DOI: 10.12731/2227-930X-2018-2-91-104

УДК 628.35

КОМПЛЕКСНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБОРОТНЫХ СИСТЕМ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЭК

Дубровская О.Г., Жмаков Е.В.

В работе рассмотрены методы деkontаминации биологических загрязнителей сточных вод предприятий ТЭК. Эффективная очистка сточных вод с целью их повторного использования в оборотных системах водопользования является одной из актуальных проблем современности. Большие объемы водопотребления и водоотведения предприятиями теплоэнергетического промышленного комплекса диктуют необходимость внедрения ресурсосберегающих, экологически безопасных и экономически целесообразных технологий оборотного водопользования на данных производствах. Основными гидротехническими сооружениями, предназначенными для накопления, охлаждения и частичной биологической очистки сточных вод ТЭК, являются биологические пруды. Вода, подаваемая из прудов-охладителей на дальнейшую очистку с целью повторного применения, не соответствует требованиям, предъявляемым к воде технического назначения. В статье рассмотрены проблемы и пути решения повышения эффективности функционирования оборотной системы в целом на основе процессов интенсификации биологической очистки сточных вод и ингибирования биообрастаний в системах трубопроводов. Представлены результаты лабораторных исследований, обосновано применение химического ингибитора на основе перекиси водорода, приведены основные расчетные параметры режимов кавитационной обработки воды и концентраций ингибитора.

Цель – повышение качества очистки сточных вод предприятий теплоэнергетического комплекса, повышение общей эффективно-

сти функционирования оборотных систем при использовании химического ингибитора, и внедрении кавитационных технологий, а также снижение экологического риска от сброса сточных вод в водные объекты.

Метод и методология проведения работы: в исследовании использовалась методика высева микроорганизмов в среде Тамия, а также была применена методика прямого подсчёта количества клеток микроорганизмов на камерах Горяева.

Результаты: получены высокие показатели эффективности интенсификации биологической очистки сточных вод предприятий ТЭК – 86,49% и определена релаксация и вторичная контаминация микроорганизмов – 6,58% и рассчитан период пролонгации обеззараживания трубопроводов – 30 суток при однократной обработке ингибитором.

Область применения результатов: полученные результаты целесообразно применять на теплоэнергетических комплексах, а также других предприятиях имеющих оборотную систему водопользования.

Ключевые слова: методы биологической очистки; биологические пруды; кавитационная обработка; биополлютанты; химический ингибитор.

COMPLEX METHODS OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF WORKING WATER USE SYSTEMS OF ENTERPRISES OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX

Dubrovskaya O.G., Zhmakov E.V.

The methods of decontamination of biological pollutants of sewage of enterprises of the fuel and energy complex are considered. Effective wastewater treatment with a view to their re-use in circulating water use systems is one of the topical problems of our time. Large volumes of water consumption and water disposal by enterprises of the heat and power

industrial complex dictate the necessity of introducing resource-saving, environmentally safe and economically viable technologies for recycling water use in these industries. Wastewater treatment is one of the topical problems of our time. The main hydraulic structures intended for the accumulation, cooling and partial biological treatment of waste water of the FEC are biological ponds. The water supplied from the pond-coolers for further purification for the purpose of repeated use does not meet the requirements for water for technical purposes. In the article problems and ways of the decision of increase of efficiency of functioning of circulating system as a whole are considered on the basis of processes of an intensification of biological sewage treatment and inhibition of biofouling in systems of pipelines. The results of laboratory studies are presented, the use of a chemical inhibitor based on hydrogen peroxide is substantiated, the main design parameters of cavitation treatment of water and inhibitor concentrations are given.

Purpose: *Improving the quality of wastewater treatment at thermal power plants, increasing the overall efficiency of circulating systems using a chemical inhibitor, and introducing cavitation technologies, as well as reducing the environmental risk from wastewater discharge into water bodies.*

Results: *High rates of efficiency of intensification of biological wastewater treatment at TEK enterprises – 86.49%, relaxation and secondary contamination of microorganisms – 6.58%, and a prolongation period for disinfection of pipelines were calculated – 30 days with a single inhibitor treatment.*

Methodology: *in the article the technique of sowing of microorganisms in the Tamiya medium was used, and also the technique of direct counting of the number of cells of biofouling on Goryaev's chambers was applied.*

Practical implications: *the results obtained are advisable to be applied to heat and power complexes, as well as other enterprises having a circulating water use system.*

Keywords: *methods of biological treatment; biological ponds; cavitation treatment; bioproducts; chemical inhibitor.*

Введение

В настоящее время большое внимание уделяется охране чистоты водоемов и водотоков. Очистка сточных вод является одной из актуальных проблем современности. Среди многочисленных методов и способов очистки сточных вод наиболее приемлемыми, как показал анализ литературы, являются биологические или химико-биологические методы очистки сточных вод.

