

УДК 629.5.06

DOI:10.46960/62045\_2020\_4\_32

**С.Н. Хрунков, К.О. Нижегородов**  
**АНАЛИЗ РЫНКА УСТАНОВОК ОБРАБОТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД**  
**И ПОИСК ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ДЕЗИНФЕКЦИИ**

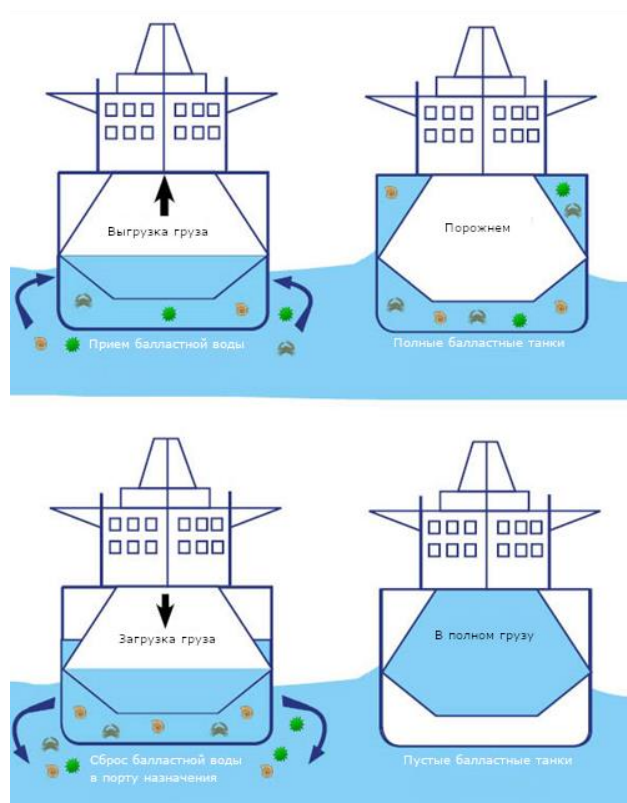
*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*  
Нижний Новгород, Россия

Описывается проблема переноса чужеродных микроорганизмов с балластными водами, приводящая к нарушению структуры экосистем водоемов, риску распространения возбудителей эпидемических заболеваний и другим проблемам. Приведены требования к управлению качеством балластных вод. Обоснована целесообразность обеззараживания балластных вод на борту судна. Дан обзор существующих систем очистки балластных вод и современных методов их дезинфекции. На основе сравнительного анализа систем очистки сделан вывод о перспективности метода обработки судового балласта ультрафиолетовым излучением по причине простого интегрирования их в балластные системы судов минимальных габаритов, низкой начальной стоимости, простоты в обслуживании, отсутствия необходимости в обучении персонала.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность балластных вод, обработка балластной воды, УФ-обработка, электрохлорирование, биологические загрязнения, управление качеством балластных вод.

### Введение

Судоходство имеет большое значение для глобальной экономики, предоставляя самые экономически эффективные средства транспортировки большого количества грузов на большие расстояния. Более 90 % перевозок по всему миру – от пищи и топлива до строительных материалов, химикатов и бытовых приборов – перевозится на судах. Около 36 000 торговых судов бороздит мировой океан, с общим дедвейтом более 1 млрд т. Суда специально спроектированы и построены для безопасного перемещения по воде и перевозки этих грузов. Однако, в тех случаях, когда судно движется без груза или с частичной загрузкой, оно должно принимать балласт, позволяющий работать эффективно и безопасно, обеспечивая, например, достаточную осадку для заглубления винта и руля, а также их эффективную работу. Наличие балластной воды является жизненно важным для безопасной эксплуатации судов, в то же время исследования показали, что при приеме балластной воды на борт живущие в ней микроорганизмы также попадают в балластные танки (рис. 1). В зависимости от продолжительности рейса и других факторов, многие из них могут сохранить жизнеспособность во время перехода и впоследствии попасть в воду порта назначения в процессе сброса балласта. Таким образом, балластная вода служит переносчиком микроорганизмов из одной части мира в другую. Если новый район обитания находится за пределами их обычного района распространения, перенесенные виды обычно называют чужеродными (неместными или неаборигенными). Балластная вода является негативным фактором в качестве источника внедрения инвазивных чужеродных видов, как в связи с ее объемами, так и в силу разнообразия переносимых организмов. По приблизительным оценкам, ежегодно около 3-5 млрд т балластной воды распространяется по всему миру судами, каждое из которых может перевезти и сотни литров, и сотни тысяч тонн такого груза, в зависимости от размера и предназначения транспорта.



