

DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-3-365-373

DEVELOPMENT OF BALLAST WATER PURIFICATION AND DISINFECTION TECHNOLOGY

V. I. Reshnyak, A. I. Kaliaush, K. V. Reshnyak

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The technology of purification and disinfection of ballast water developed by the authors is presented in the paper. Based on the results of a systematic analysis of the problem and on research experience in this field, it has been shown that the quality of ballast water discharged overboard after its use as ballast is determined by such basic factors as purification technology and design features of treatment devices, as well as conditions for operations with ballast water. The technology of ballast water purification as a complex of operations for purification, treatment and disinfection is determined by environmental requirements for the quality of purified and discharged overboard water, as well as the properties of the initial ballast water. The analysis of modern environmental requirements for the discharge of ballast water is given. It is shown that these requirements establish the level of permissible bacteriological danger of the discharged ballast water, taking into account the dispersed characteristics of the bacteriologically dangerous substance. These requirements determine the composition of operations that should be included in the technology of purification and disinfection of ballast water. Based on the results of the analysis of environmental requirements for the quality of purified ballast water, which determine the required water quality, a number of technological solutions collectively representing the technology of water purification and disinfection are proposed and justified. As disinfection, the use of ozone as an effective oxidizer is proposed. The use of sedimentation is proposed to regulate the content of dispersed particles of pollutants. Technological solutions also take into account the need for operations with a large amount of ballast water, as well as high reception and discharge capacity. It is proposed to carry out the disinfection process in small volumes of sediment, which is a concentrated mass of bacteriological substance obtained during preliminary coagulation and sedimentation, for which ship ballast tanks can be used. The proposed technology can be applied both in ship installations and in offshore environmental protection equipment — floating or coastal, for example, port facilities.

Keywords: ballast water, technology, cleaning, disinfection.

For citation:

Reshnyak, Valerii I., Aleksandr I. Kaliaush, and Ksenia V. Reshnyak. "Development of ballast water purification and disinfection technology." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.3 (2022): 365–373. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-3-365-373.

УДК 629.12

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ БАЛЛАСТНЫХ ВОД

В. И. Решняк, А. И. Каляуш, К. В. Решняк

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

В настоящей статье представлена разработанная авторами технология очистки и обеззараживания балластной воды. На основе анализа проблемы и исследовательского опыта в данной области показано, что качество сбрасываемой за борт балластной воды после ее использования в виде балласта определяется такими основными факторами, как технология очистки и особенности конструкции очистных устройств, а также условия проведения операций с балластной водой. Отмечается, что технология очистки балластной воды как комплекс операций, предусматривающих обработку и обеззараживание, определяется природоохранными требованиями к качеству очищенной и сбрасываемой за борт воды, а также свойствами исходной балластной воды. Приводится анализ современных природоохранных требований к сбросу балластной воды. Показано, что эти требования устанавливают уровень допустимой бактериологической

опасности сбрасываемой балластной воды с учетом дисперсных характеристик бактериологически опасной субстанции. Указанные требования определяют состав операций, которые должны быть включены в технологию очистки и обеззараживания балластной воды. На основе результатов анализа природоохранных требований к качеству очищенной балластной воды, определяющих ее необходимое качество, предложен и обоснован ряд технологических решений, в совокупности представляющих технологию очистки и обеззараживания воды. В качестве обеззараживания предложено применение озона как эффективного окислителя. Для регулирования содержания дисперсных частиц загрязняющих веществ предложено применение седиментации. Технологические решения при этом учитывают необходимость проведения операций с большим количеством балластной воды, а также высокой производительностью приема и сброса. Предложено процесс обеззараживания осуществлять в малых объемах осадка, представляющего собой сконцентрированную массу бактериологической субстанции, полученную в процессе предварительной коагуляции и седиментации, для чего могут быть использованы судовые балластные емкости. Новая технология может найти применение как в судовых установках, так и во внесудовых природоохранных технических средствах — плавучих или береговых (например, портовых сооружениях).

Ключевые слова: балластная вода, технология, очистка, обеззараживание, балластные емкости, природоохранные технические средства, прием, сброс.

Для цитирования:

Решняк В. И. Разработка технологии очистки и обеззараживания балластных вод / В. И. Решняк, А. И. Каляуш, К. В. Решняк // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 3. — С. 365–373. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-3-365-373.

