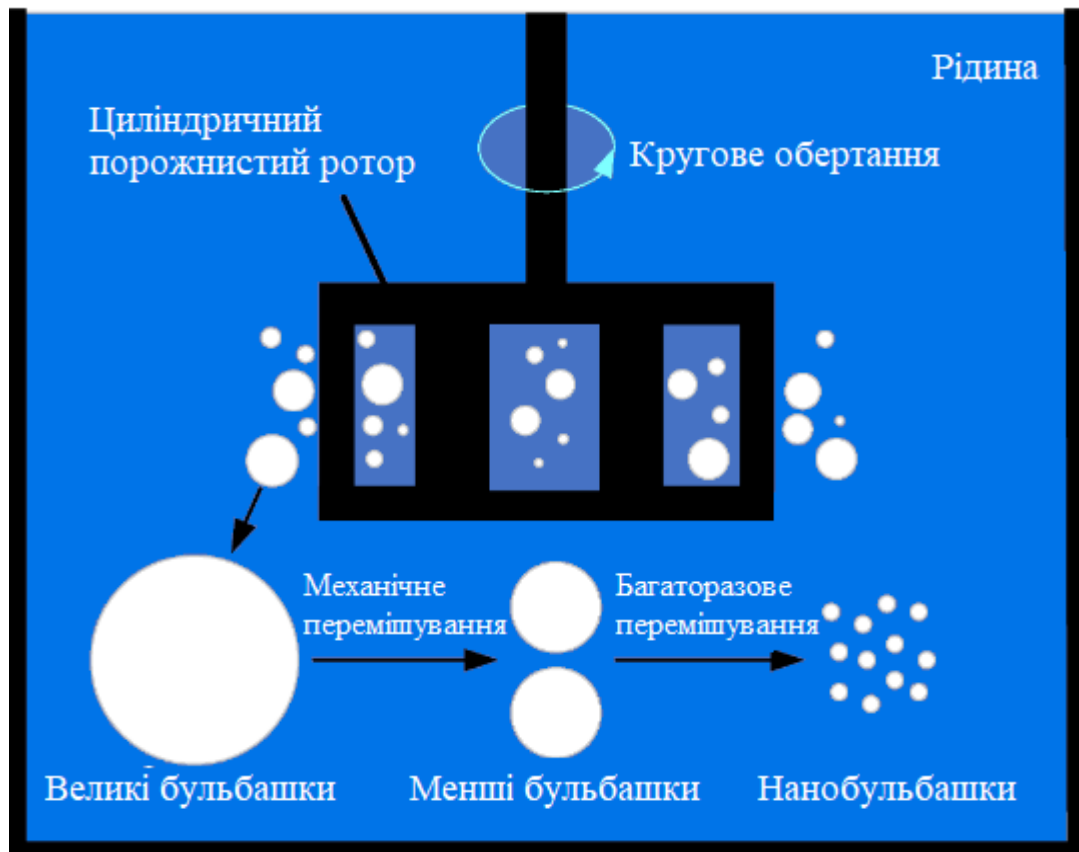


Рисунок 2.1 – Схема створення нанобульбашок методом механічного перемішування

2. Метод вивільнення розчиненого газу під тиском

Основний принцип методу вивільнення розчиненого газу під тиском полягає в зміні тиску газу [10]. При умовах підвищеного тиску, повітря розчиняється у воді, утворюючи надлишковий стан насиченості повітря, після чого повітря раптово декомпресується, викидаючи його у воду у вигляді дрібних бульбашок. Крім того, метод декомпресії може також створювати нанобульбашки шляхом проведення короткочасної обробки насиченого розчину. Однак існують недоліки у вигляді перерв у процесах розчинення газу та його вивільнення, а також низької ефективності утворення нанобульбашок. Для компенсації цих недоліків був розроблений метод генерації нанобульбашок за допомогою повітряної поплавкової помпи, який є поєднанням технології дифузії газу з лопатевим імпелером та методу

ІНВ. № ПОДАЛ.	ПІДП. І ДАТА
ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № АУБЛ.
ПІДП. І ДАТА	ПІДП. І ДАТА

вивільнення розчиненого газу під тиском. Порівняно з першим методом, швидкість генерації нанобульбашок вища, а розмір бульбашок менший.

Wang та ін. [11] використовували CO_2 як джерело газу та створювали нанобульбашки за допомогою методу вивільнення розчиненого газу. Експериментальна установка показана на рисунку 2.2. Вони виявили, що оптимальне співвідношення газ-рідина для приготування нанобульбашок становило 2,87%, оптимальний час роботи генератора становив 28,47 хв, а оптимальна температура води на вході становила 25,52 °С.

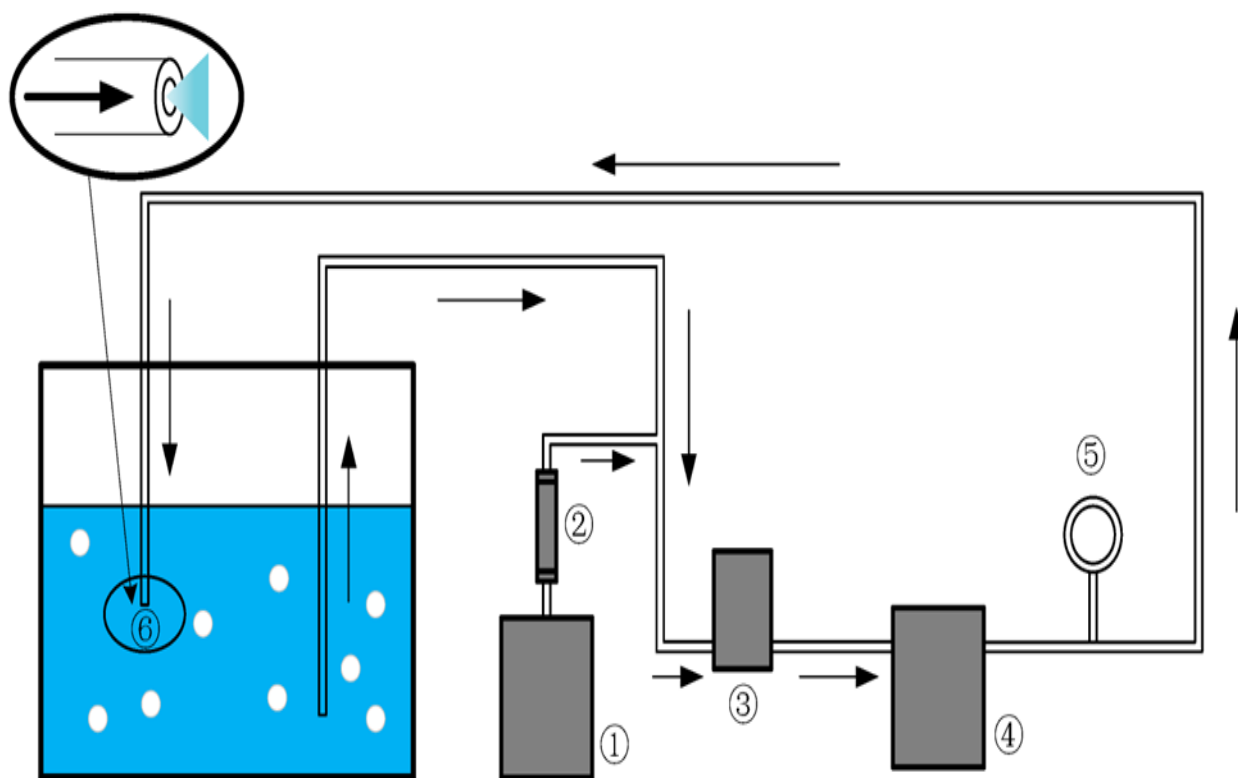


Рисунок 2.2 – Схема створення нанобульбашок методом виділення розчиненого газу під тиском: 1) балон для подачі газу CO_2 ; 2) витратомір газу; 3) мембранний насос; 4) резервуар для розчиненого газу; 5) гідравлічний манометр; 6) дросельна форсунка для випущеного газу.

3. Метод періодичної зміни тиску

Принцип створення нанобульбашок за допомогою методу періодичної зміни тиску є контроль розчинення газу та випадання осаду шляхом здійснення

ІНВ. № ПОДЛ.	ПІДП. І ДАТА
ВЗАСМ. ІНВ.	ІНВ. № АУБЛ.
ПІДП. І ДАТА	ПІДП. І ДАТА

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

Арк
166

періодичного регулювання тиску до газонасиченого розчину [12]. Wang та ін. [13] використали метод періодичної зміни тиску для створення нанобульбашок, використовуючи експериментальну установку, яка зображена на рисунку 2.3. Дослідження успішно створило стабільні нанобульбашки азоту і визначило, що при постійній частоті змін тиску, більший час впливу тиску призводить до утворення менших нанобульбашок.

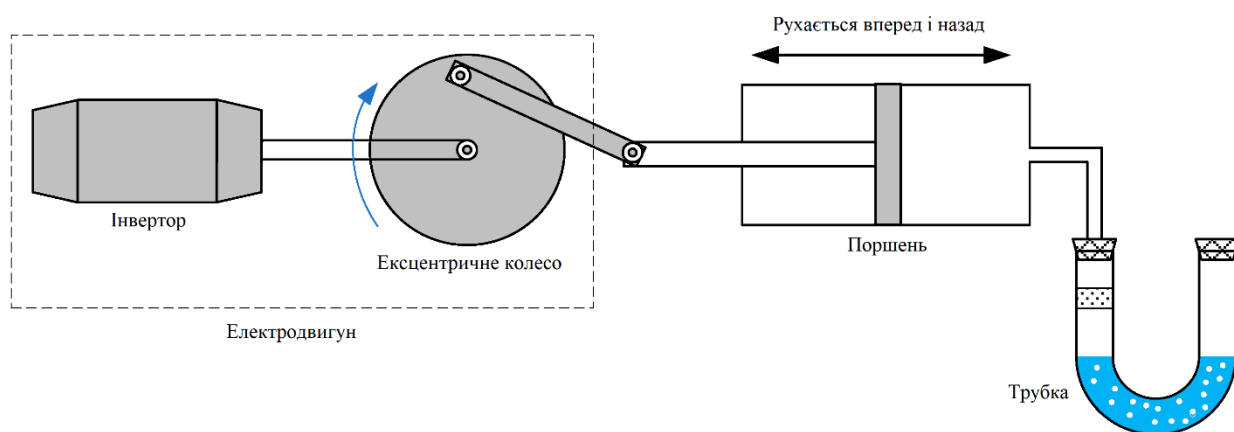


Рисунок 2.3 – Схема пристрою, що використовується для створення нанобульбашок методом періодичної зміни тиску

4. Дисперсно-повітряний спосіб

Основним принципом методу дисперсного повітря є використання різних методів, таких як гідравлічний зсув, високошвидкісне завихрення, струменевий потік, мікропориста структура для формування і створення екстремальних умов, за яких повітря неодноразово зсувається та розбивається, щоб змішатися з водою, утворюючи велику кількість нанобульбашок. Oliveira та ін. [14] досліджували параметри дисперсії повітряних нанобульбашок згенерованих у високошвидкісній гідродинамічній кавітаційній трубці, яка показала нанобульбашки із середнім діаметром 220-280 мкм і концентрацією $6,4 \times 10^8$ нанобульбашок на 1 мл., коли об'ємне співвідношення газ-рідина становило 30%.

ІНВ. № ПОДАЛ.	ПІДП. І ДАТА
ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № АУБЛ.
ПІДП. І ДАТА	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

5. Метод гідравлічного стиснення повітря

Yang та ін. [15] провели експеримент щодо створення нанобульбашок за допомогою методу гідравлічного стиснення повітря, використовуючи експериментальний прилад, показаний на рисунку 2.4. Цей експеримент вперше довів, що метод гідравлічного стиснення повітря може бути використаний для генерації нанобульбашок. Автори використовували аналіз відстеження наночастинок для оцінки розподілу розмірів і концентрації нанобульбашок, і їхні результати показали, що концентрація нанобульбашок зростала зі збільшенням висоти вихідної труби. Метод гідравлічного стиснення повітря не тільки дозволяє створювати більше нанобульбашок, але також є економічно вигідним і високоефективним. У майбутньому застосування технології гідравлічного стиснення повітря може виявитися інструментом для використання нанобульбашок у промислових і сільськогосподарських умовах.

