

УДК 069.444; 534.23; 621.6

УЗ-ВИПРОМІНЮВАННЯ В РЕСТАВРАЦІЇ

Роман Головаха, к.т.н., доц.,
Національний заповідник «Хортиця»

Олександр Азархов, д.м.н.,
проф. Приазовського державного
технічного університету

Богдан Єфременко, к.т.н., доц.,
Приазовського державного
технічного університету

Іван Сілі, к.т.н., доц.,
Приазовського державного
технічного університету

Розглянуто технічні особливості реставрації музейних експонатів на прикладі застосування компонентів ультразвукових біомедичних систем.

Ключові слова: Кавітація, температура, швидкість, випромінювання, дезінфекція, розчищення.

Предмети матеріальної культури або найчастіше те, що від них залишилося, і які в тому чи іншому вигляді дійшли до нашого часу, представляють великий інтерес для фахівців у історичній галузі знань і мають важливе значення для широкого кола громадськості.

Проте найчастіше стан цих експонатів залишає бажати кращого та потребує проведення професійних реставраційно-консерваційних заходів.

Для підвищення ефективності та рівня якості реставраційних робіт необхідно розуміти фізику процесів, що виникають у матеріалах, з яких виготовлені експонати, а також особливості застосування допоміжних хімічних реактивів, що використовуються для цього.

Одним із прикладів реалізації цієї стратегії є застосування ультразвукового випромінювання (УЗ-випромінювання) у реставраційно-консерваційних заходах.

За своєю фізичною сутністю ультразвук є акустичним випромінюванням на зразок звичайних звукових хвиль, але з частотами від 15 кГц до 106 кГц. Такі частоти коливань надають ультразвуку можливість створювати унікальні ефекти при поширенні в рідких середовищах.

Одним із проявів таких ефектів є утворення зон розрідження та ущільнення.

У поєднанні з іншою особливістю ультразвуку – відносно великою інтенсивністю коливань при відносно невеликих амплітудах – ми можемо отримати досить високу щільність потоку енергії, що викликає у воді явище кавітації – зростання бульбашок газу у рідких середовищах. У цих бульбашках виникають області високих тисків та локальних розріджень. Кавітація у воді настає вже на частотах коливань 20 кГц і щільності потоку енергії $0,3 \text{ Вт/см}^2$. При більших частотах – 100...10000 кГц та інтенсивності у декілька Вт/см^2 відбувається утворення фонтану або туману.

Використання УЗ-технологій у реставрації базується на таких основних властивостях [1]:

- руйнівна дія кумулятивного струменя, що утворюється при схлопуванні кавітаційного бульбашки, яка знаходиться в безпосередній близькості від затверділого забруднення або мікроорганізму;
- ударна дія сферичних хвиль тиску, що утворюються при схлопуванні кавітаційної бульбашки, віддаленої від поверхонь та сусідніх бульбашок;
- інтенсивні мікротечії, що виникають при пульсаціях і схлопуванні кавітаційних бульбашок, сприяють розчиненню та змиванню жирових плівкових забруднень;
- термічний вплив на мікроорганізми за рахунок локального підвищення температури при захлопуванні кавітаційних бульбашок;

- знищення мікроорганізмів за рахунок перепаду тисків по довжині ультразвукової хвилі;
- активізація окисних процесів у кавітаційній області.

Реставраторами Національного заповідника «Хортиця» спільно з науковцями Приазовського державного технічного університету було заплановано та проведено серію експериментів спрямованих на впровадження УЗ-технологій у реставраційні процеси.

Першим напрямом досліджень було вивчення можливості використання УЗ-технологій для знезараження водних розчинів консервантів на основі поліетиленгліколів (ПЕГ1500,4000).

Під дією ультразвуку в розчині консерванту виникають специфічні ефекти, а саме: високошвидкісні мікротечії, потужні ударні хвилі, локальні області розігріву, вільні радикали, що є результатом зхлопування бульбашок. Ці ефекти призводять до дроблення зважених частинок, всередині яких можуть бути мікроорганізми [2, 3, 4, 5, 6], дроблення скупчень мікроорганізмів і порушення їх клітинної структури [7, 8, 9]. Тому УЗ-випромінювання здатне знищити мікроорганізми, що знаходяться як у суспензії рідкого консерванту, так і в осілому стані (бактерії в стані біоплівки та спороутворюючі бактерії), грибки та найпростіші віруси.

Другим напрямом досліджень було вивчення можливості використання УЗ-технологій для інтенсифікації процесу просочення експонатів рідкими сумішами, що застосовуються у консерваційно-реставраційних процедурах.

Основні експериментальні заходи були спрямовані на вивчення способів прискорення та інтенсифікації просочення мокрої деградованої археологічної деревини.

УЗ-коливання забезпечують надтонке диспергування розчинів. Кавітація, що виникає під впливом коливань рідини і супроводжує її потужними мікротечіями, впливає на прикордонний шар розчинів і змиває їх.

Також в ультразвуковому полі відбувається дегазація рідини та диспергування колоїдних частинок, що сприятливо впливає на глибину проникнення розчину.

В результаті суттєво зменшується опір перенесенню реагуючих речовин та інтенсифікується технологічний процес просочення [10, 11].