Введение (Introduction)

Проблема защиты водной среды от загрязнений, источником которых является балластная вода, образующаяся в процессе эксплуатации судов, остается по-прежнему актуальной. В течение более сорока лет мировое международное сообщество в лице Международной морской организации (ИМО) занимается изучением и решением этой проблемы. Международное законодательство, регулирующее вопросы защиты моря от загрязнения балластной водой, имеет свою историю и развитие. Первые рекомендации для решения этой проблемы были приняты в 1991 г. Затем ИМО занималась разработкой «Международной конвенции по контролю судовых балластных вод» (BWMC), направленной на регулирование переноса живых организмов и патогенов в водном балласте, которая в целом была принята в 2004 г. [1]. В этот период требования в области управления балластными водами изменялись, что позволяло учитывать реалии, в том числе практическую возможность перехода и реализации каждого следующего этапа решения данной проблемы. Кроме того, много времени занимает процедура рассмотрения и принятия государствами-участниками законодательных актов [1].

Одними из первых были установлены требования, регламентирующие процедуру смены балласта. В настоящее время законодательство в этой области устанавливает необходимость применения судовых устройств (установок) для очистки и обеззараживания балластной воды, что, в свою очередь, требует накопления первоначального опыта разработки и эксплуатации таких устройств. В соответствии с современными требованиями на судах начинают появляться судовые устройства балластной воды. Для них установлены требования к качеству балластной воды, которые должны быть обеспечены перед ее сбросом за борт [2]. Прежде всего, указанными требованиями регламентированы параметры, характеризующие бактериологическую опасность балластной воды.

Результаты анализа технологических схем судовых установок балластной воды показывают, что основным применяемым способом ее очистки является фильтрование. Например, в установке Hyde Guardian (производитель компания Hyde Marine (США) заборная вода очищается фильтрованием при ее приеме в судовые емкости балластной воды [4]. Кроме того, может применяться обеззараживание озоном и УФ-излучением в установке Hitachi Clear Ballast System (производитель: Hitachi, Ltd. (Япония)). В установке NK-O3 Blue Ballast System/Nutech O3 (производитель компания

NK Company, Ltd. (Южная Корея)) предусмотрено обеззараживание забортной воды с использованием озонирования. Особенностью технологии очистки и обеззараживания в этой установке является обработка озоном всего объема забортной воды, принимаемой в судовые емкости в качестве балласта, что требует использования генераторов озона большой производительности. При дебалластировке балластная вода откачивается из судовых емкостей сразу за борт [5].

Появление судовых устройств для балластной воды позволило проанализировать первый опыт их применения. Анализ технологических схем судовых установок балластной воды показывает их разнообразие, которое, однако, не отражает каких-либо закономерностей разработки технологии ее очистки и обеззараживания. В связи с этим *целью настоящей статьи* является разработка технологии очистки и обеззараживания балластной воды, основанная в свою очередь на решении следующих задач:

- анализе факторов, определяющих данную технологию, и, прежде всего, требований к качеству ее очистки и обеззараживания;
- формировании определенных обобщений, характеризующих разрабатываемую технологию.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В процессе разработки технологии очистки и обеззараживания балластной воды был использован существующий опыт теоретических и практических исследований в этом направлении. Опыт показал, что при разработке технологии очистки и обеззараживания балластной воды необходимо учитывать ряд факторов, которые, в конечном счете, определяют качество очищенной и обеззараженной балластной воды, а, следовательно, возможность выполнения требований к ее сбросу за борт. Качество очищенной и обеззараженной балластной воды определяется технологией очистки и обеззараживания, особенностями конструкции устройств для выполнения этих процессов, а также свойствами забортной воды, принимаемой в качестве балласта, и условиями выполнения операций балластировки и дебалластировки [2].

Результаты (Results)

Анализ требований, предъявляемых к качеству очищенной и сбрасываемой за борт балластной воды, показывает, что ими ограничивается размер загрязнений, содержащихся в такой воде. Это означает, что данный параметр идентифицирует загрязнения как дисперсные частицы. Одновременно подобного рода загрязнения могут представлять собой биологические объекты, характеризующиеся бактериологической опасностью [2], характеризуемой таким параметром, как coli-индекс.