**Рис. 1. Поперечное сечение судна, показывающее балластные танки и цикл балластной воды**

В Европейских морях России в настоящее время насчитывается около 150 видов микроорганизмов [1], ввезенных из различных районов Мирового океана. Многие из них, обладая широкой экологической толерантностью и высокой скоростью воспроизводства, формируют в новых водоемах многочисленные популяции и существенно изменяют видовую и пищевую структуру экосистем.

Потенциальная возможность причинения вреда в результате сброса водяного балласта признана не только Международной морской организацией – ММО (International Maritime Organization, IMO), но и Всемирной организацией здравоохранения, обеспокоенной ролью водного балласта в качестве среды распространения возбудителей эпидемических заболеваний. Для морской и прибрежной среды инвазивные виды идентифицированы как одна из четырех величайших угроз мировому океану, наряду с такими, как береговые источники загрязнения моря, чрезмерная эксплуатация морских ресурсов и физическое изменение/разрушение морских мест обитания [2].

Итак, транспортировка чужеродных организмов на судах с балластной водой является не только экологической проблемой, но и важным аспектом безопасности мореплавания, рыболовства и рыбоводства, сельского хозяйства, а в конечном счете – большой экономической проблемой. Россией в 2007 г. была одобрена и принята «Международная Конвенция по контролю и обработке судового водяного балласта и осадков» (International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004, IMO) (далее – Конвенция) [3,4]. ММО является структурой Организации объединенных наций, ответственной за регламентирование судоходства и связанных с ним вопросов. Она выступала лидером инициатив по регулированию и управлению потенциального внедрения вредных водных организмов и патогенов в результате сброса судовой балластной воды и осадков.

Под термином *управление качеством балластных вод*, согласно Конвенции, понимаются различные способы удаления, обезвреживания или избежания приема на борт судна вредных и патогенных организмов. Поскольку меры борьбы должны носить превентивный характер, можно сделать вывод о том, что единственно перспективными для обезвреживания могут быть только способы обработки балласта на борту судна, несмотря на возможные дополнительные затраты.

### Обзор принципиального устройства систем

Изучив материалы поставщиков установок обработки балластных вод (УОБВ), отметим, что современные системы обработки судового балласта являются совокупностью различных технических составляющих, включающих работу нескольких основных блоков: механической фильтрации и дезинфекции (рис. 2).

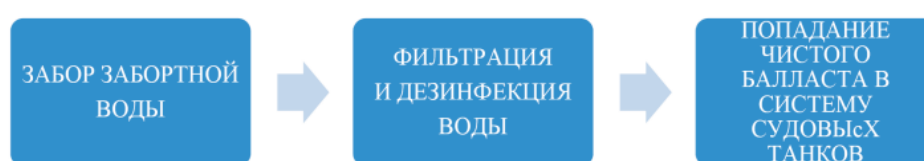


Рис. 2. Общая принципиальная схема работы УОБВ

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. 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. 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. Такая обработка подразделяется на два основных метода: химический и физический (табл. 1).

