

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-1-134-140

FEATURES OF USING OZONE FOR CLEANING MARINE POLLUTION

V. I. Reshnyak, E. A. Negrutsa, E. P. Chikov

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

The subject of the research is issues related to the field of ship power plants and their elements, as well as the operation of water transport and its environmental safety. Studying the processes of ballast water purification and disinfection, as well as oil-containing water that are formed during the ships operation, shows the possibility of increasing the efficiency of these processes. It is proposed to consider these processes, starting from the stage of supplying the ozone-air mixture to the flow of treated water, without limiting ourselves to the study of the actual process of oxidation by ozone of a contaminated, including bacteriologically hazardous, substance. This approach makes it possible to establish the limiting stages of the contaminated water purification and disinfection process, which includes the stage of ozone dissolution in water during its transition from the ozone-air mixture, as well as the stage of subsequent diffusion of ozone dissolved in water into the reaction contact zone. It has been shown that the kinetic characteristics of the limiting stages depend on the conditions of their implementation, which can reduce the efficiency of ozone use due to the limited time of its existence. A technological proposal that makes it possible to increase the efficiency of ozone use and the reliability of ensuring the requirements for the quality of cleaning and disinfection of marine pollution has been developed. Technological proposals provide for the preliminary saturation with ozone of a specially allocated water stream for this purpose, the supply of this stream to the concentration zone of the oxidized and disinfected substance. A device in which the developed technological fragment, including a pump supplying a water flow to a contact column, an ozone generator, a device for supplying an ozone-saturated water flow to a filter, is implemented is also proposed.

Keywords: marine pollution, ballast water, oily water, ozone, purification and disinfection, technology, device.

For citation:

Reshnyak, Valery I., Evgenii A. Negrutsa, and Egor P. Chikov. "Features of using ozone for cleaning marine pollution." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 16.1 (2024): 134–140. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-1-134-140.

УДК 656.62:504.054

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОЗОНА ДЛЯ ОЧИСТКИ СУДОВЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

В. И. Решняк, Е. А. Негруца, Е. П. Чиков

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

Предметом исследования являются вопросы, относящиеся к области судовых энергетических установок и их элементов, а также эксплуатации водного транспорта и его экологической безопасности. Отмечается, что исследования процессов очистки и обеззараживания балластной и нефтесодержащей воды от вредных примесей, образующихся в процессе эксплуатации судов, показывают наличие возможности повышения эффективности этих процессов. Предложено рассматривать указанные процессы начиная со стадии подачи озono-воздушной смеси в поток обрабатываемой воды, не ограничиваясь исследованием собственно процесса окисления озоном загрязненной, в том числе бактериологически опасной субстанции. Такой подход позволил установить лимитирующие стадии процесса очистки и обеззаражи-

вания загрязненной воды, к которым можно отнести стадию растворения озона в воде при его переходе из озono-воздушной смеси, а также стадию последующей диффузии растворенного в воде озона в зону реакционного контакта. Приведены доказательства того, что кинетические характеристики лимитирующих стадий зависят от их условий, что может снижать эффективность использования озона вследствие ограниченного времени его существования. В процессе проведения данного исследования разработано технологическое предложение, позволяющее повысить эффективность использования озона и надежность обеспечения требований к качеству очистки и обеззараживания судовых загрязнений. Данное решение предусматривает предварительное насыщение озоном специально выделенного для этой цели потока воды и его подачу в зону концентрации окисляемой и обеззараживаемой субстанции. Рассмотрено устройство, позволяющее реализовать новое технологическое предложение, включающее насос, подающий поток воды в контактную колонну, и генератор озона для подачи насыщенного озоном потока воды в фильтр.

Ключевые слова: судовые загрязнения, балластная вода, нефтесодержащая вода, озон, очистка и обеззараживание, технология, устройство.

Для цитирования:

Решняк В. И. Особенности применения озона для очистки судовых загрязнений / В. И. Решняк, Е. А. Негруца, Е. П. Чиков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 1. — С. 134–140. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-1-134-140.

Введение (Introduction)

Известно, что в процессе эксплуатации судов и их энергетических установок образуются такие загрязнения, как балластная и нефтесодержащая вода. В соответствии с требованиями основных международных правовых актов в области защиты моря от загрязнения: Конвенции по защите моря от загрязнения с судов (ИМО)¹ и Международной конвенции по контролю судовых балластных вод (BWMC)², направленными на защиту морской среды от загрязнения опасной субстанцией, которая может находиться в балластной и нефтесодержащей воде, применение судовых установок для очистки и обеззараживания балластной и нефтесодержащей воды является *обязательным*. При этом судовые установки должны обеспечивать требуемое для сброса за борт качество различного рода судовых загрязнений.