ІНВ. № ПОДАЛ.	Підп. і дата	Взаєм. інв.	ІНВ. № АУБЛ.	Підп. і дата
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
ТС 22510291				Арк
				18

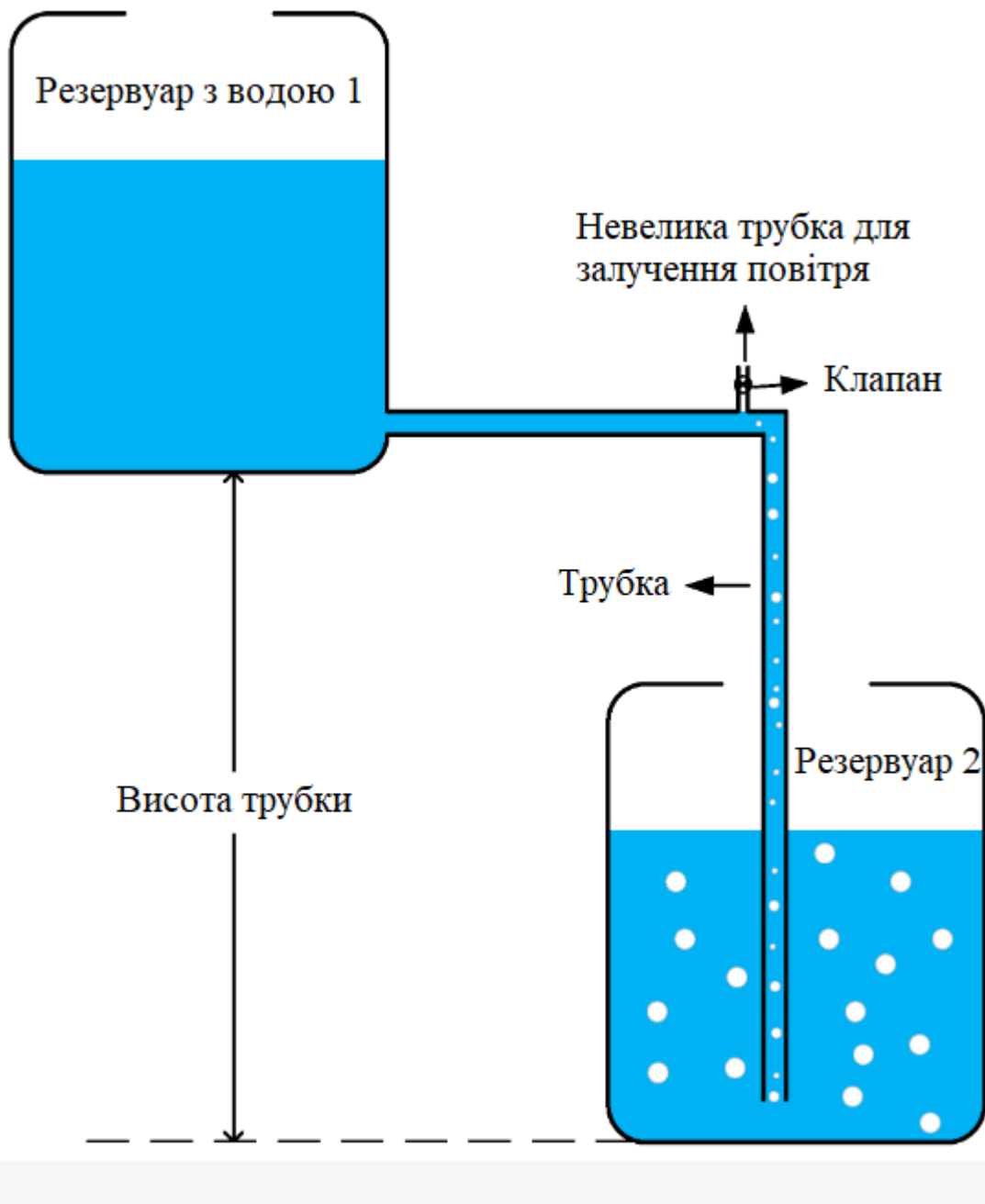


Рисунок 2.4 – Схема експериментальної установки для отримання нанобульбашок методом гідралічного стиснення повітря

6. Електрохімічний метод

Електрохімічний метод може не тільки безпосередньо генерувати велику кількість нанобульбашок у водному розчині, але також використовувати провідний субстрат як електрод для утворення міжфазних нанобульбашок на його поверхні. Кількість та розмір нанобульбашок,

ІНВ. № ПОДА.	ПІДП. І ДАТА
ВЗАСЕМ. ІНВ.	ІНВ. № АУБЛ.
ПІДП. І ДАТА	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 22510291

утворених електролізом, можна контролювати величиною застосованої напруги та часом електролізу.

Yang та ін. [16] проводили електроліз води для генерації нанобульбашок на поверхні високоорієнтованого піролітичного графіту (ВПГ). Коли поверхня ВПГ діяла як від'ємний (позитивний) електрод, утворювались бульбашки водню. Більше того, видача бульбашок водню була майже вдвічі більшою, ніж видача бульбашок кисню.

7. Метод ультразвукової кавітації

Ультразвукова кавітація - це процес, під час якого високоенергетичні ядра, утворені ультразвуковою енергією, ростуть рівномірно в розчині або неоднорідно на гідрофобній поверхні і безперервно накопичують звукову енергію. Коли енергія досягає певного порогу, кавітаційні бульбашки швидко стискаються і розриваються. Ефективний діаметр утворених бульбашок пов'язаний з ультразвуковою потужністю та часом обробки. Для сонікації розчину використовувався сонікатор Vibra-Cell для утворення нанобульбашок із ефективним діаметром 750-800 мкм, які збільшувалися зі зростанням ультразвукової потужності та часу обробки [17]. Ефективність утворення нанобульбашок за допомогою ультразвукової кавітації не є високою, і розмір бульбашок значно збільшується через випаровування летючих компонентів під час тривалої ультразвукової обробки, що потребує подальшого вдосконалення.

Nirmalkar та ін. [18] провели експерименти зі створення нанобульбашок за допомогою цього методу, використовуючи експериментальну установку, зображену на рисунку 2.5. Дослідження показало, що нанобульбашки існували в чистій воді, але не в органічних розчинниках, і вони зникали при певному співвідношенні органічного розчинника до води. Цей результат пояснюється електростатичним зарядом на поверхні нанобульбашок, який стабілізує їх за допомогою адсорбції гідроксильних іонів, що утворюються в результаті

ІНВ.№ТОДЛ.	Підп. і дста
Взаєм.інв.	ІНВ.№ДУБЛ.
Підп. і дста	
Підп. і дста	

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дст
-----	-----	-----------	-------	-----

ТС 22510291

автоіонізації води. Однак чисті органічні розчинники не піддаються автоіонізації.

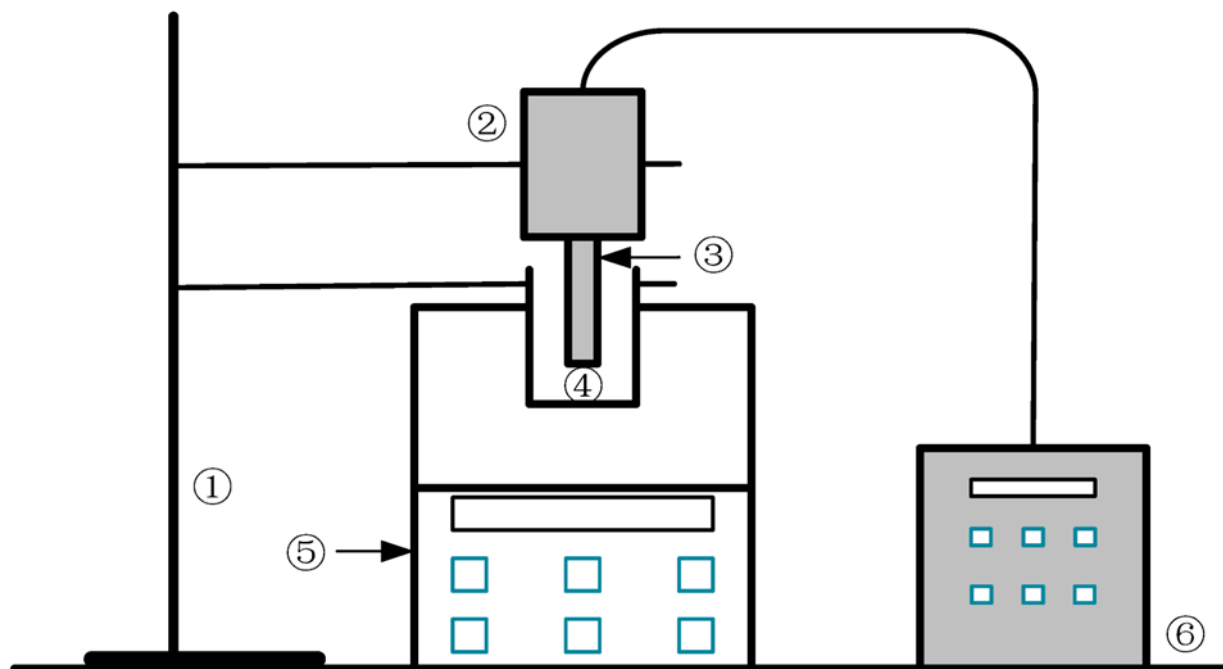


Рисунок 2.5 – Схема експериментальної установки, що використовується для створення нанобульбашок методом ультразвукової кавітації: 1) стійка та затискачі; 2) ультразвуковий перетворювач; 3) титановий зонд; 4) скляний стакан; 5) рециркуляційний охолоджувач; 6) ультразвуковий процесор.

8. Метод гідродинамічної кавітації

Метод гідродинамічної кавітації має ряд переваг, включаючи високу енергоефективність, низьку вартість і масштабованість. Його мета полягає в тому, щоб викликати кавітацію в середовищі шляхом зміни швидкості потоку середовища, викликаючи таким чином коливання тиску. Цей результат аналогічний результату, отриманому за допомогою методу ультразвукової кавітації [19]. Alam та ін. [20] провели експеримент щодо отримання нанобульбашок за допомогою гідродинамічної кавітації. Використаний експериментальний апарат був двокамерним закрученим струменевим соплом, яке генерувало нанобульбашки в насиченому або перенасиченому розчині через циркуляційну систему, як показано на рисунку 2.6. Результати

ІНВ. № ПОДА.	ПІДП. І ДАТА	ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № АУБЛ.	ПІДП. І ДАТА

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 22510291

Арк

21

показали, що пристрій успішно виробляв нанобульбашки з діаметром менше 200 мкм, і ці нанобульбашки несли негативний заряд у воді.

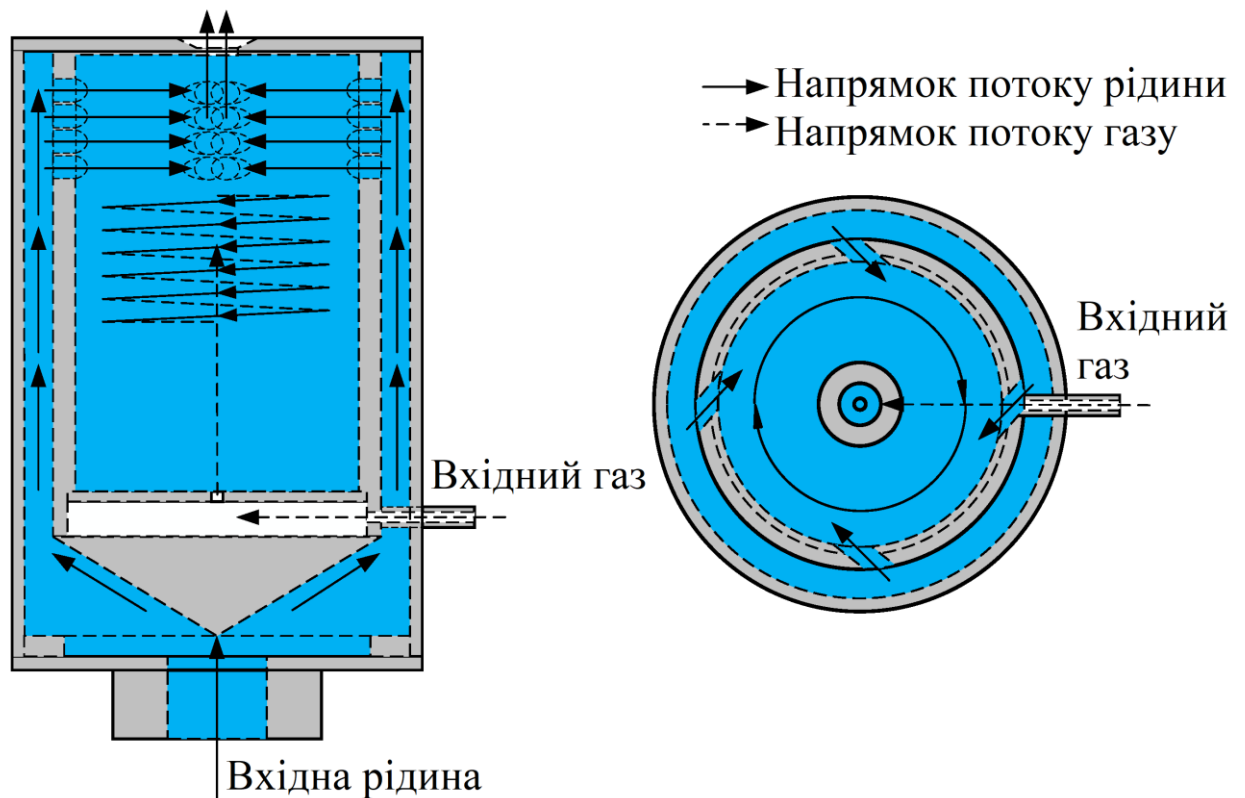


Рисунок 2.6 – Схематичне зображення експериментальної установки, що використовується для створення нанобульбашок за допомогою гідродинамічної кавітації.

