

## ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ И ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ БАЛЛАСТНОЙ ВОДЫ

*В. И. Решняк, А. И. Каляуш, Д. И. Рочев*

*Государственный университет морского и речного флота  
им. адмирала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Обоснована актуальность вопроса переноса микроорганизмов с балластной водой, используемой при эксплуатации судов. Отмечено, что поиск решения вышеуказанной проблемы занимает значительное количество времени и требует создания устройств для очистки и обеззараживания балластной воды. В настоящее время существуют различные подобные устройства, снижение количества микроорганизмов в которых обеспечивается в процессах очистки или обеззараживания. Предлагается новая технология очистки и обеззараживания балластной воды, предусматривающая образование осадка, содержащего микроорганизмы, удаление этого осадка из общего объема балластной воды с последующим обеззараживанием озоном. Отмечено, что объем воды, содержащий осадок и обеззараживаемый озоном, значительно меньше всего объема балластной воды и составляет от него не более 3–5 %. Образование осадка обеспечивается применением коагуляции и седиментации. Приведена схема технологии очистки и обеззараживания балластной воды. Принципиальная схема установки для очистки и обеззараживания балластной воды включает в себя судовую балластную емкость, приемный трубопровод, реагентную емкость, насос-дозатор, коагулянт, сборник, переборку, контактную колонну, генератор озона, устройство для обезвоживания и ультрафиолетовые лампы. Условия эксплуатации судовых установок характеризуются значительными ограничениями в пространстве и во времени. Представленные технологические решения предполагают проведение части операций (коагуляция, седиментация) и обеззараживание ультрафиолетовыми лампами в балластных емкостях, что способствует экономии пространства судовых помещений. Предлагаемая технология может применяться как в судовых установках, так и во внесудовых природоохранных технических средствах – плавучих или береговых (например, портовых сооружениях).

**Ключевые слова:** балластная вода, технология, очистка, обеззараживание, ультрафиолетовое излучение, озонирование.

**Для цитирования:** Решняк В. И., Каляуш А. И., Рочев Д. И. Технология очистки и обеззараживания балластной воды // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2021. № 1. С. 32–38. DOI: 10.24143/2073-1574-2021-1-32-38.

### Введение

Проблема переноса микроорганизмов с балластной водой, используемой при эксплуатации судов, обратила на себя особое внимание еще в 80-е годы прошлого столетия. С этого времени международное морское сообщество – Международная морская организация (ИМО) – активно занимается решением данной проблемы. По ряду объективных причин формирование и внедрение международного морского законодательства является процессом достаточно продолжительным. Много времени занимает процедура рассмотрения и принятия государствами участниками законодательных актов, а кроме того, решение проблемы требовало создания устройств для очистки и обеззараживания балластной воды, что в свою очередь основывалось на первоначальном накоплении определенного опыта [1, 2].

В вышеуказанном процессе требования законодательства становились все более строгими. Первые рекомендации для решения проблемы были приняты в 1991 г. Затем ИМО разрабатывает Международную конвенцию по контролю судовых балластных вод (BWMС), которая призвана регулировать перенос микроорганизмов в водном балласте; Конвенция была принята в 2004 г. [1].

В настоящее время законодательство в вышеобозначенной области определяет необходимость применения устройств (установок) для очистки и обеззараживания балластной воды. В такого рода устройствах применяются разные технологии переработки балластной воды. Одни из них предусматривают только ее очистку, другие – очистку и обеззараживание [2, 3]. При

этом снижение количества микроорганизмов обеспечивается в процессах очистки и/или обеззараживания. При обеспечении требуемого качества сбрасываемого за борт балласта отличие заключается в механизмах такого снижения, а также в применяемой технологии и конструктивных особенностях установок. Очистка обеспечивает удаление микроорганизмов как частиц примесей, а при обеззараживании эти организмы гибнут, тем самым обеспечивая требуемый эффект изменения качества балластной воды. В настоящей статье используется термин *установка для очистки и/или обеззараживания балластной воды*, в зависимости от перечня операций, производимых с забортной водой, принимаемой для использования в качестве балласта, или с балластной. Обозначенный термин в большей степени отражает используемую в установках технологию.

