

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1191-1199

ANALYSIS OF TECHNICAL CHARACTERISTICS AT THE SELECTION OF BALLAST WATER TREATMENT SYSTEMS FOR VESSELS OF MIXED NAVIGATION AREA

Y. N. Andryushechkin, D. Y. Stolpovskii, S. V. Rudy'kh

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

The article deals with the problem of preventing the transfer of invasive marine organisms with ballast waters of ships into various sea and river areas and the issues of equipping ships of a mixed navigation area with efficient shipboard ballast water treatment systems based on their performance parameters and overall parameters, safety for crew members and ship structures in accordance with the requirements of the International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments.

The study analyzed the standards of the International Convention for the Control and Management of Ballast Water and Sediments of 2017, regulating the replacement and quality of ballast water during operation and construction of sea and river vessels - D-1 and D-2.

In accordance with the rules of the Convention, the main methods and methods of treatment of seawater are presented by means of physical, mechanical and chemical effects, in order to determine the effectiveness of the impact of these methods on invasive organisms contained in ballast waters. The current technologies of physical and chemical disinfection of ballast with chlorine and ultraviolet radiation in modern developments are presented; their effectiveness is evaluated when used together with the method of mechanical filtration. The analysis of the technical characteristics of the modern development of shipboard ballast processing systems approved by the International Maritime Organization, determining their performance criteria has been made.

The results of this study is to determine the most relevant methods for processing shipboard ballast used in modern seawater treatment systems onboard a ship, the ranges of allowable processing equipment capacity in accordance with the limited weight and dimensions required for the possible installation of cleaning equipment on ships of a mixed navigation area in accordance with the requirements and the rules of the International Convention for the Control and Management of Ship's Ballast Water and Sediments. The study presented the main criteria for the selection of ballast treatment systems for river-sea vessels sailing.

Keywords: ballast water, ballast treatment systems, environmental pollution, treatment methods, filtration, convention, shipping.

For citation:

Andryushechkin, Yuri N., Dmitrii Y. Stolpovskii, and Sergey V. Rudy'kh. "Analysis of technical characteristics at the selection of ballast water treatment systems for vessels of mixed navigation area." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.6 (2018): 1191–1199. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1191-1199.

УДК 629.122

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ВЫБОРЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД ДЛЯ СУДОВ «РЕКА – МОРЕ» ПЛАВАНИЯ

Ю. Н. Андрюшечкин, Д. Ю. Столповский, С. В. Рудых

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

В статье рассматривается проблема предотвращения переноса инвазивных морских организмов балластными водами судов в различные морские и речные акватории и вопросы технического оснащения судов смешанного района плавания эффективными судовыми системами обработки балластных вод исходя из их параметров производительности и габаритных показателей, безопасности для членов экипажа и судовых

конструкций в соответствии с требованиями «Международной Конвенции о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими». В исследовании выполнен анализ стандартов «Международной Конвенции о контроле и управлении балластными водами и осадками 2017 года», регулирующих замену и качество балластных вод при эксплуатации и постройке морских и речных судов D-1 и D-2. В соответствии с правилами этой Конвенции, представлены основные методы и способы обработки забортной воды с помощью физического, механического и химического воздействия с целью определения эффективности воздействия данных методов на инвазивные организмы, содержащиеся в балластных водах. Представлены актуальные технологии физической и химической дезинфекции балласта хлором и ультрафиолетовым излучением в современных разработках, выполнена оценка их эффективности при совместном использовании этих технологий с методом механической фильтрации. Произведен анализ технических характеристик современных разработок систем обработки судового балласта, одобренных Международной морской организацией (ИМО), определяющих критерии их эффективности. Результатами данного исследования является определение наиболее актуальных методов обработки судового балласта, используемых в современных системах очистки забортной воды на борту судна, диапазонов допустимой мощности оборудования обработки в соответствии с ограниченными массогабаритными показателями, принятыми для возможной установки оборудования очистки на суда смешанного района плавания в соответствии с требованиями и правилами «Международной Конвенции о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими». В исследовании приведены основные критерии выбора систем обработки балласта для судов «река – море» плавания.

