

# Огляд методів дегазації робочих рідин

О.Д. Петренко<sup>1</sup> • О.Ф. Луговський<sup>1</sup>

Received: 9 November 2023 / Revised: 1 December 2023 / Accepted: 24 December 2023

**Анотація.** У статті наведено аналітичний огляд відомих методів дегазації технологічних рідин. Представлено аналіз переваг та недоліків відомих методів дегазації зазначених рідин. Наголос зроблено на ультразвуковому методі дегазації, який реалізується за рахунок введення в рідину ультразвукової хвилі деформації. В огляді відображені різні типи ультразвукових випромінювачів, побудованих за напівхвильовою та хвильовою акустичними схемами. Використано фотоматеріали та графіки експериментального дослідження ультразвукового методу дегазації технологічних рідин із залученням п'єзоелектричних перетворювачів. У статті розглянуто фізичну модель процесу ультразвукової дегазації вищезазначених рідин. Наголошена необхідність проведення робіт з метою додаткового вивчення та підвищення ефективності ультразвукової дегазації технологічних рідин шляхом експериментального дослідження впливу на процес дегазації частоти, амплітуди та інтенсивності ультразвукових коливань. Зроблено висновки щодо перспектив використання ультразвукового методу дегазації рідин.

**Ключові слова:** ультразвук; ультразвукова обробка; дегазація; ультразвукова кавітація; ультразвуковий випромінювач.

## Вступ

Ефективність багатьох технологічних процесів залежить від якості робочої рідини, що використовується в гідросистемах для виконавчих операцій. Рівень якості робочої рідини суттєво впливає на ефективність та надійність гідросистеми. При цьому, одним з найважливіших показників очищеної від механічних забруднень рідини, є наявність в рідині розчинених і нерозчинених газів, зазвичай, повітря.

Наявність нерозчиненого повітря в робочій рідині знижує об'ємний модуль пружності рідини. Зазвичай вміст такого повітря в гідросистемах становить 0,5–5%, але іноді може досягати 15%. Це може створити проблеми з ефективністю гідросистеми та її надійністю.

Важливо зазначити, що нерозчинене повітря також може сприяти процесу старіння масла гідросистеми.

Розчинене повітря в робочій рідині, яке зазвичай не впливає на модуль пружності при нормальному функціонуванні гідроприводу, може стати проблемою при зниженні тиску, наприклад, в лінії всмоктування насоса у разі забрудненого всмоктувального фільтру. Падіння тиску в лінії всмоктування до рівня тиску насиченої пари за даних умов приводить до виникнення явища гідродинамічної кавітації. При цьому кавітаційні бульбашки, що утворюються при зниженні тиску із зародків кавітації, в якості яких можуть виступати, наприклад, мікро бульбашки нерозчиненого повітря, активно, в наслідок дифузії, заповнюються розчиненим повітрям, збільшуються в розмірах і руйнуються в зоні збільшеного тиску насоса. Ударні хвилі та енергоємні кумулятивні струмені, що утворюються при руйнуванні кавітаційних бульбашок, призводять до механічного руйнування деталей насоса та трубопроводів.

Відсутність повітря у рідині зменшує стисливість останньої, що збільшує жорсткість і швидкодію гідросистеми, і зокрема системи слідкуючого приводу.

Отже, дегазація робочої рідини є важливим завданням для забезпечення ефективної та тривалої роботи гідрофікованого технологічного обладнання.

✉ О.Д. Петренко  
oldimpet@gmail.com

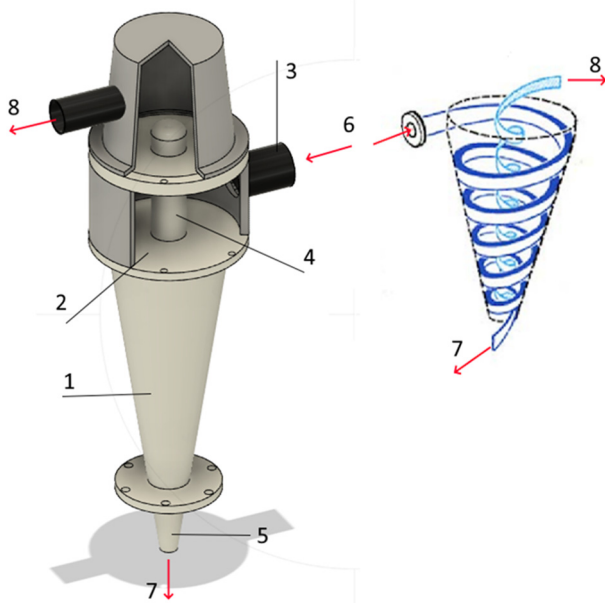
<sup>1</sup> КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

## Основний матеріал

Відомі декілька методів дегазації рідин, які різняться особливостями застосування і мають певні переваги та недоліки [1]–[4]. Існуючі методи дегазації можна розділити на механічні та фізичні.

Механічні методи дегазації рідини застосовують технології сепарації, наприклад, за допомогою відцентрового способу видалення газу, а також різні способи фільтрації. Для підвищення ефективності технологічного процесу сепарації, зазвичай, додатково застосовують вакуумну обробку.

