

УДК 621.647.23

Д.О.Мирошник, І.А.Гришко, О.В.Галецький

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

### **Вплив ультразвукової кавітації на життєдіяльність мікроорганізмів**

Сфери, де введення кавітації розглядається як рішення, є безліч - фармацевтика, хімія, очищення, виробництво біогазу, очищення відходів та питної води [1]. Тільки за останні двадцять років було опубліковано численні оглядові статті, які стосуються кавітації та її здатності знищувати мікроорганізми з метою знезараження води, консервації та інше [2–5].

Ми розглянемо механічний та хімічний вплив на різні типи мікроорганізмів таких як бактерії, водорості, дріжджі та віруси. Незважаючи на те, що віруси не є живими організмами, все ж таки необхідно розглянути їх також.

Основною метою є узагальнення механізмів, які є причиною знищення мікроорганізмів шляхом кавітації.

#### **Кавітація**

Варто почати з того, що таке взагалі кавітація. Кавітація - це утворення бульбашок у рідині яка відбувається внаслідок виникнення перепаду тиску під дією ультразвукової хвилі. У міру того, як тиск нормалізується, ці бульбашки можуть стискуватись та руйнуватися. Із за такого колапсу бульбашок, можуть виникати локальні перепади тиску до декількох сотень МПа та температури понад 1000 °С. Це призводить до багатьох інженерних проблем, таких як шум, вібрація, ерозія матеріалу. З іншого боку завдяки кавітації знищують бактерії та інактивують віруси [6].

Ультразвуковими називаються пружні акустичні хвилі, нижня межа яких, понад 20 кГц, верхня ж досягає декількох сотень МГц. [7]

Акустичні хвилі переносять енергію без перенесення речовини. Хвилі бувають повздовжніми та поперечними. Повздовжні хвилі - це коли напрямок коливань частинок співпадає з напрямком поширення хвиль, при поперечних ці напрямки взаємно перпендикулярні. В газоподібних та рідких середовищах спостерігається повздовжнє поширення хвиль.

### Мікроорганізми

Мікроорганізмами є мікроскопічні організми, які можуть існувати як одноклітинно, так і колоніями. Існують такі види клітин як прокаріоти та еукаріоти та мають свої особливості.

Також до мікроорганізмів відносяться віруси. Вони не є живими організмами, тому що в них відсутня значна частина атрибутів живих клітин. Сюди також відносяться гриби та водорості. Через велику різноманітність вірусів, вони мають стійкість до фізико-хімічних впливів. Також віруси мають великий діапазон супротиву тискам.

### Ефекти кавітації

Головними ефектами кавітації для нас є механічні, теплові та фізико-хімічні[1, 6, 8, 9].

Механічні ефекти виникають при руйнуванні бульбашок, через що виникають такі явища як ударні хвилі, турбулентні течії, кумулятивні струмені, вихори, що будуть пошкоджувати зовнішній шар мікроорганізмів. Також важливим є мікропотік, який викликає ударні хвилі через колапс бульбашок, і це викликає руйнівну дію на мікроорганізми.

Зокрема колапс бульбашок можуть викликати гарячі точки, точки в яких будуть досить високі температури які будуть локально пошкоджувати мікроорганізми. Окрім цього великі температури можуть впливати на шари мікроорганізмів, та зробити їх більш подразливими до подальшому пошкодженню.

Кавітація викликає інактивацію вірусів, і точний механізм цього ще не до кінця виявлений. Є версії, що причиною інактивації вірусів є пошкодження зовнішніх шарів кавітацією.

Негативно діє ультразвук і на окремі клітини вищих організмів. При опроміненні червоних кров'яних тілець (еритроцитів) спостерігалось наступне: вони втрачали свою первісну форму і розтягувалися; при цьому відбувалося їх знебарвлення (в результаті гемолізу). При подальшому опроміненні вони остаточно розривалися і розпадалися на безліч окремих маленьких кульок [10].

Вже в 1928 році було встановлено, що бактерії руйнуються під дією ультразвуку. У наступні роки було опубліковано велику кількість робіт про вплив ультразвукових хвиль на бактерії і віруси. При цьому з'ясувалося, що результати можуть бути дуже різноманітними: з одного боку, спостерігалися

підвищена аглютинація, втрата вірулентності або повна загибель бактерій, з іншого боку, відзначався і зворотний ефект - збільшення числа життєздатних особин. Останнє особливо часто має місце після короткочасного опромінення і може пояснюватися тим, що при короткочасному опроміненні насамперед відбувається механічне розділення скупчень бактеріальних клітин, завдяки чому кожна окрема клітина дає початок нової колонії.

Було встановлено, що тифозні палички повністю вбиваються ультразвуком з частотою 4,6 МГц, в той час як стафілококи і стрептококи пошкоджуються при цьому лише частково. При загибелі бактерій одночасно відбувається їх розчинення, тобто руйнація морфологічних структур, так що після дії ультразвуку не тільки зменшується число колоній в даній культурі, але підрахунок числа особин виявляє зменшення морфологічно збережених форм бактерій. При опроміненні ультразвуком з частотою 960 кГц бактерії розміром 20-75 мкм руйнуються значно швидше і повніше, ніж бактерії, що мають розміри 8-12 мкм [11].