Ключевые слова: балластные воды, системы обработки балласта, экологическое загрязнение, методы обработки, фильтрация, конвенция, судоходство.

Для цитирования:

Андрюшечкин Ю. Н. Анализ технических характеристик при выборе систем обработки балластных вод для судов «река – море» плавания / Ю. Н. Андрюшечкин, Д. Ю. Столповский, С. В. Рудых // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1191–1199. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1191-1199.

Введение (Introduction)

В настоящее время одной из важных проблем обеспечения экологической безопасности является проблема предотвращения переноса чужеродных микроорганизмов и растений в неестественные для их обитания акватории балластными водами судов. Такой вид загрязнения, в отличие от других, несет необратимый характер, являющийся угрозой для биологического разнообразия различных экологических систем. По мере увеличения трафика в морском и речном судоходстве значение переноса инвазивных микроорганизмов увеличивается. Таким образом, любое судно является потенциально опасным источником экологической опасности [1]. Данная проблема порой грозит полным вымиранием различных видов флоры и фауны. С целью обеспечения экологической безопасности Международной морской организацией была разработана «Международная Конвенция о контроле балластных вод и осадков и управлении ими» (далее — Конвенция), в соответствии с которой принявшие этот документ страны обязуются обеспечивать безопасность перевозки балласта в соответствии с принятыми стандартами [3].

Ежегодно суда перевозят приблизительно 10–12 млрд балластной воды. Такое перемещение судового балласта из одних морских и речных бассейнов в другие приводит к неконтролируемому размножению чужеродных видов животных и растительных организмов, вытесняющих местные организмы из собственной среды обитания, нарушая тем самым природный экологический баланс системы той или иной акватории. Это «биологическое загрязнение» в ряде случаев приводит к самым серьезным экологическим, экономическим и социальным последствиям [2]. Таким образом, обработка и мониторинг балластных вод судов являются на сегодняшний день единственным актуальным решением данной экологической проблемы.

Целью данного исследования являлось обоснование основных характеристик, технических составляющих методов и способов обработки балластной воды от инвазивных морских организмов на борту судна, а также разработка критериев, необходимых для рационального выбора системы обработки балластных вод для судов «река – море» плавания с целью предотвращения переноса различных инвазивных организмов в соответствии с требованиями и стандартами для морских и речных судов D-1 и D-2 Конвенции.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Прием балласта является неотъемлемой частью обеспечения безопасности мореплавания судна. Балластная система на судне служит для изменения осадки и дифферента судна, обеспечивающих необходимую остойчивость судна при перевозке грузов или плавании судна порожнем. Однако смена балласта влечет за собой ряд негативных и неконтролируемых процессов, связанных с переносом инвазивных организмов, а использование стандартных балластных систем не обеспечивает предотвращение загрязнения акваторий такими микроорганизмами. Развитие инвазивных микроорганизмов является значительной угрозой как для вод всего Мирового океана, так и для экологической безопасности России. В связи с этим международное сообщество выпустило в конце XX в. ряд руководств и рекомендаций по контролю качества балластных вод, а в 2004 г. Международная морская организация (ИМО) приняла «Конвенцию по контролю и управлению балластными водами и осадками» (International Convention for the Control and Management of Ships Ballast Water and Sediments). Этот документ окончательно вступил в силу 8 сентября 2017 г. Таким образом, все страны, ратифицирующие данную Конвенцию, должны принять меры для предотвращения загрязнения балластными водами способом замены или обработки судового балласта. Суда, плавающие под флагом страны, принявшей Конвенцию, должны иметь на борту судна специальные системы очистки судового балласта, одобренные Международной морской организацией (ИМО), за исключением судов, которые используют способ сброса балласта на расстоянии 200 миль от берега или в приемные сооружения. Конвенция содержит два основных стандарта: D-1 — стандарт, регулирующий замену балластных вод, и стандарт D-2 — стандарт, регулирующий качество балластных вод [3]. Теперь страны, исполняющие обязательства данной Конвенции, должны руководствоваться стандартами D-1 и D-2 как при эксплуатации, так и при постройке новых судов.

