



УДК 534.14

А. А. Вьюгинова

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Ультразвуковой комплекс для борьбы с водорослевой флорой в открытых водоемах

Рассматривается возможность применения ультразвуковых технологий для обезвреживания и контроля роста водорослевой флоры: цианобактерий (сине-зеленых водорослей), зеленых водорослей и водорослевой пленки в различных естественных и искусственных водоемах. Предлагаемый интеллектуальный ультразвуковой комплекс для обезвреживания водорослевой флоры состоит из двух частей: первая представляет собой транспортируемую емкость, внутри которой размещается оригинальное многоканальное ультразвуковое оборудование, обеспечивающее высокоэффективную обработку водной среды в диапазоне частот 20...100 кГц, и аппаратура для телеметрического контроля ультразвукового оборудования и мониторинга состояния водной и воздушной среды; вторая – береговой комплекс управления и мониторинга, позволяющий оптимизировать и повысить эффективность ультразвуковой обработки водоемов в каждом конкретном случае, обеспечивая экологически чистый способ обезвреживания водорослевой флоры, абсолютно безопасный для рыб, водоплавающих птиц и человека.

Сине-зеленые водоросли, цианобактерии, токсины, водоросли, цветение водорослей, водорослевая пленка, ультразвук

Цветение цианобактерий (сине-зеленых водорослей) и формирование водорослевой пленки на водной поверхности в естественных и искусственных водоемах являются серьезными проблемами. Токсины цветущей водорослевой флоры ядовиты для растений, микроорганизмов, рыб, представляют потенциальную опасность для человека и являются канцерогенами. Водорослевая пленка загрязняет водоемы, затрудняя или делая невозможным их использование в хозяйственных целях [1]–[5].

Многочисленные исследования по ультразвуковому (УЗ) воздействию на различные виды водорослей подтверждают, что ультразвук способен не только разрушать сине-зеленые водоросли, значительную часть зеленых водорослей, предотвращать рост различных видов водорослевой флоры, но и способен разрушать выделяемые ею токсины [6]–[10].

Предлагаемый интеллектуальный УЗ-комплекс для обезвреживания водорослевой флоры состоит из двух частей: первая представляет собой транспортируемую емкость, внутри которой размещается оригинальное многоканальное УЗ-оборудование,

обеспечивающее высокоэффективную обработку водной среды в диапазоне частот 20...100 кГц, и аппаратура для телеметрического контроля УЗ-оборудования и мониторинга состояния водной и воздушной среды, вторая – береговой комплекс управления и мониторинга.

Преимущества УЗ-обезвреживания водорослей: экологическая чистота и отсутствие расходных материалов; невысокое энергопотребление и простота эксплуатации; безопасность для любых более крупных организмов и человека.

Предлагаемый УЗ-комплекс успешно применяется для обезвреживания и контроля роста водорослевой флоры в различных естественных (озерах) и искусственных водоемах – резервуарах, прудах, бассейнах, используемых для нужд коммунального хозяйства, промышленности, сельского хозяйства, рекреационной отрасли, снижая или исключая использование химических веществ для обработки воды, продлевая срок службы фильтров, значительно увеличивая сервисные интервалы водоочистительного оборудования.

Для обоснованного применения метода УЗ-обезвреживания водорослевой флоры в различных водоемах, имеющих свои специфические особенности, должна быть возможность учета различных параметров среды, таких как температура, рН, а в дальнейшем концентрации хлорофилла и фикоцианина, возможно, количество растворенного кислорода и др., до, после и во время обработки. Должны быть оптимизированы параметры УЗ-воздействия: частота, интенсивность и время, для того чтобы обеспечить обезвреживание водорослевой флоры за минимально возможное время в промышленных масштабах. Предлагаемый комплекс способен решить данные задачи.

Большая часть исследований по данному вопросу описывает результаты, полученные в лабораторных условиях, а полноценных научных исследований метода УЗ-обезвреживания водорослевой флоры в природных условиях было проведено всего несколько, и они не могут претендовать на всеобъемлющий характер. Результатом разработки также станет возможность реализации таких исследований. В настоящий момент известны следующие механизмы возможного воздействия ультразвука на цианобактерии (сине-зеленые водоросли) и зеленые водоросли [6], [10]:

– повреждение газовых пузырьков цианобактерий (при этом повреждения происходят внутри клетки, не нарушается целостность ее внешней стенки);

– повреждение мембраны сократительной вакуоли зеленых водорослей;

– предотвращение образования водорослевой пленки за счет того, что наличие распространяющихся УЗ-колебаний в воде воспринимается анаэробными бактериями, которые формируют базовый слой водорослевой пленки, как наличие турбулентности в воде, а в турбулентной воде этот тип бактерий предпочитает не образовывать колоний.