Дослідження чутливості озвучених мікроорганізмів до дії деяких антибіотиків і антисептиків показало, що у 8 з 13 використаних препаратів мінімальна переважна концентрація після ультразвукової обробки стафілокока знизилася в 2-4 рази. Це свідчить про доцільність спільного застосування ультразвукових коливань низької частоти і антибактеріальних розчинів для більш ефективного впливу на мікробну клітину [11].

Руйнівна дія ультразвукових хвиль залежить від концентрації бактеріальної суспензії. У занадто густій і, таким чином, дуже в'язкій суспензії не спостерігається руйнування бактерій, а можна відзначити тільки нагрівання. Різні штами одного і того ж виду бактерій можуть зовсім по-різному реагувати на опромінення ультразвуком. [12]

Таким чином, можна зробити висновок, що ефект впливу ультразвуку на біоматерію взагалі і мікроорганізми, зокрема, залежить від багатьох факторів середовища і від стану живої матерії і в реальності досить важко прогнозувати.

#### Висновки:

Незважаючи на те, що кавітація вперше спостерігалася на суднових гвинтах у 19 столітті, вона все ще не повністю зрозуміла. Через її складність та непередбачуваний характер прогрес дослідження її поведінки та наслідків

протікає повільно. Оскільки механізми, які можуть впливати на життєздатність мікроорганізмів, повністю не з'ясовані, усунути можливість використання явища кавітації для їх знищення надзвичайно важко. Те, що всі аспекти кавітації ще не повністю зрозумілі, можна побачити в оглядовій літературі. Більшість авторів лише повідомляють, що кавітація присутня, але не дають конкретного пояснення її характеристик. Не тільки розбіжність досліджуваних умов експлуатації, але й їх розпливчастий опис є причиною погано відтворених результатів.

Одним із параметрів, як правило, недостатньо описаних, є інтенсивність кавітації.

Як було сказано, поки що немає єдиної думки щодо визначення інтенсивності кавітації. Незважаючи на це, повідомляти лише про споживання електроенергії кавітаційного пристрою. Калориметрія – хороший метод, як оцінити енергію, яка фактично доставляється в рідину.

Однак існує консенсус що потрібен метод який міг би знищити мікроорганізми у зразках навколишнього середовища або в харчовій промисловості. Кавітація може виявитися таким методом і таким, який міг би задовольнити всі вимоги - ефективно та відносно швидко знищувати мікроорганізми без будь-яких побічних пошкоджень, таких як виробництво вторинних забруднюючих речовин. Але для того, щоб використовувати його найефективніше (щоб використовувати його з найвищим потенціалом), слід з'ясувати точні механізми, за допомогою яких він взаємодіє з мікроорганізмами.

#### Список використаних джерел

1. Ультразвук. маленькая энциклопедия / ed. И. П. Голямина. — Москва : Советская энциклопедия, 1979. — 400 с.
2. Костюченко С. В. Ультрафиолетовое облучение – современный метод обеззараживания воды / С. В. Костюченко // Водоснабжение и санитарная техника. — 2005. — Vol. 12. — С. 21–23.
3. Марчук Л. В. Влияние ультразвуковой кавитации на жизнеспособность микроорганизмов / Л. В. Марчук, А. Ф. Прокопенко, А. Ф. Луговской, И. А. Гришко // Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-електромеханічна. — 2011. — Vol. 22, №. 195. — С. 195–206.
4. Марчук Л. В. Повышение эффективности процесса ультразвуковой кавитации при инактивации микроорганизмов / Л. В. Марчук, А. Ф. Прокопенко,

А. Ф. Луговской, И. А. Гришко // Вібрації в техніці та технологіях. — 2011. — Vol. 3, №. 63. — С. 108–113.

5. Гришко И. А. Возможности применения ультразвуковых колебаний в технологическом процессе инактивации микроорганизмов / И. А. Гришко, А. Ф. Луговской // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (теорія, практика, історія, освіта)». — 2012. — С. 157–158.

6. Луговской А. Ф. Ультразвуковая кавитация в современных технологиях / А. Ф. Луговской, Н. В. Чухраев. — Киев : 2007. — 244 с.

7. Агранат Б. А. Ультразвуковая техника / Б. А. Агранат. — Москва : Высшая школа, 1967. — 352 с.

8. Фридман В. М. Ультразвуковая химическая аппаратура / В. М. Фридман. — Москва : Машиностроение, 1967. — 211 с.

9. Круглицкий Н. Н. Ультразвук в химической технологии / Н. Н. Круглицкий, В. Ю. Третинник, В. В. Симуров. — Киев : УкрНИИНТИ, 1970. — 48 с.

10. [T. Pottage. Evaluation of hydrogen peroxide gaseous disinfection systems to decontaminate viruses [Електронний ресурс] / Т. Pottage, С. Richardson. – 2010. –Режим доступу до ресурсу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195670109004101>.]

370

11. Дударева О.А., Барабанов С.Н., Караваев А.А., Сакалла А.М. Методы обработки поверхности деталей перед нанесением покрытий. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. – 96 с.

12. Методы исследования свойств материалов и покрытий : учеб. пособие / А.В. Лясникова, И.П. Гришина, О.А. Маркелова, О.А. Дударева. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2016. – 108 с.