Ранее основным способом защиты морской среды от подобных загрязнений являлась замена балластных вод в нейтральных водах, перед заходом в порт, не менее 95 % объема старого балласта на новый. В итоге этот способ был признан ИМО неэффективным для обеспечения предотвращения переноса инвазивных микроорганизмов. На данный момент наиболее актуальным способом обработки воды является очистка балластной воды на борту судна с использованием механических, физических и химических методов. Согласно принятой Конвенции, все суда должны иметь на борту специализированные системы очистки судового балласта, кроме судов, которые изначально не были сконструированы для принятия жидкого балласта. Данное оборудование должно быть сертифицировано и одобрено Международной морской организацией (ИМО), классификационными обществами и властями флага. Тем не менее возникает вопрос рационального выбора судовладельцем соответствующих систем обработки для судов, так как следует подобрать наиболее безопасную систему как для обеспечения предотвращения загрязнения моря, так и для безопасности судна и членов экипажа.

Результаты (Results)

Изучив материалы работы [4] и [5], следует отметить, что современные системы обработки судового балласта являются совокупностью различных технических составляющих, включающих работу нескольких основных блоков: механической фильтрации и дезинфекции (рис. 1).

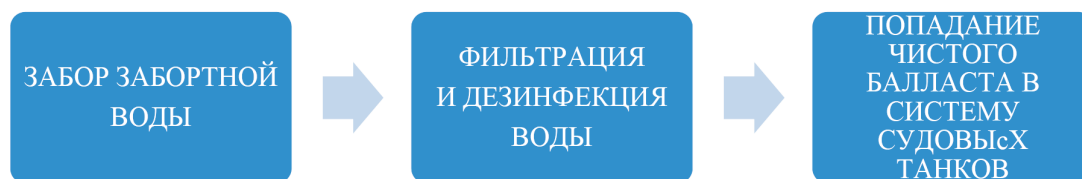


Рис. 1. Типовая схема обработки балластных вод

Механическая фильтрация представляет собой предварительную очистку с помощью различных фильтров и мультигидроциклонов, которая не позволяет попадать и оседать в балластных

танках морским организмам и растениям. Пропускная способность таких фильтров, как правило, не превышает 50 мкм [6]. Проанализировав доступные на рынке системы обработки балласта, одобренные ИМО, можно сделать вывод о том, что в комплексе механической фильтрации преобладающей технологией очистки является использование фильтров за счет их быстрой работы, размеров и простоты их эксплуатации и замены.

В работе [7] следующим этапом обработки выделяется сегмент дезинфекции, включающий обработку балласта, который служит для окончательного уничтожения микробов и вирусов, а также спор растений с помощью различных способов: обработки ультрафиолетом, электролиза, озонирования, хлорирования и бромирования. Такая обработка подразделяется на два основных метода: химический и физический (табл. 1).

Таблица 1

Методы обработки балластных вод

Методы обработки		
Механические	Физические	Химические
Фильтрация Использование мультигидроциклонов	Обработка ультрафиолетом Обработка ультразвуком Электролиз Озонирование Нагревание	Электрохлорирование Обработка диоксидом хлора Обработка перексидом водорода Обработка гипохлоритом натрия Обработка хлорной кислотой

В настоящее время использование технологий обработки хлором и ультрафиолетовым облучением являются наиболее распространенными среди производителей. Обработка хлором происходит при приеме балласта в систему проточным способом. Хлор на судне получают вследствие протекания процесса электролиза. Время пагубного воздействия не превышает четырех часов. При этом данный способ химической обработки имеет такой существенный недостаток, как появление коррозии металла, что, в свою очередь, из-за высокой концентрации, может привести к разрушению металлических танков балластной системы судна [8].