Відцентровий спосіб дегазації передбачає сепарацію бульбашок газу в гідроциклонах і центрифугах різних конструкцій. У гідроциклонах відцентрові сили створюються за рахунок гідравлічної енергії швидкісного потоку рідини. При цьому корпус гідроциклону залишається нерухомим (рис. 1). Відцентрові сили в центрифугах виникають за рахунок обертання корпусу або ротору, вмонтованому в корпус, який приводиться в рух завдяки гідравлічній енергії потоку. Під дією відцентрових сил більш щільні складові рідини розташовуються по периферії, а менш щільні прагнуть до осі обертання рідини [4].



**Рис. 1.** Схематичне зображення гідроциклону з потоками рідини і повітря (1 – конус гідроциклону; 2 – циліндрична частина гідроциклону; 3 – підвідний патрубок; 4 – зливний отвір; 5 – розвантажувальна насадка; 6 – газорідинна суміш; 7 – дегазована рідина; 8 – вивільнене повітря)

Фільтрування передбачає розділення неоднорідних суспензій за допомогою пористих перегородок – фільтроелементів, які затримують тверду фазу суспензії і пропускають рідку фазу. Фільтроелементи можуть бути тонкого та грубого очищення. У якості матеріалів

для виготовлення фільтроелементів можуть використовуватися різні пористі та сітчасті матеріали, наприклад, фільтрувальний папір або пориста кераміка. Фільтрувальну перегородку можна представити як шар зернистого матеріалу, скріпленого між собою або нескріпленого. Частинки створюють канали складної форми, через які рухається рідина.

Фільтроелемент, пористість якого менша за середній діаметр бульбашок нерозчиненого газу, дозволяє не тільки очистити технологічну рідину від механічних домішок, що вже є дуже важливим, але і дозволяє при правильному підборі величини пористості надійно видалити до 90% бульбашок. Подібний спосіб дегазації, зазвичай, реалізують в негерметичних гідробаках шляхом пропускання потоку рідини через фільтрувальний елемент.

До переваг відцентрового та фільтрувального механічних методів дегазації відносяться:

- висока ефективність (до 90%);
- простота конструкції.

До недоліків вказаних механічних методів дегазації можна віднести:

- необхідність проведення періодичного обслуговування технологічного обладнання періодичне заміщення фільтроелементів;
- опір, що створюється фільтрувальним елементом при русі робочої рідини зі зливного патрубка до патрубка, що всмоктує;
- неможливість видалення розчиненого повітря.

До механічних методів дегазації відноситься і мембранний метод, який використовується для видалення розчинених у рідині газів. Технологічне устаткування для реалізації цього методу збирається з мембранних модулів (контакторів). Даний метод базується на процесі зворотного осмосу [3].

Зворотний осмос – обернений до процесу природного осмосу, що полягає у русі води з менш насиченого розчину у більш насичений через напівпроникну мембрану. Система зворотного осмосу створює тиск в насиченій зоні (вода з домішками), в результаті чого молекули води просочуються через напівпроникну мембрану в зону ненасиченого розчину (чиста вода).

Попередні фільтри очищення мають пористість у межах 1–5 мкм, що дозволяє видалити небажані великі колоїди й механічні домішки з розчину. Найчастіше, в побутових системах зворотного осмосу використовується проміжний вугільний фільтр, який адсорбує розчинені гази й залишковий хлор, органічні сполуки. Такий фільтр необхідно дублювати механічним фільтром для затримки виниклих вугільних суспензій у воді. Найчастіше такий фільтр виготовляють з пресованого вугілля, яке не лише затримує суспензії, але й сорбує шкідливі речовини.

Мембранні контактори – це модулі, що містять порожні волокна з мембранного матеріалу. Стінки даних волокон являють собою мікропористу мембрану з гідрофобного пластика (поліпропілену). Вода, знесоле-

на зворотнім осмосом, подається в контактор таким чином, що омиває волокна з зовнішньої сторони. Всередину волокон подається газ-носії (повітря для декарбонізації, азот для деаерації) або всередині них за допомогою водокільцевого вакуум-насоса створюється вакуум. Найбільш ефективною в більшості випадків є схема з одночасним використанням газу-носія і вакууму [2].

Перевагами мембранної дегазації є:

- видалення різних газів таких як кисень, азот, діоксид вуглецю та інші;
- мембрани мають велику поверхню взаємодії, що сприяє ефективному видаленню газів. Площа поверхні залежить від конкретного типу мембрани. Мембрани можуть бути виготовлені з різних матеріалів;
- якщо порівнювати з іншими методами дегазації, мембранна дегазація споживає менше енергії;
- До недоліків мембранної дегазації можна віднести необхідність періодичної заміни і утилізації мембранних блоків через їх відносно швидке забруднення.

До переваг механічних методів дегазації відносяться:

- висока ефективність (до 90%);
- простота конструкції.