Wu та ін. [21] у своєму дослідженні удосконалили кавітаційний реактор, використовуючи чисельне моделювання для дослідження впливу різних геометричних параметрів на структуру поля потоку. Вони успішно визначили оптимальну конструкцію, згодом виготовивши в лабораторних масштабах генератор нанобульбашок вихрового типу. Були проведені експерименти з потоком газу та води, у результаті яких утворилися бульбашки діаметром лише 300 мкм. Ця спроба дала цінну інформацію про дослідження методологій генерації нанобульбашок.

9. Метод заміщення розчину

Метод заміщення розчину передбачає наявність підложки та двох розчинів з різною розчинністю газу, які можуть бути взаєморозчинними. Коли

Інв. Напокл.	Підп. і дата
Взаєм. інв.	Інв. Набул.
Підп. і дата	

розчин з високою розчинністю газу заміщується розчином з низькою розчинністю, зайвий газ відкладається на поверхні підложки, утворюючи нанобульбашки. Одним з поширених методів є обмін етанолом і водою, як показано на рисунку 2.7. Ну Jun та ін.[2] успішно використовували цей метод для отримання нанобульбашок з діаметром від 100 до 200 мкм та концентрацією 4×10^8 на 1 мл., які залишалися стабільними понад 4,5 години за оптимальних умов - співвідношення етанолу/води 1:12 і температури експерименту 35 °С.

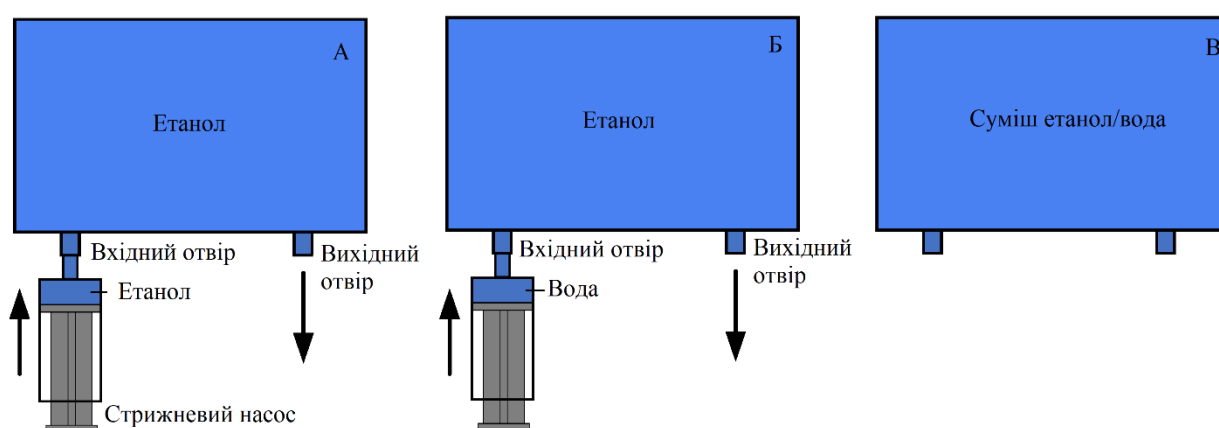


Рисунок 2.7 – Схематичне зображення створення нанобульбашок методом обміну етанол–вода. (А) Етанол вводять у герметичний контейнер для рідини за допомогою шприца; (Б) Потім етанол замінюється деіонізованою водою; (В) Бульбашки утворюються, коли етанол замінюється водним розчином.

Крім того, інші технічні методи, такі як висока температура, хімічні реакції, фото/хімічний каталіз та мікротрубки, також використовувалися для отримання нанобульбашок. Зокрема, технологія мікротрубок використовує насос для введення газу у рідину через мікротрубу, утворюючи бульбашки у рідині. Їх розмір залежить від тиску та об'єму насосу.

ІНВ. № ПОДАЛ.	ПІДП. І ДАТА
ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № ДОУБЛ.
ПІДП. І ДАТА	
ІНВ. № ПОДАЛ.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

Арк
23

10. Метод мікрохвильового опромінення

Метод опромінення електромагнітними хвилями забезпечує зручний і бездомішковий підхід до створення нанобульбашок. Його принцип заснований на фотонах електромагнітної хвилі, що опромінюють гідрофобну поверхню води, де фотони, що несуть енергію, збільшують ймовірність виходу газу. Під впливом мікрохвильового випромінювання розчинність газу у воді зменшується, що сприяє зародженню нанобульбашок. Схематично утворення бульбашок за допомогою мікрохвиль показана на рисунку 2.8. Wang та ін. [22] висунули гіпотезу про механізм утворення нанобульбашок за допомогою мікрохвильового випромінювання, як показано на рисунку 2.9.

Вони також провели експеримент зі створення нанобульбашок за допомогою мікрохвильового випромінювання, у якому вони використовували кисень високої чистоти (99,995%) як джерело газу для надування дезоксигенованої чистої води та графітову підкладку. Дослідження показало, що регулювання концентрації газу, часу опромінення та робочої потужності може контролювати вихід нанобульбашок. Yuan та ін. [23] використовували прискорене електронне опромінення для синтезу об'ємних нанобульбашок у чистій воді. Результати демонструють пряму кореляцію між утворенням нанобульбашок та збільшенням потужності дози опромінення. Крім того, при підвищеній дозі опромінення початкове збільшення концентрації нанобульбашок супроводжується подальшим ослабленням.

ІНВ.№ТОДЛ.	Підп. і дста	Підп. і дста	Взаєм.інв.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і дста
Вип	АРК	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ	

ТС 22510291

Арк

24

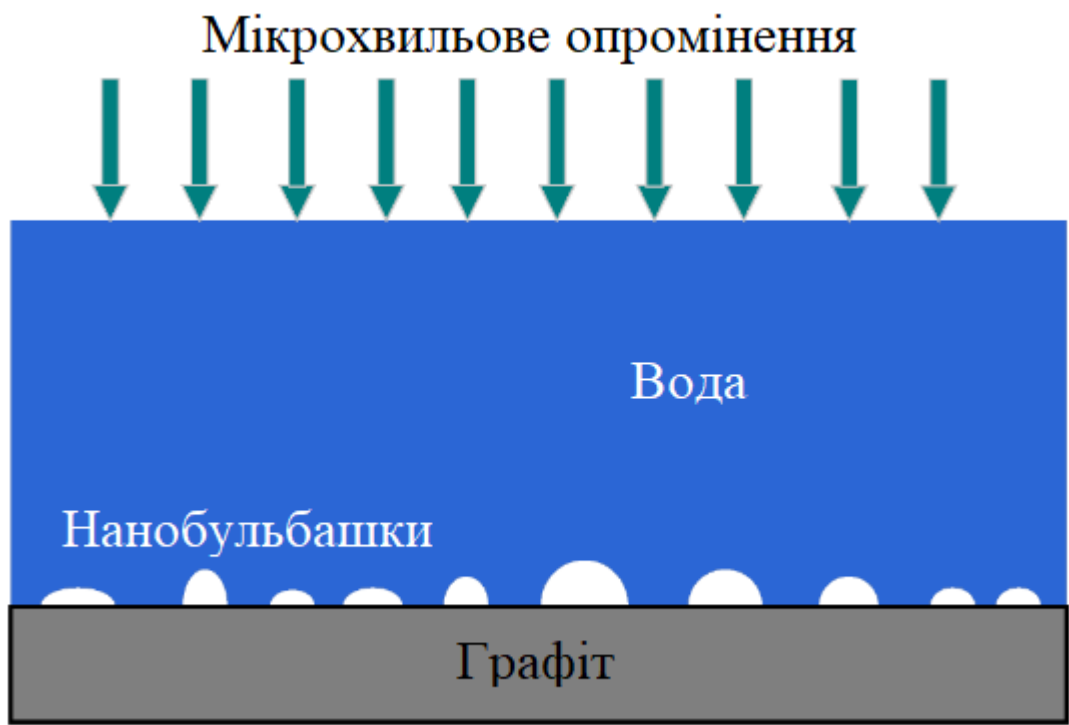


Рисунок 2.8 – Схема генерації нанобульбашок за допомогою мікрохвиль.

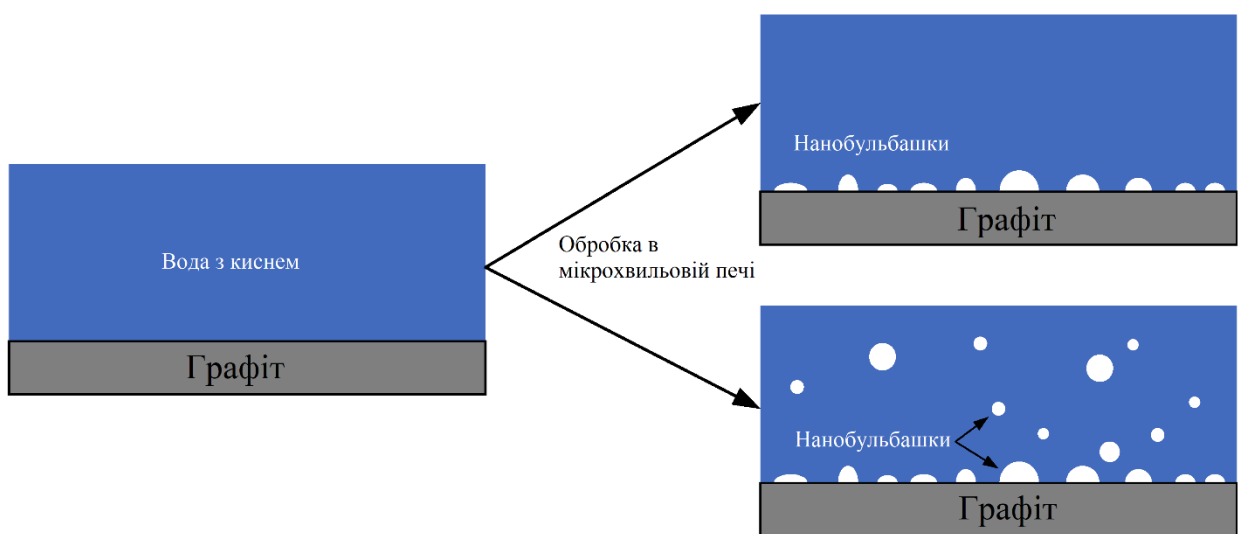


Рисунок 2.9 – Схема механізму утворення нанобульбашки

Тепер ми можемо надати короткий виклад переваг і недоліків кожного методу, як показано в таблиці 2.1.

