

2. ЕКОЛОГІЯ ТА ДОВКІЛЛЯ

УДК 534.29:66.084

ВІБРОКАВІТАТОР ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ВІДКРИТИХ ВОДОЙМ

Л.І. Шевчук¹, О.І. Строган², І.З. Коваль³, Т.С. Фалик⁴

Наведено опис конструктивної будови автономного вібраційного кавітатора для аерації води відкритих водойм та інактивації її біологічних забруднень, зокрема і ціанобактеріями, які провокують "цвітіння" води. Його основними елементами є встановлена на пневмобалоні платформа із віброкавітатором та пневмокамерою і занурені у воду збурювачі кавітації. Продуктивність очищення забрудненої води – 10÷150 м² водного плеса мілководдя за 8÷10 годин роботи від автономного джерела живлення. Пристрій високопродуктивний, маневрений, придатний для ефективної боротьби із заморами риби у відкритих біологічно забруднених, зокрема і цитобактеріями, водоймах, не залежний від стаціонарних джерел живлення.

Ключові слова: вода, біологічне забруднення, кавітація, електромагніт, пневмобалон, платформа.

Однією із найнеприємніших проблем риборозплідних господарств є зимові та літні замори риби, які, зазвичай, супроводжуються її захворюваннями та смертю. Зимові замори зумовлені нестачею у воді розчиненого повітря та кисню, доступу яких із атмосфери стає на заваді обледеніла поверхня водойми, літні замори спричинені, переважно, біологічним забрудненням та спровокованою життєдіяльністю бактерій нестачею у воді розчиненого того ж таки повітря і кисню. Особливою мірою замори згубно впливають на молодь риби, ослаблі організми особин яких ще не можуть належним чином протистояти захворюванням та кисневому голодуванню, а життєвих сил та досвіду недостатньо для швидких міграцій від надмірно забруднених ділянок водойм до порівняно чистих.

І якщо запобігти зимовим заморам порівняно легко – достатньо забезпечити доступ відкритого повітря та здійснити аерацію води, принаймні через виконані у льоді лунки, заповнені порожнистими стеблами очерету, то проблема протистояння літнім заморам риби набагато складніша. Зазвичай, вони спровоковані біологічним забрудненням води, зумовленим стрімким і швидкоплинним у часі розмноженням аеробних бактерій. Найяскравішими представниками біологічної мікрофлори, що спонукають літні замори риби, є різновид групи ціанобактерій, стрімке розмноження яких більше відоме за проявом його наслідків під поширеною назвою "цвітіння" води. Адже їх активна життєдіяльність, як і для переважної більшості бактерій, нерозривно пов'язана із поглинанням з води кисню, що призводить до стрімкого зменшення у воді розчиненого повітря і, як наслідок,

до хвороби, а подекуди і заморів риби. Цілком можливо і те, що перебування навіть здорової риби у зараженій ціанобактеріями воді може супроводжуватись і насиченням шкідливими ціанідами її зябрових кришок, нутрощів і м'яса.

Постановка проблеми. Не можна стверджувати, що на сьогодні бракує методів ефективного знезараження біологічно забруднених вод. Це і фізичні методи багатоступеневої фільтрації, доволі часто в супроводі високоенергетичних впливів магнітних та електромагнітних полів, і хімічні методи її очищення хлоруванням, обробленням гашеним вапном тощо, і оброблення барботуванням у середовищі озону чи інертних газів. Та проблема тут полягає саме у специфіці риборозплідних водойм. Жоден із відомих методів водоочиснення не є абсолютно безпечним для риби, особливо, коли йдеться про її маломірну молодь. Хімічні методи водоочиснення можуть провокувати затруєння риби, звичайно, окрім дозованого застосування гашеного вапна. Та його протидія ціанобактеріям, а відповідно і ефективність, тут вкрай низькі. Малоефективне й озонування води, оскільки воно, рятуючи рибу від кисневого голодування, одночасно і сприяє активності розмноження ціанобактерій. Про фізичні високоенергетичні впливи тут не може бути і мови.