Основными гидротехническими сооружениями, предназначенными для накопления, охлаждения и частичной биоочистки сточных вод ТЭК, являются биологические пруды. В связи с тем, что пруды-охладители относятся к открытым гидросооружениям, очевидными проблемами являются такие как: большие естественные уносы воды с площади открытого зеркала водоёма, что приводит к большей концентрированности загрязнителей и снижению эффективности очистки. Помимо этого требуется большой землеотвод, как под границы сооружения, так и под обязательные зоны санитарной охраны. Требуется постоянный контроль температурного режима работы биопрудов [4]. К выше обозначенным проблемам следует добавить необходимость постоянного мониторинга гидроизоляции дна для исключения возможности заражения грунтов и подземных водоносных горизонтов.

Как правило, вода, подаваемая из прудов-охладителей на дальнейшую очистку с целью повторного применения, не соответствует требованиям, предъявляемым к воде технического назначения. Следовательно, стоит задача перехода на более компактные и эффективные локальные очистные сооружения или, при отсутствии такой возможности, модернизации и интенсификации биоочистки в имеющихся гидросооружениях [5].

Значительной проблемой кондиционирования стока ТЭК, имеющего высокую температуру, являются биополлютанты. Биологические загрязнения представляют собой различные микроорганизмы: дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные. Данные микроорганизмы способны оказывать вред как экологической среде так и инженер-

ным сооружениям. При анализе схемы водоочистки, выявлена зависимость снижения активности ила в биопрудах от концентрации биополлютантов. Обнаружен эффект вспухания и дезактивации активного ила вследствие угнетения биоценоза биополлютантами и их продуктами метаболизма – нейротоксическими ядами. Так при содержании 1200–1500 клеток *Oscillatoria putrida* в 1 дм³ сточной воды, поступающей в биопруд, снижение эффекта биологической очистки наблюдалось на 20%. Помимо этого, клетки *Oscillatoria putrida*, объединяясь общей слизистой пленкой, образуют мощные скопления на внутренних стенках инженерных сооружений. Более того, цианобактерии выделяют в процессе жизнедеятельности сильнейшие нейротоксические яды, которые невозможно инактивировать при условии кондиционирования сточной воды с применением типовых методов очистки [8].

Материалы и методы

С целью определения качественного и количественного состава биополлютантов в исследовании использовалась методика высевки микроорганизмов в среде Тамия, метод окрашивания по Грамму, а также была применена методика прямого подсчёта количества клеток микроорганизмов на камерах Горяева.

Результаты исследования и их обсуждение

Интенсифицировать работу естественных очистных сооружений – биопрудов возможно внедрением предварительного узла кавитационной обработки. Такое техническое решение позволяет увеличить кислородонасыщение, перевести трудноокисляемые органические вещества в легкоокисляемые и, как следствие, повысить общую эффективность очистки. Суть гидродинамического воздействия может быть сведена к действию двух механизмов: распространению ударных волн вблизи схлопывающегося кавитационного микропузырька и ударному воздействию кумулятивных микроструек при несимметричном коллапсе кавитационных микропузырьков. Дело в том, что непосредственно в зоне кавитационного воздей-

ствия создаются коротко живущие парогазовые микросферы, которые появляются в момент локального снижения давления в воде и затем схлопываются. На эффективность кавитации не влияет ни мутность, ни солевой состав обрабатываемой воды, ни цветность.

Для образования различных каверн можно использовать различные твердые тела с острыми выходящими кромками, жидкие и газовые струи, выдуваемые через сопло навстречу потоку, или их комбинации.

В лаборатории инженерно-строительного института сибирского федерального университета был проведен качественный и количественный анализ биообрастаний системы предприятий ТЭК.

Таблица 1.

**Качественный и количественный анализ биополлютантов
системы предприятия ТЭК**

№ п/п	Классификационная принадлежность	Количество клеток в 1000 мл
1	Stephanodiscus astraea	800
2	Oscillatoria putrida	1090
3	Melozira granulate	654
4	Anabaena	2763
5	E-coli	727

При различных режимах исследования влияния кавитационной обработки на микроорганизмы сточных вод, наиболее эффективным является режим кавитационной обработки при 6000 об/мин длительностью 180 секунд.

Таблица 2.