Загрязнения в виде дисперсных частиц в установленном диапазоне размеров могут быть выделены из объема балластной воды одним из способов так называемой *грубой очистки* [3]: седиментацией, фильтрованием в поле центробежных сил и флотацией. Некоторые из этих способов: седиментация и флотация, могут быть интенсифицированы предварительной коагуляцией. Применение поля центробежных сил, вероятно, сразу необходимо исключить, так как очистке подлежат большие массы воды, что потребует значительного количества энергии для того, чтобы эта масса была приведена во вращательное движение. Кроме того, возникающие при вращении больших масс дополнительные силы могут оказать влияние на мореходные качества судна. Использование фильтрования потребует большого объема фильтрующего материала, который периодически необходимо будет менять, а, значит, потребуются организация временного хранения, транспортировки и утилизации. Кроме того, отработавшая масса фильтрующего материала будет представлять собой бактериологически опасную субстанцию [6], [7].

Рассмотрение особенностей процессов седиментации и флотации показывает, что наиболее предпочтительным является *седиментация*, так как для реализации этого способа не требуется каких-либо дополнительных устройств или приспособлений, поскольку в качестве седиментационных устройств могут быть использованы непосредственно емкости балластной воды [6], [8].

Для флотации, как известно, такие устройства необходимы. Их состав будет определяться видом флотации: обычная или напорная. Аппаратурно более сложной является напорная флотация. Кроме того, применение флотации требует обеспечения флотационным воздухом больших объемов балластной воды.

Загрязнения, содержащиеся в балластной воде как бактериологически опасная субстанция, требуют применения обеззараживания, которое может быть реализовано в поле УФ-излучения или при использовании обеззараживающих компонентов [1], [2], [9]. При этом необходимо учитывать, что данные способы обладают разными обеззараживающими возможностями и особенностями реализации. Наиболее эффективным является применение таких обеззараживающих компонентов, как хлорсодержащие соединения, а также озон. Применение этих компонентов требует дополнительного аппаратного сопровождения. Например, для использования озона необходим генератор озона [2]. При этом другие способы (например, ультрафиолетовое излучение) не имеют достаточных бактерицидных возможностей. Кроме того, при проектировании технологии очистки и обеззараживания балластной воды необходимо учесть ее большие объемы, а также малое время заполнения судовых балластных емкостей вследствие высокой производительности приема балластной воды. Такие условия приема балластной воды из-за борта не позволяют обеспечить требуемую эффективность процесса обеззараживания (например, при использовании УФ-излучения) вследствие недостаточного времени обеззараживающего воздействия.

Данные обстоятельства являются лимитирующими факторами организации процесса обеззараживания балластной воды, что требует их учета при организации и осуществлении этого процесса. В применяемых в настоящее время установках балластной воды обеззараживающая субстанция — озон или хлорсодержащий компонент, подается в полный объем обрабатываемой воды [9]–[11]. В таком случае расстояние между центрами обеззараживания и бактериологически опасными объектами, а также время их диффузии в зону контакта будет большим, что приведет к снижению качества обеззараживания и увеличению расхода обеззараживающей субстанции (рис. 1, а).