До недоліків механічних методів можна віднести:

- періодичне засмічення фільтроелементів;
- опір, що створюється фільтрувальним елементом при русі робочої рідини зі зливного патрубку до патрубка, що всмоктує;

– неможливість видалення розчиненого повітря.

Хімічні методи очищення робочої рідини використовуються для видалення розчинених речовин, які зазвичай не піддаються або погано піддаються біологічному очищенню, а також речовин, які можуть негативно впливати на трубопроводи гідросистем.

Хімічні методи дегазації ґрунтуються на реакціях, під час яких гази хімічно зв'язуються та видаляються з розчину.

Для видалення кисню з води застосовують прокачування через речовини, які легко піддаються окисленню, такі як сталеві стружки, та обробку сульфитом натрію або оксидом сірки [5]. При використанні сталевих стружок їх очищують від жиру і завантажують в спеціальний фільтр. Вміст марганцю в стружках не повинен перевищувати 0,3 мас. %.

Ефективне знекиснення води може бути досягнуте за допомогою електролізерів, де використовуються розчинні залізні або алюмінієві електроди. Процес знекиснення відбувається через катодну і анодну деполіризацію, а також хімічне окислення заліза або алюмінію киснем, який розчинений у воді [5].

Для видалення сірководню з води застосовують окислення сірководню киснем повітря або хлором. Також можна використовувати взаємодію сірководню з гідроксидом заліза [5].

Для повного видалення сірководню за допомогою кисню повітря проводять аерацію води та підкислюють

її сірчаною або соляною кислотою до досягнення рівноваги з  $\text{pH} = 5,5$ . Очищену воду слід стабілізувати підключенням, щоб усунути корозійні властивості.

Очищену воду слід стабілізувати підключенням, щоб усунути корозійні властивості.

До переваг хімічної дегазації можна віднести наступне:

- цей тип дегазації є ефективним для видалення різних типів газів, включаючи азот та кисень;
- можливість видалення розчиненого повітря;
- хімічні методи можна адаптувати до конкретних потреб шляхом вибору необхідних компонентів та умов реакції.

Характерними недоліками є:

- необхідність в застосуванні додаткових засобів захисту;
- можливість зміни хімічних властивостей рідин;
- використання хімічних реагентів є вартісним;
- не зручні або небезпечні умови для обслуговуючого персоналу під час проведення дегазації.

Фізичні методи дегазації спрямовані на модифікацію фізичних властивостей рідини і не передбачають механічного або хімічного втручання. До цієї категорії методів можна віднести вакуумну дегазацію, дегазацію за рахунок відстоювання та ультразвукову дегазацію [2].

Метод вакуумної дегазації робочої рідини заснований на дії закону Генрі, згідно з яким кількість розчиненого в рідині газу прямо пропорційна абсолютному тиску на поверхні розділу середовищ. Таким чином, при зниженні тиску газ виділяється з рідини в залежності від градієнта тиску у вигляді бульбашок, піни або на молекулярному рівні. При цьому вакуумна обробка може здійснюватися в шарах великої глибини, в тонких шарах та з розвиненої поверхні дрібнодисперсного рідинного аерозолу [6]–[7]. Зазвичай для підвищення ефективності вакуумної дегазації її поєднують із термічною обробкою.

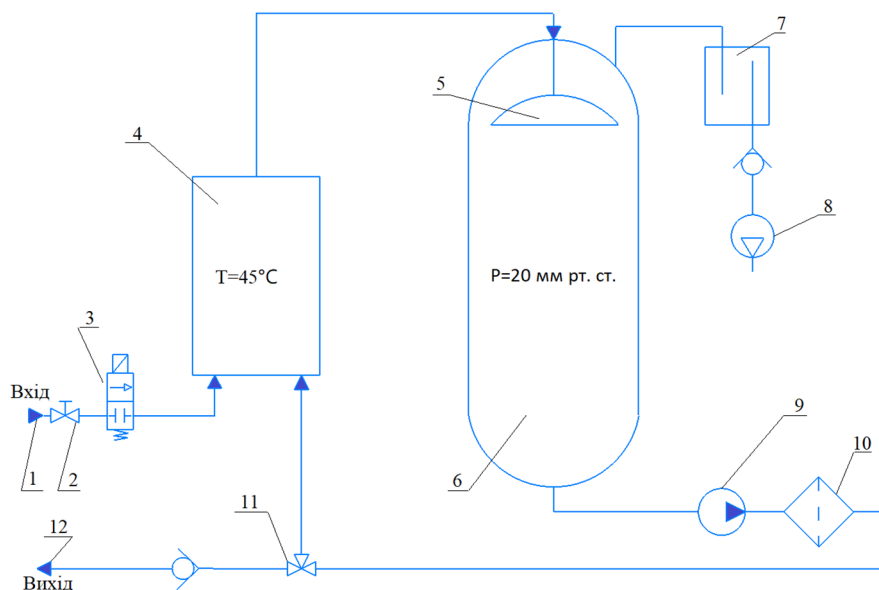
Прикладом реалізації методу вакуумної дегазації рідини може служити схема технологічної установки “УДВМ 10-3” (рис. 2.) [2].