Крім того, ультразвукова кавітація породжує велику кількість ефектів другого порядку, які, у свою чергу, також забезпечують прискорення технологічних процесів.

Ці обставини призводять до того, що ультразвуковий вплив набуває все більшого поширення при реалізації технологічних процесів, пов'язаних з рідким станом реагентів.

Таким чином було доведено можливість суттєвого прискорення процесів просочення експонатів при виникненні звукокапілярного ефекту, що ініціюється опроміненням просочувального розчину ультразвуком.

Третім напрямом досліджень було вивчення можливості застосування УЗ-технологій для розчищення проблемних експонатів.

Відомо, що при використанні прямої дії ультразвуку та мікро вібрацій відбувається пошарове руйнування твердої осадової породи кальцієвих вапняків, залізної окалини, видаляється бактеріальний та водоростевий наліт [1, 12, 13].

Подальше видалення вже відшарованих частинок відбувається за рахунок течій потоків у рідині реставраційних розчинів.

Експерименти показали, що найвища якість очищення затверділих забруднень досягається при кавітаційному очищенні з ультразвуковим опроміненням малої інтенсивності, а жирових забруднень – при кавітаційному очищенні з ультразвуком великої інтенсивності.

Застосування ультразвукового випромінювання у реставраційно-консерваційних заходах дозволяє істотно підвищити якість і скоротити загальну тривалість реставраційних робіт. Крім того, ця технологія дозволяє

зберегти колір, текстуру й фактуру матеріалу і покращити експозиційний вигляд експонатів.

ДЖЕРЕЛА ТА ЛІТЕРАТУРА

1. Luhovskoi A.F. *Ultrazvukovaia kavytatsyia v sovremennikh tekhnolohyakh*. K.: VPTs «Kyiv. un-t», 2007. 244 s.
2. Sokolova N.F. Sredstva y sposobi obezzarazhyvaniya vody (analytycheskyi obzor). *Medytsynskyi alfavyt*. 2013. T. 1. № 5. S. 44–54.
3. Ulianov A.N. Tekhnolohyia «Lazur» novii shah v obezzarazhyvanny vodi y stokov. *Voda: khymyia y ekolohyia*. 2009. № 3. S.11–15.
4. Osman H., Lim F., Lucas M., Balasubramaniam P. Development of an ultrasonic resonator for ballast water disinfection. Ed. R. Manna, D. DeAngelis. 44th Annual Symposium of the Ultrasonic Industry Association, (UIA 44th Symposium) and 45th Annual Symposium of the Ultrasonic Industry Association, (UIA 45th Symposium) (Physics Procedia series). V. 87. P. 99–104.
5. Akhmedova O.O., Stepanov S.F., Soshynov A.H., Bakhtyarov K.N. Povysheniye efektyvnosti lokalnikh ochystnikh sooruzheniy stochnikh vod za schet pryimeneniya kombynyrovannikh elektrofyzycheskykh metodov vozddeistviya. *Sovremennye problemy nauky y obrazovaniya*. 2009. № 5. S.56–60.
6. Cui X.F., Talley J.W., Liu G.J., Larson S.L. Effects of primary sludge particulate (PSP) entrapment on ultrasonic (20 kHz) disinfection of *Escherichia coli*. *Water research*. 2011. V. 45. № 11. P. 3300–3308.
7. Bolotova Yu.V., Karelyna K.A. Bakteryi lehyonelli v systeme vodosnabzheniya. Metodi borbi s patohennymy mykroorhanyzmamy. *Vestnyk Permskoho natsyonalnoho yssledovatelskoho polytekhnicheskoho unyversyteta. Prykladnaia ekolohyia. Urbanystyka*. 2015. № 3 (19). S. 43–59.
8. Effect of Wastewater Ultraviolet Disinfection of Power Ultrasonic Enhancement. S.H. Zhang, C.D. Wu. 2009 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. V.1–11. P. 4890–4895.

9. Lebedev N.M., Kazukov O.V., Vasylev A.P., Pronyn H.K. Opyt prymereneniya ustanovok dlia obezzarazhyvaniya pytevoi vodi, vodi v basseine y stokov sovmestnim vozdeistviem ultrazvuka y ultrafyoleta. *Mater. VIII Mezhhrehyon. heolohycheskoi nauch.-prakt. konf. «Heolohyia, poleznie yskopaemie y problemi Bashkortostana, Urala y sopredelnykh terrytoryi»*. Ufa, 2010. S. 275–276.
10. Prymereniye ultrazvukovykh kolebaniy dlia uskoreniya protsessov v zhydkykh sredakh. URL: <https://u-sonic.ru/primereniye-ultrazvuka-v-promyshlennosti/primereniye-ultrazvukovykh-kolebaniy-dlya-uskoreniya-protsessov-v-zhidkikh-sredakh/> (data zverneniya: 20.09.2022).
11. Vainshtok Y.S. Ultrazvuk y ego prymereniye v mashynostroenyy. M. : HNTYML, 1958. 140 s.
12. Ultrazvukovie prybori seryu UZO-vodoprovod. URL: <https://www.ultrazvu.com/vodoprovod.php> (data zverneniya: 20.09.2022).
13. Elpyner Y.E. Ultrazvuk. Fyzyko-khymicheskoe y byolohycheskoe deistviye. M. : Fyzmatyz, 1963. 430 s.