Например, в установке Hyde Guardian (производитель – Hude Marine, США) забортная вода очищается фильтрованием при ее приеме в судовые емкости балластной воды. Периодически фильтры промываются. При дебалластировке вода сбрасывается из этих емкостей за борт. Применяемая в данной установке технология характеризуется отсутствием обеззараживания, что повышает вероятность наличия в сбрасываемой за борт балластной воде патогенных живых организмов. Кроме того, при промывке фильтров образуется загрязненная живыми организмами вода, которая требует дальнейшего обеззараживания.

В установке NK-O3 Blue Ballast System/Nutech O3 (производитель – NK Company, Ltd., Южная Корея) предусмотрено обеззараживание забортной воды с использованием озонирования при ее приеме в качестве балласта. При дебалластировке балластная вода откачивается из судовых емкостей сразу за борт. 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 [4].

В установке Hitachi ClearBallast System (производитель – Hitachi, Ltd., Япония) очистка забортной воды предусматривает добавление к забортной воде при приеме ее в балластные емкости коагулянтов и магнитного порошка, которые предназначены для коагуляции взвешенных частиц, в том числе и микроорганизмов, с последующим выделением образованных агрегатов в магнитном и механическом фильтрах. При этом используемая технология не предусматривает обеззараживания, что может приводить к присутствию в сбрасываемой за борт балластной воде микроорганизмов.

Согласно приведенным примерам требуемое качество сбрасываемой за борт балластной воды обеспечивается при удалении микроорганизмов способами очистки или обеззараживания. Для этого в существующих установках для очистки и обеззараживания балластной воды чаще всего используется фильтрование, ультрафиолетовое излучение, озонирование и некоторые другие способы. Иногда для повышения эффективности использования этих операций дополнительно применяется коагуляция.

Необходимо отметить, что существующие в настоящее время установки осуществляют упомянутые процессы очистки и обеззараживания в момент приема забортной воды в качестве балласта или при ее откачке за борт, когда возникает необходимость удаления балласта. Это обстоятельство требует обеспечения большой производительности работы очистных и обеззараживающих устройств, что может оказывать отрицательное влияние на качество очистки и обеззараживания балластной воды. Учитывая, что на прием балласта и дебалластировку отводится незначительное время, фактор времени становится лимитирующим при организации и осуществлении всех операций с балластной водой [5, 6].

Анализ технических характеристик рассматриваемых установок подтверждает, что их производительности составляют от нескольких десятков кубических метров в час до нескольких тысяч. Для организации эффективных процессов очистки и обеззараживания при указанных значениях производительности требуются большие объемы очистных устройств, которые обеспечивают требуемое время, необходимое для организации процессов очистки или обеззараживания.

### **Материалы исследования**

Анализ состояния проблемы защиты водных объектов от микроорганизмов, которые могут быть перенесены с балластной водой, дает возможность резюмировать следующее. Характер норм современного законодательства требует отсутствия микроорганизмов в сбрасываемой за

борт балластной воде, что может быть обеспечено как процессами очистки, так и процессами обеззараживания. Применение процессов очистки обеспечивает извлечение микроорганизмов из балластной воды, однако требует последующего их уничтожения, например, обеззараживанием при условии обеспечения достаточного обеззараживающего воздействия.

Особенностями решения проблемы обеспечения требуемого качества очистки и обеззараживания балластной воды являются большие объемы принимаемого балласта и необходимость быстрого заполнения балластных танков [7].

Сказанное выше позволило сформулировать основные принципы формирования технологии очистки и обеззараживания балластной воды.

С целью обеспечения эффективности очистки и обеззараживания балластной воды, в том числе и по экономической составляющей, обеззараживаемые микроорганизмы целесообразно выделить из всего объема балластной воды и переместить в отдельный, значительно меньший объем. После удаления указанной субстанции из основного объема балласта последний целесообразно в судовых танках дополнительно обработать ультрафиолетовым излучением, что повысит надежность обеспечения требуемого качества балласта.

Осуществление основных операций в технологии очистки и обеззараживания балласта должно быть организовано при ее нахождении в судовых балластных танках во время перехода судна с балластом, т. е. в условиях наличия достаточного времени для обеспечения эффективности осуществляемых процессов.

Осадок с высоким содержанием микроорганизмов необходимо обработать озоном, который потенциально обладает сильным обеззараживающим эффектом.