Таблица 1.  
Методы дезинфекции балластных вод

Физические	Химические
Обработка ультрафиолетом	Электрохлорирование
Обработка ультразвуком	Обработка диоксидом хлора
Электролиз	Обработка перексидом водорода
Озонирование	Обработка хлорной кислотой

В настоящее время использование технологий дезинфекции, с применением физического метода обработки ультрафиолетовыми волнами или химического метода хлорирования является наиболее востребованным (рис. 3). Для анализа и выбора наиболее эффективной установки обработки балластных вод, будем опираться на выборку из установок с распространенными методами дезинфекции.

### Дезинфекция УФ-излучением

Ультрафиолетовое излучение – это электромагнитное излучение, занимающее спектральный диапазон между видимым и рентгеновским излучением. Биологические эффекты

ультрафиолетового излучения в трех спектральных участках существенно различаются, поэтому биологи иногда выделяют, как наиболее важные в их работе, следующие диапазоны:

- УФ-А лучи (UVA, 315–400 нм);
- УФ-В лучи (UVB, 280–315 нм);
- УФ-С лучи (UVC, 100–280 нм).

Спектральный диапазон наглядно представлен на рис. 4.

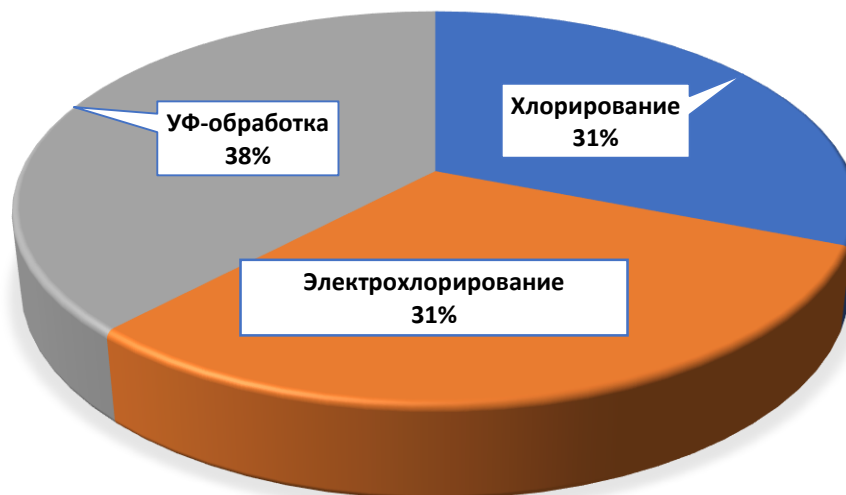


Рис. 3. Процентное соотношение используемых методов дезинфекции

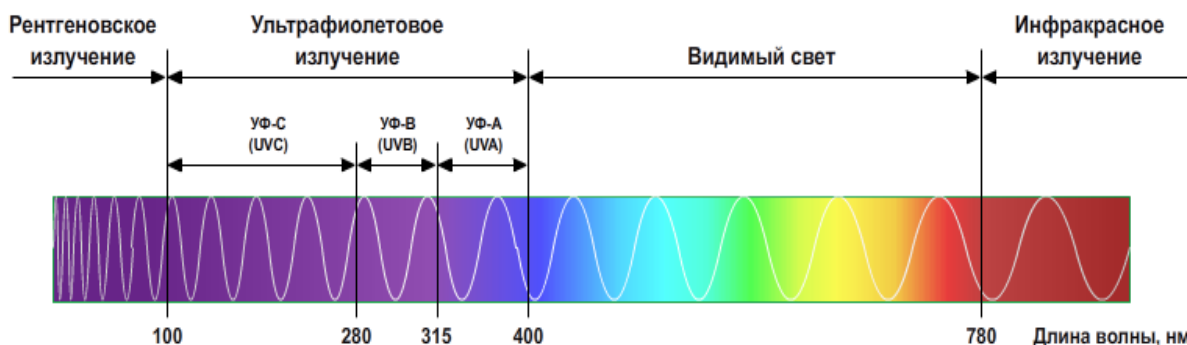


Рис. 4. Наглядное представление спектрального диапазона