В целом отрицательное воздействие на водную среду балластной воды характеризуется следующими факторами:

- возможностью загрязнения остатками груза;
- отрицательным влиянием инвазивных организмов, переносимых с балластной водой из одних областей Мирового океана в другие;
- возможностью загрязнения патогенными веществами.

Наиболее показательным примером загрязнения моря остатками грузов является эксплуатация танкеров, в процессе которой большое количество нефти, при попадании в Мировой океан приводит к его загрязнению. Эта часть проблемы защиты морской среды от отрицательного воздействия балластной воды была решена при переходе к эксплуатации судов, имеющих отдельные балластные емкости (танки). Другие аспекты проблемы вначале решались принятием требований, регулирующих правила смены балласта, затем — применением судовых систем балластной воды. Анализ содержания требований, предъявляемых к таким установкам, показывает, что их выполнение обеспечивается очисткой балластной воды и ее обеззараживанием. Для этих целей чаще всего используются *очистка фильтрованием и обеззараживание озоном или гипохлоритом натрия* [1], [2]. Например, такие технологии применяются в установках (системах): Ballast ace (компания JFE) PACT Marine Ballast Water Management System Hyde Guardian (производитель: компания Hude Marine (США), Hitachi Clear Ballast System (производитель: Hitachi, Ltd. (Япония), NK-O3 Blue Ballast System/Nutech O3 (производитель: компания NK Company, Ltd. (Южная Корея) [3]–[7]. Для очистки

¹ Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года и Протокол 1978 года. СПб.: Изд-во ЦНИИМФ, 2008. 706 с.

² International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments. London, UK: International Maritime Organization, 2004. 36 p.

нефтедержательной воды чаще всего применяется *седиментация и адсорбция* в фильтрах с загрузкой из активированного угля.

Целью настоящего исследования является разработка новых технологических и технических предложений, направленных на повышение надежности обеспечения очистки и обеззараживания судовых загрязнений — балластной и нефтедержательной воды.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Анализ технологий очистки и обеззараживания балластной и нефтедержательной воды в существующих судовых установках указывает на одну из основных особенностей, а именно распространение озона в виде озono-воздушной субстанции во всем объеме балластной воды, в котором одновременно находится обеззараживаемая субстанция. При больших объемах балластной воды возникают неблагоприятные условия для организации процесса обеззараживания балластной воды из-за короткого срока существования озона. Кроме того, в процессе очистки в фильтрах накапливаются загрязняющие балластную и нефтедержательную воду вещества в виде дисперсных частиц, которые одновременно являются бактериологически опасными, что приводит к снижению эффективности процесса очистки и обеззараживания балластной воды.

В качестве методов исследования использован анализ процесса окисления озonom бактериологически опасной субстанции, а также процесса очистки фильтрованием и адсорбцией. Результатом такого исследования является разработка технологического и технического предложения в области организации процессов эффективного окисления (обеззараживания) озonom загрязняющей субстанции и очистки фильтрованием и адсорбцией. При этом процесс применения озона необходимо рассматривать от момента переноса его из озono-воздушной смеси в объем обрабатываемой воды, а его окончанием считать окисление загрязняющей воду субстанции.

Основными стадиями такого процесса (рис. 1) являются: поступление озono-воздушной смеси в поток или объем очищаемой и обеззараживаемой воды, растворение озона в воде, диффузия растворенного в воде озона в зону контакта с обеззараживаемой субстанцией, собственно реакция обеззараживания [8], [9]. Лимитирующими стадиями этого общего процесса, включающего указанные стадии, в отличие от собственно процесса окисления, который начинается после наступления контакта озона с обеззараживаемой субстанцией, могут быть процесс перехода озона из озono-воздушной смеси в воду, а также диффузия озона в зону контакта и возникновение такого контакта. Когда озono-воздушная смесь подается и затем распространяется во всем объеме балластной воды, может оказаться, что расстояние от молекул озона до частиц обеззараживаемой субстанции будет таким большим, что время до наступления их реакционного контакта будет превышать время существования озона до его распада.