В табл. 1 приведено краткое техническое описание предлагаемого УЗ-оборудования с указанием функций и конструкторской реализации.

На рис. 1 представлены внешний вид и внутренняя конструкция плавучей части комплекса. В общей пластиковой емкости расположены: ультразвуковой генератор, предназначенный для питания 6 излучателей; аккумулятор на 100 А · ч, обеспечивающий автономное питание транспортируемой части комплекса; балластная емкость, снабженная системой закачивания и выкачивания воды для обеспечения переменной плавучести всей системы. Для контроля состояния воды используется система датчиков, полученные данные измерений температуры и рН воды передаются посредством телеметрического комплекса к береговой части комплекса, который позволяет как управлять транспортируемой его частью, так и осуществлять мониторинг измерений в реальном времени.

Таблица 1

№ п/п	Показатель	Содержание
1	Наименование	Интеллектуальный УЗ-комплекс для обезвреживания водорослевой флоры в открытых водоемах
2	Назначение	Обезвреживание водорослевой флоры
3	Основные технические характеристики	Требования к условиям эксплуатации: – работа на водных объектах; – работа в теплый период года круглосуточно; – диапазон рабочих температур: 5...50 °С; – обслуживающий персонал – 2 человека (руководитель работ и оператор); – напряжения питания, постоянный ток: 12 В; – диапазон рабочих частот: 20...100 кГц; – количество каналов излучения: 6; – выходная электрическая мощность УЗ-оборудования: до 300 Вт
4	Состав ультразвукового оборудования	УЗ-оборудование состоит: – из плавающей транспортируемой пластиковой емкости с размещенной в ней аппаратурой; – берегового комплекса управления. Конструкция плавающей емкости обеспечивает переменную плавучесть системы, повышающую эффективность обработки водной среды. Телеметрический комплекс обеспечивает удаленный мониторинг работы УЗ-оборудования, температуры и рН воды. Транспортируемая часть комплекса оснащается системой автономного питания, способной обеспечить работу оборудования в течение не менее 3 ч
5	Перечень функций и технологических операций	Основное назначение – обезвреживание водорослевой флоры в открытых водоемах при помощи УЗ-воздействия

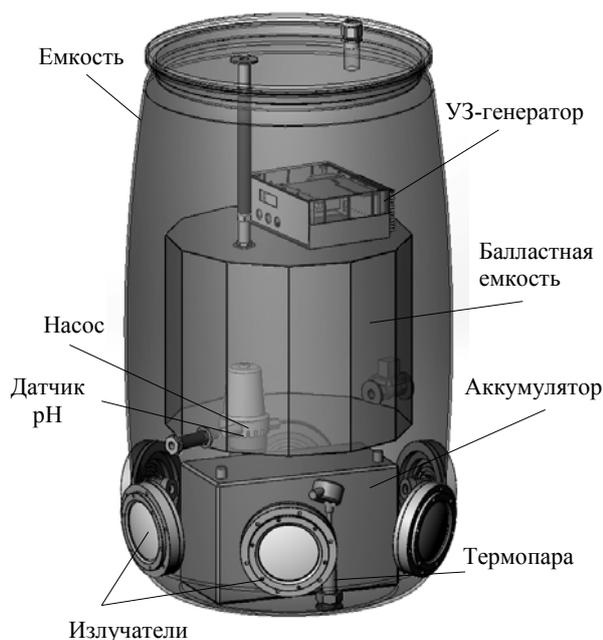


Рис. 1

Уникальность разрабатываемого комплекса, как уже было отмечено, в т. ч. заключается в высокоэффективной ультразвуковой излучающей системе, которая сможет обеспечить эффективную работу системы в широком диапазоне частот: от 20 до 100 кГц, в то время как классические пьезоэлектрические преобразователи не способны обеспечить это. Одновременно большая эффективность обработки водной среды достигается за счет переменной плавучести транспортируемой части комплекса – на данное техническое решение была подана заявка на патент РФ на полезную модель.

