

УДК 629.5.062.2:628.16

ОБРАБОТКА СУДОВЫХ БАЛЛАСТНЫХ ВОД: ПРОБЛЕМЫ И ЗАДАЧИ**Власов Дмитрий Владимирович**¹, аспирантe-mail: dv_vlasov@vk.com**Мизгирев Дмитрий Сергеевич**¹, доцент, д.т.н., профессор кафедры ПТМ и МРe-mail: mizgirevds@yandex.ru¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье освещается проблема экологического риска, связанного с использованием балластных вод на судах и обусловленного переносом с помощью них различных водных организмов и патогенных микроорганизмов между экосистемами. Рассмотрены требования Международной конвенции ИМО касательно обработки балластных вод и недостатки эксплуатирующихся систем управления балластными водами. Предложен способ улучшения существующих решений.

Ключевые слова: балластные воды, правило D-2, дебалластировка, индикаторные микробы, УФ-излучение, озонирование, хлорирование, кавитация.

SHIPS` BALLAST WATER TREATMENT: PROBLEMS AND TASKS**Dmitry V. Vlasov**¹, Doctoral studente-mail: dv_vlasov@vk.com**Dmitry S. Mizgirev**¹, Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Lifting and Transport Machines and Machine Repaire-mail: mizgirevds@yandex.ru¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article highlights the problem of environmental risk associated with the use of ballast water on ships and caused by the transfer of various aquatic organisms and pathogenic microorganisms between ecosystems. The requirements of the IMO International Convention on Ballast Water Treatment and the disadvantages of operating ballast water management systems are considered. A way to improve existing solutions is proposed.

Keywords: ballast water, regulation D-2, deballasting, indicator microbes, UV radiation, ozonation, chlorination, cavitation.

Балластная система судна обеспечивает его правильную посадку и является основным способом устранения динамических эксплуатационных, а также аварийных кренов и

дифференгов. Ее принцип действия основан на регулируемом заборе (балластировке) и сбросе (дебалластировке) заборной воды.

Однако, применение заборной воды в балластных системах несет серьезную экологическую угрозу: вместе с ней происходит перенос и инвазия различных видов водных организмов и патогенных микроорганизмов. Оказавшись в иной природной среде, они могут приспособиться к существующим условиям. Таким образом, их успешная акклиматизация способна кардинально менять структуру местных экосистем и наносить им ощутимый, а иногда и непоправимый ущерб.

Для минимизации подобных рисков Международная морская организация (ИМО) в 2004 году утвердила «Международную конвенцию о контроле судовых балластных вод и осадков и управления ими». Данный документ заложил нормативно-правовую основу для системного контроля обращения с балластными водами на международном уровне.

Ключевым инструментом регулирования данной конвенции стал стандарт качества балластных вод, закрепленный в правиле D-2. В соответствии с ним суда обязаны обеспечивать следующие предельно допустимые уровни содержания жизнеспособных организмов при дебалластировке: не более 10 особей на 1 м³ для организмов размером от 50 мкм, а также не более 10 особей на 1 мл для организмов размером от 10 до 50 мкм.

Также данное правило регулирует предельно допустимые концентрации индикаторных микробов [1]:

- токсикогенный вибрион холеры - не более 1 КОЕ на 100 мл либо менее 1 КОЕ на 1 г (в пересчете на сырой вес) образцов зоопланктона;
- кишечную палочку – не более 250 КОЕ на 100 мл;
- кишечные энтерококки – не выше 100 КОЕ на 100 мл.

Согласно требованиям конвенции, для соответствия сброса балластных вод в соответствии с правилом D-2 необходимо, чтобы при дебалластировке они проходили обработку в судовой системе управления балластными водами (СУБВ) [1].

На сегодняшний день разработано большое число СУБВ с различными технологиями обработки. Наибольшее распространение получили СУБВ, использующие фильтрацию и обработку либо при помощи активного реагента (в большинстве своем это озон или соединения хлора), либо при помощи УФ-излучения как базового метода обработки. Нередко цикл обработки дополняют вспомогательными технологиями, например, электролизом или иными специализированными способами воздействия, позволяющими повысить эффективность нейтрализации жизнеспособных организмов. [2 - 6] (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Общий вид существующих СУБВ:

- а) СУБВ «Desmi CompactClean» (фильтрация и УФ-обработка);
- б) СУБВ «Ecochlor» (фильтрация, хлорирование и электролиз);
- в) СУБВ «NK-O3 BlueBallast» (фильтрация и озонирование)

Однако, в настоящее время нет СУБВ, которые одновременно отвечали бы критериям высокой эффективности, обеспечивая при этом компактность и высокие экономические показатели [2].