Бактерицидное действие оказывает жесткий ультрафиолет – UVC (УФ-С лучи), в меньшей степени – ультрафиолет средней жесткости – UVB (УФ-В лучи). УФ-дезинфекция выполняется при облучении находящихся в воде микроорганизмов УФ-излучением определенной интенсивности. Достаточная длина волны для полного уничтожения микроорганизмов равна 260,5 нм в течение определенного периода времени (рис. 5). В результате такого облучения микроорганизмы «микробиологически» погибают, поскольку теряют способность воспроизводства вследствие поглощения фотона с длинами волн в этом диапазоне, нуклеиновыми кислотами, что приводит к разрушению структуры ДНК и РНК и ее точечной мутации (рис. 6).

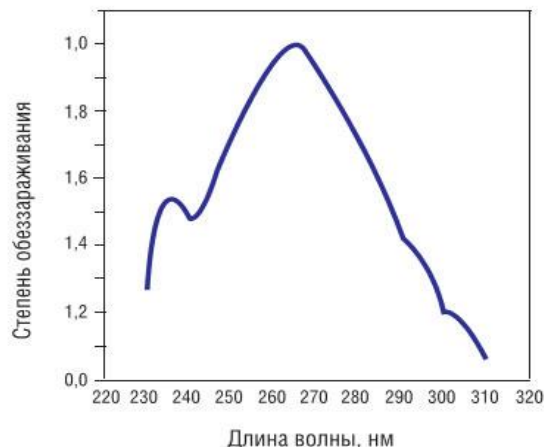


Рис. 5. Кривые бактерицидной эффективности

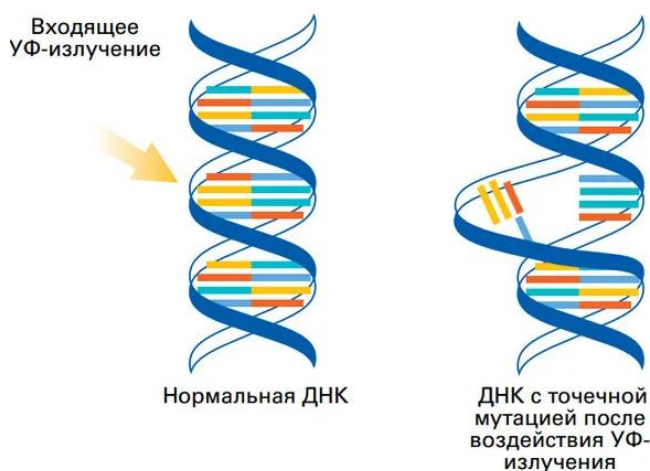


Рис. 6. Точечная мутация ДНК и РНК вследствие поглощения фотона

Ультрафиолетовое облучение используется в большинстве случаев вместе с механическим способом обработки – фильтрацией. После того, как заборная вода прошла первую ступень очистки фильтрами, судовый балласт подвергается ультрафиолетовому излучению, которое окончательно поражает оставшиеся после фильтрации микроорганизмы (рис. 7).

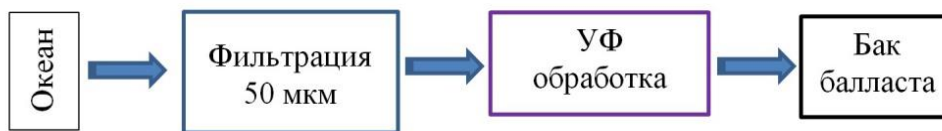


Рис. 7. Схема установки с УФ-реактором

Поражающее действие данного способа действует только в течение процесса обработки, не оказывая разрушительного воздействия на конструкции балластной системы судна. В выборку для метода дезинфекции УФ-облучением включим установку производства компании AlfaLaval, модель PureBallast 3.1 (рис. 8).