Ультрафиолетовое облучение используется в большинстве случаев с механическим способом обработки — фильтрацией. После того как забортная вода прошла первую ступень очистки фильтрами, судовой балласт подвергается ультрафиолетовому излучению, вследствие чего образуются гидроксильные радикалы, которые окончательно поражают оставшиеся после фильтрации микроорганизмы [9]. Поражающее действие данного способа действует только в течение процесса обработки, не оказывая разрушительного воздействия на конструкции балластной системы судна.

Авторы данной статьи, проанализировав доступные на рынке системы обработки балласта [10], одобренные ИМО, сделали вывод о том, что в комплексе механической фильтрации преобладающей технологией очистки является использование фильтров за счет их быстрой работы, размеров и простоты их эксплуатации и замены. Также следует отметить, что такие способы дезинфекции, как использование физического метода обработки ультрафиолетовыми волнами или химического метода хлорирования, являются в настоящее время наиболее востребованными (рис. 2).

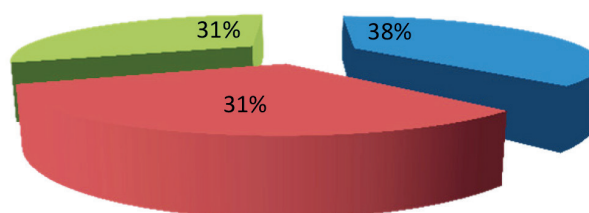


Рис. 2. Востребованные методы обработки балласта:

Условные обозначения: синий сегмент — использование УФ-излучения; красный сегмент — обработка хлором; зеленый сегмент — другие способы

Физический метод обработки балластных вод ультрафиолетовым излучением используются в следующих разработках: «GloEn-Patrol™ Ballast», «Resource Ballast Technologies», «Desmi», «HydeMarine», «AquaTriComb». Химический метод обработки балластных вод процессом хлорирования используется следующими разработчиками: «Hyundai Heavy Industries», «Blue Ocean Shield», «Ecochlor»; «OceanSaver»; «RWO».

Таким образом, авторы данного исследования при рассмотрении различных методов механической, физической и химической обработки судового балласта выделяют обработку ультрафиолетовым облучением и хлорирование за счет их максимальной безопасности для членов экипажа судна и судовых конструкций, высокой производительности и возможности интегрирования на суда смешанного района плавания при небольшой занимаемой площади и потребляемой мощности, без значительных конструктивных воздействий на корпус и судовые системы судна.

Обсуждение (Discussion)

На рынке представлено большое количество систем обработки балластных вод, в которых используются различные технологии обработки судового балласта, предназначенные для решения проблемы перевозки инвазивных организмов в различные акватории. В настоящее время актуальным является вопрос оснащения судов плавания «река – море» системами обработки балластных вод, из-за невозможности замены балластных вод в 200 милях от берега, ввиду их небольшой автономности плавания. Из-за конструктивных особенностей таких судов, является невозможной установка систем обработки больших размеров. Однако в настоящее время на рынке появляются системы с достаточной для судов плавания «река – море» производительностью и небольшой занимаемой площадью. Анализ систем с достаточной производительностью до 400 м³/ч показал, что площадь, занимаемая такими системами, составляет от 0,8 м² до 15 м². Далее приведен сравнительный анализ судовых очистных систем с возможностью интегрирования на суда смешанного района плавания, использующих разные методы обработки заборной воды.

Система «PureBallast 3.1», изготовленная компанией «AlfaLaval», — компактная система, предназначенная для обработки балластной воды, одобренная ИМО и береговой охраной США



Рис. 3. Система очистки балластных вод методом фильтрации и обработкой УФ-излучением «PureBallast 3.1»

(рис. 3). Данная система использует два этапа очистки заборной воды: фильтрацию и обработку ультрафиолетовыми лучами. Представленная модель состоит из нескольких компонентов: системы фильтров и реактора с ультрафиолетовыми лампами, а также блока управления системой. Принцип действия такой системы заключается в том, что при приеме заборной воды происходит первый этап очистки через систему фильтров, которые имеют механизм, предназначенный для самоочистки. После механической обработки фильтрами вода попадает в реактор с ультрафиолетовыми лампами, в котором происходит окончательный этап дезинфекции заборной воды — обработка ультрафиолетовым излучением. Самоочистка фильтров в этой модели осуществляется автоматически после приема балласта и занимает приблизительно 20 мин. Данная система имеет производительность 32–300 м³/ч при занимаемой площади 2,3 м², потребляемая мощность составляет от 20–30 кВт [11]. Данная модель может быть интегрирована на любое судно, в том числе и на суда *река – море* плавания и не имеет сложностей в ее обслуживании.

