

УДК 656.6

**ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ ТИПА СУДНА С ВОЗМОЖНОСТЬЮ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ
БАЛЛАСТНЫХ ВОД****Мясникова Ирина Борисовна¹**, доцент, кандидат химических наук*e-mail:* irina120669@yandex.ru**Павлова Светлана Михайловна¹**, ассистент*e-mail:* s.pavlova2774334@gmail.com**Карлин Владислав Ильич¹**, бакалавр*e-mail:* vlad.karlin.01@mail.ru**Сафина Найля Маратовна¹**, бакалавр*e-mail:* najlasafina67@gmail.com¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В работе систематизированы классификации балластных систем и биологических методов обработки балластных вод. Установлена функциональная зависимость между автономностью плавания судна и эффективностью применения биологических технологий обеззараживания. Выявлена количественная взаимосвязь между типом судна (VLCC, балкер, контейнеровоз, судно смешанного плавания) и продолжительностью балластных операций с учётом интеграции биологических систем. Обоснован перечень типов судов, для которых применение биологического обеззараживания при рейсах более 14 суток является технически реализуемым и экономически целесообразным.

Ключевые слова: балластные воды, биологические методы обработки, биоаккумуляция, конкурентное исключение, биофильтрация, автономность плавания, классификация судов, Конвенция BWM 2004.

**STUDY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN VESSEL TYPE AND THE
POSSIBILITY OF USING BIOLOGICAL BALLAST WATER TREATMENT****Irina B. Myasnikova¹**, Associate Professor, Candidate of Chemical Sciences*e-mail* irina120669@yandex.ru**Svetlana M. Pavlova¹**, Assistant*e-mail:* s.pavlova2774334@gmail.com**Vladislav I. Karlin¹**, Bachelor's Degree Student*e-mail:* vlad.karlin.01@mail.ru**Naila M. Safina¹**, Bachelor's Degree Student*e-mail:* najlasafina67@gmail.com¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper systematizes classifications of ballast systems and biological ballast water treatment methods. A functional dependence between the vessel's cruising endurance and the effectiveness of biological treatment technologies is established. A quantitative relationship between the vessel type (VLCC, bulk carrier, container vessel, mixed navigation vessel) and the duration of ballast operations considering the integration of biological systems is revealed. The list of vessel types for which the use of biological treatment for voyages exceeding 14 days is technically feasible and economically justified is substantiated.

Keywords: ballast water, biological treatment, vessel type, cruising endurance, bioaccumulation, competitive exclusion, biofiltration, BWM 2004 Convention.

Введение

Перенос гидробионтов с водяным балластом судов признан Международной морской организацией (ИМО) одним из наиболее значимых факторов антропогенной трансформации морских экосистем — наряду с химическим загрязнением, чрезмерной эксплуатацией биоресурсов и физическим разрушением биотопов. По имеющимся оценкам, ежегодный объём перевозимой балластной воды достигает 10 млрд тонн, что обуславливает трансграничное перемещение нескольких тысяч видов микроорганизмов, фито- и зоопланктона, а также бентосных организмов на стадии личинок. Инвазивные виды, такие как гребневик *Mnemiopsis leidyi* в Азово-Черноморском и Каспийском бассейнах или двустворчатый моллюск *Dreissena polymorpha* в Великих озёрах Северной Америки, наносят многомиллиардный экономический ущерб.

В качестве ответной меры разработана и ратифицирована Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими 2004 года (Конвенция BWM 2004), вступившая в силу 8 сентября 2017 г. Документ обязывает судовладельцев обеспечивать обработку балластных вод в соответствии со стандартом D-2 [1]. В то время как в коммерческой эксплуатации доминируют физические и электрохимические методы, всё больший интерес вызывают биологические методы обеззараживания.

Цели и задачи работы

Целью настоящего исследования является изучение взаимосвязи между типом судна и возможностью применения биологического обеззараживания балластных вод.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. Систематизировать классификации балластных систем и биологических методов обработки балласта.
2. Установить функциональную связь между автономностью судна (продолжительностью рейса) и эффективностью биологического обеззараживания.
3. Выявить зависимость выбора конкретного биологического метода от типа судна, района плавания и эксплуатационных факторов.
4. Обосновать перечень типов судов, для которых применение биологического обеззараживания при рейсах более 14 суток является технически реализуемым.

Классификация балластных систем

Балластная система представляет собой совокупность технических средств (трубопроводов, арматуры, насосного оборудования, цистерн и приборов управления), предназначенную для приёма, перераспределения, хранения и удаления забортной воды с целью обеспечения проектных мореходных качеств судна: остойчивости, посадки (дифферента и крена), прочности корпуса и эффективности работы движительного комплекса.

По способу перемещения балласта различают: самотёчную (гравитационную), насосную (механическую) и комбинированную системы. По архитектуре трубопроводов: кольцевую, магистральную и районированную (секционную). По расположению и типу балластных цистерн: двойное дно, бортовые (крыльевые), форпик, ахтерпик, глубокие танки. По целевому назначению: основную, систему дифферентовки, систему замещения (груз-балласт), аварийную (противокреновую) [2, 3]. По степени автоматизации: ручное дистанционное управление, автоматизированная (BCS), интегрированная (IAS). Также выделяются специализированные системы: SBT на танкерах, системы судов динамического позиционирования (DP), системы ледоколов с подогревом балласта, системы судов смешанного плавания с ограниченной высотой трубопроводов [4, 5].

Классификация биологических методов обработки балластных вод

Под биологическими методами понимаются технологические процессы, основанные на использовании метаболической активности живых организмов (бактерий, микроводорослей) или их сообществ для подавления жизнеспособности и элиминации инвазивных гидробионтов без применения экзогенных химических реагентов.