Ще одна, не менш важлива проблема – це відсутність мобільного легкопересувного автономного устаткування для знезараження окремих ділянок водойм, забруднених ціанобактеріями. Зазвичай, "цвітіння" води не захоплює всю водойму одночасно, а започатковується на т. зв. мілинах незначної глибини із стоячою водою, мігруючи у подальшому зі змінами вітру іншими ділянками водойми, заражаючи все нові та нові її сектори. Існувало б маневрене знезаражувальне устаткування, процеси забруднення можна було б призупинити на початкових його стадіях. А так доводиться потужними, а відповідно й енергозатратними стаціонарними водоочисними установками переробляти весь обсяг води водойми, витрачаючи на це значні кошти.

Запобігати активному "цвітінню" води, тобто розмноженню в ній ціанобактерій, наразі можна виключно її швидкою водозаміною, та не завжди водогосподарства мають таку змогу просто через обмежені водні ресурси у спекотне засушливе літо. Втішним тут є лише той факт, що для наших кліматичних умов збіг трьох зазначених вище чинників активного "цвітіння" води не є тривалим у часі і доволі поширеним явищем, та все ж запобігати йому потрібно. Тому доречними та актуальними видаються дослідження, спрямовані на розроблення методів знезараження вод відкритих водойм, придатних для широкого виробничого застосування.

Мета дослідження – створення нового методу знезараження та аерації води, придатного для ефективної боротьби із заморами риби у відкритих біологічно забруднених, зокрема і ціанобактеріями, водоймах, розроблення конструктивних і технологічних схем високопродуктивного обладнання для його реалізації.

Об'єкт дослідження – технологічні операції водопідготовки та водоочиснення, вивчення кінематики впливу параметрів кавітаційних полів на мікроорганізми у водних субстанціях, їх життєдіяльність та репродуктивну здатність.

Предмет дослідження – промислове устаткування та дослідне обладнання для біологічного знезараження води, пристрої для збурення кавітації в рі-

¹ доц. Л.І. Шевчук, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

² асист. О.І. Строган, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

³ асист. І.З. Коваль, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка";

⁴ аспір. Т.С. Фалик – НУ "Львівська політехніка"

динах, гідродинаміка та енергетичні впливи параметрів кавітаційних полів на мікроорганізми.

Методика дослідження – мікроскопування зразків забрудненої води, рН-метрія для визначення рН води та водних розчинів, швидкісна відеозйомка для дослідження динаміки резонансної пружної підвіски, елементів приводу та збудувачів кавітації вібраційного кавітатора.

Аналіз попередніх досліджень. Враховуючи специфіку води риборозплідних господарств, яка полягає у малопродатності для її очищення від біологічного забруднення через небезпеку отруєння молоді риби хімічними методами водопідготовки, у пошуку ефективних шляхів запобігання "цвітінню" води, тобто активному розмноженню в ній ціанобактерій, перевагу потрібно віддати методам фізичного знезараження. Очевидно, що для ефективної боротьби із "цвітінням" води для риборозплідних господарств потрібні кардинально нові методи та пристрої знезаражувальної дії. При цьому, нові методи для їх втілення неодмінно повинні задовольняти такі вимоги:

- органічно поєднувати в собі високу ефективність інактивації шкідливої мікрофлори із незначною собівартістю водоочищення;
- відрізнятися простотою конструктивної будови та невибагливістю в експлуатації;
- бути безпечними в експлуатації для мешканців водойм та обслуговуючого персоналу;
- відрізнятися високою маневреністю і незалежністю від стаціонарних джерел живлення.

Із відомих фізичних методів інактивації шкідливої мікрофлори найбільшою мірою зазначеним вимогам на сьогодні відповідає кавітаційне оброблення води та водних розчинів [1, 2].

Виклад основного матеріалу. Певною мірою зазначеним вимогам відповідає зображений на рис. 1 автономний вібраційний кавітатор для інактивації ціанобактерій та аерації води відкритих водойм. Завдяки розташуванню на плавучій платформі кавітатор човном чи іншим плавучим засобом легко відтранспортувати на будь-яку забруднену ціанобактеріями ділянку водойми, де за допомогою прикріпленого до платформи якоря її надійно фіксують у потрібному місці. За всіх недоліків явища "цвітіння" води, тут все ж є один вагомий позитив – завдяки зміні кольору поверхневих прошарків забрудненої ціанобактеріями води, тобто її яскраво-зеленому відтінку, забруднені ділянки водойми доволі легко виявити неозброєним оком без будь-яких лабораторних досліджень та аналізів [3].