«Ecochlor Series 75» — это модель американской компании Ecochlor, разработанная для обработки заборной воды с помощью системы фильтров и диоксидом хлора (рис. 4). Первая ста-

для обработки состоит из системы двух фильтров средней и грубой очистки 100 мкм и 50 мкм соответственно. Далее в специальной смесительной вакуумной камере образуется диоксид хлора, после чего в воду, прошедшую предварительную фильтрацию, подается диоксид хлора. Данная модель — одна из небольших систем, предназначенная для обработки воды хлором с пропускной способностью 400 м³/ч [12]. Однако за счет объема танков для обработки воды площадью 1,5 м² и камеры для получения диоксида хлора площадью 1,3 м² можно сделать вывод о том, что подобные системы являются еще крупногабаритными для судов *река – море* плавания. Установка подобной системы на суда *река – море* практически возможна, но более актуальным типом систем являются системы с технологией обработки ультрафиолетом, которые занимают приблизительно в 1,5–2 раза меньше площади, при этом не уступая системам с хлором в производительности и безопасности.



Рис. 4. Система очистки балластных вод методом фильтрации и хлорирования «Ecochlor Series 75»

Каждая из проанализированных систем соответствует требованиям Конвенции и одобрена ИМО, а также может быть использована для обработки балластных вод на судах *река – море* плавания. Любая установка очистки должна соответствовать требованиям Конвенции и иметь основное и окончательное одобрения ИМО [13]. Выбирая систему для любого типа судна, следует обратить внимание на следующие критерии: производительность, габаритные показатели и воздействие на морскую среду и здоровье экипажа.

Критерий производительности является одним из основополагающих при выборе системы для судов с большой зависимостью от балласта (например, танкеры и балкеры, которые часто выполняют свои морские переходы в балласте и без груза). В настоящее время существуют системы производительностью более 10000 м³/ч, необходимая мощность которых может достигать до 200 кВт на 1000 м³/ч производительности, что в свою очередь, является энергозатратным процессом и может потребовать установки дополнительных дизель-генераторов. В случае судов *река – море* следует отметить, что за счет своих небольших размеров балласта, требуемого для поддержания достаточной остойчивости будет меньше, чем на морских судах, следовательно, для данного типа судов достаточной будет установка подобных систем.

Анализ габаритных показателей оборудования производительностью до 400 м³/ч показал, что полная площадь, занимаемая установкой, составляет 0,8–15,0 м². Анализ систем «PureBallast» и «Ecochlor» показал, что система с технологией обработки ультрафиолетовым излучением имеет меньшую занимаемую площадь. Таким образом, следует обратить внимание на то, что на габаритные показатели оказывает влияние выбор технологии, используемой в данной системе.

Сопоставляя различные системы обработки, необходимо обратить внимание на возможное негативное воздействие на здоровье членов экипажа. Экипаж должен иметь соответствующую подготовку для обслуживания подобных систем. На судне должны соблюдаться требования по-

жарной безопасности и быть отработаны действия в случае утечки химических веществ из систем обработки балласта. В дополнение к рассматриваемой Конвенции ИМО было разработано «Руководство по обеспечению безопасного использования и хранения химических веществ и препаратов, используемых при обработке балластных вод, и выполнялась разработка процедур безопасности по снижению рисков для судна и экипажа в результате процесса обработки» [14].

Заключение (Conclusion)

При рассмотрении различных методов обработки судового балласта наиболее актуальными способами являются обработка ультрафиолетовым облучением и хлорирование. Данные методы являются наиболее перспективными за счет возможности интегрирования их в балластные системы судов смешанного *река – море* плавания.