ІНВ. № ПОДАЛ.	ПІДП. І ДАТА
ВЗЯЄМ. ІНВ.	ІНВ. № АУБЛ.
ПІДП. І ДАТА	
Вип	Арк

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 22510291

Таблиця 2.1– Короткий виклад переваг і недоліків методів генерації нанобульбашок

Метод	Переваги	Недоліки
Метод механічного перемішування	Метод простий і легкий у реалізації.	Можна генерувати лише невелику кількість нанобульбашок.
Метод виділення розчиненого газу під тиском	Легкий і простий у виконанні; Низька вартість.	Обмежений контроль над розміром і розподілом бульбашок; Може призвести до більших розмірів бульбашок порівняно з іншими методами.
Метод періодичної зміни тиску	Можна приготувати більш рівномірну бульбашку, а розмір бульбашки можна контролювати тиском і періодичністю.	Можна приготувати лише невелику кількість нанобульбашок.
Метод гідравлічного стиснення повітря	Нанобульбашки можна виробляти у великих масштабах за низької вартості та з високою ефективністю.	Обмежений контроль над розміром і розподілом бульбашок.
Електрохімічний метод	Нанобульбашки можна генерувати у великій кількості;	Велика ціна високоорієнтованого піролітичного графіту

ІНВ. № ПОДАЛ. Підп. і дата
Взаєм. інв. ІНВ. № АУБЛ.
Підп. і дата

Вип. Арк. № докум. Підп. Дат

ТС 22510291

Арк
26

	Кількість та розмір нанобульбашок, можна контролювати.	
Метод ультразвукової кавітації	Ефективне та швидке створення нанобульбашок.	Потрібне спеціальне обладнання та джерела ультразвуку; Контроль над розміром і розподілом бульбашок може бути обмежений.
Метод гідродинамічної кавітації	Висока енергоефективність, низька вартість і масштабованість.	На ефективність можуть впливати такі фактори, як швидкість потоку рідини/газу та тиск.
Метод заміщення розчину	Легкий і простий у застосуванні; Низька вартість.	Контроль над розміром і розподілом бульбашок може бути обмеженим.
Метод мікрохвильового опромінення	Домішки не вводяться, вихід нанобульбашок можна контролювати.	Потрібне спеціалізоване мікрохвильове обладнання з точним контролем потужності.

Довгострокова стабільність через зміни розміру та поверхневого заряду нанобульбашок вимірювалася різними методами в різних типах досліджень, і повідомлялося, що нанобульбашки є стабільними протягом кількох місяців. Проте часові зміни концентрації нанобульбашок, необхідні для комерціалізації, а також масового виробництва та розповсюдження, залишаються невідомими. У дослідженні Antonio Cerron-Calle та ін. [24] зміну

ІНВ. № ПОДА. Підп. і дата. Взяєм. інв. ІНВ. № АУБЛ. Підп. і дата.

ТС 22510291

Вип. Арк. № докум. Підп. Дат.

Арк
25

концентрації нанобульбашок спостерігали протягом 120 днів із використанням підготовлених нанобульбашок, кінцева концентрація яких становила приблизно 81% від початкової концентрації. Нанобульбашки були стабільними протягом тривалого часу, з незначними змінами в межах похибки, які відбулися під час спостереження. Середній розмір спочатку створених нанобульбашок становив 96 мкм, а найбільший розмір становив 117 мкм через 20 днів. Однак через 120 днів середній розмір становив 101 мкм, що істотно не відрізнялося від початково виміряного розміру (рис. 2.10А). Як показано на рис. 2.10Б, значних змін у режимі розподілу з часом не спостерігалось, але нанобульбашки, які мають розмір понад 150 мкм, тимчасово спостерігалися через 20 днів. Тимчасове збільшення розміру нанобульбашок і режиму розподілу можна пояснити злиттям нестабільних нанобульбашок і визріванням Оствальда (явище зміни з часом неоднорідної структури твердих та колоїдних розчинів: розчинення малих частинок та ріст великих). Після того, як об'єднані нанобульбашки зникли, середній розмір і режим розподілу знову зменшилися.

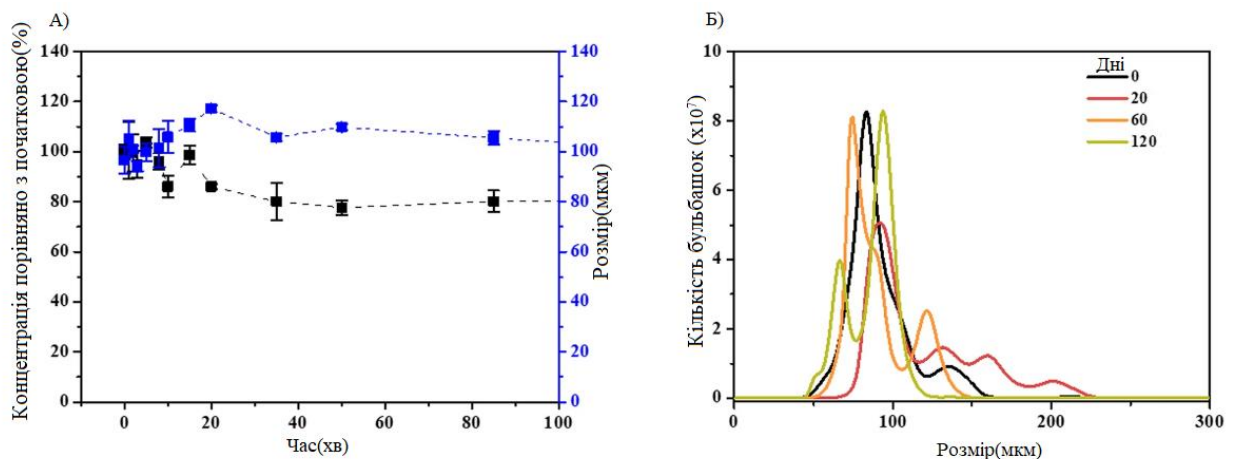


Рисунок 2.10– Зміни А) концентрації, розміру та розподілу; Б) розмірів нанобульбашок з часом

Як правило, зміна температури впливає на об'єм газу. Таким чином, спостерігали стабільність нанобульбашок при різних температурах, щоб визначити вплив цих змін на концентрацію та розмір нанобульбашок.

Нанобульбашки зберігали при 5 °С, 25 °С, 60 °С і 80 °С протягом 4 місяців, і було підтверджено, що їх концентрація наприкінці експерименту становила приблизно 85,7; 81,0; 103,0 і 84,8% від початкової концентрації відповідно (рис. 2.11А). Крім того, розмір нанобульбашок за всіх температур суттєво не відрізнявся від розміру початково згенерованих (рис. 2.11Б). Як правило, бульбашки зникають трьома способами: плавучість, розчинення та агломерація. По-перше, підвищення температури може змусити нанобульбашки рухатися швидше, що може призвести до вимушеної плавучості. Однак це також посилює броунівський рух, що покращує їх утримання в розчині. По-друге, оскільки розчин уже був насичений газами під час утворення нанобульбашок, внутрішні гази намагалися розчинитися. Нарешті, висока щільність заряду навколо нанобульбашок з діаметром менше 200 нм є достатньо високою і стабілізує їх. Крім того, сили відштовхування між бульбашками перешкоджають зливанню. Завдяки цим явищам розчин нанобульбашок розміром менше 200 нм може стабільно зберігатися при різних температурах.

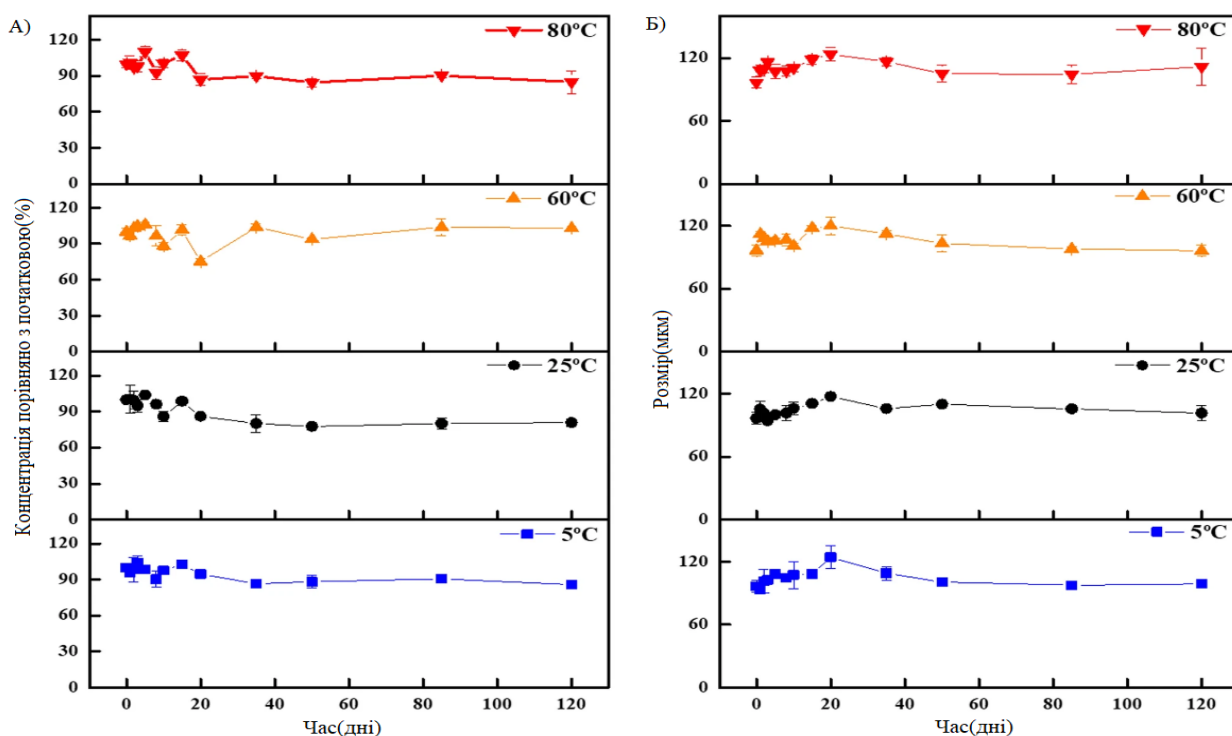


Рисунок 2.11– А) Зміна концентрації; Б) Зміна розміру нанобульбашок в залежності від температури

ІНВ. НАПОДА. ПІАП. І ДАТА. ВЗАЄМ. ІНВ. ІНВ. НАБУБЛ. ПІАП. І ДАТА

ТС 22510291

Арк

30

Вип. Арк. № докум. Підп. Дат.

Розчини нанобульбашок також піддавалися різним умовам, які могли виникнути під час транспортування або введення у виробництво, включаючи центрифугування, струшування та перемішування. Спочатку приготований розчин нанобульбашок стимулювали за допомогою центрифуги з інтервалами 30, 60 і 90 хв. Концентрація нанобульбашок підтримувалася вище 90% початкової концентрації, незалежно від часу роботи центрифугування, і не спостерігалось істотної зміни розміру. Нанобульбашки, більші за режим розподілу, з часом зникають через злиття нестабільних бульбашок та визрівання Оствальда.

Нанобульбашки стимулювали за допомогою шейкера протягом 8 годин для створення сильних фізичних впливів, таких як зіткнення між нанобульбашками і поверхнею колби, щоб додатково продемонструвати їх надвисоку стабільність. Як показано на рис. 2.12А, концентрація нанобульбашок підтримувалася на рівні 96% або більше від початкової концентрації, а їх розмір був постійним, приблизно на рівні 100 мкм. В експериментах зі струшуванням, як і в експериментах з центрифугуванням, з часом спостерігалось зменшення нанобульбашок. При цьому спостерігалось тимчасове зниження режиму розподілу, але чіткої тенденції в режимі розподілу не спостерігалось (рис. 2.12Б). Крім того, стабільність була додатково підтверджена перемішуванням протягом 8 годин, концентрація НБ була майже подібною до початкової концентрації, а розмір залишався майже постійним між 90 і 100 мкм.

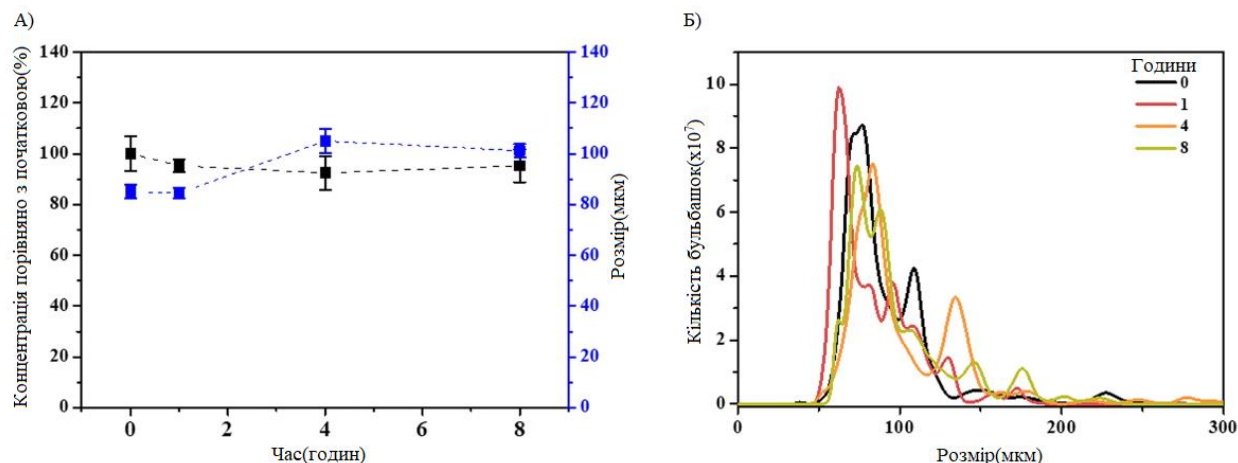


Рисунок 2.12– А) Зміна концентрації, розміру; Б) Розподілу розміру нанобульбашок після струшування при 1500 об/хв протягом 8 годин.