Намотана на бобіну линва якоря, при цьому, повинна надійно утримувати платформу в обраному місці, її довжина має перевершувати глибину водойми, а міцність забезпечувати надійну протидію сумарним навантаженням на платформу вітрів та течії.

На рис. 1 зображено твердотільну модель автономного вібраційного кавітатора для інактивації ціанобактерій та аерації води відкритих водойм. Для наочнішого відтворення конструктивних особливостей віброкавітатора твердотільну модель побудовано із зображенням четвертинного розрізу. Основними конструктивними елементами віброкавітатора є плавуча платформа 1, влашто-

вана на торовому пневмобалоні 2, електромагнітний вібратор 3, пневмокамера аерації повітря 4, пустотіла труба 5 подачі повітря у воду із закріпленими на ній збудувачами кавітації 6, автономний блок живлення 7, перетворювач 8 постійного струму в змінний із тиристорним регулюванням частоти змінної напруги, бобіна 9 із намотаною на неї кріпильною линвою та якорем.

Платформу 1 надійно закріплюють на пневмобалоні 2 і спільно вони формують основу конструкції плавучого автономного віброкавітатора. По центру платформи 2 виконано отвір, крізь який проходить пустотіла циліндрична труба 5, а над ним – влаштовано корпус електромагнітного вібратора 3. Всередині корпусу електромагнітного вібратора розміщений набраний із листового заліза статор, на осердя якого жорстко закріплено котушку обмотки приводу. Статор із котушкою обмотки формують електромагніт. До корпусу на пружних елементах із можливістю здійснення прямолінійних коливних рухів вздовж перпендикулярної рівню оброблюваної води осі прикріплено якір віброприводу.

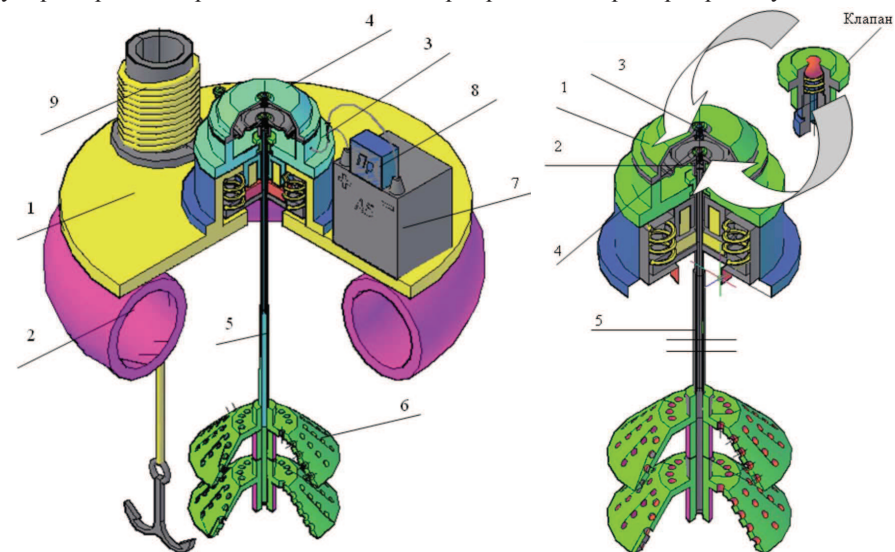


Рис. 1. Твердотільна модель автономного вібраційного кавітатора для інактивації ціанобактерій та аерації води відкритих водойм

Рис. 2. Електромагнітний вібратор із пневмокамерою аерації повітря автономного вібраційного кавітатора

До якоря вздовж його вертикальної осі жорстко прикріплено пустотілу циліндричну трубу 5, яка одним кінцем вільно пронизує осердя статора і центрується в корпусі віброприводу на підшипниках ковзання. Інший кінець труби 5 занурено в оброблювану воду. На зануреному у воду кінці пустотілої труби закріплено виготовлені у формі конічної поверхні збудувачі кавітації 6 із отворами для перетікання оброблюваної води, діаметр яких рівний амплітуді коливань якоря віброприводу.

На верхній частині корпусу електромагнітного вібратора розміщено пневмокамеру 4, за допомогою якої атмосферне повітря всмоктується всередину

пустотілої труби і подається у воду. Для кращої наочності твердотільну модель електромагнітного вібратора із пневмокамерою аерації повітря та конструкцією пневмоклапана зображено збільшеними на рис. 2. Основними конструктивними елементами пневмокамери аерації повітря є корпус 1 повітрязбірника, пружна мембрана 2, впускний 3 та впускний 4 клапани та жорстко з'єднана із коливним якорем віброприводу верхня частина пустотілої труби 5 подачі повітря.