Оригинальный ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь был спроектирован и изготовлен. Задачей экспериментального исследования было подтверждение соответствия характеристик, полученных в результате моделирования, с реальными характеристиками устройства.



Рис. 3

Было подтверждено, что разработанный ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь оригинальной конструкции имеет амплитудно-частотную характеристику (рис. 2), которая позволит реализовать селективное эффективное возбуждение УЗ-колебаний на 6 дискретных частотах в диапазоне 20...100 кГц. Внешний вид преобразователя представлен на рис. 3.

На рис. 4 также представлен внешний вид интерфейса программного обеспечения берегового комплекса, разработанного в среде MasterSCADA.

Технические характеристики используемого УЗ-генератора (ЗАО «УТ – ИНЛАБ») приведены в табл. 2, внешний вид ультразвукового генератора представлен на рис. 5.

Таблица 2

Параметр	Значение
Диапазон рабочих частот, кГц	$(20 \dots 100) \pm 10 \%$
Длина кабеля подключения питания, не более, м	3
Потребляемая мощность, не более, Вт	500
Габаритные размеры, не более, мм	220 × 200 × 90
Масса, не более, кг	4

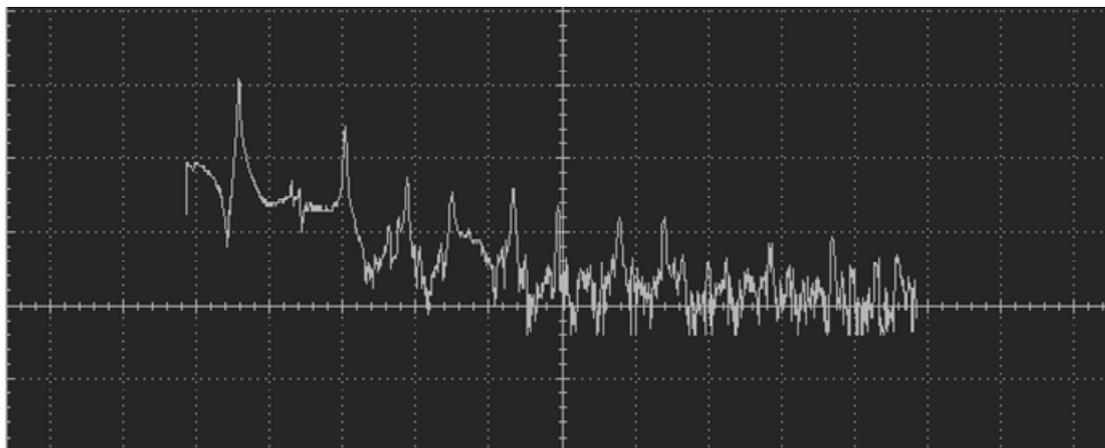


Рис. 2



Рис. 4



Рис. 5

Для измерения рН используется прибор производства компании «Бюркерт», технические характеристики которого приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметр	Значение
Диапазон измерений	pH = 0...14
Погрешность измерений	pH = ±0.05
Выходной сигнал	4...20 мА
Температура окружающей среды	-10...+60 °С
Относительная влажность	≤85 %

Для измерения температуры используется датчик производства компании «Овен», технические характеристики которого приведены в табл. 4.

Таблица 4

Параметр	Значение
Диапазон измерений	-50...+180 °С
Класс допуска	В, С
Показатель тепловой инерции, не более, с	30
Средний срок службы, не менее, лет	8

Задача обезвреживания и контроля роста водорослевой флоры, уничтожения цианобактерий и их токсинов решается во всех странах всех регионов мира. Судя по имеющимся публикациям, большой интерес к технологии УЗ-обработки водоемов проявляет КНР. Согласно статистике Федерального агентства водных ресурсов на территории России расположено около 2.7 млн озер, кроме того, сотни крупных и средних водохранилищ, огромное количество небольших прудов. Проблема цветения водорослей и заражения воды токсинами цианобактерий в естественных и искусственных водоемах существует в целом ряде регионов России. Предлагаемый УЗ-комплекс может быть успешно применен для решения данных проблем.