Учитывая вышесказанное, была предложена новая технология очистки и обеззараживания балластной воды [4]. Главным отличием предлагаемой технологии (рис. 1) является удаление из основного объема балластной воды посредством коагуляции и седиментации микроорганизмов и формирование осадка этой взвеси.

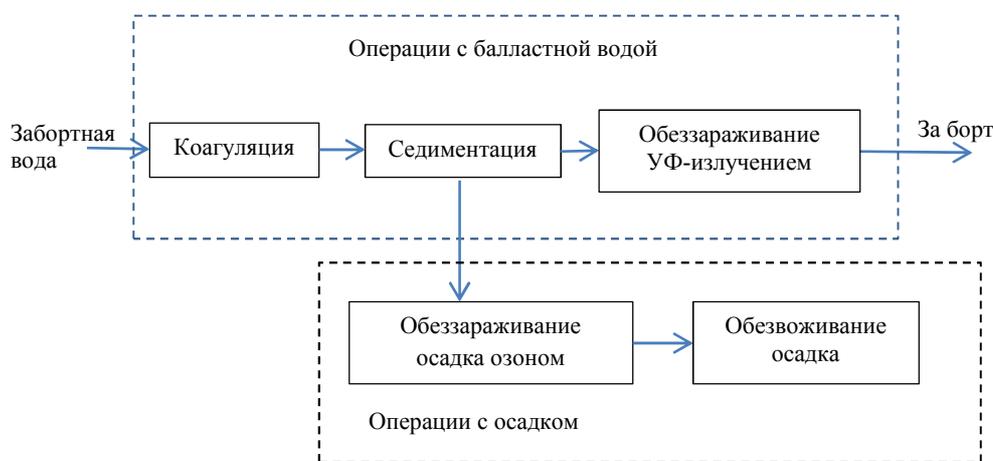


Рис. 1. Технология очистки и обеззараживания балластной воды

Разделение всего объема балластной воды на два потока (основной – это балластная вода (95–98 % от первоначального объема) и вышеупомянутый осадок (2–5 %)) позволяет все дальнейшие необходимые операции с этими потоками осуществлять отдельно и независимо друг от друга. Удаление взвешенной субстанции из балластной воды седиментацией, интенсифицированной коагуляцией, обеспечивает ее очистку от микроорганизмов. Очищенный таким способом балласт дополнительно подвергается обеззараживанию ультрафиолетовым излучением во время нахождения балласта в судовых танках, а не в потоке в момент приема балласта или его откачки за борт. В целом, использование этого времени является положительной особенностью предлагаемой технологии. Такая организация процесса очистки седиментацией и обработки ультрафиолетовым излучением создает наилучшие условия по времени для проведения процесса обеззараживания. Возможность и достаточность применения ультрафиолетового излучения

определяется двумя следующими факторами. Во-первых, выделение взвешенных примесей снижает уровень бактериологической опасности балластной воды до уровня, который допускает эффективное применение ультрафиолетового излучения. Во-вторых, наличие достаточного времени для осуществления данной операции, т. к. переходы с балластом осуществляются, как правило, в течение нескольких суток и более.

Осадок накапливается в небольшом объеме, что позволяет эффективно его обеззараживать, используя меньшее количество обеззараживающего реагента, например озона. После обеззараживания осадок будет представлять бактериологически безопасную взвесь, которую можно после обезвоживания сжигать в судовых печах для сжигания отходов или хранить до последующей передачи на специализированные береговые приемные пункты.

В процессе обеззараживания осадка, который характеризуется большими значениями coli-индекса, используется озонирование, нашедшее применение в судовом природоохранном оборудовании [7].

Предлагаемая технология реализуется с помощью системы, принципиальная схема которой приведена на рис. 2.