Рис. 8. Установка AlfaLaval PureBallast 3.1

Характеристики, достоинства и недостатки данной установки приведена в табл. 2.

Таблица 2.  
Характеристики AlfaLaval (модель PureBallast 3.1)

Стоимость, руб.	8 551 203
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	35...85
Энергопотребление, кВт	20
Габариты, мм	1312 × 860 × 1745
Масса, кг	750
Срок службы, ч	3 000
Образование побочных продуктов	–
Достоинства	не требует хранения химикатов не образует побочных продуктов предотвращает биообрастание
Недостатки	нет остаточного действия дезинфицирующая активность зависит от мутности воды

### Дезинфекция электрохлорированием

Гипохлорит натрия (NaClO) получают хлорированием водного раствора сухого натрия (NaOH) или электролизом раствора сухого натрия (NaCl). Транспортировка и хранение концентрированного раствора NaClO достаточно проста и не требует повышенных мер безопасности. Также получение гипохлорита натрия возможно и непосредственно на месте, путем электролиза. Электролитическое получение гипохлорита – низкзатратный и безопасный способ, а сам реагент легко дозируется и также может применяться в автоматических установках обеззараживания. При этом надо отметить, что гипохлорит натрия оказывает довольно сильное коррозионное воздействие [5,6] на различные материалы, о чем свидетельствуют приведенные данные (табл. 3).

Таблица 3.  
Данные о коррозии

Материал	Форма воздействия	Температура, °С	Скорость коррозии
Медные сплавы	водный раствор	20	> 10,0 мм/год
Сталь Ст3	водный раствор	25	> 10,0 мм/год
Чугун серый	водный раствор	25	> 10,0 мм/год

Обработка хлором происходит при приеме балласта в систему проточным способом (рис. 5). Хлор на судне получают в результате электролиза.

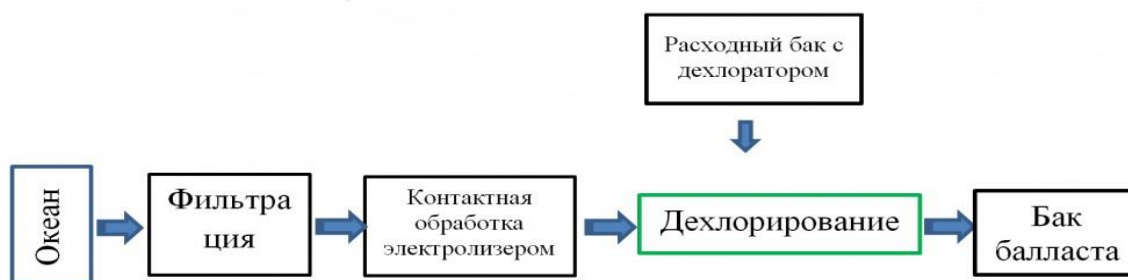


Рис. 9. Схема установки с электрохлорированием

В выборку для метода дезинфекции электрохлорирование включим установку производства компании Wartsila, модель AQUARIUS EC (рис. 9).



Рис. 9. Установка Wartsila, модель AQUARIUS EC

Информация с характеристиками, достоинствами и недостатками данной установки приведена в табл. 4.

**Таблица 4.**  
**Характеристики Wartsila (модель AQUARIUS EC)**

Стоимость, руб.	18 837 291
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	80...125
Энергопотребление, кВт	22
Габариты, мм	2400 × 2950 × 1575
Масса, кг	2335
Срок службы, ч	>3000
Образование побочных продуктов	+
Достоинства	эффективен против микроорганизмов
Недостатки	теряет активность при длительном хранении опасность выделения газообразного хлора коррозионное воздействие