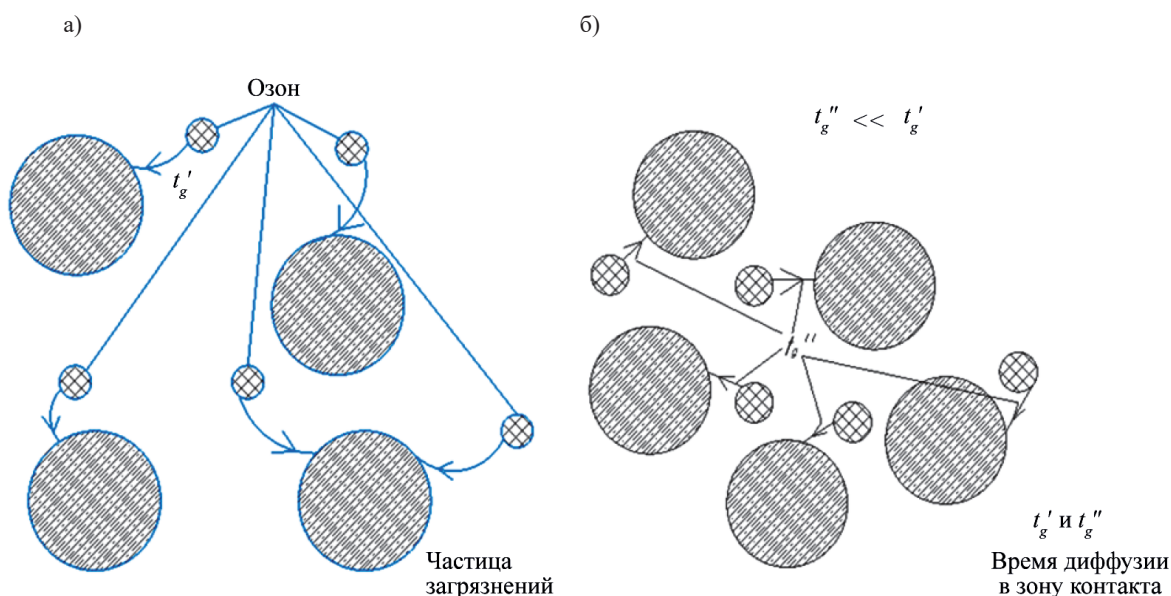


Рис. 1. Кинетика процесса обеззараживания:

а — снижение качества обеззараживания; б — увеличение эффективности обеззараживания

В целом необходимо различать кинетику наблюдаемого процесса обеззараживания и собственно процесса, который начинает развиваться сразу после контакта озона и частиц загрязнения. Время обеззараживания t_{Σ} (т. е. время от подачи озона в объем балластной воды до окисления частиц загрязнения) определяется в виде [2]:

$$t_{\Sigma} = t_d + t_r,$$

где t_d — время диффузии реагирующих компонентов в зону реакции;

t_r — собственно время окисления после контакта реагирующих компонентов.

Время обеззараживания может быть разным для различных случаев организации процесса обеззараживания. Указанное отличие будет определяться разными значениями составляющей t_d . В некоторых (наименее удачных) случаях значение времени t_{Σ} может превышать время $t_{\text{расп}}$ существования озона до его естественного распада. Поэтому уменьшение расстояния между реагирующими компонентами и времени их диффузии в зону реакционного контакта обеспечит более высокую эффективность процесса обеззараживания [1]–[3]. Такой вариант организации процесса обеззараживания показан на рис. 1, б.

Таким образом, эффективность процесса обеззараживания может достигаться концентрацией обеззараживаемой субстанции, обеспечиваемой при ее выделении в малый объем [13], [14]. Данная особенность организации процесса обеззараживания свидетельствует о необходимости концентрации обеззараживаемой субстанции. Из ранее изложенного следует, что основными этапами технологии очистки, каждый из которых может включать в себя несколько операций, должны быть следующие:

- концентрация загрязнений;
- обеззараживание загрязнений.

Концентрация загрязнений достигается седиментацией, интенсификация которой может быть обеспечена коагуляцией [1]–[3]. Учитывая, что эффективность данного процесса во многом определяется качеством перемешивания коагулянта с объемом обрабатываемой воды, его целесообразно подавать в приемный трубопровод балластной воды перед перекачивающим насосом [12]. Образующийся осадок удаляется в отдельную емкость, в которой будет осуществляться обеззараживание. Таким образом, предлагаемая технология очистки и обеззараживания будет иметь вид, приведенный на рис. 2.



Рис. 2. Технология очистки и обеззараживания балластной воды

При незначительном количестве балластной воды для удаления загрязнений могут быть использованы фильтры с последующим их обеззараживанием обратной промывкой водой, насыщенной озоном, которую можно осуществлять после каждой балластировки [12]–[14]. Выделение обеззараживаемой субстанции в малый объем — объем осадка, позволит получить высококонцентрированную субстанцию, что обеспечит ее эффективность. Так как осадок будет разделен от всего объема балластной воды, время его обеззараживания уже не будет связано с операциями по

дебалластировке [10], [11], что обеспечит неограниченную по времени организацию процесса обеззараживания. Обеззараженный осадок может быть передан в судовую печь для сжигания отходов [1], [5], [8], [10].