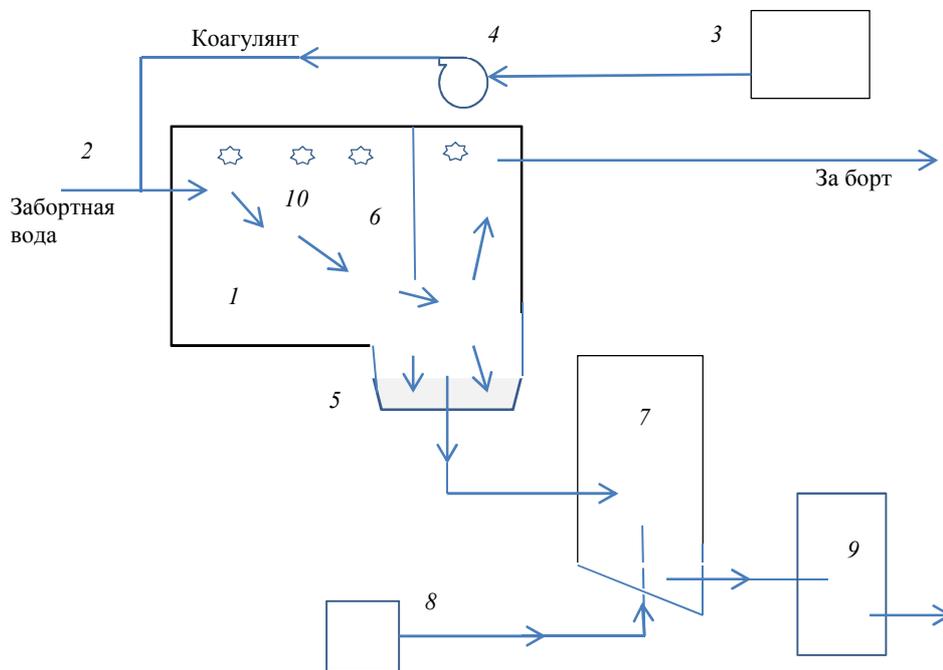


Рис. 2. Принципиальная схема установки для очистки и обеззараживания балластной воды:  
 1 – судовая балластная емкость; 2 – приемный трубопровод; 3 – реакгентная емкость; 4 – насос-дозатор;  
 5 – сборник; 6 – переборка; 7 – контактная колонна; 8 – генератор озона;  
 9 – устройство для обезвоживания; 10 – ультрафиолетовые лампы

Все операции по очистке и обеззараживанию балластной воды осуществляются в статических условиях, что повышает их эффективность.

При приеме балласта забортная вода поступает в судовую балластную емкость 1. В приемный трубопровод 2 одновременно из реакгентной емкости 3 насосом-дозатором 4 подается коагулянт. Такой способ подачи коагулянта обеспечивает лучшее его перемешивание с балластной водой. Находящиеся в балластной воде взвешенные частицы, которые сами могут представлять микроорганизмы или быть их носителями, начинают коагулировать, образуя более крупные агрегаты, которые начинают отстаиваться, образуя осадок [6].

При коагуляции взвеси и последующей ее седиментации живые организмы в виде осадка взвеси концентрируются в небольшой части объема балластной воды и накапливаются в сборнике 5. При этом наличие сборника не требует перестройки корпуса судна, поскольку таким сборником может служить более глубокая часть наклонного днища [2].

Более эффективному отделению взвеси от основного объема балластной воды способствует переборка 6, которая крепится к крышке балластной емкости и не доходит до ее днища. Таким образом, простой отстойник, которым одновременно является балластная емкость, превращается в каскадный. Из сборника 5 осадок направляется в контактную колонну 7, куда одновременно подается озono-воздушная смесь от генератора озона 8. Применение озона, являющегося одним из самых сильных окислителей, обеспечивает существующие требования к качеству воды, которая сбрасывается за борт [7]. В контактной колонне осадок обеззараживается, после чего поступает в устройство для обезвоживания 9. Обезвоживание может быть осуществлено в пресс-фильтре или устройстве центробежного типа [3]. Обезвоженный осадок направляется на сжигание в судовом инсенераторе [2].

Дополнительный обеззараживающий эффект основного объема балласта обеспечивается ультрафиолетовыми лампами 10, установленными в верхней части емкости 1.

Наиболее заметно преимущества предлагаемых технологических решений проявляются при их использовании в судовых установках, т. к. условия их эксплуатации характеризуются значительными ограничениями в пространстве и во времени. Данная технология предполагает осуществление части операций (коагуляции, седиментации) и обеззараживание ультрафиолетовыми лампами в самих балластных емкостях, что позволяет значительно экономить пространство судовых помещений. Размещение устройств, обеспечивающих обеззараживание и дальнейшую обработку осадка может быть выполнено как в агрегатированном варианте, так и в виде отдельных устройств, размещенных в разных местах судового пространства.