Незважаючи на те, що було проведено ряд експериментів, які пролили світло на стабільність нанобульбашок, різноманітні експерименти часто вказують на різні механізми стабілізації. Тому необхідні подальші дослідження для кращого розуміння та створення надійної теорії, а потім і практичного застосування.

ІНВ. № ПОДАЛ.	Підп. і дата	Взяєм. інв.	ІНВ. № ФАУБЛ.	Підп. і дата

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат

ТС 22510291

Арк

31

РОЗДІЛ 3

ЗАСТОСУВАННЯ НАНОБУЛЬБАШОК В ОЧИЩЕННІ ВОДИ

1. Аерація води

Під час очищення води кисень є не лише важливою складовою для забезпечення життя водних організмів, але і біохімічним субстратом для розкладання окислювальних забруднювачів, тому йому потрібна аерація для транспортування кисню. Однак традиційна механічна аерація вимагає великої кількості електроенергії, а ефективність передачі кисню становить лише 6-10%. Нанобульбашки замість традиційних бульбашок для аерації можуть підвищити масовий обмін кисню, збільшити концентрацію розчиненого кисню та зміцнити окислювання. У системі очищення синтетичних стічних вод із нанобульбашковою аерацією, швидкість використання кисню та коефіцієнт масового обміну об'єму приблизно вдвічі вищі, ніж у системі традиційної бульбашкової аерації.

Hong та ін. [25] досліджували вплив аерації мікробульбашок і звичайної аерації на очищення річкової води з певним забрудненням. При однаковій інтенсивності аерації нанобульбашки надають більше розчиненого кисню. Після аерації протягом 60 хвилин концентрація кисню для нанобульбашкової аерації і звичайної аерації становила відповідно 9,87 мг/л та 6,54 мг/л.

2. Деградація органічних забруднювачів і знезараження води

Нанобульбашки не лише поліпшують використання хімічних речовин завдяки високій ефективності масообміну, але також можуть генерувати гідроксильні радикали, коли вони руйнуються, щоб безпосередньо та

ІНВ. № ПОДА.	Підп. і дата	Взаєм. інв.	ІНВ. № АУБЛ.	Підп. і дата

невибірково реагувати з органічними забруднювачами. Широко доведено, що нанобульбашки, створені за допомогою гідравлічної кавітації, можуть ефективно сприяти окиснювальному розкладанню стійких органічних забруднювачів

Chu та ін.[26] вивчали підвищену ефективність нанобульбашок у відношенні до озонного окиснення симульованих стічних вод з азофарбником, що показало, що загальний коефіцієнт масопередачі озону та видалення загальної органічної речовини зросли на 80% та 30% відповідно. Li Pan та ін.[4] обрали фенол та нітробензол як модель органічних забруднювачів для вивчення їхнього механізму деградації за допомогою нанобульбашок, і вони отримали результат, що коефіцієнт масового трансферу озону є в 1,3-1,5 рази вищим, ніж у традиційного бульбашкового аераційного методу, і для видалення близько 70% нітробензолу за допомогою нанобульбашкової аерації потрібно лише 50% озону, яке потрібно для звичайного бульбашкового методу. При цьому загальна деградація фенолу відповідає кінетиці першого порядку, а видима константа швидкості реакції нанобульбашок збільшується від 1,8 до 4,3 разів порівняно з традиційними бульбашками. Крім того, дослідження ефектів нанобульбашок на кишкові патогени показали, що гідроксильні радикали та ударні хвилі, які виникають при руйнуванні нанобульбашок, вважалися основними причинами інактивації кишкових бактерій.

3. Повітряна флотація

Повітряна флотація як ефективна технологія розділення твердої частини та рідини широко використовується в галузі очищення як невеликої кількості забрудненої води та промислових стічних вод. Основний принцип повітряної флотації полягає у використанні високодисперсних нанобульбашок, що випадають з води, як носія для прилипання до

Інв. № ПОДА.	Підп. і дата	Взаєм. інв.	Інв. № АУБЛ.	Підп. і дата

забруднювачів у стічній воді, використовуючи плавучість для перенесення утвореного згущеного осаду. У порівнянні зі звичайними бульбашками, нанобульбашки сприяють більш тривалому контакту та вищій ефективності адгезії(прилипання) бульбашок і суспензії (часток, що перебувають у підвищеному стані) твердих часток завдяки їхнім унікальним перевагам- великій специфічній поверхні, високому дзета-потенціалу та тривалому часу перебування у воді [27], таким чином досягаючи ефективного відокремлення твердих та рідких речовин. Liu та ін. [28] використовували технологію повітряної флотації звичайних бульбашок і нанобульбашок для проведення експериментів з очищення стічних вод від друкарських та фарбувальних виробництв, що показало, що технологія повітряної флотації з використанням нанобульбашок підвищує швидкість попередньої обробки і ефективно зменшує кількість флокулянта (розчини електролітів, ПАВ, полімери). Щодо показників видалення нафти та хроматичності (кольоровості) вони виявилися на 40% та 110% вищими в порівнянні з технологією повітряної флотації звичайними пузирями, відповідно.

4. Мембранне очищення

Нанобульбашки використовуються як екологічно чисті та нехімічні засоби для запобігання забрудненню поверхні та допомагають у видаленні органічних забруднювачів. Крім того, було доведено, що поєднання високочастотного ультразвуку малої потужності та нанобульбашок дають можливість контролювати адгезію бактерій і водоростей на твердих поверхнях.

Мембранні нанобульбашки складаються з трьох основних елементів: газового ядра, оболонки та рідкої фази. Газове ядро складається з газу, тоді як шар оболонки в основному складається з поверхнево-активних речовин, полімерів або ліпідів. Рідка фаза складається з води та розчинів неорганічної

ІНВ.№ТОДЛ.	Підп. і дста	Взаєм.інв.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і дста
------------	--------------	------------	------------	--------------

Вип	Арк	№ док.ум.	Підп.	Дст
-----	-----	-----------	-------	-----

ТС 22510291

Арк

34

солі або органічних низькомолекулярних розчинників [29], як показано на малюнку 3.1А. Стійкість мембранних нанобульбашок впершу чергу залежить від шару оболонки, де щільний молекулярний шар може захистити газове ядро та сповільнити його дифузію [30].

Немембранні нанобульбашки складаються з двох основних елементів: газового ядра та рідкої фази, як показано на малюнку 3.1Б. Класична теорія Епштейна–Плессета передбачає, що чим менший розмір бульбашки без плівки, тим коротша тривалість її життя. Проте дослідники виявили, що немембранні нанобульбашки демонструють високу стабільність навіть без мембрани[31].

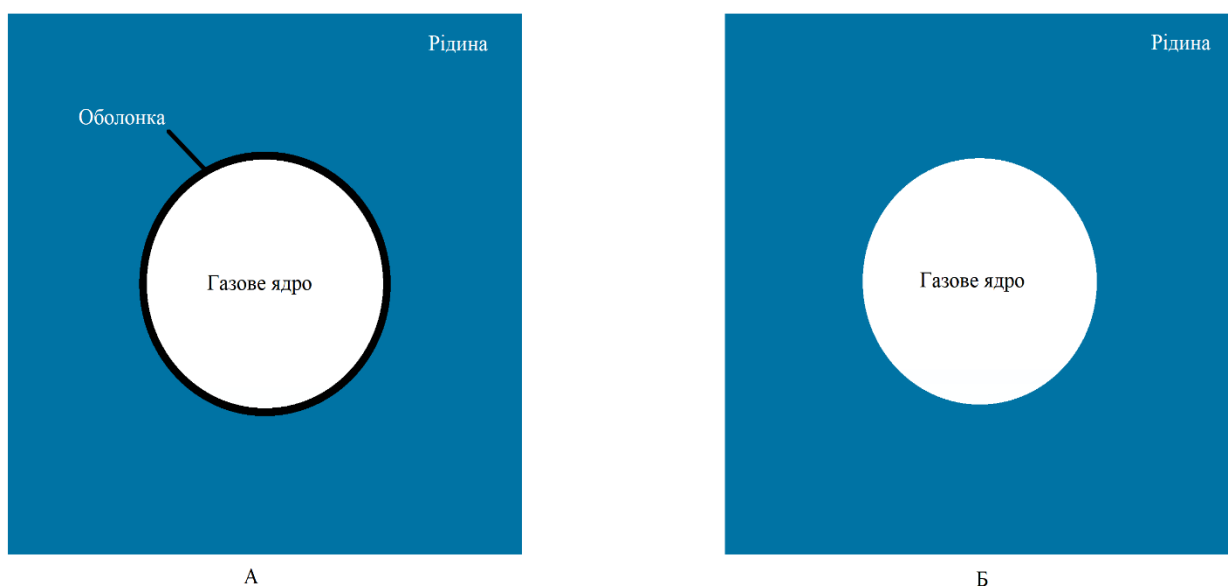


Рисунок 3.1 – Структурна схема нанобульбашки: (А) мембранні нанобульбашки; (Б) немембранні нанобульбашки

Dayarathne та ін.[32] провели лабораторні експерименти з перехресної(крос-потокової) фільтрації, щоб оцінити вплив нанобульбашкового повітря на потік пермеату(чистої води), трансмембранний тиск і відторгнення розчинених речовин за допомогою мембран зворотного осмосу. Результати показали, що нанобульбашки ефективно видаляли та/або запобігали утворенню концентраційних поларизаційних шарів, тому потік

ІНВ.№ПОДА.	ПІДП. І ДАТА
ВЗАЄМ.ІНВ.	ІНВ.№НАУБЛ.
ПІДП. І ДАТА	
ІНВ.№ПОДА.	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

пермеату та відхилення розчину підвищувалися на 24,62% та 0,8% відповідно. Крім того, швидкість відновлення потоку пермеату мембрани може сягати 100% за допомогою простого фізичного очищення.

ІНВ. № ПОДАЛ.	Підп. і дата	Взаєм. інв.	ІНВ. № АУБЛ.	Підп. і дата	<i>ТС 22510291</i>	Арк
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дата		36

РОЗДІЛ 4

НАНОБУЛЬБАШКИ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД

Якщо стічні води не очищаються належним чином, вони можуть негативно вплинути на навколишнє середовище та здоров'я людей. Простіше кажучи, через зростання чисельності населення, прискорену урбанізацію та економічний розвиток, кількість стічних вод, що утворюються, і загальний рівень забруднення зростає в усьому світі.

Проблема багатогранна: постійно зростаюче використання хімічних добрив і пестицидів, а також використання неочищених стічних вод для зрошення, забруднює підземні та поверхневі води. У багатьох регіонах промисловість все ще скидає відходи безпосередньо у водойми, тоді як у бідніших міських районах значна частина стічних вод скидається без очищення безпосередньо в найближчий стічний канал або водойму.

До цього додається той факт, що безпечно повторно використані стічні води надзвичайно недооцінюються як потенційно доступне та стійке джерело води, енергії, поживних речовин та інших матеріалів, які можна відновити.

Дослідження показало, що в усьому світі очищається лише близько 52% стічних вод. Але показники очищення стічних вод дуже відрізняються в різних країнах світу. У той час як країни з високим рівнем доходу очищають приблизно 74% своїх стічних вод, країни, що розвиваються, очищають у середньому лише 4,2%.

На рисунку 4.1 ми бачимо відсоток потоків стічних вод із домогосподарств, служб і промислових приміщень, які очищаються відповідно до національних або місцевих стандартів. Водна ціль №6 ООН спрямована на скорочення вдвічі частки неочищених стічних вод, що скидаються у водойми по всьому світу.