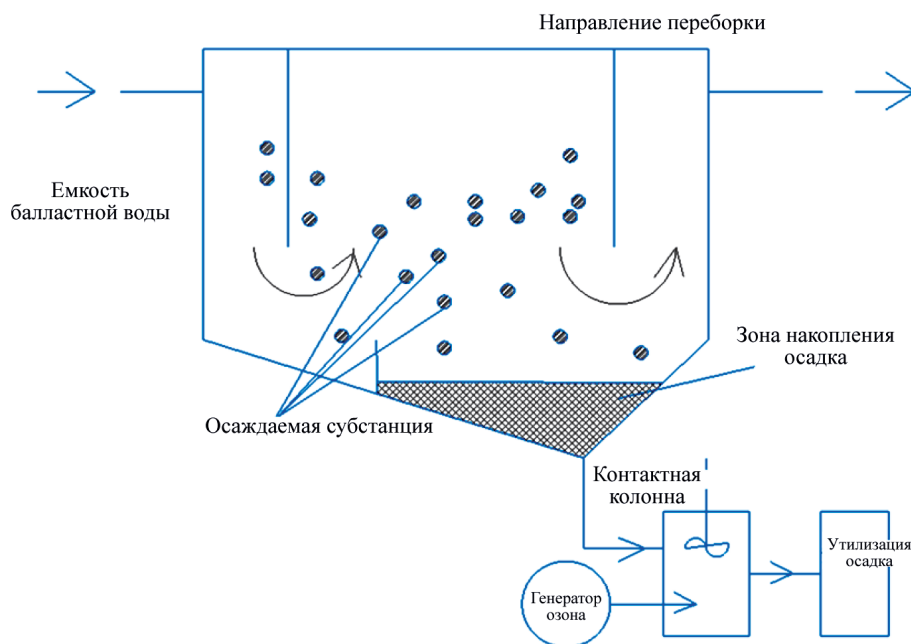


Рис. 3. Принципиальная схема системы очистки и обеззараживания балластной воды

На рис. 3 показана принципиальная схема системы очистки и обеззараживания балластной воды, позволяющая реализовать предлагаемую технологию.

Обсуждение (Discussion)

Предложенная технология может быть реализована в судовой установке или на внесудовых плавучих или береговых очистных сооружениях, расположенных в портах. Она может рассматриваться как базовый вариант, не исключающий определенные вариации, которые, однако, будут касаться только выборов конкретных способов очистки или обеззараживания балластной воды. Например, при выборе способов обеззараживания можно рассматривать разные варианты этой операции как с точки зрения выбора обеззараживающего компонента, так и конструкции обеззараживающего реактора (контактной колонны), в котором будет осуществляться обеззараживание. Например, таким реактором может служить отдельная емкость для сбора осадка, оснащенная устройством для его перемешивания. В определенных условиях процесс обеззараживания может быть организован в той части седиментационной емкости, где собирается осадок. При этом не исключено также применение фильтрования. В любом случае при проектировании технологии очистки и обеззараживания балластной воды в процессе разработки судовых установок и внесудовых комплексов остается необходимым обеззараживание бактериологически опасной субстанции осадка после ее концентрации в малом объеме среды.

Заключение (Conclusion)

В статье представлены результаты разработки технологии очистки и обеззараживания балластной воды, в основе которой находится решение ряда задач. В частности, выполнен анализ факторов, определяющих качество очистки и обеззараживания балластной воды и прежде всего требований к этому качеству. Обеспечение современных требований предполагает применение операций по обеззараживанию воды. При этом необходимая эффективность может быть обеспе-