Перевагами вакуумної дегазації є:

- процес вакуумної дегазації може полегшити видалення газів, які розчинені в рідині при високому тиску. Тим самим можна покращити стабільність рідини;
- можливість вивільнення розчиненого повітря.

До недоліків вакуумної дегазації можна віднести наступне:

- значні енерговитрати на створення вакууму;
- складність систем для створення вакууму;
- необхідність герметизації вакуумних об'ємів;
- може призводити до підвищення температури рідини, що може вплинути на її властивості;
- випаровування разом з газом з робочих рідин частини легких фракцій з неприємним запахом і токсичним впливом на організм людини;



**Рис. 2.** Принципова схема установки вакуумной дегазации масла УДВМ 10-3: 1 – входной резьбовой штуцер; 2 – входный вентиль; 3 – входный электромагнитный клапан; 4 – нагреватель масла; 5 – форсунка режимив; 6 – бак вакуумный; 7 – выделение паров масла; 8 – насос вакуумный; 9 – насос выходный; 10 – фильтр; 11 – кран перемикания

– небезпека піноутворення диспергованої рідини при наявності в робочій рідині навіть невеликої (0,1%) кількості води;

– метод може бути менш ефективним при використанні високов'язких рідин, або тих, що швидко стікають.

Метод дегазації через відстоювання є простим і відносно дешевим. Для його реалізації потрібна лише велика ємність для робочої рідини та достатній час витримки (приблизно 12 годин) [6]. Принцип дії полягає в природному виділенні повітря з рідини без зовнішнього впливу завдяки дії внутрішніх сил, які впливають на бульбашки нерозчиненого повітря. Даний метод базується на законі Архімеда. Для підвищення ефективності методу можливе нагрівання рідини.

Одним з переваг є простота та дешевизна такого методу, але суттєвим недоліком є неможливість видалення розчиненого повітря.

Втім, відстоювання має обмежену ефективність, яка не відповідає сучасним стандартам якості робочих рідин для гідросистем, особливо в системах високої точності та динамічного відслідковування. Тому цей метод вважається застарілим і рідко застосовується в сучасних технологічних процесах [7].

Швидке видалення повітря з рідини, як нерозчиненого, так і розчиненого, досягається завдяки акустичному ефекту, який виникає при введенні в рідину ультразвукових коливань [7]. Цей метод дегазації застосовується в промисловості для вирішення проблеми насиченості рідинних середовищ газами. Він застосовується в ливарних технологіях при дегазації розплавів металів та скла, в процесах змішування смол, обслуго-

вуванні гідравлічних систем, а також для зменшення газовмісту у напоях та інших рідких продуктах.

Процес ультразвукової дегазації відбувається завдяки тому, що присутні в рідині зародки кавітації у вигляді стабільних нерозчинених бульбашок газу та мікро бульбашок газу на поверхні, зважених в рідині, мікрочастинок під дією пружних ультразвукових хвиль починають інтенсивно коливатися, збільшуючись у розмірах в напівперіоді розрідження та зменшуючись у розмірах в напівперіоді стиснення. Збільшення розмірів бульбашок відбувається за рахунок того, що внутрішній тиск парогазової суміші в фазі розрідження перевищує зовнішній тиск рідини внаслідок дифузії газу в бульбашку із рідини, а також за рахунок випаровування рідини з внутрішньої поверхні бульбашки і збільшення маси пари в бульбашці [6], [8]–[10]. Інтенсивність зміни розмірів бульбашки залежить від частоти та амплітуди коливань, тиску та від газонасиченості рідини.

У процесі дегазації основними характеристиками є швидкість зміни концентрації газу в рідині та рівноважна концентрація газу. Вона виникає в рідині через деякий час при наявності ультразвукового поля. Зміна концентрації газу в рідині в акустичному полі за час опромінення визначається виразом [4]:

$$C = C'_p + (C - C'_p)e^{-b},$$

де:  $C_0$  – початкова концентрація;  $b$  – параметр, який визначається акустичними характеристиками – інтенсивністю звуку і частотою звукових коливань.

Існують два режими ультразвукової дегазації – кавітаційний та докавітаційний.

У докавітаційному режимі швидкість зміни концентрації пропорційна інтенсивності звуку. Її залежність від частоти звуку має наступний вигляд [4]:

$$\frac{dc}{dt} = B \cdot f^n \cdot e^{-k},$$

де:  $B$ ,  $n$ ,  $k$  – деякі емпіричні константи.

Для процесу дегазації води (по повітрю) при інтенсивності ультразвуку  $I=0,03$  Вт/см<sup>2</sup> константи мають наступні значення  $B = 2,3 \cdot 10^{-13}$ ,  $n = 1,43$  і  $k = 6,7 \cdot 10^{-6}$ . Швидкість зміни концентрації максимальна на частоті  $f \gg 200$  кГц. Величина  $C_p'$  від інтенсивності ультразвуку та частоти не залежить [4].