Верхній кінець труби 5 жорстко з'єднано із пружною мембраною 2, яку герметично защемлено між корпусом віброприводу та корпусом 1 повітрязбірника. Замкнутий корпус 1 повітрязбірника з одного боку обмежено пружною мембраною 2, а з іншого в ньому розміщено кульковий впускний клапан 3 із з'єднанням з атмосферою конічним отвором, підпружиненою пружиною, розміщеною в конічному отворі кулькою та регулювальним гвинтом. Аналогічний впускний клапан 4 розміщено всередині корпусу 1 повітрязбірника над мембраною 2 і з'єднано із трубою 5. Отже, система подачі повітря включає встановлений на корпусі 1 повітрязбірника впускний клапан 3, мембрану 2 приводу коливних рухів, впускний клапан 4 та занурену в оброблювану воду пустотілу трубу 5. Її впускний клапан 3 з'єднано із атмосферою, впускний 4 – із трубою 5 і через її внутрішній отвір із оброблюваною водою [4].

Електроживлення на обмотку котушки (див. рис. 1) подається від встановленого на платформі 1 автономного блоку (АБ) живлення 7 (наприклад, потужного автомобільного акумулятора) із тиристорною схемою керування частотою живлення електромагніту та перетворювачем постійного струму на змінний (Пр), підзарядку якого періодично здійснюють або від стаціонарного зарядного пристрою, або від сонячної батареї (на рис. 1 не відображено). Для розміщення платформи 1 в належному для оброблення води місці водоюми слугує кріпильний якір, який утримується за дно водоюми, а в разі потреби за допомогою кріпильної линви, намотаної на бобіну 9, піднімається на платформу. Від потрапляння сторонніх предметів, намулу та бруду нижній кінець опущеної у воду труби 5 із конічними збурювачами кавітації 6 захищено захисною сіткою (на рис. 1 не відображено).

Робота автономного вібраційного кавітатора для знезараження та аерації води відкритих водойм здійснюється таким чином. При подачі напруги на обмотку котушки електромагніта намагнічується листове залізо статора і електромагніт, долаючи опір пружних елементів, притягує до статора якір електромагніта. Разом із якорем в напрямках підшипника ковзання переміщуються вгору жорстко з'єднані з якорем труба 5, конічні збурювачі кавітації 6, мембрана та впускний клапан (див. рис. 2). За від'ємного значення синусоїди перемінної напруги живлення обмотки котушки під дією сил пружності пружних елементів якір електромагніта відштовхується від статора і переміщується у крайнє нижнє положення. Як і при русі вгору, разом із якорем переміщуються жорстко з'єднані з ним труба 5, конічні збурювачі кавітації 6, мембрана та впускний клапан. При наступному циклі змінної напруги вказаний цикл зворотно-поступальних переміщень якоря повторюється знову, утворюючи двомасну коливну систему або т. зв. вібропривід.

Пружною системою, що з'єднує ці дві коливні маси, є пружні елементи 2, жорсткість яких для мінімальних енерговитрат розраховано на резонансний режим роботи. Частота коливань коливних мас віброприводу збігається із частотою змінної напруги живлення, а амплітуда коливань зумовлена співвідношенням коливних мас, зазором між якорем та статором віброприводу 3 та жорсткістю пружної системи. Амплітуду коливань робочої маси, куди входять і конічні збурювачі кавітації 6, призначають із діапазону 2,0-2,5 мм.

При цьому, при русі якоря і з'єднаної з ним труби 5 вниз, разом з ними в крайнє нижнє положення переміщується і прикріплена до труби 5 середня частина мембрани 2 повітрязбірника (див. рис. 2) Всередині корпусу 1 повітрязбірника утворюється розрідження, під дією якого через впускний кульковий клапан 3 в корпус 1 повітрязбірника із атмосфери всмоктується певна порція повітря. При русі якоря, труби 5 і мембрани 2 вгору підпружинена пружиною кулька впускного клапана 3 перекидає впускний отвір. Всередині корпусу 1 повітрязбірника утворюється надлишковий тиск, під дією якого повітря, долаючи опір клапанної пружини впускного клапана 4, переміщає кульку, відкриваючи цим самим впускний отвір клапана. Певна порція повітря проникає всередину впускного клапана, а з нього у внутрішню порожнину труби 5. Оскільки рекомендована частота коливань якоря віброприводу знаходиться в межах 50-100 Гц, із такою ж частотою в трубу 5 з атмосфери напompовується повітря, трансформуючись у направлений повітряний струмінь, який через трубу 5 запompовується в оброблювану воду в робочу зону, де розміщені конічні збурювачі кавітації.