Устройство, реализующее данную технологию, может быть размещено не только на судне, но и на внесудовых (плавающих или береговых) очистных сооружениях. На береговых очистных сооружениях могут быть приняты и другие компоновочные решения, в том числе и предложенные в работе [5]: например, с применением мобильного комплекса, на котором размещено оборудование для обеззараживания осадка.

### **Заключение**

Анализ содержания и состояния проблемы балластной воды, образующейся при эксплуатации судов, а также особенности условий, в которых эта проблема должна решаться, позволил сформулировать теоретические принципы разработки технологии очистки и обеззараживания балластной воды, которые в свою очередь способствовали разработке технологии, характеризующейся новизной технологических и технических решений. Основные положения указанных принципов: использование времени движения судна с балластом для организации процессов очистки и обеззараживания балласта, концентрация микроорганизмов в небольшом объеме осадка и отделение этого осадка от общего балласта, последующее обеззараживание выделенного осадка при использовании способов, характеризующихся значительным обеззараживающим воздействием, например озонированием.

Предлагаемая технология с использованием выявленных возможностей повышения эффективности и надежности очистки и обеззараживания балластной воды включает в себя способы, обеспечивающие очистку балластной воды от микроорганизмов, их перемещение в виде осадка в отдельный поток воды существенно меньшего объема и последующее обеззараживание. Указанные признаки предлагаемой технологии делают ее более экономичной вследствие эффективного расходования озона, а также более надежной по сравнению с другим оборудованием аналогичного типа [1].

Основные мероприятия в предлагаемой технологии осуществляются в статических условиях, когда балластная вода находится в судовой емкости. Обеззараживание предполагает две стадии: очищение балласта ультрафиолетовым излучением и осадка – озоном.

Предлагаемая технология может быть реализована в судовых установках, а также в портовых сооружениях для приема балласта с судов перед их погрузкой. При реализации технологии в судовых условиях для организации и осуществления некоторой части операций могут быть использованы собственно балластные танки. Для размещения на береговых сооружениях могут быть также использованы различные компоновочные решения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *НД № 2-030101-030*. Руководство по применению Международной конвенции по контролю и управлению судовыми балластными водами и осадками. СПб.: Изд-во РМРС, 2015. 105 с.
2. *Иванченко А. А., Окунев В. Н., Сергеев А. А.* Системы обработки балластных вод: учеб. пособие. СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2016. 75 с.
3. *Михрин Л. М.* Предотвращение загрязнения морской среды с судов и морских сооружений. СПб.: ООО ИПК «Бионт», 2005. 336 с.
4. *Решняк В. И.* Предотвращение загрязнения водоемов нефтесодержащей подсланевой водой при эксплуатации судов и судовых энергетических установок: моногр. СПб.: Изд-во СПбГУВК, 2011. 207 с.
5. *Решняк В. И.* Система управления экологической безопасностью при эксплуатации судов на внутренних водных путях: моногр. СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2017. 146 с.
6. *Каляуш А. И.* Разработка комплекса специализированных судов и их СЭУ для очистки нефтесодержащей подсланевой воды: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2016. 157 с.
7. *Решняк В. И., Решняк К. В., Курников А. С.* Кинетика процессов глубокой очистки нефтесодержащей подсланевой воды окислением // Журн. Ун-та вод. коммуникаций. 2010. № 7. С. 171–178.

Статья поступила в редакцию 17.11.2020

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Решняк Валерий Иванович** – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; д-р техн. наук, профессор; зав. кафедрой химии и экологии; kaf\_chemistry@gumrf.ru.

**Каляуш Александр Иванович** – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры химии и экологии; kaf\_chemistry@gumrf.ru.

**Рочев Дмитрий Игоревич** – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; аспирант кафедры химии и экологии; kaf\_chemistry@gumrf.ru.