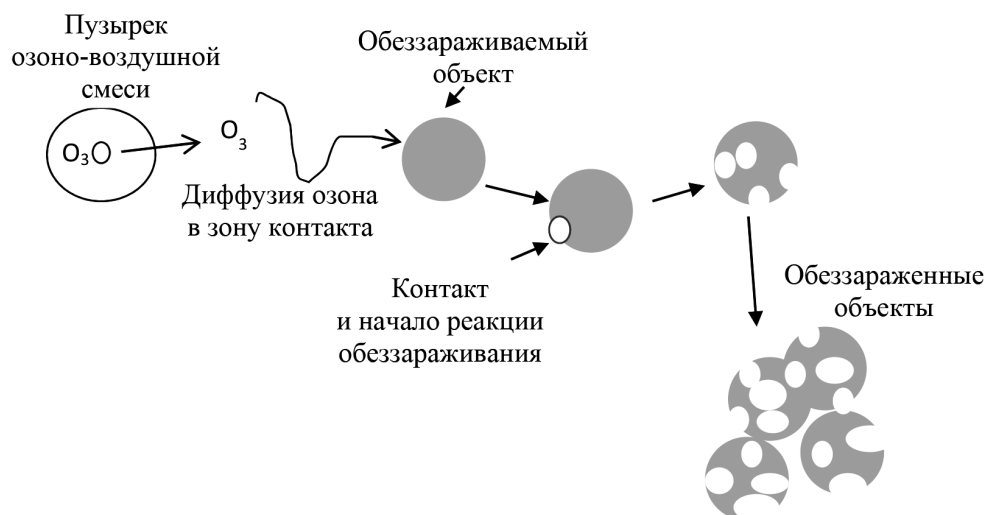


Рис. 1. Стадии процесса обеззараживания бактериологической субстанции в балластной воде

Такой характер развития процесса обеззараживания не позволит эффективно его осуществлять. Сократить лимитирующее влияние указанных стадий и тем самым повысить эффективность использования озона, а также надежность обеспечения очистки и обеззараживания судовых загрязнений возможно в случае организации подачи озона в место накопления загрязнений.

Результаты и обсуждения (Results and Discussion)

Повышение эффективности использования озона в процессе обеззараживания бактериологически опасной субстанции в балластной воде и очистки нефтесодержащей воды может быть достигнуто при подаче озона в зону высокой концентрации субстанции-загрязнителя двумя способами. В одном случае подача озона должна быть организована в то место системы очистки и обеззараживания, в котором наблюдается накопления обеззараживаемой субстанции в результате использования технологии, принятой в данной системе. В другом случае концентрирование загрязнителя может обеспечиваться дополнительными или новыми технологическими мероприятиями. Кроме того, в зону реакции окисления целесообразно подавать озон не в виде озоно-воздушной смеси, а уже растворенным в некотором объеме воды. Один из вариантов реализации такого подхода, который был разработан и описан авторами настоящего исследования в работах [10], [11], состоял в организации процесса очистки балластной воды от взвешенных веществ при использовании седиментации и коагуляции. После этого выпавший осадок, который одновременно содержал высокую концентрацию бактериологически опасных веществ, перемещался в отдельную емкость, куда одновременно при необходимости может подаваться озон.

В качестве еще одного варианта использования такого подхода в настоящей работе предлагается технологический прием и устройство для его осуществления, который заключается в организации подачи воды предварительно насыщенной озоном в поток обрабатываемой балластной воды на входе в фильтр. Попадая в фильтрующий материал, озон практически сразу вступает реакционный контакт с бактериологически опасной субстанцией, которая содержится в фильтрующем материале, и обеззараживает ее. Эти процессы происходят в узле, принципиальная схема которого приведена на рис. 2. Насос 1 балластной воды подает последнюю в фильтр 2, часть воды из подающего трубопровода направляется в контактную колонну 3 через регулятор потока и давления 4.