Выбор системы очистки судовладельцем для судов *река – море* должен быть основан на следующих критериях, исходя из специфики данного типа судов:

- минимальное энергопотребление
- минимальные габаритные параметры (ввиду ограниченного места для размещения при достаточной производительности).
- безопасность для членов экипажа и судовых конструкций при обслуживании данных систем.

Разрушение различных экологических систем биологическими инвазиями является серьезной биологической проблемой, а решение непосредственно находится в качественном и безопасном управлении судовым балластом при использовании новейших инженерных решений. Следует тщательно относиться к вопросу рационального выбора систем обработки заборной воды: проводить тщательный анализ существующих решений обработки, а также разрабатывать усовершенствованные методы фильтрации и дезинфекции, требующие минимального вмешательства в конструктивные особенности судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андрюшечкин Ю. Н. Анализ методов и способов управления балластными водами судов / Ю. Н. Андрюшечкин, А. К. Гусев, Д. Ю. Столповский // European scientific conference: сборник статей IX Международной научно-практической конференции: в 2 ч. — Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. — Ч. 1. — С. 107–110.
2. Castro M. C. T. Ten years of ballast water management / M. C. T. Castro, J. M. Hall-Spencer, C. F. Poggian, T. W. Fileman // Journal of Sea Research. — 2018. — Vol. 133. — Pp. 36–42. DOI: 10.1016/j.seares.2017.02.003.
3. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими. — СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2005. — 120 с.
4. Диденко М. А. Повышение эффективности управления балластными водами на судах морского и речного флота / М. А. Диденко, А. Л. Боран-Кешишьян, С. И. Кондратьев // Эксплуатация морского транспорта. — 2015. — № 4 (77). — С. 31–39.
5. First M. R. Life after treatment: detecting living microorganisms following exposure to UV light and chlorine dioxide / M. R. First, L. A. Drake // Journal of applied phycology. — 2014. — Vol. 26. — Is. 1. — Pp. 227–235. DOI: 10.1007/s10811-013-0049-9.
6. Wright D. A. Alternative, indirect measures of ballast water treatment efficacy during a shipboard trial: a case study / D. A. Wright, N. A. Welschmeyer, L. Peperzak // Journal of Marine Engineering & Technology. — 2015. — Vol. 14. — Is. 1. — Pp. 1–8. DOI: 10.1080/20464177.2015.1022379.
7. Леонов В. Е. Балластные воды в судоходстве: глобальная экологическая проблема / В.Е. Леонов, Я.В. Ермоленко // Sciences of Europe. — 2016. — № 1(1). — С. 80–87.
8. Горбов В. М. Анализ технико-экономических показателей при выборе систем обработки балласта / В. М. Горбов, В. С. Митенкова // Морський та річковий транспорт. — 2014. — № 2 (11). — С. 28–38.
9. Bakalar G. Comparisons of interdisciplinary ballast water treatment systems and operational experiences from ships / G. Bakalar // Springer Plus. — 2016. — Vol. 5. — Is. 1. — Pp. 1–12. DOI: 10.1186/s40064-016-1916-z.
10. Мизгирев Д. С. Современные способы и системы обработки судовых балластных вод / Д. С. Мизгирев, А. С. Курников // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2013. — № 37. — С. 190–198.

11. Alfa Laval PureBallast 3.1 Compact [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/products/process-solutions/ballast-water-solutions/alfa-laval-pureballast-3-1-compact.pdf> (дата обращения: 28.04.2018).
12. Ecochlor [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ecochlor.com/treatment/> (дата обращения: 23.04.2018).
13. Annex 4. Resolution MEPC. 174(58). Guidelines for approval of ballast water management systems (G8). — International Maritime Organization (IMO), 2008. — 28 p.
14. Guidance to ensure safe handling and storage of chemicals and preparations used to treat ballast water and the development of safety procedures for risks to the ship and crew resulting from the treatment process. — International Maritime Organization (IMO), 2004.