Практика эксплуатации показывает, что уже на ранних этапах вскоре после ввода в эксплуатацию существующие СУБВ перестают удовлетворять требованиям правила D-2 [7], так как невозможно гарантировать, что каждая из них будет эффективно функционировать в течение всего срока службы. Постоянная смена акваторий и изменчивость внешних факторов, в силу специфики морских перевозок, создают условия, в которых стабильно поддерживать заявленные показатели очистки практически невозможно.

Также необходимо отметить, что использование УФ-излучения для обработки балластных вод не является идеальным решением по причине того, что этот способ эффективен только в случае, когда вода достаточно прозрачна. Наличие взвешенных частиц, мути или сильных органических загрязнений значительно снижают проникающую способность УФ-излучения, что, в свою очередь, пропорционально уменьшает степень обеззараживания. Для решения данной проблемы в подобных СУБВ устанавливаются фильтры перед тем, как производить УФ-обработку. Однако в случае сильной загрязненности балластных вод это значительно увеличивает нагрузку на них, что потребует их частой замены. Учитывая продолжительность международных рейсов, подобные СУБВ могут не соответствовать требованиям правила D-2 вскоре после отхода из последнего порта.

Использование хлорирования в основе СУБВ также несет определенные риски в связи с высокой токсичностью как самого хлора, так и его производных, а также его сильной коррозионной активностью. Это означает, что подобные СУБВ требуют обязательного наличия этапа дехлорирования в своем технологическом процессе, что значительно усложняет и удорожает подобные установки, т.к. дехлорирование производится с помощью других реагентов, например, с использованием бисульфита натрия.

В свою очередь, озонаторные установки отличаются сравнительно высоким энергопотреблением, а также наличием обязательного узла деструкции озона перед сбросом балластных вод, что приводит к значительным массогабаритным показателям подобных СУБВ.

В связи с тем, что в настоящее время в серийно выпускаемых СУБВ наиболее распространено применение фильтрации с УФ-обработкой, возможным решением вышеуказанных проблем является дополнение процесса очистки обеззараживающей кавитационной обработкой.

Кавитационные установки, как правило, компактны и не требуют больших площадей. Их с легкостью можно будет интегрировать в существующие СУБВ на судах различных типов, включая морские и речные суда смешанного («река-море») плавания.

В отличие от УФ-обработки, эффективность кавитационной обработки не будет зависеть от оптических характеристик воды, в частности ее мутности и цветности.

Вследствие чего подобные системы целесообразно применять в прибрежных акваториях, отличающихся повышенной концентрацией взвешенных веществ и органических соединений. В подобных условиях традиционные методы очистки нередко теряют свою результативность. Кроме того, кавитационный способ обработки лишен ряда ограничений, характерных для хлорирования и озонирования, что расширяет возможности его практического использования.

Таким образом, целесообразно дополнить существующие схемы СУБВ кавитатором как дополнительным элементом обработки (Рисунок 2).