При великих частотах коливань в рідині з малою насиченістю газом в області температур, що далекі від

точки кипіння, основним фактором зростання бульбашки є періодичне перевищення внутрішнього тиску бульбашки над зовнішнім. В області низьких частот коливань, коли має місце мала швидкість зміни тиску в рідині зі значною газонасиченістю, переважаючим є механізм дифузії. При зменшенні концентрації газу в бульбашці внаслідок поступового збільшення її розмірів газ дифундує із рідини в бульбашку. В напівперіоді підвищення тиску розміри бульбашки зменшуються і відбувається дифузія газу із бульбашки в рідину. Оскільки кількість газу, що дифундує, пропорційна площі поверхні бульбашки, яка є більшою в фазі росту бульбашки, то в цілому за період коливань внаслідок процесу випрямленої дифузії має місце зростання маси газу в бульбашці і відповідне поступове зростання її розмірів [9], [10]. Внаслідок наведеного механізму кавітаційні бульбашки або схлопуються з утворенням сферичних вибухових хвиль та інтенсивних кумулятив-

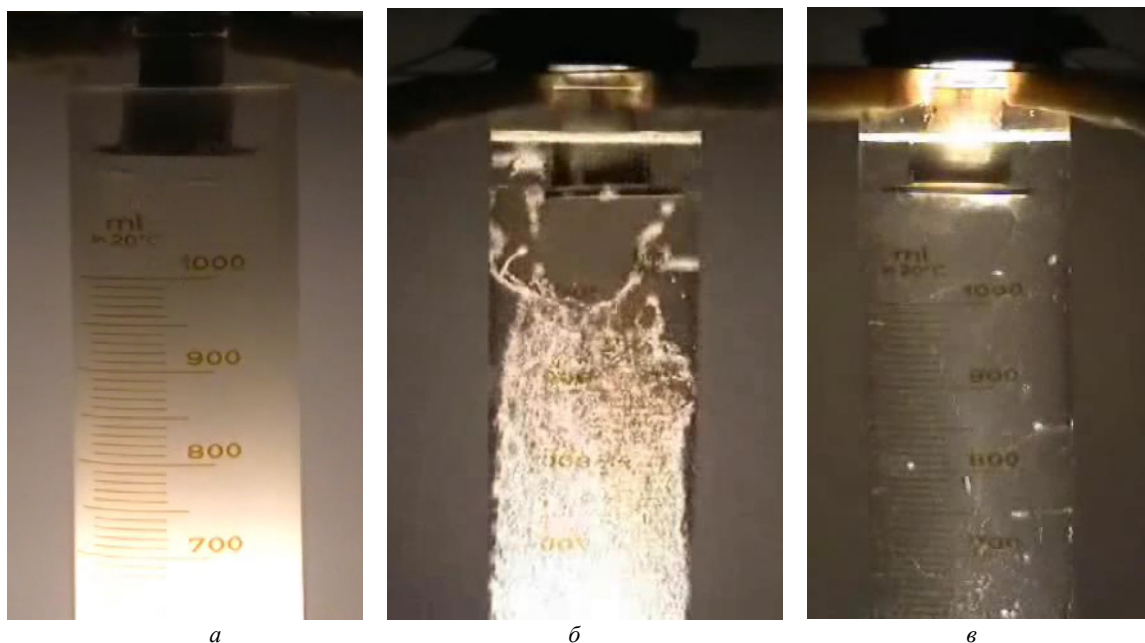


Рис. 3. Технологічний процес ультразвукової дегазації: (а – газомасляна суміш з бульбашками нерозчинного повітря; б – процес дегазації; в – дегазована робоча рідина)

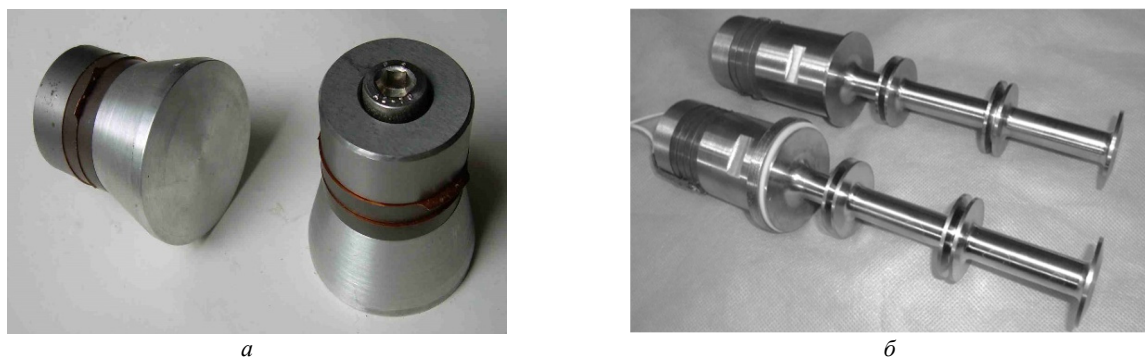


Рис. 4. Малоамплітудні (а) та високоамплітудні з розвинутою поверхнею (б) ультразвукові випромінювачі [12]

них мікроструменів або встигають зі збільшеними розмірами піднятися до поверхні рідини, чому сприяє зростання виштовхувальної сили, і видаляються з неї.