**TECHNOLOGY OF PURIFYING AND DISINFECTING  
BALLAST WATER**

**V. I. Reshnyak, A. I. Kaliaush, D. I. Rochev**

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
Saint-Petersburg, Russian Federation*

**Abstract.** The paper considers the problem of transferring microorganisms with ballast water used in the ship operation. It is noted that the search for a solution to the above problem takes a significant amount of time and requires developing special purifying equipment for disinfecting ballast water. Currently, there are various plants ensuring the decreased number of microorganisms in the process of disinfection. There has been proposed a new technology for ballast water treatment and decontamination that involves depositing microorganisms, removing them from the total volume of ballast water followed by ozone treatment. Actually, the volume of water containing sediment and decontaminated with ozone is significantly less than the total volume of ballast water and makes up about 3-5% of it. Microorganisms depositing takes place due to coagulation and sedimentation. The diagram of the ballast water purification and disinfection technology has been presented. The basic circuit of the ballast water disinfection plant includes a ship's ballast tank, receiving pipeline, reagent tank, metering pump, coagulant, collector, bulkhead, contact column, ozone generator, dehydration device and ultraviolet lamps. The operating conditions of the ship plants

have space and time limits. The above technological solutions infer carrying out some operations (coagulation, sedimentation) and disinfection by using the ultraviolet lamps inside the ballast tanks for saving space. The proposed technology can be applied both on board a ship and in the floating or onshore environmental protection equipment, for example, in the port facilities.

**Key words:** ballast water, technology, purifying, disinfection, ultra-violet radiation, ozonization.

**For citation:** Reshnyak V. I., Kaliaush A. I., Rochev D. I. Technology of purifying and disinfecting ballast water. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2021;1:32-38. (In Russ.) DOI: 10.24143/2073-1574-2021-1-32-38.

#### REFERENCES

1. ND № 2-030101-030. *Rukovodstvo po primeneniui Mezhdunarodnoi konventsii po kontroliu i upravleniui sudovymi ballastnymi vodami i osadkami* [RD No. 2-030101-030. Guidelines for application of the International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments]. Saint-Petersburg, Izd-vo RMRS, 2015. 105 p.
2. Ivanchenko A. A., Okunev V. N., Sergeev A. A. *Sistemy obrabotki ballastnykh vod: uchebnoe posobie* [Ballast water treatment systems: tutorial]. Saint-Petersburg, Izd-vo GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2016. 75 p.
3. Mikhlin L. M. *Predotvrashchenie zagriazneniia morskoi sredy s sudov i morskikh sooruzhenii* [Prevention of pollution of marine environment from ships and marine structures]. Saint-Petersburg, OOO IPK «Biont», 2005. 336 p.
4. Reshniak V. I. *Predotvrashchenie zagriazneniia vodoemov neftesoderzhashchei podslanevoi vody pri ekspluatatsii sudov i sudovykh energeticheskikh ustanovok: monografiia* [Preventing pollution of reservoirs with oil-containing bilge water during operation of ships and ship power plants: monograph]. Saint-Petersburg, Izd-vo SPbGUVK, 2011. 207 p.
5. Reshniak V. I. *Sistema upravleniia ekologicheskoi bezopasnost'iu pri ekspluatatsii sudov na vnutrennikh vodnykh putiakh: monografiia* [Environmental safety management system during ship operation in inland waterways: monograph]. Saint-Petersburg, Izd-vo GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2017. 146 p.
6. Kaliaush A. I. *Razrabotka kompleksa spetsializirovannykh sudov i ikh SEU dlia ochistki neftesoderzhashchei podslanevoi vody: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Developing specialized vessels and their ship power plants for purifying oil-containing bilge water: diss. cand. tech. sci.]. Saint-Petersburg, 2016. 157 p.
7. Reshniak V. I., Reshniak K. V., Kurnikov A. S. *Kinetika protsessov glubokoi ochistki neftesoderzhashchei podslanevoi vody okisleniem* [Kinetics of deep purification of oil-containing bilge water by oxidation]. *Zhurnal Universiteta vodnykh kommunikatsii*, 2010, no. 7, pp. 171-178.

The article submitted to the editors 17.11.2020

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Reshnyak Valery Ivanovich** – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Chemistry and Ecology; kaf\_chemistry@gumrf.ru.

**Kaliaush Alexander Ivanovich** – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Chemistry and Ecology; kaf\_chemistry@gumrf.ru.

**Rochev Dmitry Igorevich** – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Postgraduate Student of the Department of Chemistry and Ecology; kaf\_chemistry@gumrf.ru.