чена применением обеззараживающих компонентов: озона и некоторых других, например, соединений хлора. Также в процессе подготовки воды для сброса за борт из нее должны быть извлечены частицы загрязнений определенной крупности, что может быть обеспечено операциями по очистке воды. Кроме того, в процессе проведения исследования были учтены условия проведения операций с балластной водой, а также решена проблема обеспечения эффективного обеззараживания в условиях необходимости обработки больших объемов балластной воды. Последнее можно достичь за счет концентрации частиц загрязнений в седиментационном осадке или в фильтрующем материале. Предлагаемая технология очистки и обеззараживания балластной воды может найти применение при создании как судовых установок, так и плавучих или береговых очистных сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решняк В. И. Применение озона в процессах очистки нефтесодержащей льяльной (подсланевой) воды / В. И. Решняк, А. Е. Пластинин, В. С. Наумов, А. С. Слюсарев // Морские интеллектуальные технологии. — 2019. — № 4–2 (46). — С. 168–173.
2. Решняк В. И. Технология очистки и обеззараживания балластной воды / В. И. Решняк, А. И. Каляш, Д. И. Рочев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2021. — № 1. — С. 32–38. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-1-32-38.
3. Решняк В. И. Система управления экологической безопасностью судов на внутренних водных путях: монография / В. И. Решняк. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. С. О. Макарова, 2017. — 148 с.
4. Gren M. Effects of shipping on non-indigenous species in the Baltic Sea / M. Gren, A. Brutemark, A. Jägerbrand // Science of the Total Environment. — 2022. — Vol. 821. — Pp. 153465. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153465.
5. Wei Y. The ballast effect controls the settling of autochthonous organic carbon in three subtropical karst reservoirs / Y. Wei, H. Yan, Z. Liu, C. Han, S. Ma, H. Sun, Q. Bao // Science of The Total Environment. — 2022. — Vol. 818. — Pp. 151736. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151736.
6. Lv B. Deciphering the characterization, ecological function and assembly processes of bacterial communities in ship ballast water and sediments / B. Lv, J. Shi, T. Li, L. Ren, W. Tian, X. Lu, Y. Han, Y. Cui // Science of the Total Environment. — 2022. — Vol. 816. — Pp. 152721. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152721.
7. Costello K. E. Assessing the potential for invasive species introductions and secondary spread using vessel movements in maritime ports / K. E. Costello, S. A. Lynch, R. McAllen, R. M. O’Riordan, S. C. Culloty // Marine Pollution Bulletin. — 2022. — Vol. 177. — Pp. 113496. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113496.
8. Kim A. R. How to control and manage vessels’ ballast water: The perspective of Korean shipping companies / A. R. Kim, S. W. Lee, Y. J. Seo // Marine Policy. — 2022. — Vol. 138. — Pp. 105007. DOI: 10.1016/j.marpol.2022.105007.
9. Venkatnarayanan S. Survival and recovery of planktonic organisms in prolonged darkness and their implications on ballast water management / S. Venkatnarayanan, P. S. Kumar, V. Pandey, K. Ratnam, D. K. Jha // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. — 2022. — Vol. 549. — Pp. 151697. DOI: 10.1016/j.jenbe.2022.151697.
10. Studivan M. S. Reef Sediments Can Act As a Stony Coral Tissue Loss Disease Vector / M. S. Studivan, A. M. Rossin, E. Rubin, N. Soderberg, D. M. Holstein, I. C. Enochs // Frontiers in Marine Science. — 2022. — Vol. 8. — Pp. 815698. DOI: 10.3389/fmars.2021.815698.
11. Gaspar J. F. Compensation of a hybrid platform dynamics using wave energy converters in different sea state conditions / J. F. Gaspar, M. Kamarlouei, F. Thiebaut, C. G. Soares // Renewable Energy. — 2021. — Vol. 177. — Pp. 871–883. DOI: 10.1016/j.renene.2021.05.096.
12. Zhao Q. Piezoelectric polarization assisted WO₃/CdS photoanode improved carrier separation efficiency via CdS phase regulation / Q. Zhao, Z. Liu, J. Li, W. Yan, J. Ya, X. Wu // International Journal of Hydrogen Energy. — 2021. — Vol. 46. — Is. 73. — Pp. 36113–36123. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.08.123.
13. Xu Y. Evaluating the contingency treatment performance of advanced electro-catalysis oxidation processes for marine bacteria in ballast water / Y. Xu, Q. Wang, H. Wu // Water Science and Technology. — 2021. — Vol. 84. — Is. 8. — Pp. 1885–1895. DOI: 10.2166/wst.2021.365.
14. Wang Z. Integrated Biological Risk and Cost Model Analysis Supports a Geopolitical Shift in Ballast Water Management / Z. Wang, M. Saebi, J. J. Corbet, E. K. Grey, S. R. Curasi // Environmental Science and Technology. — 2021. — Vol. 55. — Is. 19. — Pp. 12791–12800. DOI: 10.1021/acs.est.1c04009.