**Качественный и количественный анализ обработанной сточной воды
на кавитационной установке при 6000 об/мин 180 секунд**

№ п/п	Классификационная принадлежность	Количество в 1000 мл
1	Stephanodiscus astraea	218
2	Oscillatoria putrida	145
3	Melozira granulate	75
4	Anabaena	291
5	E-coli	0

Тем самым, кавитационная обработка позволяет повысить эффективность очистки с 45–50% при традиционном способе, до 86,49%. После высева микроорганизмов, прошедших кавитационную обработку, на питательной среде Тамия, эффект релаксации не превышает 6,58% в течение 14 суток. Исходя из эффекта релаксации суммарный пролонгированный эффект обеззараживания составляет 30 суток (Рис. 1, Рис. 2).

Рис. 1. Эффективность деконтаминации биополлютантов при кавитационной обработке

Второй не менее важной проблемой функционирования оборотных систем водопользования предприятий, является биообрастание трубопроводов за счет отсутствия пролонгирующего эффекта обеззараживания при использовании традиционных методов очистки. Тем самым, биообрастание труб приводит к вторичному

загрязнению очищенных вод циркулирующих в оборотных системах. Повышенный уровень микрофлоры в системах оборотного водоснабжения может привести к биокоррозии и, как следствие, к разрушению систем и конструкций. Поэтому было предложено техническое решение по обработке оборотной воды биоцидами – веществами, подавляющими жизнедеятельность микроорганизмов. В связи с этим были проведены исследования степени влияния окисляющего биоцида ВС-455 на основе перекиси водорода. В процессе экспериментальных исследований была подобрана оптимальная доза ингибитора и рассчитана кратность обработки, а также расчетным методом определен максимальный эффект пролонгации дезинфицирующего действия.

Рис. 2. Сравнительный анализ роста микрофлоры на питательной среде Тамия:
а) – микрофлора исходной воды; б) – микрофлора воды,
прошедшей кавитационную обработку

Эффективность обеззараживания при добавлении ВС-455 не превышает 43,7%. Однако, наблюдение длительной иннактивации микроорганизмов с их последующей невозможностью размножения, является преимущественным свойством при использовании данного метода в целях деконтаминации вторичных биополлютантов в трубопроводах. Оптимальная дозировка биоцида ВС-455 при однократном применении в течение одного периода релаксации биополлютантов составляет 5 мг/дм^3 , при повторной обработке – $2,55 \text{ мг/дм}^3$.

Заключение

При выборе технологической компоновки систем обеззараживания нужно проанализировать техническую возможность реконструкции биопруда. Так, при целесообразности внедрения оборудования интенсификации биоокисления наиболее выгодным становится кавитационная обработка, но с целью обеспечения надежности и эффективности всей оборотной системы водопользования следует использовать комплексное техническое решение с компоновкой системы подачи химического ингибитора ВС-455 в трубопроводы и внедрением узла кавитационной обработки перед гидросооружением – биопрудом.

Список литературы

1. Гривцева О.А., Субботина Ю.М. Биологическая очистка сточных вод //Актуальные вопросы охраны окружающей среды и обеспечения экологической безопасности: материалы студ. науч.-практ. конф. по результатам учебных и производственных практик. М.: Издательство РГСУ, 2009. С. 19–27.
2. Сошенко М.В., Донцова О.С. Современные проблемы очистки сточных вод текстильных предприятий первичной обработки шерсти // Вопросы охраны труда и окружающей среды: сб. студенческих статей. Вып. 5. М.: Издательство РГСУ, 2011. 315 с.
3. Субботина Ю.М. Рыбоводно-биологические пруды в практике очистки животноводческих стоков и выращивания рыбопосадочного материала // Актуальные проблемы экологии и безопасности жизнедеятельности: материалы годичных научных чтений. М.: РГСУ, 2008. С. 171–189.
4. Смирнова И.Р. Теоретическое обоснование, усовершенствование и разработка мероприятий, направленных на оптимизацию технологий естественной биологической очистки сточных вод с возможностью их использования на орошение и рыбозаведение: автореф. М., 1997. 48 с.
5. Дубровская О.Г. Ресурсосберегающие технологии обезвреживания и утилизации отходов предприятий теплоэнергетического