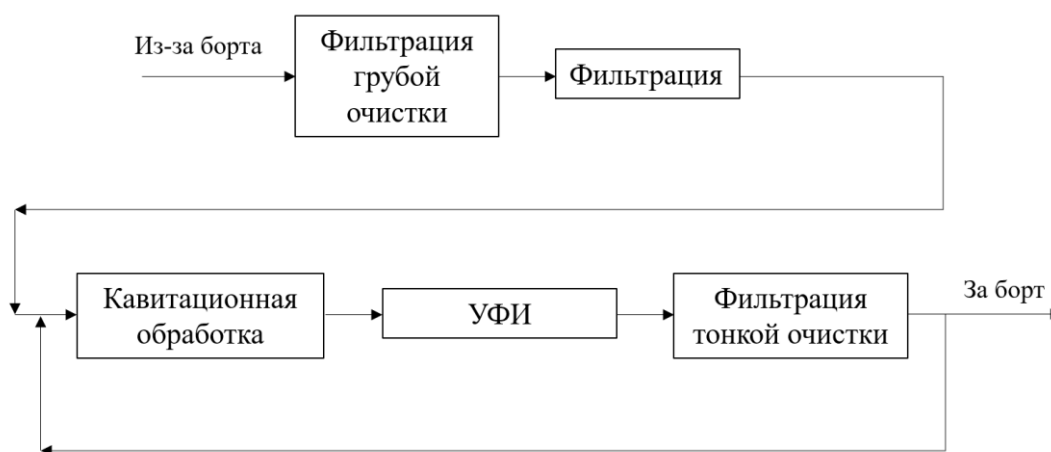


Рисунок 2 – Предлагаемая функциональная схема СУБВ

Кроме того, с целью снижения рисков инвазии живых организмов, развившихся в балластных танках судна во время рейса, необходимо предусмотреть возможность вторичной кавитационной обработки балластных вод при дебалластировке судна, что дополнительно повысит эффективность и надежность СУБВ.

Конечный выбор оптимальной технологии очистки балластных вод зависит от множества факторов. В частности, при подборе системы очистки следует учитывать:

- тип судна и его маршрут;
- объем балластных вод;
- особые требования международных норм по морским районам эксплуатации;
- стоимость эксплуатации, обслуживания и ремонта;
- доступность СЗЧ, трудоемкость технического обслуживания.

В свою очередь, современные требования к очистке балластных вод диктуют необходимость:

- отказа от исключительно химических методов в пользу экологически безопасных альтернатив;
- внедрения комбинированных систем, сочетающих механическую, физическую и минимальную инвазивную химическую обработку;
- разработки адаптивных технологий, учитывающих условия эксплуатации судна.

В качестве одного из путей решения обозначенных проблем предлагается использование обеззараживающего эффекта кавитации в составе основного технологического процесса СУБВ. Это позволит достичь высокой эффективности обработки балластных вод.

Здесь возникает задача по разработке аппаратной базы процесса кавитационной обработки, то есть конструкции кавитатора, отвечающей всем требованиям для применения в составе СУБВ.

Таким образом, совершенствование СУБВ является актуальной и востребованной научной задачей, требующей скорейшего разрешения.

Список литературы:

1. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управления ими 2004 года и Кодекс по одобрению систем управления балластными водами (Кодекс СУБВ) / АО "Центральный научно-исследовательский и проектно-

конструкторский институт морского флота" (ЦНИИМФ). — Санкт-Петербург : ЦНИИМФ, 2018. — 253 с.; 22. — ISBN 978-5-8072-0146-1

2. Курников А.С. Научное обоснование технических решений создания и совершенствования природоохранного оборудования для водного транспорта и предприятий речного флота: монография / А.С. Курников, Д.С. Мизгирев, Т.А. Михеева – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2017. – 434 с.

3. Мизгирев Д. С. Модернизация систем управления балластными водами с использованием кавитации / Д. С. Мизгирев, В. Н. Власов, Д. В. Власов // Современное состояние и актуальные проблемы водного транспорта : Сборник статей VIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, Казань, 04 февраля 2026 года. – Казань: Волжский государственный университет водного транспорта, 2026. – С. 362-365

4. CompactClean - Compact Ballast Water Management System. – URL: <https://www.desmi.com/products-solutions-library/compactclean/> – Заглавие с экрана (дата обращения: 09.06.2026)

5. Ecochlor BWTS Receives USCG Type Approval. – URL: <https://maritime-executive.com/corporate/ecochlor-bwts-receives-uscg-type-approval> – Заглавие с экрана (дата обращения: 10.06.2026)

6. NK-03 Blue Ballast Water Treatment. – URL: <https://www.oceanking.gr/sauer-manometer-2/> – Заглавие с экрана (дата обращения: 10.06.2026)

7. Biological testing of ships' ballast water indicates challenges for the implementation of the Ballast Water Management Convention / Outinen O., Bailey S. A., Casas-Monroy O., Delacroix S., Gorgula S., Griniene E., Kakkonen J. E., & Srebaliene, G. // Frontiers in Marine Science, 11(2). - 2024, - DOI: 10.3389/fmars.2024.1334286