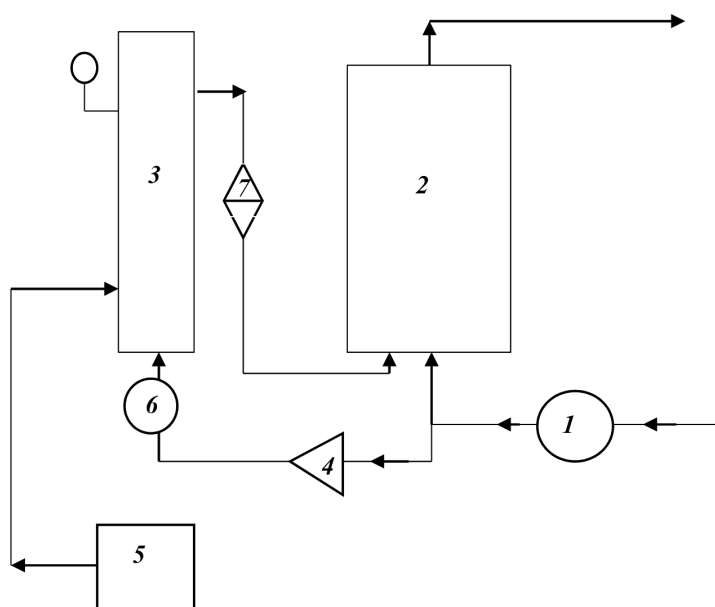


Рис. 2. Принципиальная схема узла очистки и обеззараживания балластной воды

В указанную контактную колонну одновременно подается озоно-воздушная смесь от генератора озона 5. Поступивший в контактную колонну озон растворяется в воде, которая с помощью

насоса *б* подается в фильтр, где озон начинает окислять субстанцию, накопившуюся в фильтрующей загрузке, а также в потоке балластной воды, протекающей внутри этой загрузки. Требуемые параметры работы контактной колонны, необходимые для эффективного растворения озона в воде, обеспечиваются дроссельным устройством 7. При такой организации процесса обеззараживания озон очень быстро поступает к обеззараживаемой субстанции и с наступлением их контакта начинается собственно реакция обеззараживания (окисления).

Предварительное растворение озона в воде, осуществляемое в контактной колонне исключает потери времени на этапе стадии растворения озона в обрабатываемой балластной воде, т. е. в момент перехода (растворения) озона из озоно-воздушной смеси в водную среду. Этот же технологический прием может быть применен в технологии очистки нефтесодержащей воды, например, на плавучих станциях или в береговых очистных сооружениях.

Заключение (Conclusion)

Проведенное в работе исследование показало, что применение озона в судовых системах для очистки и обеззараживания судовой загрязненной воды представляет собой многоступенчатый процесс, лимитирующими стадиями которого являются растворение озона в обрабатываемой воде при подаче в нее озоно-воздушной смеси, а также диффузия растворенного в воде озона в зону реакционного контакта.

Эффективность исследуемого процесса будет зависеть от условий, в которых этот процесс осуществляется: объема и конфигурации танков балластной воды, места подачи озоно-воздушной смеси в балластную воду и ее количества, конструкции устройств для подачи озоно-воздушной смеси в воду. Указанные условия будут определять кинетические характеристики лимитирующих стадий процесса, тем самым оказывая влияние на их эффективность. При этом кинетические характеристики могут быть такими, при которых эффективность процесса обеззараживания в целом будет недопустимо низкой.

Решение этих проблем может быть достигнуто с помощью соблюдения следующих условий:

- насыщение озоном отдельного потока воды, которое осуществляется в контактной колонне;
- подача насыщенного озоном потока воды в фильтр, в котором концентрируются загрязнения, например, бактериологически опасная субстанция, содержащаяся в балластной воде или загрязнения, выделенные из нефтесодержащей воды.

Таким образом, рассмотрены варианты, позволяющие реализовать данное технологическое предложение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Решняк В. И. Обеспечение эффективности технологий по очистке и обеззараживанию балластной воды / В. И. Решняк, Е. А. Негруза // Эксплуатация морского транспорта. — 2023. — № 3 (108). — С. 144–150. DOI: 10.34046/aumsuomt108/20.
2. 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.
3. Parsons M. G. Considerations in the design of the primary treatment for ballast systems / M. G. Parsons // Marine technology and SNAME news. — 2003. — Vol. 40. — Is. 01. — Pp. 49–60. DOI: 10.5957/mtl.2003.40.1.49.
4. Tsolaki E. Technologies for ballast water treatment: a review / E. Tsolaki, E. Diamadopoulos // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. — 2010. — Vol. 85. — Is. 1. — Pp. 19–32. DOI: 10.1002/jctb.2276
5. Jing L. A review of ballast water management practices and challenges in harsh and arctic environments / L. Jing, B. Chen, B. Zhang, H. Peng // Environmental Reviews. — 2012. — Vol. 20. — Is. 2. — Pp. 83–108. DOI: 10.1139/a2012-002.
6. Tamburri M. N. Ballast water deoxygenation can prevent aquatic introductions while reducing ship corrosion / M. N. Tamburri, K. Wasson, M. Matsuda // Biological Conservation. — 2002. — Vol. 103. — Is. 3. — Pp. 331–341. DOI: 10.1016/S0006-3207(01)00144-6.