Конічні збурювачі кавітації жорстко з'єднані із трубою 5 і її вертикальні коливання передаються їм. Гострі кромки отворів в конічній поверхні збурювачів кавітації із максимальною миттєвою швидкістю $V=(2\div 5)$ м/с перетинають потік оброблюваної води, збурюючи в ній кавітацію, яка супроводжується інтенсивним зародженням та подальшим схлопуванням у воді великої кількості кавітаційних мікробульбашок. Схлопування мікробульбашок супроводжується інтенсивним формуванням сферичних імпульсних ударних мікрохвиль, утворенням хімічно активних радикалів гідроксилу OH^\cdot та пероксиду водню, взаємодія яких із наявними у воді шкідливими мікроорганізмами призводить до втрати клітинами репродуктивної здатності, до їх руйнування. Під дією інтенсивного кавітаційного поля відбувається значне руйнування оболонки клітини, яка стає рихлою, втрачає чіткість контурів, між собою клітини немов би склеюються. При цьому проходить зміна структури цитоплазми клітини, внаслідок чого відбувається її дегенерація, яка супроводжується перетворенням осібних клітин у безформні скупчення. Адаже кавітаційний процес у рідинах супроводжується одночасним потрійним впливом на оброблюване середовище, а саме механічним, який проявляється імпульсними ударними хвилями, фізичним, якому притаманне миттєве формування у мікроскопічних об'ємах рідини потужних іскрових мікророзрядів та супроводжуваних їх магнітних полів, та хімічним, якому властиве, із-поміж інших проявів, утворення у водному середовищі хімічно активних радикалів OH^\cdot . Всі три прояви впливів, що супроводжують кавітацію, на воду

не є уособленими, а органічно поєднані між собою, що в підсумку і забезпечує синергетичний ефект впливу кавітаційного поля на оброблюване середовище. Тому, очевидно, і прояв кавітаційного впливу на воду багатогранний і не зрівняний із жодним з інших відомих фізичних чи хімічних впливів, і поряд із знезаражувальною дією проявляється у переструктуризації її молекулярного стану від неупорядкованого кластерного до мономолекулярного, наближаючи її до структури славнозвісної "живої" води. Адже відомо, що саме у мономолекулярному стані вода найкраще засвоюється живими організмами.

Продуктивність та якість знезаражувального оброблення води, при цьому, залежать від амплітуди та частоти коливань збурювачів кавітації b , їх площі, кількості і площі розміщених на них перепускних отворів, кількості поданого в зону оброблення повітрязбірником повітря, потужності електромагніту приводу та часу оброблення. Зміною цих параметрів і регулюють кількісні та якісні показники оброблення води, тобто ступеня її знезараження та аерації. Так, за амплітуди $A = 2$ мм, частоти $f = 50$ Гц коливань, площі кожного з двох збурювачів кавітації $S_k = 0,05\text{ м}^2$, площі кавітаційних отворів кожного з них $S_0 = 0,01\text{ м}^2$ щохвилини крізь них перепомпується приблизно 100 л води, забезпечуючи при цьому загальну продуктивність знезараження в межах $6\text{ м}^3/\text{год}$. За збільшенням тиристорною схемою керування частоти живлення електромагніту до 100 Гц вона зростає до 8-10 $\text{м}^3/\text{год}$.

Вібраційний кавітатор для знезараження та аерації води відкритих водойм, завдяки збуренню інтенсивного кавітаційного поля у супроводі активної подачі в зону оброблення води повітря, не тільки забезпечує її очищення від шкідливих мікроорганізмів, а і підвищення якості та споживчих властивостей води, сприяючи цим самим росту риби. Перспективними видаються і подальші ґрунтовніші дослідження можливостей застосування віброкавітатора і для водопідготовки переробних сільськогосподарських підприємств, де якість використаної води не менш вагомий за якість продуктів чинник і тільки вдале поєднання цих двох складників регламентує, у підсумку, високі споживчі властивості готового продукту.