Ультразвукова дегазація застосовується у виробництві оптичного скла, що свідчить про високу якість цієї технології. Вона застосовується також для виділення газу із вуглеводних рідин (газовий конденсат, нафта). Даний метод знайшов своє застосування у методі виділення газу із розчину солей, віскози, шоколаду, напоїв [10].

На (рис. 3) представлені послідовні стадії процесу ультразвукової дегазації [9].

Для реалізації технології ультразвукової дегазації застосовують малоамплітудні та високоамплітудні випромінювачі (рис. 4), які зазвичай, легко монтуються в існуюче технологічне устаткування [4], [6], [13].

Застосування високоамплітудних ультразвукових випромінювачів з розвинуеною поверхнею дозволяє значно підвищити швидкість процесу дегазації (рис. 5).

Ультразвукове технологічне обладнання зазвичай використовують у діапазоні інтенсивностей ультразвуку від  $0,5 \text{ Вт/см}^2$  до  $20 \text{ Вт/см}^2$ . Для інактивації шкідливих мікроорганізмів застосовують обладнання, яке забезпечує інтенсивність до  $140 \text{ Вт/см}^2$  [12].

На графіках (рис. 6, 7) наведено переваги ультразвукової дегазації над методом відстоювання. З них можна побачити, що один й той самий об'єм повітря ультразвуковий метод видаляє за хвилину, а метод відстоювання приблизно за 20 хвилин [4].

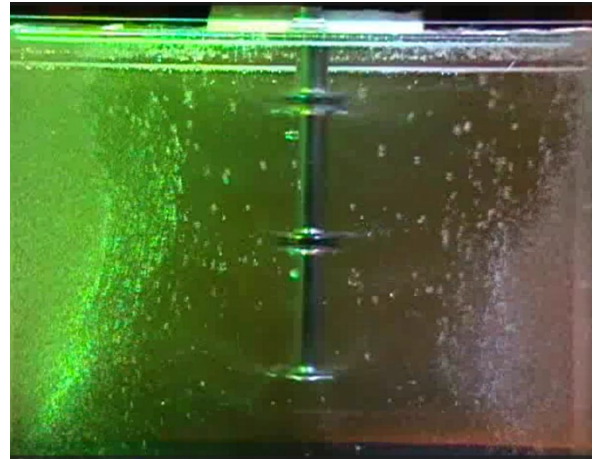


Рис. 5. Фрагмент процесу дегазації за допомогою високоамплітудного ультразвукового випромінювача з розвинуеною поверхнею [12]

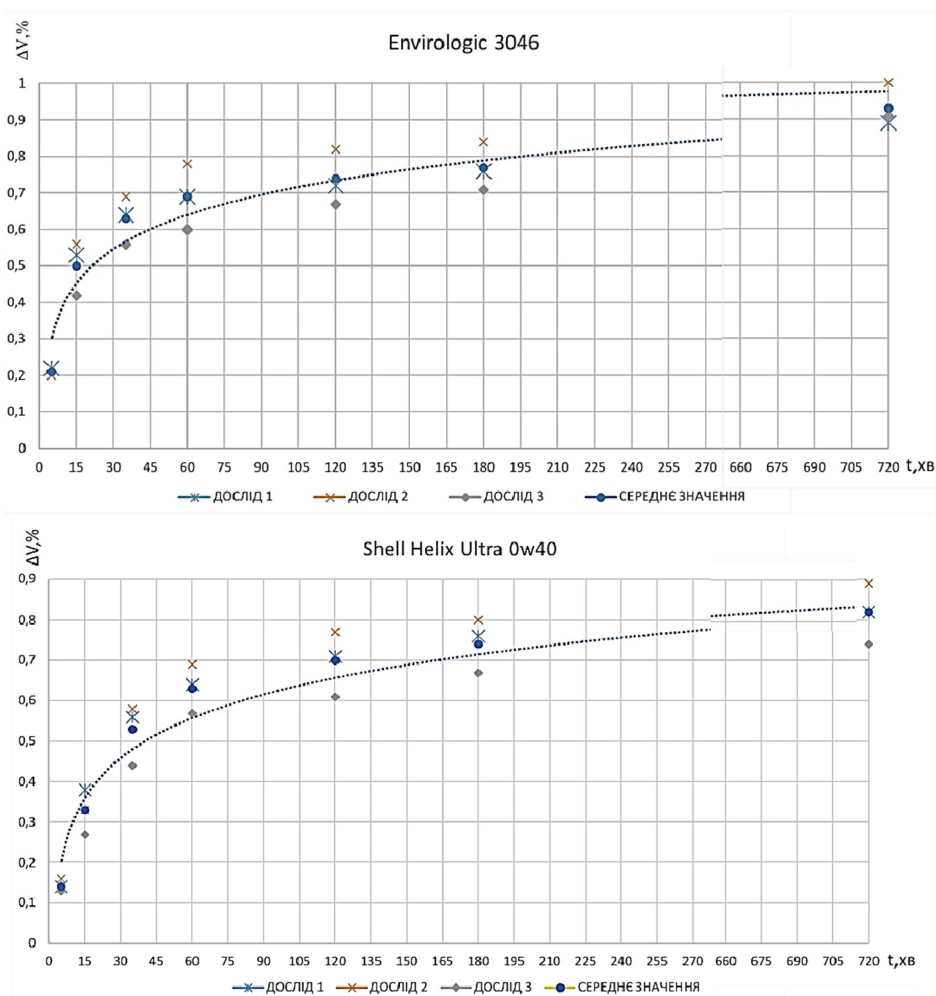


Рис. 6. Графічні залежності об'єму виданого повітря від часу дегазації методом відстоювання [4]