ІНВ. № ПОДАЛ.	ПІДП. І ДАТА	ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № ДУБЛ.	ПІДП. І ДАТА

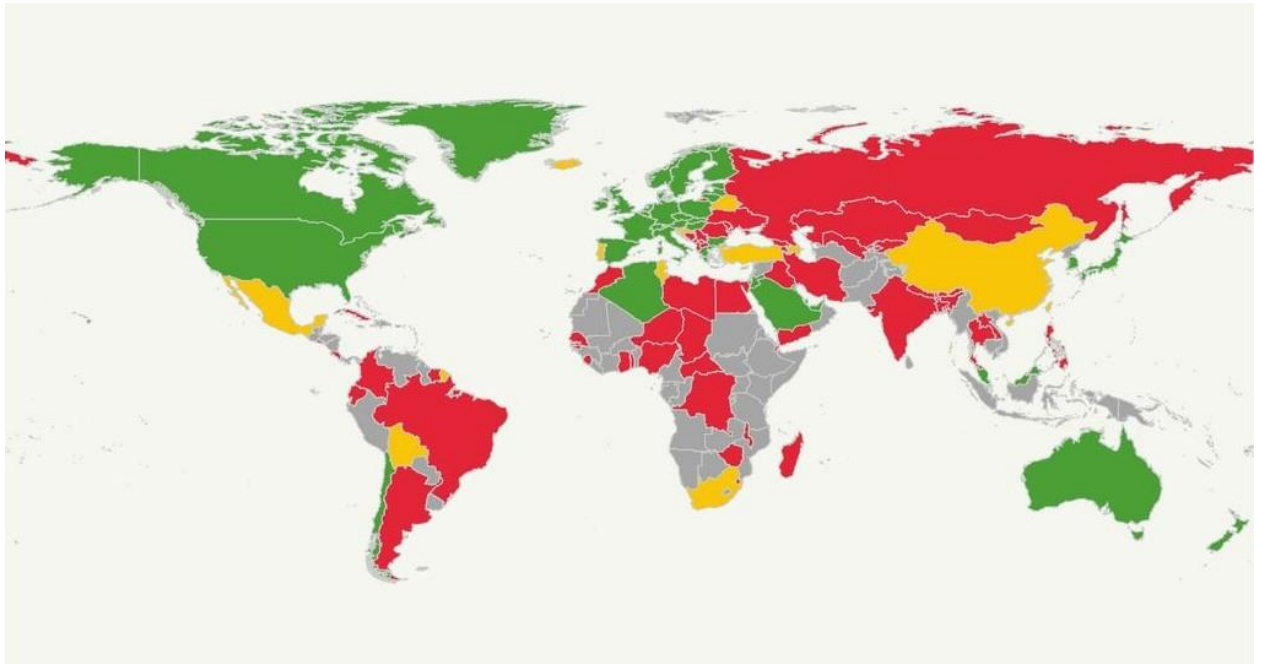


Рисунок 4.1 – Відсоток потоків стічних вод, які очищаються відповідно до стандартів.

Зараз нанобульбашки є найменшим відомим розміром бульбашок, у 500 разів меншими за мікробульбашки та розміром приблизно з вірус. Унікальні характеристики нанобульбашок безпосередньо пов'язані з їх мініатюрними розмірами:

1) Нейтральна плавучість – їм не вистачає плавучості, щоб досягти поверхні, натомість, вони слідуєть за броунівським рухом і тому залишаються в розчині набагато довше. Це призводить до високої ефективності передачі кисню.

2) Сильний негативний заряд поверхні – цілісність бульбашки зберігається на будь-якій глибині протягом тривалого часу. Крім того, це покращує ефективність сепарації(відділення) в процесах флотації(видалення) за рахунок збільшення ймовірності зіткнення, тому більше зважених речовин може бути флотовано.

3) Площа поверхні – вони мають площу поверхні в 400 разів більшу, ніж звичайна мікробульбашка. Високе співвідношення поверхні до об'єму

ІНВ.НЕПОДАЛ.	ПІДП. І ДАТА
ВЗАЄМ.ІНВ.	ІНВ.НЕАУБЛ.
ПІДП. І ДАТА	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

означає, що передача газу від нанобульбашки до рідини може бути набагато ефективнішою.

Ці характеристики роблять їх надзвичайно цікавими для очищення стічних вод. У всьому світі існує кілька компаній, які виробляють генератори для нанобульбашок, які використовуються для покращення якості води в аквакультурі, сільському господарстві, озерах і ставках, а також для зменшення використання хімікатів у видобутку корисних копалин і видобутку нафти. І для використання на очисних спорудах.

Їхні властивості дозволяють їм покращувати біологічні, хімічні та фізичні процеси, незалежно від того, чи це дозволяє відокремлювати – тобто видаляти жири, олії та мастила – з емульгованих потоків відходів або покращувати кінетику та ефективність аерації існуючих біологічних систем, а також зменшувати використання хімічних речовин. Дослідження нанобульбашок показало, що існує певна вибірковість того, які забруднення можна видалити.

Хороші результати спостерігаються з жирами, оліями та мастилом, а також з видаленням поверхнево-активних речовин. Про поверхнево-активні речовини недостатньо говорять під час очищення стічних вод, хоча вони широко використовуються в косметичних засобах, побутових миючих засобах, милі та промислових миючих засобах. Наголошуючи, що наявність поверхнево-активних речовин забороняє так звану первинну та вторинну очистку стічних вод, оскільки вони емульгують(розщеплюють) відходи і тому дуже ускладнюють спливання або осідання твердих речовин під час первинної обробки.

Коли бульбашки покриваються поверхнево-активними речовинами, вони стають більшими через зменшення їх поверхневого натягу, що, у свою чергу, знижує ефективність їх перенесення. В результаті вони швидше піднімаються на поверхню і не можуть так ефективно переносити свій кисень. Дослідження показали, що видалення поверхнево-активних речовин на

ІНВ. № ПОДА.	ПІДП. І ДАТА	ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № ДУБЛ.	ПІДП. І ДАТА

початковому етапі дозволяє підвищити ефективність існуючої системи аерації. Генератор нанобульбашок можна легко встановити в існуючу насосну систему.

Те, що ми побачимо з удосконаленням процесу, це збільшення потужності обробки приблизно на 25%. Об'єкти, які перевантажені та потребують збільшення потужності десь на 10-25%, мають можливість використовувати попередню обробку нанобульбашками, щоб підвищити ефективність існуючої інфраструктури замість того, щоб виконувати проект капітального вдосконалення. Згідно з даними, якщо генератор нанобульбашок працює разом з існуючою насосною системою та є первинні відстійники, лише енергія аерації вторинної обробки може бути зменшена до 40%. У первинному відстійнику ми також побачимо покращення загальної ефективності видалення завислих частинок на 10%.

Дивлячись на співвідношення біохімічної потреби в кисні (БПК) до загальної кількості завислих речовин, його можна покращити з 2:1 до 1:1. Таким чином, можна захопити більше твердих речовин, і ці тверді речовини містять більше БПК».

У системі збору, стічні води стоять дуже довго, вони бродять, розчиняються. Тож ці тверді речовини, які дуже легко видалити, починають розсмоктуватися. І тоді потрібно багато енергії, щоб видалити розчинені забруднення. Але якщо ввести нанобульбашки в систему збору, то можна почати збирати ці тверді речовини в недоторканому стані, таким чином істотно змінити кількість енергії, яка потрібна для обробки цих потоків відходів.

Щоб це було можливим, систему збору потрібно перевірити, перш ніж її можна буде направити через генератор нанобульбашок. Я вважаю, що з часом людям доведеться переосмислити те, як вони проектують систему збору.

ІНВ.№ТОДЛ.	Підп. і дста
Взаєм.інв.	ІНВ.№ДУБЛ.
Підп. і дста	Підп. і дста
ІНВ.№ТОДЛ.	Підп. і дста

Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

РОЗДІЛ 5
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ
СИТУАЦІЯХ

5. 1 Техніка безпеки при роботі на очисних спорудах

Під час експлуатації очисних систем слід керуватися правилами безпеки, що застосовуються до всіх систем водопостачання та очищення стічних вод, а також стандартними процедурами експлуатації систем.

У цьому розділі пропонуються заходи та інструменти для створення безпечних умов праці на очисних спорудах на основі аналізу небезпечних та ризикованих виробничих факторів.

Працівники очисних споруд та систем повинні проходити медичну комісію, навчання, перевірку знань та інструктажі згідно Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. Для всіх професій і видів робіт власник повинен розробити інструкції з охорони праці, які повинні зберігатися у керівника підрозділу, а один примірник - у спеціально відведеному місці, доступному для працівників [33].

1. Загальні вимоги безпеки

1.1. Операторами на очисних спорудах допускаються працівники віком від 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання та інструктаж з техніки безпеки.

1.2. Оператори повинні пройти навчання перед початком самостійної роботи та скласти перевірку знань правил електробезпеки присвоївши йому першу групу.

1.3. Оператори очисних споруд допускаються до самостійної роботи за наказом.

ІНВ. № ПОДАЛ.	ПІДП. І ДАТА	ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № АУБУЛ.	ПІДП. І ДАТА
---------------	--------------	-------------	---------------	--------------

1.4. Оператори очисних споруд підлягають регулярній перевірці знань комісією кожні 12 місяців.

1.5. Оператори очисних споруд повинні знати :

- як правильно експлуатувати очисні споруди;
- технічні схеми очистки води;
- який принцип роботи устаткування;
- призначення та розташування обладнання;
- правила надання першої допомоги в разі нещасного випадку .

1.6. Оператор несе відповідальність щодо [33]:

- надійної та безаварійної роботи очисних споруд, збереження устаткування, інструменту та пристосувань;
- дотримання правил технічної експлуатації, правил техніки безпеки та протипожежної безпеки;
- утримання очисних споруд та робочої зони в належному санітарному стані;
- дотримання і виконання правил внутрішнього трудового розпорядку.

1.7. Оператори зобов'язані:

- підтримувати належний режим роботи очисних споруд;
- перевіряти все обладнання очисних споруд не рідше одного разу на годину;
- проводити вимірювання та реєструвати результати і показання в журналі обліку.

1.8. Періодично проводити перевірку знань:

- при впровадженні нових інструкцій;
- після аварії або інциденту з обладнанням очисних споруд;
- коли виявлено, що знання оператором інструкцій та правил безпеки є недостатніми;

1.9. Оператор очисних споруд під час виконання своїх обов'язків має право вимагати від керівництва:

ІНВ. № ПОДА.	Підп. і дата
Взаєм. інв.	ІНВ. № АУБЛ.
Підп. і дата	Підп. і дата
Вип	Арк
№ докум.	Підп.
Дат	

ТС 22510291

Арк

42

- забезпечити дільницю очисних споруд інструментом, обладнанням, інвентарем, експлуатаційною документацією та іншими засобами, які потрібні для створення нормальних та безпечних умов праці;

- потребувати від керівництва дільниці вчасно усувати дефекти обладнання, що з'являються під час роботи;

- у будь-який час повідомляти керівництво про будь-яку поведінку, що суперечить нормальній роботі устаткування;

- забезпечувати себе спецодягом і захисними засобами відповідно до чинних стандартів.

1.10. Оператори очисних споруд зобов'язані утримувати обладнання та робочу зону в чистоті.

1.11. Щоб прийняти зміни оператор повинен прибути заздалегідь, ознайомитися зі змінним журналом, розпорядженнями та всіма змінами, перевірити робоче місце на чистоту та розписатися в журналі обліку зміни.

1.12. Працівники повинні мати при собі придатний для використання інструмент, необхідне обладнання, захисні засоби і пристосування, аптечку, а також спеціальний одяг і взуття під час виконання роботи.

1.13. Працівники, які виконують роботи, пов'язані з експлуатацією дренажних мереж, колодязів, колекторів і метантенків, повинні щоквартально проходити навчання, що включає моделювання аварійних ситуацій і проведення аварійно-рятувальних робіт.

- Зовнішні огляди трас водопровідних і каналізаційних мереж шляхом відкриття кришок колодязів проводяться бригадою у складі не менше двох осіб. Під час огляду трас категорично забороняється:

- опускатися в колодязі;
- палити біля відкритих колодязів або люків;
- вкидати запалений сірник або факел у колодязь;
- нагинатися над відкритим колодязем або люком;
- відчиняти кришки люків вручну або ломом.

ІНВ. № ПОДА.	ПІДП. І ДАТА
ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № ДУБЛ.
ПІДП. І ДАТА	ПІДП. І ДАТА
ІНВ. № ПОДА.	ПІДП. І ДАТА

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1. Одягти відповідний спецодяг і прийняти зміну.

2.2. Якщо під час передачі зміни виникли аварійні ситуації, передача зміни повинна бути здійснена після виконання цих завдань.