- комплекса Красноярского края: монография / О.Г. Дубровская, Л.В. Приймак, И.В. Андруняк. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. 164 с.
6. Дубровская О.Г. Проблемы очистки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты в оборотных системах замкнутых циклов водопользования, и пути их решения/Дубровская О.Г., Евстигнеев В.В., Кулагин В.А. // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2013. Т. 6. № 6. С. 680–688.
 7. Жмаков Е.В. Снижение экологических нагрузок на водные объекты северных территорий за счет интенсификации процессов очистки сточных вод / Е.В. Жмаков // Строительство и Архитектура – формирование среды жизнедеятельности. Ачинск, 2016. С. 137–140.
 8. Дубровская О.Г. Разработка замкнутых систем водоочистки предприятий нефтегазодобычи как основа экологической безопасности региона / Дубровская О.Г., Харченко Т.И., Эльдарзаде Э.А., Жмаков Е.В. // Сборник трудов V Международной мультидисциплинарной научно-практической конференции «Современное состояние науки и техники» и Международного мультидисциплинарного молодежного форума «Молодежь: наука и техника» / Сочи, 2017. С. 73–80.
 9. McLeod M.P., Eltis L.D. Genomic insights into the aerobic pathways for degradation of organic pollutants. Microbial degradation: genomics and molecular biology. In E. Diaz (ed). Caster Academic Press, Norfolk, United Kingdom. 2008, pp. 1–23.
 10. Michael H. Gerardi. Wastewater Bacteria, published by John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2006, 267 p.
 11. Dasgupta M., Yildiz Y. Assessment of Biochemical Oxygen Demand as Indicator of Organic Load in Waste waters of Morris County, New Jersey, USA. Journal of Environmental & Analytical Toxicology, 2016.
 12. Guo H., Yu S., Li L., Zhao D., You F. Mechanisms of chemical cleaning of ion exchange membranes: a case study of plant-scale electrodialysis for oily wastewater treatment // Journal of Membrane Science, 2015, T. 496, pp. 310–317.

13. Hua F.L., Tsang Y.F., Wang Y.J., Chan S.Y., Chua H., Sin S.N. Performance study of ceramic microfiltration membrane for oily wastewater treatment // *Chemical Engineering Journal*. 2007. Т. 128. № 2–3, pp. 169–175.
14. Salu O.A., Adams M., Robertson P.K.J., McCullagh C., Wong L.S. Remediation of oily wastewater from an interceptor tank using a novel photocatalytic drum reactor // *Desalination and Water Treatment*. 2011. Т. 26. № 1–3, pp. 87–91.
15. Li X., Ang W.L., Liu Y., Chung T.-S. Engineering design of outer-selective tribore hollow fiber membranes for forward osmosis and oil-water separation // *AIChE Journal*. 2015. Т. 61. No 12, pp. 4491–4501.
16. Peng H., Tremblay A.Y. Membrane regeneration and filtration modeling in treating oily wastewaters // *Journal of Membrane Science*. 2008. Т. 324. No 1–2, pp. 59–66.

References

1. Grivtseva O.A., Subbotina Y.M. Biologicheskaya ochistka stochnykh vod [Biological sewage treatment]. *Aktual'nye voprosy okhrany okruzhayushchey sredy i obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti: materialy stud. nauch.-prakt. konf. po rezul'tatam uchebnykh i proizvodstvennykh praktik* [Topical issues of environmental protection and ensuring ecological safety: materials of students of a scientific and practical conference on results educational and work practice]. М.: RGSU publishing house, 2009, pp. 19–27.
2. Soshenko M.V., Dontsova O.S. Sovremennye problemy ochistki stochnykh vod tekstil'nykh predpriyatiy pervichnoy obrabotki shersti [Modern problems of sewage treatment of the textile enterprises of pre-processing of wool]. *Voprosy okhrany truda i okruzhayushchey sredy: sb. studencheskikh statey* [Questions of labor and environmental protection: student's articles]. Issue 5. М.: RGSU publishing house, 2011. 315 p.
3. Subbotina Y.M. Rybovodno-biologicheskie prudy v praktike ochistki zhivotnovodcheskikh stokov i vyrashchivaniya ryboposadochnogo materiala [Fish-breeding and biological ponds in practice of clean-