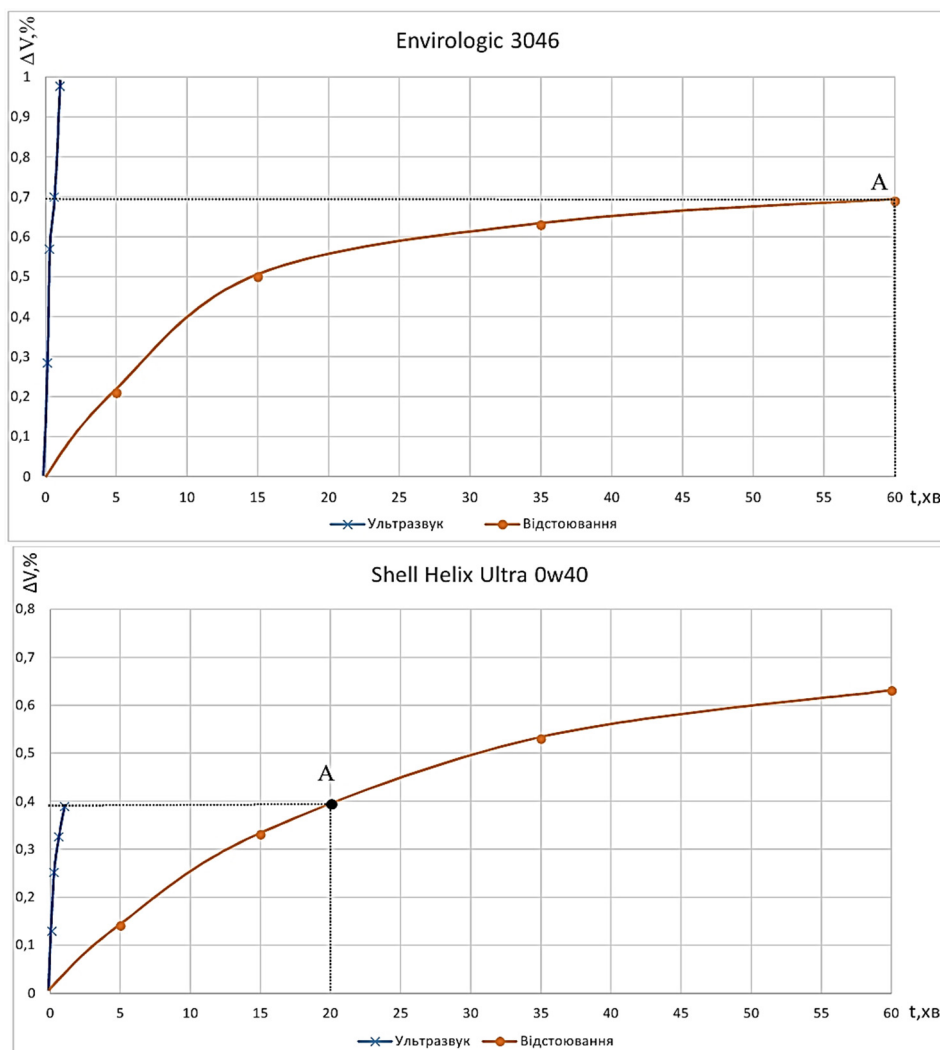


Рис. 7. Порівняння ефективності ультразвукової дегазації та дегазації методом відстоювання [4]

Ефективність технології ультразвукової дегазації рідин підвищується за рахунок наступних пунктів [2]–[4]:

- використання ультразвукових перетворювачів з великою площею поверхні випромінювання, наприклад, радіально випромінюючих перетворювачів з можливістю подальшої концентрації енергії за рахунок фокуруючих властивостей поверхні випромінювання;
- забезпечення низького тиску або вакууму над поверхнею рідини під час ультразвукової обробки;
- нагрівання рідини з метою зменшення в'язкості;

При збільшенні інтенсивності ультразвукових коливань до рівня виникнення ультразвукової кавітації починається активне виділення розчинних газоподібних речовин. Інтенсивність процесу можна значно підвищити за рахунок додавання в рідину маленьких частинок, наприклад, піску [4].

До переваг ультразвукової технології дегазації рідин можна віднести наступне:

- значна швидкодія процесу дегазації;

– малі габарити та конструктивна простота технологічного обладнання;

– легкість застосування в діючих технологічних процесах та обладнанні;

– широкий діапазон в'язкостей рідин (вода і розплавлені метали).