REFERENCES

1. Reshnyak, Valery I., Andrey E. Plastinin, Viktor S. Naumov, and Anatoliy S. Slyusarev. "The application of ozone in the processes of oil-containing bilge water purification." *Marine intelligent technologies* 4–2(46) (2019): 168–173.
2. Reshnyak, Valeriy Ivanovich, Alexander Ivanovich Kalyaush, and Dmitry Igorevich Rochev. "Technology of purifying and disinfecting ballast water." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 1 (2021): 32–38.
3. Reshnyak, V. I. *Sistema upravleniya ekologicheskoi bezopasnost'yu sudov na vnutrennikh vodnykh putyakh: monografiya*. SPb.: Izd-vo GUMRF im. S. O. Makarova, 2017.
4. Gren, Marie, Andreas Brutemark, and Annika Jägerbrand. "Effects of shipping on non-indigenous species in the Baltic Sea." *Science of the Total Environment* 821 (2022): 153465. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.153465.
5. Wei, Yu, Hao Yan, Zaihua Liu, Cuihong Han, Song Ma, Hailong Sun, and Qian Bao. "The ballast effect controls the settling of autochthonous organic carbon in three subtropical karst reservoirs." *Science of The Total Environment* 818 (2022): 151736. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.151736.
6. Lv, Baoyi, Jianhong Shi, Tao Li, Lili Ren, Wen Tian, Xiaolan Lu, Yangchun Han, Yuxue Cui, and Ting Jiang. "Deciphering the characterization, ecological function and assembly processes of bacterial communities in ship ballast water and sediments." *Science of The Total Environment* 816 (2022): 152721. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.152721.
7. Costello, Katie E., Sharon A. Lynch, Rob McAllen, Ruth M. O'Riordan, and Sarah C. Culloty. "Assessing the potential for invasive species introductions and secondary spread using vessel movements in maritime ports." *Marine Pollution Bulletin* 177 (2022): 113496. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2022.113496.
8. Kim, A-Rom, Sung-Woo Lee, and Young-Joon Seo. "How to control and manage vessels' ballast water: The perspective of Korean shipping companies." *Marine Policy* 138 (2022): 105007. DOI: 10.1016/j.marpol.2022.105007.
9. Venkatnarayanan, S., P. S. Kumar, V. Pandey, K. Ratnam, and D. K. Jha. "Survival and recovery of planktonic organisms in prolonged darkness and their implications on ballast water management." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 549 (2022): 151697. DOI: 10.1016/j.jenbe.2022.151697.
10. Studivan, Michael S., Ashley M. Rossin, Ewelina Rubin, Nash Soderberg, Daniel M. Holstein, and Ian C. Enochs. "Reef Sediments Can Act As a Stony Coral Tissue Loss Disease Vector." *Frontiers in Marine Science* (2022): 2046. DOI: 10.3389/fmars.2021.815698
11. Gaspar, J. F., M. Kamarlouei, F. Thiebaut, and C. G. Soares. "Compensation of a hybrid platform dynamics using wave energy converters in different sea state conditions." *Renewable Energy* 177 (2021): 871–883. DOI: 10.1016/j.renene.2021.05.096
12. Zhao, Quanyou, Zhifeng Liu, Junwei Li, Weiguo Yan, Jing Ya, and Xiangfeng Wu. "Piezoelectric polarization assisted WO₃/CdS photoanode improved carrier separation efficiency via CdS phase regulation." *International Journal of Hydrogen Energy* 46.73 (2021): 36113–36123. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.08.123.
13. Xu, Yulin, Qiong Wang, and Huixian Wu. "Evaluating the contingency treatment performance of advanced electro-catalysis oxidation processes for marine bacteria in ballast water." *Water Science and Technology* 84.8 (2021): 1885–1895. DOI: 10.2166/wst.2021.365.
14. Wang, Zhaojun, Mandana Saeabi, James J. Corbett, Erin K. Grey, and Salvatore R. Curasi. "Integrated biological risk and cost model analysis supports a geopolitical shift in ballast water management." *Environmental Science & Technology* 55.19 (2021): 12791–12800. DOI: 10.1021/acs.est.1c04009.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Решняк Валерий Иванович —
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: kaf_chemistry@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Reshnyak, Valerii I. —
Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: kaf_chemistry@gumrf.ru

Каляуш Александр Иванович —

кандидат технических наук

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,

ул. Двинская, 5/7

e-mail: kaf_chemistry@gumrf.ru

Решняк Ксения Валерьевна —

старший преподаватель

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,

ул. Двинская, 5/7

e-mail: kaf_chemistry@gumrf.ru

Kaliaush, Aleksandr I. —

PhD

Admiral Makarov State University of Maritime

and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,

Russian Federation

e-mail: kaf_chemistry@gumrf.ru

Reshnyak, Ksenia V. —

Senior lecturer

Admiral Makarov State University of Maritime

and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,

Russian Federation

e-mail: kaf_chemistry@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 7 апреля 2022 г.

Received: April 7, 2022.