7. Albert R. Availability and Efficacy of Ballast Water Treatment Technology: Background and Issue Paper [Электронный ресурс] / R. Albert, R. Everett, J. Lishman, D. Smith. — Режим доступа: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=e654f4fa44f60504f592d434d17940cc2fd444e6> (дата обращения: 12.01.2016).
8. Решняк В. И. Очистка нефтесодержащей подсланевой воды озоном / В. И. Решняк, А. И. Каляуш, К. В. Решняк // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 5 (27). — С. 135–140.
9. 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.
10. Решняк В. И. Технология очистки и обеззараживания балластной воды / В. И. Решняк, А. И. Каляуш, 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.
11. Пат. 2761347 Российская Федерация, МПК C02F 1/78, B63J 4/00, C02F 1/32. Устройство обезвреживания балластной воды / В. И. Решняк, Д. И. Рочев; заяв. и патентообл. Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — № 2021108053; заявл. 25.03.2021; опубл. 07.12.2021, Бюл. № 34.

REFERENCES

1. Reshnyak, V.I., and E. A. Negruca. “Ensuring the effectiveness of technologies for cleaning and disinfection of ballast water.” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3(108) (2023): 144–150. DOI: 10.34046/aumsuomt108/20.
2. Reshnyak, Valery I., Andrey E. Plastinin, Viktor S. Naumov, and Anatoliy S. Slyusarev. “Slyusarev the application of ozone in the processes of oil-containing bilge water purification.” *Marine Intelligent Technologies* 4–2(46) (2019): 168–173.
3. Parsons, Michael G. “Considerations in the design of the primary treatment for ballast systems.” *Marine technology and SNAME news* 40.01 (2003): 49–60. DOI: 10.5957/mtl.2003.40.1.49.
4. Tsolaki, Efi, and Evan Diamadopoulos. “Technologies for ballast water treatment: a review.” *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 85.1 (2010): 19–32. DOI: 10.1002/jctb.2276.
5. Jing, Liang, Bing Chen, Baiyu Zhang, and Hongxuan Peng. “A review of ballast water management practices and challenges in harsh and arctic environments.” *Environmental Reviews* 20.2 (2012): 83–108. DOI: 10.1139/a2012-002.
6. Tamburri, Mario N., Kerstin Wasson, and Masayasu Matsuda. “Ballast water deoxygenation can prevent aquatic introductions while reducing ship corrosion.” *Biological Conservation* 103.3 (2002): 331–341. DOI: 10.1016/S0006-3207(01)00144-6.
7. Ryan, Rich Everett, John Lishman, and Daniel Smith. “Availability and Efficacy of Ballast Water Treatment Technology: Background and Issue Paper.”. Web. 12 Jan. 2016 <<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=e654f4fa44f60504f592d434d17940cc2fd444e6>>.
8. Reshnyak, V.I., A. I. Kalyaush, and K. V. Reshnyak. “Cleaning oily bilge water with ozone.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(27) (2014): 135–140.
9. 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.
10. 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. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-1-32-38.
11. Reshnyak, V. I., and D. I. Rochev. RU 2 761 347 C1, IPC C02 F 1/78, B63 J 4/00, C02 F 1/32. Ustroistvo obezvrezhivaniya ballastnoi vody. Russian Federation, assignee. Publ. 7 Dec. 2021.

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: rv53@mail.ru, kaf_chemistry@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Reshnyak, Valery 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: rv53@mail.ru, kaf_chemistry@gumrf.ru

Негруца Евгений Александрович — аспирант

Научный руководитель:

Решняк Валерий Иванович

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация,

Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

e-mail: cuidichnrch@rambler.ru,

kaf_chemistry@gumrf.ru

Чиков Егор Павлович — аспирант

Научный руководитель:

Решняк Валерий Иванович

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация,

Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

e-mail: melkor_mor_bauglir@mail.ru,

kaf_chemistry@gumrf.ru

Negrutsa, Evgenii A. — Postgraduate

Supervisor:

Reshnyak, Valery I.

Admiral Makarov State University of Maritime

and Inland Shipping

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

Russian Federation

e-mail: cuidichnrch@rambler.ru,

kaf_chemistry@gumrf.ru

Chikov, Egor P. — Postgraduate

Supervisor:

Reshnyak, Valery I.

Admiral Makarov State University of Maritime

and Inland Shipping

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

Russian Federation

e-mail: melkor_mor_bauglir@mail.ru,

kaf_chemistry@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 29 ноября 2023 г.

Received: November 29, 2023.