REFERENCES

1. Andryushechkin, Y. N., A. K. Gusev, and D. Y. Stolpovskii. "Analysis of management methods of ship ballast waters." *European scientific conference: sbornik statei IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. V 2 ch. Ch. I*. Penza: MTsNS «Nauka i Prosveshchenie», 2018. 107–110.
2. Castro, M. C. T., J. M. Hall-Spencer, C. F. Poggian, and T.W. Fileman. "Ten years of ballast water management." *Journal of Sea Research* 133 (2018): 36–42. DOI: 10.1016/j.seares.2017.02.003.
3. *Mezhdunarodnaya konventsia o kontrole sudovykh ballastnykh vod i osadkov i upravlenii imi*. SPb.: ZAO TsNIIMF, 2005.
4. Didenko, M. A., A. L. Boran-Keshish'yan, and S. I. Kondrat'ev. "Actual The efficiency increase in the ballast water treatment of sea and river ships." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 4(77) (2015): 31–39.
5. First, Matthew R., and Lisa A. Drake. "Life after treatment: detecting living microorganisms following exposure to UV light and chlorine dioxide." *Journal of applied phycology* 26.1 (2014): 227–235. DOI: 10.1007/s10811-013-0049-9.
6. Wright, D. A., N. A. Welschmeyer, and L. Peperzak. "Alternative, indirect measures of ballast water treatment efficacy during a shipboard trial: a case study." *Journal of Marine Engineering & Technology* 14.1 (2015): 1–8. DOI: 10.1080/20464177.2015.1022379.
7. Leonov, V. Ye., and Ya. V. Yermolenko. "Ballast water in shipping: global ecological problem." *Sciences of Europe* 1-1 (2016): 80–87.
8. Gorbov, V. M., and V. S. Mitenkova. "Analiz tekhniko-ekonomicheskikh pokazatelei pri vybore sistem obrabotki ballasta." *Mors'kii ta richkovii transport* 2(11) (2014): 28–38.
9. Bakalar, Goran. "Comparisons of interdisciplinary ballast water treatment systems and operational experiences from ships." *SpringerPlus* 5.1 (2016): 1–12. DOI: 10.1186/s40064-016-1916-z.
10. Mizgirev, D. S., and A. S. Kurnikov. "Modern methods and systems for ballast water treatment." *Vestnik VГАVТ* 37 (2013): 190–198.
11. Alfa Laval PureBallast 3.1 Compact. Web. 28 Apr. 2018 <<https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/products/process-solutions/ballast-water-solutions/alfa-laval-pureballast-3-1-compact.pdf>>.
12. Ecochlor. Web. 23 Apr. 2018 <<http://ecochlor.com/treatment/>>.
13. Annex 4. Resolution MEPC. 174(58). Guidelines for approval of ballast water management systems (G8). International Maritime Organization (IMO), 2008.
14. Guidance to ensure safe handling and storage of chemicals and preparations used to treat ballast water and the development of safety procedures for risks to the ship and crew resulting from the process. International Maritime Organization (IMO), 2004.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Андрюшечкин Юрий Николаевич —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С.О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: andryshechkin_y@mail.ru, kaf_svvp@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andryushechkin, Yuri N. —
PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: andryshechkin_y@mail.ru, kaf_svvp@gumrf.ru

Столповский Дмитрий Юрьевич — аспирант
Научный руководитель:

Андрюшечкин Юрий Николаевич
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

email: dimkadimkin182@gmail.com,
kaf_svvp@gumrf.ru

Рудых Сергей Витальевич —

доктор технических наук
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: kaf_svvp@gumrf.ru

Stolpovskii, Dmitrii Y. — Postgraduate
Supervisor:

Andryushechkin, Yuri N.

Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

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

email: dimkadimkin182@gmail.com,
kaf_svvp@gumrf.ru

Rudy'kh, Sergey V. —

Doctor of Technical Sciences

Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

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

e-mail: kaf_svvp@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 15 ноября 2018 г.

Received: November 15, 2018.