Техническими преимуществами предлагаемого комплекса являются: большая мощность излучения – 6 каналов по 50 Вт (суммарная до 300 Вт), большая эффективность излучения на разных частотах в диапазоне от 20 до 100 кГц за счет оригинальной конструкции УЗ-излучателей, большая эффективность обработки водной среды за счет переменной плавучести транспортируемой части комплекса (заявка на патент 2017129044 от 14.08.2017 г.). Все это позволит сократить время обработки, необходимое для достижения результата по обезвреживанию водорослей, и увеличить радиус действия оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Falconer I. R. An Overview of problems caused by toxic blue-green algae (cyanobacteria) in drinking and recreational water // *Environmental toxicology*. 1999. Vol. 14, № 1. P. 5–12.
2. Дёмин Ф. П. Водохозяйственный комплекс России: понятие, состояние, проблемы // *Водные ресурсы*. 2010. Т. 37, № 5. С. 617–632.
3. Microcystins in Cyanobacterial Biofilms from the Littoral Zone of Lake Baikal / O. I. Belykh, G. A. Fedorova, A. V. Kuzmin, I. V. Tikhonova, O. A. Timoshkin, E. G. Sorokovikova // *Vestnik Moskovskogo Universiteta*. 2017. Vol. 72, № 4. P. 225–231.
4. Co-Occurrence of Microcystins and Taste-and-Odor Compounds in Drinking Water Source and Their Removal in a Full-Scale Drinking Water Treatment Plant / L. Shang, M. Feng, X. Xu, F. Liu, F. Ke, W. Li // *Toxins*. 2018. Vol. 10, № 1. P. 26.
5. Liu J., Zhou X., Shi H. An optical biosensor-based quantification of microcystin synthetase A gene: Early warning of toxic cyanobacterial blooming // *Analytical Chemistry*. 2018. Vol. 90, № 3. P. 2362–2368.
6. Wu X., Joyce E. M., Mason T. J. The effects of ultrasound on cyanobacteria // *Harmful algae*. 2011. Vol. 10, № 6. P. 738–743.
7. Decreasing microorganisms in fluids using ultrasonic wave technologies / Armstrong et al: пат. № US20160356122 A1 США. Baker Hughes Inc. US 15/170238; заявл. 02.06.15; опубл. 08.12.16. 5 с.
8. Duan Z., Tan X., Li N. Ultrasonic selectivity on depressing photosynthesis of cyanobacteria and green algae probed by chlorophyll-a fluorescence transient // *Water science and technology*. 2017. Vol. 76 (7–8). P. 2085–2094.
9. Ultrasonic Characteristics and Cellular Properties of Anabaena Gas Vesicles / Y. Yang, Z. Qiu, X. Hou, L. Sun // *Ultrasound in medicine and biology*. 2017. Vol. 43, № 12. P. 2862–2870.
10. Многопрофильные натурные и лабораторные эксперименты по оценке работоспособности и экологической безопасности ультразвука при регуляции цветения цианобактерий / В. В. Румянцев, Ш. Р. Поздняков, В. Н. Рыбакин, Н. Ю. Григорьева, И. В. Рудский, Е. Ю. Киселев, А. Н. Коровин // *Ученые записки российского гос. гидрометеорологического ун-та*. 2017. № 46. С. 118–133.

A. A. Vjuginova

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

ULTRASONIC COMPLEX FOR ALGAE CONTROL OF WATER RESERVOIRS

Possibility of ultrasonic technologies applying for inactivation and control of algal flora: cyanobacteria (blue-green algae), green algae and algal film in different natural and artificial water reservoirs is considered. Proposed intelligent ultrasonic complex for inactivation of algal flora in water reservoirs consists of two parts: the first is transportable tank with installed original multi-channel ultrasonic equipment, which provides high-effective treatment of water in frequency range from 20 to 100 kHz, and apparatus for telemetry control of ultrasonic equipment and monitoring of water and air condition. The second part is stationary system of control and monitoring. This complex will allow optimization and increasing of efficiency for ultrasonic treatment of water reservoirs in specific cases providing ecologically and environmental friendly method on algal flora inactivation which is absolutely safety for fishes, birds and human.

Blue-green algae, cyanobacteria, toxins, algae, algal blossom, algal film, ultrasound