### Выводы

Все проанализированные системы соответствуют требованиям Конвенции и одобрены ИМО, а также могут быть использованы для обработки балластных вод на судах. Выбирая систему, следует обратить внимание на следующие критерии: метод дезинфекции, стоимость, производительность, энергопотребление, массогабаритные показатели, срок службы. Сопоставляя различные системы обработки, необходимо учитывать возможное негативное воздействие на здоровье членов экипажа, что предполагает соответствующую его подготовку [7,8]. На судне должны соблюдаться требования пожарной 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». Изложенные в данном документе условия усложняют использование УОБВ с методами химической дезинфекции как в проектировании, так и в эксплуатации. Из сравнительного анализа моделей УОБВ по всем показателям (табл. 2, 4) и различных методов обработки судового балласта наиболее перспективным способом представляется обработка ультрафиолетовым облучением, в силу следующих факторов:

- 1) возможности простого интегрирования их в балластные системы судов минимальных габаритов;
- 2) низкой начальной стоимости;
- 3) простоты в обслуживании;
- 4) отсутствия необходимости в обучении персонала для работы с установкой.

Необходимо отметить, что в последнее время выбор установок обработки балластных вод ограничен габаритами и энергопотреблением, поэтому установки с УФ-дезинфекцией уверенно лидируют, особенно на маломерных судах [9] и судах с маломощными энергетическими установками [10].

### *Библиографический список*

1. Александров, Б.Г. Проблема переноса водных организмов судами и некоторые подходы к оценке риска новых инвазий // Морской экологический журнал. 2004. Т. 3. № 1. С. 5-17.
2. Дгебуадзе, Ю.Ю. Проблемы инвазий чужеродных организмов инвазий // Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов. – М.: МСОП, ИПЭЭ РАН. 2002. С. 11-14.
3. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими 2004 года. – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2005. – 120 с.



4. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененная протоколом 1978 г. к ней. МАРПОЛ 73/78: в 3-х кн. – СПб.: ЦНИИМФ, 2000. – 669 с.
5. Бахир, В.М. Химический состав и функциональные свойства хлорсодержащих дезинфицирующих растворов [Электронный документ] / В.М. Бахир, Б.И. Леонов, С.А. Паничева, В.И. Прилуцкий. Режим доступа <http://www.bakhir.ru/publications/10/> (Дата обращения 12.11.2020 ).
6. Беляк, А.А. К вопросу об использовании растворов гипохлорита натрия в водоподготовке / А.А. Беляк, А.Н. Касаткина, А.В. Гонтовой, А.Д. Смирнов, Е.М. Привен, О.Е. Благова // Питьевая вода. 2007. № 2. С. 25-34.
7. Дмитриев, С.М. Подготовка специалистов в области кораблестроения и авиационной техники в условиях Нижегородского региона / С.М. Дмитриев, Е.Г. Ивашкин, С.Н. Хрунков // Развитие кадрового потенциала ОПК: федеральные программы и региональная кадровая политика. Материалы X Всероссийского совещания. – Ижевск: Изд-во ИННОВА, 2017. С. 42-48.
8. Локтев, А.В. Особенности применения теплового насоса в энергетической установке танкера / А.В. Локтев, Д.Н. Варсеев // Транспортные системы, 2020. № 1 (15). С. 50-55.
9. Хрунков С.Н. Разработка аван-проекта прогулочного-переправочного судна с электроэнергетической установкой / С.Н. Хрунков, К.А. Куракин, А.В. Локтев, А.Е. Жуков // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 5. С. 187.
10. Khimich V.L. The method of diagnosing objects of the ship power plant of inland navigation vessels / V.L. Khimich., Y.P. Kuznetsov, P.I. Bazhan, A.V. Soloviev, S.N. Khrunkov // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1177, The 3rd Science and Technology Seminar «Mobility of Transport and Technological Machines» 28 August 2018, Nizhny Novgorod, Russian Federation.
11. 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 им. адмирала С.О. Макарова, 2018. № 6. С. 1191-1199.
12. Коперчак, О.П. Проблема балластных вод морского судна. Методы ее решения // Вестник науки. 2019. № 11 (20). С. 143-146.