3. Вимоги безпеки під час роботи:

Робочою зоною для операторів очисних споруд є весь майданчик та його околиці, включаючи обладнання та комунікації, необхідні для очищення стічних вод [33].

3.1 Під час роботи оператор очисних споруд повинен стежити за наступним:

- належним станом перекриття, проходів, огорож та кришок колодязів;
- наявність та справність обладнання, інструментів та засобів захисту, необхідних для обслуговування очисних споруд;

- рівномірністю розподілу стічних вод і повітря в окремих секціях, а в разі порушення рівномірності самотужки (або за допомогою майстра) регулювати струм води і повітря за рахунок відкривання або закривання відповідних регулюючих механізмів (засувки, затворів);

- якістю вхідних стічних вод (при наявності масляних забруднень або великої кількості піни негайно повідомити майстра)

- очищенням та змащенням механічних частин аеротенка;

- чистотою території (покіс трави, розчищення доріжок).

3.2 Оператори очисних споруд повинні :

- систематично чистити решітки два-три рази на зміну (відходи поміщаються в контейнери для відходів);

- контролювати кількість (об'єм) активного мулу в аеротенках та, за необхідності, видаляти надлишковий мул до мулового відстійника;

- проводити профілактичне обслуговування обладнання (роторів, насосів);

- вести робочий журнал.

ІНВ. № ПОДАЛ.	ПІДП. І ДАТА
ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № АУ ОБЛ.
ПІДП. І ДАТА	

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	ТС 22510291	Арк
						44

3.3. При обслуговуванні обладнання очисних споруд слід дотримуватися наступних вимог безпеки [33]

- дренажні канали повинні бути закриті рифленими плитами;
- проби води слід відбирати тільки в металеві ємності або порцелянові гуртки;
- ємності, в яких зберігаються кислоти та луги, повинні бути чітко промарковані із зазначенням їх вмісту.
- скляні пляшки з кислотами та лугами слід складати в кошики, вистелені соломною або сіном;

3.4 Поверхневий огляд трас водопровідних і каналізаційних мереж шляхом відкриття кришки колодязя повинна проводити бригада у складі не менше двох осіб. У процесі огляду водопровідної та каналізаційної мережі беззаперечно забороняється робити наступне;

- входити в колодязі;
- палити поряд з відкритим колодязем;
- кидати в колодязі палаючі сірники або факели;
- схилитися над відкритим колодязем або кришкою камери;
- відчиняти кришки люків руками або ломом;

3.5. Робота у водопровідних і каналізаційних колодязях, колекторах і метантенках вважається небезпечною роботою і вимагає дотримання наступних основних вимог:

- підприємство повинно розробити інструкцію з виконання газонебезпечних робіт і визначити порядок їх підготовки та виконання відповідно до виробничих умов;
- робота повинна виконуватися відповідно до робочих інструкцій і під наглядом відповідального керівника;
- роботи в колодязях, підземних установках, резервуарах та інших ємнісних конструкціях будуть виконуватися бригадою, що складається щонайменше з трьох осіб, одна з яких працює в колодязі, а дві - на поверхні

ІНВ. № ПОДА.	Підп. і дата
Взаєм. інв.	Інв. № АУБЛ.
Підп. і дата	

(працівник і одна особа, яка спостерігає за роботою в колодязі і в разі потреби надає допомогу працівнику в колодязі). Працівники повинні бути забезпечені протигазом типу ПШ-1 або ПШ-2 і рятувальним поясом з плечовим ременем, поясом і мотузкою.

3.6. Перед початком робіт необхідно виконати наступне

- провести цільовий інструктаж бригади;
- перевірити робоче місце на загазованість за допомогою газоаналізаторів, манометрів і ламп типу ЛБВК, за необхідності провітрити приміщення.

3.7. Під час роботи в колодязях, підземних спорудах, резервуарах та інших ємнісних спорудах, грабельних камерах насосних станцій, очисних спорудах та інших місцях, де можливе скупчення вибухонебезпечних газів, дозволяється користуватися акумуляторними світильниками напругою не більше 6 В. Курити і використовувати відкритий вогонь у цих місцях заборонено [33].

Під час роботи на операторів очисних споруд можуть негативно впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- підвищена концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони;
- підвищене забруднення повітря в робочій зоні;
- підвищена вологість повітря;
- підвищена температура повітря;
- біологічні фактори;
- фізичні перевантаження;
- обертові частини обладнання;
- можливість падіння з висоти;
- недостатнє освітлення в робочій зоні;
- гострі кромки, задирки, шорсткі поверхні деталей і вузлів інструментів та обладнання під час обслуговування та ремонту;
- електричний струм.

ІНВ. № ПОДАЛ.	ПІДП. І ДАТА	ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № АУБЛ.	ПІДП. І ДАТА

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99, робота працівників у замкненому просторі на очисних спорудах відноситься до категорії 2б. Це роботи, пов'язані зі стоянням, ходьбою, перенесенням невеликих вантажів (до 10 кг) і потребують помірних фізичних зусиль.

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99, лабораторні роботи відносяться до легких робіт категорії 1б. До категорії 1б відносяться роботи, які пов'язані з роботою сидячи, стоячи або під час ходьби і потребують певного фізичного напруження. Мікрокліматичні умови у виробничих приміщеннях характеризуються такими показниками як температура повітря, відносна вологість та швидкість руху повітря (табл. 4.1).

Таблиця 5.1 – Оптимальні та допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень

Період року	Категорія робіт	Оптимальна температура, °С	Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
			Оптим альна	Допуст има	Оптим альна	Допуст има
Холодний	Легкі – 1б	21-23	40-60	75	0,1	До 0,1
	Середньої-2б	17-19	40-60	75	0,2	До 0,4
Теплий	Легкі – 1б	22-24	40-60	60 (при 27°С)	0,2	0,1-0,3
	Середньої-2б	20-22	40-60	70 (при 25°С)	0,3	0,2-0,5

ІНВ. № ПОДАЛ. Підп. і дата
 Взаєм. інв. ІНВ. № АУБЛ.
 Підп. і дата

ТС 22510291

Арк

47

Вип. Арк. № докум. Підп. Дат

Для забезпечення прийняттого мікроклімату температура конструкцій, що оточують робочу зону (наприклад ,стін, підлоги, стелі) і внутрішніх поверхонь обладнання, не повинна перевищувати допустиму температуру повітря. Допускаються перепади температури по висоті робочої зони до 3°C.

Горизонтальні коливання температури повітря в робочій зоні і протягом зміни допускаються до 4°C для легких робіт і 5°C для робіт середньої важкості, при цьому абсолютні значення температури повітря, виміряні на різних висотах і в різних частинах установки протягом зміни, не повинні перевищувати допустимих значень. Мікроклімат на заводі відповідає санітарним нормам. У холодний період фактичні значення параметрів мікроклімату підтримуються за рахунок системи центрального опалення.

Для мінімізації впливу шкідливих виробничих факторів вживаються наступні заходи:

1. Обладнання та робочі місця, де використовуються шкідливі речовини, обладнані витяжною вентиляцією ,що забезпечує вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони нижче ГДК.

2. Газоаналізатори повинні бути встановлені на робочих місцях, де існує ризик потрапляння в повітря небезпечних промислових речовин. Штучне освітлення необхідне для забезпечення безпеки технічного обслуговування очисних споруд. Згідно з вимогами СН496.77, «територія очисних споруд повинна бути забезпечена штучним освітленням і під'їзними шляхами. Території відстійників повинні бути озеленені та, за необхідності, огорожені». Джерелами виробничого шуму та вібрації на очисних спорудах є різне технологічне обладнання(обладнання з електричним приводом, змішувачі, насоси) та вентиляційне обладнання(компресори, вентилятори ,трубчасті аератори) [34].

Джерелами вібрації є механізми вимикання, насоси на різних стадіях очищення. Для зменшення вібрації в затискному механізмі передбачено зменшення зусилля затиску за рахунок збільшення ходу рухомої пластини.

ІНВ.№ПОДЛ.	Підп. і дата	Взаєм.інв.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і дата

Для зменшення вібрації передбачена віброізоляція. Під вібраційним устаткуванням розміщені віброгасники зі сталевих пружин [34].

Для вимірювання та аналізу шуму та вібрації будуть використовуватися шумоміри та частотні аналізатори [34]. Вібрація у виробничих приміщеннях нормується згідно з ДСН 3.3.6.039-99. На очисних спорудах використовується різноманітне електрообладнання (щити, трансформатори, насоси, електродвигуни тощо), недотримання правил експлуатації якого, передбачених "Правилами влаштування електроустановок", може призвести до ураження персоналу електричним струмом[35].

При обслуговуванні електродвигунів насосів, вентиляторів, освітлення та іншого електрообладнання технологічний персонал повинен дотримуватися наступних правил:

- використовувати ізоляцію;
- розміщення струмоведучих проводів та елементів обладнання на недоступній висоті[36];
- огороження та захист від струмоведучих частин електрообладнання;
- корпуси електродвигунів і пускачів повинні бути надійно заземлені відповідно до ГОСТ 12.1.030-81 (2010) "ССБТ". Електробезпека. Захисне заземлення.

Електрообладнання та електроприлади, встановлені на установці, повинні відповідати класам, категоріям і групам вибухонебезпечних зон і вибухонебезпечних сумішей згідно з класифікацією, наведеною в "Правилах улаштування електроустановок" [35].

Під час руху рідин по трубопроводах та обладнанню може накопичуватися статична електрика, що може призвести до вибуху. Для зменшення накопичення статичної електрики необхідно забезпечити відповідний захист згідно з ГОСТ 12.1.018-93 (2001) - "Пожежо-та

ІНВ.№ПОДЛ.	ПІДП. І ДСТА	ВЗАЄМ.ІНВ.	ІНВ.№ДУУБЛ.	ПІДП. І ДСТА
------------	--------------	------------	-------------	--------------

вибухонебезпечність статичної електрики". Загальні вимоги". Всі захисні пристрої підключаються до спеціального контуру заземлення [34].

Щити та консолі, на яких встановлюється обладнання та інші пристрої автоматизації, повинні бути заземлені. У вибухонебезпечних приміщеннях щити і пульти управління, що живляться від мережі змінного або постійного струму, повинні бути заземлені незалежно від напруги.

Технологічні системи повинні бути захищені від прямих ударів блискавки і відповідно до "Інструкції по улаштуванню блискавкозахисту будівель, споруд та промислових комунікацій" (СО 153 - 34.21.122 - 2003), повинні бути вжиті наступні заходи

- захист від прямих ударів блискавки
- захист від вторинних ефектів блискавки
- захист від зсуву високого потенціалу шляхом підключення металевих корпусів обладнання та телекомунікацій на входах в будівлю до заземлювального пристрою.

5.2 Загальні вимоги безпеки в надзвичайних ситуаціях.

1. У разі виникнення пожежі на очисних системах загасити пожежу первинними засобами пожежогасіння, повідомити пожежну охорону та поінформувати керівництво

2. У разі отримання серйозної травми, спричиненої механічним шляхом, покласти потерпілого в безпечне, зручне та спокійне положення та викликати швидку допомогу (повідомити керівника).

3. У разі ураження електричним струмом спочатку звільніть потерпілого від дії електричного струму (відключіть обладнання від електромережі та тримайте його подалі від струмопровідних частин за допомогою ізолюючих пристроїв (дошки, сухий одяг, гумові рукавички, гумові килимки). Якщо людина непритомна, але дихає, покладіть її в зручне

ІНВ.№ТОАЛ.	Підп. і дста	Взаєм.інв.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і дста	TC 22510291	Арк
						50
Вип	Арк	№ ДОКУМ.	Підп.	ДСТ		

положення, розстебніть комір і забезпечте доступ свіжого повітря. Якщо потерпілий не дихає або у нього немає пульсу, слід негайно почати робити йому штучне дихання, до прибуття лікаря [33].

5.3 Пожежна безпека на очисних спорудах

Виробничі правила та технологічні схеми повинні бути підготовлені для всього комплексу та на кожій очисній споруді [36].

Інструкції з пожежної безпеки повинні бути підготовлені для кожного об'єкту [36].

Коридори та сходи не повинні бути забруднені предметами, водою або мастилом. Сходи і платформи, що використовуються для обслуговування резервуарів, контейнерів та іншого обладнання, повинні бути обладнані надійними поручнями і огорожами для забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу.

Експлуатація всіх механізмів, що використовуються на очисних спорудах, повинна здійснюватися згідно з відповідними інструкціями.