- ing of livestock drains and cultivation of a fish stock]. *Aktual'nye problemy ekologii i bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti: materialy godichnykh nauchnykh chteniy* [Current problems of ecology and health and safety: materials of year scientific readings]. M.: RGSU, 2008, pp. 171–189.
4. Smirnova I.R. *Teoreticheskoe obosnovanie, usovershenstvovanie i razrabotka meropriyatiy, napravlennykh na optimizatsiyu tekhnologiy estvennoy biologicheskoy ochistki stochnykh vod s vozmozhnost'yu ikh ispol'zovaniya na oroshenie i ryborazvedenie* [Theoretical justification, improvement and development of the actions directed to optimization of technologies of natural biological sewage treatment with a possibility of their use on irrigation and fish farming]. M., 1997. 48 p.
 5. Dubrovskaya O.G., Priymak L.V., Andrunyak I.V. *Resursosberegayushchie tekhnologii obezvrezhivaniya i utilizatsii otkhodov predpriyatiy teploenergeticheskogo kompleksa Krasnoyarskogo kraya* [Resource-saving technologies of neutralization and recycling of the enterprises of a heat power complex of Krasnoyarsk Krai]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2014. 164 p.
 6. Dubrovskaya O.G., Yevstigneyev V.V., Kulagin V.A. Problemy ochistki stochnykh vod, soderzhashchikh emul'girovannyye nefteprodukty v oborotnykh sistemakh zamknytykh tsiklov vodopol'zovaniya, i puti ikh resheniya [Problems of sewage treatment, containing the emulsified oil products in the reverse systems of the closed water use cycles, and a way of their decision]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii* [Magazine of Siberian Federal University. Series: Equipment and technologies]. 2013. V. 6. No. 6, pp. 680–688.
 7. Zhmakov E.V. Snizhenie ekologicheskikh nagruzok na vodnye ob'ekty severnykh territoriy za schet intensivifikatsii protsessov ochistki stochnykh vod [Decrease in environmental pressures on water objects of northern territories at the expense of an intensification of processes of sewage treatment]. *Stroitel'stvo i Arkhitektura – formirovanie sredy zhiznedeyatel'nosti* [Construction and Architecture – formation of the environment of activity]. Achinsk, 2016, pp. 137–140.

8. Dubrovskaya O.G., Harchenova T.I., Eldarzade E.A., Zhmakov E.V. Razrabotka zamknutykh sistem vodoochistki predpriyatiy neftegazodobychi kak osnova ekologicheskoy bezopasnosti regiona [Development of the closed systems of water purification of the enterprises of oil and gas production as a basis of ecological safety Region]. *Sbornik trudov V Mezhdunarodnoy mul'tidistsiplinarnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennoe sostoyanie nauki i tekhniki» i Mezhdunarodnogo mul'tidistsiplinarnogo molodezhnogo foruma «Molodezh': nauka i tekhnika»* [Collection of works V of the International multidisciplinary scientific and practical conference "Current State of Science and Technology" and International multidisciplinary youth forum "Youth: science and technology"]. Sochi, 2017, pp. 73–80.
9. McLeod M.P., Eltis L.D. Genomic insights into the aerobic pathways for degradation of organic pollutants. Microbial degradation: genomics and molecular biology. In E. Diaz (ed). Caster Academic Press, Norfolk, United Kingdom. 2008, pp. 1–23.
10. Michael H. Gerardi. Wastewater Bacteria, published by John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey, 2006, 267 p.
11. Dasgupta M., Yildiz Y. Assessment of Biochemical Oxygen Demand as Indicator of Organic Load in Waste waters of Morris County, New Jersey, USA. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 2016.
12. Guo H., Yu S., Li L., Zhao D., You F. Mechanisms of chemical cleaning of ion exchange membranes: a case study of plant-scale electrodialysis for oily wastewater treatment. *Journal of Membrane Science*, 2015, V. 496. P. 310–317.
13. Hua F.L., Tsang Y.F., Wang Y.J., Chan S.Y., Chua H., Sin S.N. Performance study of ceramic microfiltration membrane for oily wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*. 2007. V. 128. № 2–3, pp. 169–175.
14. Salu O.A., Adams M., Robertson P.K.J., McCullagh C., Wong L.S. Remediation of oily wastewater from an interceptor tank using a novel photocatalytic drum reactor. *Desalination and Water Treatment*. 2011. V. 26. № 1–3, pp. 87–91.

15. Li X., Ang W.L., Liu Y., Chung T.-S. Engineering design of outer-selective tribore hollow fiber membranes for forward osmosis and oil-water separation. *AIChE Journal*. 2015. V. 61. No 12, pp. 4491–4501.
16. Peng H., Tremblay A.Y. Membrane regeneration and filtration modeling in treating oily wastewaters. *Journal of Membrane Science*. 2008. V. 324. No 1–2, pp. 59–66.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Дубровская Ольга Геннадьевна, кандидат технических наук, доцент
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет»
пр. Свободный, 82, г. Красноярск, 660041, Российская Федерация
dubrovskayaolga@mail.ru

Жмаков Егор Владимирович, магистрант

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет»
пр. Свободный, 82, г. Красноярск, 660041, Российская Федерация
pcegor@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Dubrovskaya Olga Gennadevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Prof. of the Dpt. of Engineering Services of Buildings and Structures
Siberian Federal University
79, Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
dubrovskayaolga@mail.ru

Zhmakov Egor Vladimirovich, Undergraduate

Siberian Federal University
79, Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation
pcegor@mail.ru