До недоліків варто віднести наступне:

– наявність електронного блоку збудження ультразвукових коливань;

– обмежений термін працездатності п'єзокерамічних матеріалів, що застосовуються в ультразвукових випромінювачах (зазвичай при нормальних умовах експлуатації до 10000 годин).

## Висновки

Наведений огляд демонструє широкі можливості реалізації технологічного процесу дегазації рідин.

Проаналізовані в огляді відомі методи дегазації дозволяють підвищити якість багатьох технологій із застосуванням рідини в якості робочого тіла. В багатьох промислових рідинних технологіях доцільним, на думку авторів, є метод ультразвукової дегазації. Його переваги дають можливість широкого використання в існуючому технологічному обладнанні багатьох гідро-

фікованих систем і виконавчих пристроїв. Для вдосконалення ультразвукового технологічного обладнання з метою підвищення його ефективності необхідно провести додаткові науково-дослідні роботи по з'ясуванню впливу на процес дегазації частоти, амплітуди та інтенсивності ультразвукових коливань.

## References

- [1] L. Z. Alekseev and U. A. Gladkov, Improvement of soft water quality, Moscow, Stroyizdat, 1994, 150 p.
- [2] O. A. Kapustina, "Degassing of liquids," Physical bases of ultrasonic technology, L. D. Rosenberg Ed., Moscow: Nauka, 1970, pp. 253–336.
- [3] O. A. Kapustina, "On the dependence of the degree and efficiency of ultrasonic degassing of liquid on the radiated power," Acoustic Journal, Vol. 9, pp. 424–426, 1963.
- [4] Ja. Stryczek *et al.*, "Physical fundamentals of ultrasonic degassing", Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units, No. 1, pp. 17–22, 2021.
- [5] L. A. Crum and G. M. Hansen, "Growth of air bubbles in tissue by rectified diffusion," Phys. Med. Biol., Vol. 27, pp. 413–417, 1982, doi: 10.1088/0031-9155/27/3/008.
- [6] O. A. Kapustina, "On the kinetics of ultrasonic degassing of liquid in the pre-cavitation regime", *Acoustic Journal*, Vol. 4, pp. 441–443, 1964.
- [7] V. N. Khmelev, R. V. Barsukov, M. V. Khmelev and S. N. Tsyganok, "Increasing the efficiency of ultrasonic impact on liquid media," *Polzunov Bulletin*, No. 3, pp. 172–179, 2007.
- [8] M. Ashokkumar, J. Lee, S. Kentish and F. Grieser, "Bubbles in an acoustic field: An overview", *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol. 14, pp. 470–475, 2007, doi: 10.1016/j.ultsonch.2006.09.016.
- [9] *Ultrasound. Small encyclopedia*, I. P. Golyamina. P. Golyamina. Eds., Moscow: Soviet Encyclopedia, 1979, 400 p.
- [10] O. M. Yakhno, E. A. Lugovska and A. V. Movchanyuk, "Investigation of the possibilities of ultrasonic cavitation cleaning technology for elastic surfaces," *Journal of Mechanical Engineering NTUU "Kyiv Polytechnic Institute"*, No. 58, pp. 234–240, 2010.
- [11] O. Lugovskiy, A. Movchanyuk, and V. Fesich, "To the question about the calculation of the ultrasonic step-up transformer of vibrating speed with the developed radiance surface," *Mech. Adv. Technol.*, No. 1(85), pp. 49–56, Apr. 2019, doi: 10.20535/2521-1943.2019.85.164346.
- [12] O. F. Luhovskiy *et al.*, *Hardware of ultrasonic cavitation technologies*, Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Publisher FOP Kushnir Y.V., 2021. 216 p.
- [13] A. F. Lugovskoy and N. V. Chukhraev, *Ultrasonic cavitation in modern technologies*, VIC "Kyiv. un. University", 2007. 244 p.

## Review of methods of degassing of working fluids

O. Petrenko<sup>1</sup> • O. Luhovskiy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

**Abstract.** The article provides an analytical review of known methods of degassing process liquids. An analysis of the advantages and disadvantages of known methods of degassing these liquids is presented. Emphasis is placed on the ultrasonic method of degassing, which is implemented by introducing an ultrasonic deformation wave into the liquid. The review shows different types of ultrasonic emitters built according to half-wave and wave acoustic schemes. Photographic materials and graphics of an experimental study of the ultrasonic method of degassing technological liquids with the involvement of piezoelectric transducers are used. The physical model of the process of ultrasonic degassing of the above-mentioned liquids is considered in the article. The necessity of carrying out works with the aim of additional study and improvement of the efficiency of ultrasonic degassing of technological liquids by means of an experimental study of the effect on the degassing process of the frequency, amplitude and intensity of ultrasonic oscillations is emphasized. Conclusions were made regarding the prospects of using the ultrasonic method of liquid degassing.

**Keywords:** ultrasound; ultrasonic treatment; decontamination; ultrasonic cavitation; ultrasonic emitter.