На очисних спорудах слід передбачити аварійну витяжну вентиляцію в приміщеннях, де можливий раптовий викид в атмосферу великої кількості токсичних або вибухонебезпечних речовин. Ці приміщення повинні бути обладнані автоматичними газоаналізаторами в поєднанні з системами аварійної вентиляції [36].

Усі виробничі приміщення повинні бути обладнані первинними засобами пожежогасіння та протипожежного захисту.

Використання засобів пожежогасіння для побутових потреб заборонено. Куріння в приміщеннях і на території заборонено.

Всі виробничі приміщення повинні бути класифіковані за вибухопожежною небезпекою відповідно до положень Технічного регламенту про вимоги пожежної безпеки. Все обладнання в цих приміщеннях

ІНВ. № ПОДА.	ПІДП. І ДАТА	ВЗАСЕМ. ІНВ.	ІНВ. № АУ ОБЛ.	ПІДП. І ДАТА
--------------	--------------	--------------	----------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ТС 22510291

Арк

51

встановлюється у вибухозахищеному виконанні відповідно до класу та групи вибухонебезпеки [36].

Очисні споруди та вхідні зони повинні утримуватися в чистоті. Влітку слід проводити покіс трави та своєчасно вивозити легкозаймисті відходи [36].

ІНВ.№ПОДЛ.	Піап. і дота	Взаєм.інв.	ІНВ.№ДУБЛ.	Піап. і дота						
Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат	<i>ТС 22510291</i>					Арк
										52

ВИСНОВКИ

В останні роки нанобульбашки використовувались в багатьох областях. Їх висока стабільність, ефективність масообміну, велика площа поверхні, сильна керованість зруйнували традиційне уявлення про бульбашки.

І далі ведуться дослідження про можливості використання нанобульбашок у сферах відновлення навколишнього середовища, таких як очищення стічних вод, очищення ґрунтових вод і рекультивація ґрунту.

У сфері сільського господарства нанобульбашки можуть стимулювати поглинання води та поживних речовин, збільшувати врожайність та зменшувати використання хімікатів. Таким чином, нанобульбашки мають величезний потенціал для використання, революціонізуючи різні галузі та сприяючи стійким рішенням.

Ця робота надає пояснення про конкретні застосування нанобульбашок у різних галузях, пояснюючи принципи і методи, що використовуються для створення нанобульбашок. Ці методи можна вибрати та оптимізувати відповідно до конкретних вимог застосування. Незважаючи на значний прогрес, досягнутий у створенні нанобульбашок, більшість методів дають відносно невелику кількість нанобульбашок, а їхній розмір не є однаковим. Майбутні дослідження можуть глибше розкрити методи, які використовуються для підвищення стабільності, керованості, однорідності та ефективності створення нанобульбашок. Наприклад, можна вдосконалити структуру пристроїв для створення, оптимізувати процес утворення бульбашок і дослідити нові комбінації матеріалів, які більш підходять для використання у створенні бульбашок, тим самим покращуючи їх застосування в очищенні стічних вод, сільському господарстві, промисловості та ін. Крім того, сферу застосування нанобульбашок можна розширити, включивши такі сфери, як енергетичний сектор (підвищення ефективності перетворення енергії) або медицину (передових системах доставки ліків) тощо.

ТС 22510291

Арк

53

ІНВ. № ПОДА.	ПІДП. І ДАТА	ВЗАЄМ. ІНВ.	ІНВ. № ДУБЛ.	ПІДП. І ДАТА
--------------	--------------	-------------	--------------	--------------

Вип	Арк	№ докум.	Підп.	Дат
-----	-----	----------	-------	-----

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Zhang L, Zhang Y, Zhang X, Li Z, Shen G, Ye M, Fan C, Fang H and Hu J 2006 Electrochemically controlled formation and growth of hydrogen nanobubbles Langmuir 22(19) 8109.

2. Qiu J, Zou Z L, Wang S, Wang X Y, Wang L, Dong Y M, Zhao H W, Zhang L J and Hu J 2017 Formation and Stability of bulk nanobubbles generated by ethanol-water exchange Chemphyschem 18(10) 1345.

3. Ljunggren S and Eriksson J C 1997 The lifetime of a colloid-sized gas bubble in water and the cause of the hydrophobic attraction Colloids and Surfaces A 129-130(0) 151.

4. Takahashi M, Chiba K and Li P 2007 Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus The Journal of physical chemistry B 111:1343.

5. Wu C, Li P, Xia S J, Wang S, Wang Y and Hu J 2019 The role of interface in microbubble ozonation of aromatic compounds Chemosphere 220 1067.

6. Senthilkumar, G.; Purusothaman, M.; Rameshkumar, C.; Joy, N.; Sachin, S.; Siva Thanigai, K. Generation and Characterization of Nanobubbles for Heat Transfer Applications. Mater. Today Proc. 2021, 43, 3391–3393. [Google Scholar] [CrossRef]

7. Etchepare, R.; Oliveira, H.; Nicknig, M.; Azevedo, A.; Rubio, J. Nanobubbles: Generation Using a Multiphase Pump, Properties and Features in Flotation. Miner. Eng. 2017, 112, 19–26. [Google Scholar] [CrossRef]

8. Ma, X.; Li, M.; Xu, X.; Sun, C. On the Role of Surface Charge and Surface Tension Tuned by Surfactant in Stabilizing Bulk Nanobubbles. Appl. Surf. Sci. 2023, 608, 155232. [Google Scholar] [CrossRef]

Підп. і дата	
Інв. № у б/б.	
Взяєм. інв.	
Підп. і дата	
Інв. № покл.	

9. Jadhav, A.J.; Ferraro, G.; Barigou, M. Generation of Bulk Nanobubbles Using a High-Shear Rotor–Stator Device. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2021, 60, 8597–8606. [Google Scholar] [CrossRef]

10. Etchepare R, Azevedo A, Calgaroto S and Rubio J 2017 Removal of ferric hydroxide by flotation with micro and nanobubbles *Separation Purification Technology* 184 347-353.

11. Wang, B.; Lu, X.; Tao, S.; Ren, Y.; Gao, W.; Liu, X.; Yang, B. Preparation and Properties of CO₂ Micro-Nanobubble Water Based on Response Surface Methodology. *Appl. Sci.* 2021, 11, 11638. [Google Scholar] [CrossRef]

12. Ferraro, G.; Jadhav, A.J.; Barigou, M. A Henry’s Law Method for Generating Bulk Nanobubbles. *Nanoscale* 2020, 12, 15869–15879. [Google Scholar] [CrossRef]

13. Wang, Q.; Zhao, H.; Qi, N.; Qin, Y.; Zhang, X.; Li, Y. Generation and Stability of Size-Adjustable Bulk Nanobubbles Based on Periodic Pressure Change. *Sci. Rep.* 2019, 9, 1118. [Google Scholar] [CrossRef]

14. Oliveira H, Azevedo A and Rubio J 2018 Nanobubbles generation in a high-rate hydrodynamic cavitation tube *Minerals Engineering* 116 32.

15. Yang, X.; Yang, Q.; Zhou, L.; Zhang, L.; Hu, J. Nanobubbles Produced by Hydraulic Air Compression Technique. *Chin. Phys. B* 2022, 31, 054702. [Google Scholar] [CrossRef]

16. Yang S, Tsai P, Kooij E S, Prospreti A, Zandvliet H J and Lohse D 2009 Electrolytically generated nanobubbles on highly orientated pyrolytic graphite surfaces *Langmuir* 25(3) 1466.

17. Cho S H, Kim J Y, Chun J H and Kim J D 2005 Ultrasonic formation of nanobubbles and their zeta-potentials in aqueous electrolyte and surfactant solutions *Colloids and Surfaces A* 269 28-34.

18. Nirmalkar, N.; Pacek, A.W.; Barigou, M. Bulk Nanobubbles from Acoustically Cavitated Aqueous Organic Solvent Mixtures. *Langmuir* 2019, 35, 2188–2195. [Google Scholar] [CrossRef]

ІНВ.НЮПОДЛ.	ПІДП. І ДСТА	ВЗАСМ.ІНВ.	ІНВ.НЮУБЛ.	ПІДП. І ДСТА
-------------	--------------	------------	------------	--------------

TC 22510291

Арк

55

19. Zheng, H.; Zheng, Y.; Zhu, J. Recent Developments in Hydrodynamic Cavitation Reactors: Cavitation Mechanism, Reactor Design, and Applications. *Engineering* 2022, 19, 180–198. [Google Scholar] [CrossRef]

20. Alam, H.S.; Sutikno, P.; Soelaiman, T.A.F.; Sugiarto, A.T. Bulk Nanobubbles: Generation Using a Two-Chamber Swirling Flow Nozzle and Long-Term Stability in Water. *J. Flow Chem.* 2022, 12, 161–173. [Google Scholar] [CrossRef]

21. Wu, M.; Song, H.; Liang, X.; Huang, N.; Li, X. Generation of Micro-Nano Bubbles by Self-Developed Swirl-Type Micro-Nano Bubble Generator. *Chem. Eng. Process. Process Intensif.* 2022, 181, 109136. [Google Scholar] [CrossRef]

22. Wang, L.; Miao, X.; Pan, G. Microwave-Induced Interfacial Nanobubbles. *Langmuir* 2016, 32, 11147–11154. [Google Scholar] [CrossRef]

23. Yuan, K.; Zhou, L.; Wang, J.; Geng, Z.; Qi, J.; Wang, X.; Zhang, L.; Hu, J. Formation of Bulk Nanobubbles Induced by Accelerated Electrons Irradiation: Dependences on Dose Rates and Doses of Irradiation. *Langmuir* 2022, 38, 7938–7944. [Google Scholar] [CrossRef]

24. Antonio Cerron-Calle G, Luna Magdalena A, Graf JC, Apul OG, Garcia-Segura S (2022) Elucidating CO2 nanobubble interfacial reactivity and impacts on water chemistry. *J Coll Interface Sci* 607:720–728.

25. Hong T, Ye C, Li C H, Zhang B J and Zhou L 2011 Treatment effect of microbubble aeration technology on black-odor river water *Journal of environmental engineering technology* 1 20.

26. Chu L B, Xing X H, Yu A F, Zhou Y N, Sun X L and Jurcik B 2007 Enhanced ozonation of simulated dyestuff wastewater by microbubbles *Chemosphere* 68(10) 1854-1860.

27. Kim M S and Kwak D H 2017 Effect of Zeta potential on collision-attachment coefficient and removal efficiency for dissolved carbon dioxide flotation *Environmental engineering science* 34(40) 272-280.

ІНВ.№ПОДАЛ.	Підп. і дата	Взяєм.інв.	ІНВ.№ДУБЛ.	Підп. і дата

28. Liu S, Wang Q, Ma H, Huang P, Li P and Kikuchi T 2009 Effect of micro-bubbles on coagulation flotation process of dyeing wastewater Separation and Purification Technology 71(3) 337-346.

29. Du, T.L.C.; Govender, T.; Pillay, V.; Choonara, Y.E.; Kodama, T. Investigating the Effect of Polymeric Approaches on Circulation Time and Physical Properties of Nanobubbles. Pharm. Res. 2011, 28, 494–504. [Google Scholar]

30. Li, D.Y.; Zhao, X.Z. Contact angle of surface nanobubbles. J. Heilongjiang Univ. Sci. Technol. 2017, 27. [Google Scholar] [CrossRef]

31. Lohse, D.; Zhang, X. Pinning and Gas Oversaturation Imply Stable Single Surface Nanobubbles. Phys. Rev. E 2015, 91, 031003. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]

32. Dayarathne H, Choi J and Jang A 2017 Enhancement of cleaning-in-place (CIP) of a reverse osmosis desalination process with air micro-nano bubbles Desalination 422 1-4.

33. Гіроль М. М. Охорона праці у водопровідно-каналізаційному господарстві : навч. посіб. / М. М. Гіроль, М. В. Бернацький, В. Є. Хомко ; за ред. М. М. Гіроля. - Рівне : НУВГП, 2010. - 351 с. : іл.

34. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Чинний від 01.12.1999. –Київ: МОЗ, 1999.

35. НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок». Чинний від 06.10.1997. – Київ: Державний комітет України по нагляду за охороною праці, 1997.

36. НАПБ 06.004-07 «Перелік однотипних за призначенням об'єктів, які підлягають обладнанню автоматичними установками пожежогасіння та пожежної сигналізації» Чинний від 03.08.2007. Київ: МНС, 2007.

Підп. і дата	
Інв. № докл.	
Взяєм. інв.	
Інв. № докл.	
Підп. і дата	
Інв. № докл.	