Висновки. Забруднення ціанобактеріями відкритих водойм риборозплідних господарств може супроводжуватись не тільки економічними втратами від захворювань та літніх заморів риби, а і становить небезпеку для здоров'я людей. Враховуючи, що хімічні методи біологічного знезараження води через небезпеку затруєння риби тут малоприматні, спрямування у пошуку ефективних методів інактивації забрудненої ціанобактеріями води доречно здійснити в бік фізичних методів знешкодження патогенної мікрофлори води. Найбільш придатними для цього на сьогодні є кавітаційні методи знезараження води від біологічного забруднення, що підтверджено результатами лабораторних досліджень.

Автономний вібраційний кавітатор для інактивації ціанобактерій та аерації води відкритих водойм, завдяки незалежній і одночасній із коливаннями конічних збурювачів кавітації високопродуктивній подачі повітря в зону оброблення, забезпечує насичення оброблюваної води розчиненим повітрям та кис-

нем, мікропухирці яких не тільки постають зародками кавітації, а і здійснюють аерацію води.

Перевагами цього віброкавітатора для знезараження та аерації води, порівняно із відомими пристроями, є висока продуктивність, придатність для оброблення значних об'ємів води, зокрема і в автономному режимі на відкритих водоймах. Завдяки відсутності в запропонованому кавітаторі обертових та перетворювальних механізмів, а також завдяки наявності автономного обладнання для подачі в зону оброблення повітря, він не тільки надійніший та довговічніший від відомих, а і значно енергоощадніший, а отже, і економічніший.

Література

1. Вітенько Т.М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах : монографія / Т.М. Вітенько. – Тернопіль : Вид-во ТДТУ ім. Івана Пулюя, 2009. – 224 с.
2. Вітенько Т.М. Механізм та кінетичні закономірності інтенсифікуючої дії гідродинамічної кавітації у хіміко-технологічних процесах : дис. ... д-ра техн. наук / Т.М. Вітенько. – Львів, 2010. – 346 с.
3. Jyoti K.K. Effect of cavitation on chemical disinfection efficiency / K.K. Jyoti, A.B. Pandit // Wat. Res. – 2004 a. – Vol. 38. – Pp. 2249-2258.
4. Шевчук Л.І. Низькочастотні відрезонансні кавітатори : монографія / Л.І. Шевчук, І.С. Афтаназів, О.І. Строган, В.Л. Старчевський. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2013. – 147 с.

Надійшла до редакції 21.04.2016 р.

Шевчук Л.І., Строган О.І., Коваль І.З., Фалик Т.С. Віброкавітатор для обеззараживания воды открытых водоемов

Приведено описание конструктивного строения автономного вибрационного кавитатора для аэрации воды открытых водоемов и инактивации ее биологических загрязнений, в том числе и цианобактериями, которые провоцируют "цветение" воды. Его основными элементами являются установленная на пневмобаллоне платформа с виброкавитатором и пневмокамерой и погруженные в воду возмущители кавитации. Производительность очистки загрязненной воды – 100÷150 м^2 водной глади мелководья за 8÷10 часов работы от автономного источника питания. Устройство высокопроизводительное, маневренное, пригодное для эффективной борьбы с заморами рыбы в открытых биологически загрязненных, в том числе и цитобактериями, водоемах, не зависящий от стационарных источников питания.

Ключевые слова: вода, биологическое загрязнение, кавитация, электромагнит, пневмобаллон, платформа.

Shevchuk L.I., Strogan O.I., Koval I.Z., Falyk T.S. Vibrocavitator for Water Disinfection of Opened Reservoirs

The description of the constructive structure of autonomous vibratory cavitator for water aeration of reservoirs and inactivation of its biological contaminants, including cyanobacteria, which cause water blooms has been presented. Its main elements are the platform mounted on an air cylinder with vibrocavitator and air chamber, and cavitation breaker immersed into the water. The productivity cleaning of contaminated water is 100÷150 m^2 of shallow stretch of the water for 8÷10 hours of autonomous power source. The device is considered to be high-performance, manevrenen, and suitable for effectively combating fish kills in open biologically contaminated, including Citrobacter, reservoirs, independent of stationary power sources.

Keywords: water, biological contamination, cavitation, electromagnet, air cylinder, platform.