1. Методы на основе метаболической активности микроорганизмов:

- *Биофильтрация (BioFilter)*: иммобилизация штаммов *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas putida* на инертной загрузке, формирование биоплёнки, адсорбция и ферментативная деструкция.

- *Биоаккумуляция (BioAccumulation)*: активное поглощение (биосорбция) и внутриклеточное накопление чужеродных микроорганизмов специализированными штаммами-биоаккумуляторами.

- *Конкурентное исключение (Competitive Exclusion)*: интродукция высокоплотной суспензии автохтонных непатогенных микроорганизмов-антагонистов, продуцирующих антимикробные метаболиты.

- *Биодеградация (BioDegradation)*: использование микробных консорциумов с лигнолитической и целлюлозолитической активностью.

2. Методы с использованием фотосинтезирующих микроводорослей:

- *Фитофильтрация (PhytoFilter)*: культивирование *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus quadricauda* в освещаемых балластных цистернах, создание олиготрофных условий.

- *Фитоаккумуляция (PhytoAccumulation)*: накопление поллютантов в биомассе водорослей с последующей седиментацией [6].

Корреляция между типом судна и возможностью биологического обеззараживания

Ключевым параметром, определяющим возможность применения биологического обеззараживания, является время экспозиции — продолжительность рейса, необходимая для формирования устойчивого микробного консорциума и достижения требуемой степени элиминации целевых организмов.

Анализ кинетических закономерностей показывает:

- При автономности плавания менее 5-7 суток (паромы, фидерные контейнеровозы) применение биологических методов нерационально.
- При автономности 7-10 суток возможно применение конкурентного исключения и биофильтрации.
- При автономности более 10-14 суток (крупнотоннажные танкеры, балкеры, газовозы) создаются оптимальные условия для биоаккумуляции и конкурентного исключения [7].

В таблице 1 представлена взаимосвязь типа судна и времени выполнения балластных операций с учётом биологических BWMS.

Интеграция биологических систем приводит к увеличению продолжительности балластной операции на **15-40%** (до 50-100% для малых судов) за счёт необходимости обеспечения расчётного времени контакта воды с биологически активной фазой [8].

Зависимость выбора биологического метода от типа судна

В таблице 2 приведены критерии выбора и рекомендуемые биологические методы для различных типов судов [9].

Таблица 1. Расчётное время полной смены балласта для различных типов судов

Тип судна	Объём балласта, м³	Время без BWMS, ч	Время с биологической BWMS, ч	Увеличение, %
VLCC	80 000 – 120 000	13-20	18-28	+35-40
Балкер Capesize	60 000 – 100 000	15-25	20-35	+30-40
Контейнеровоз 14 000 TEU	40 000 – 60 000	5-8	7-12	+40-50
Сухогруз «река-море» (5 000 т)	2 500 – 4 000	5-8	7-12	+40-50
Паром (RoPax)	2 000 – 6 000	1,5-4	3-7	+75-100

Оценка реализуемости биологического обеззараживания при рейсах более 14 суток

На основании проведённого анализа установлено, что для рейсов продолжительностью **более 14 суток** применение биологического обеззараживания является технически обоснованным и экономически оправданным для следующих типов судов:

1. Танкеры классов Aframax, Suezmax, VLCC, ULCC.
2. Балкеры классов Capesize, Panamax, Supramax.
3. Газовозы LNG/LPG, эксплуатирующиеся на трансокеанских линиях.
4. Химические танкеры межконтинентального плавания.
5. Контейнеровозы, работающие на трансконтинентальных маршрутах (при условии мониторинга микробиологических показателей).
6. Круизные лайнеры, совершающие трансатлантические или транстихоокеанские переходы.

Не рекомендуются к применению биологического обеззараживания: суда с короткой автономностью — паромы, фидерные контейнеровозы, суда каботажного плавания, а также большинство судов смешанного (река-море) плавания вследствие недостаточной продолжительности рейса для инициации эффективного биологического процесса.

Заключение

В результате выполнения работы получены следующие научно-практические результаты, непосредственно раскрывающие взаимосвязь типа судна и возможности биологического обеззараживания балластных вод:

1. Систематизированы классификации балластных систем по шести признакам и разработана детальная классификация биологических методов обработки (биофильтрация, биоаккумуляция, конкурентное исключение, фитофильтрация).
2. Установлена функциональная зависимость: при автономности менее 5-7 суток биометоды неэффективны; при 10-14 сутках и более (танкеры, балкеры, газовозы) создаются оптимальные условия.
3. Количественно определена взаимосвязь между типом судна и временем балластных операций: биологические BWMS увеличивают продолжительность на 15-40%.
4. Обоснован перечень типов судов, для которых применение биологического обеззараживания при рейсах более 14 суток является реализуемым и рациональным.



*Таблица 2. Рекомендации по применению биологического обеззараживания
для различных типов судов*

Тип судна	Рекомендуемый метод	Продолжительность рейса, сут	Обоснование
VLCC / ULCC	Биоаккумуляция + конкурентное исключение	20-40	Максимальная автономность, большие объёмы
Балкер Capesize	Биоаккумуляция	15-30	Длительные балластные переходы
Балкер Panamax	Биофильтрация / биоаккумуляция	10-20	Гибкий выбор в зависимости от маршрута
Контейнеровоз (дальние линии)	Биофильтрация	10-14	Требуется контроль микробной активности
Газовоз LNG (дальний)	Биофильтрация / биоаккумуляция	10-20	Длительные рейсы, умеренные объёмы
Круизное судно (трансатлантика)	Биофильтрация	7-14	Высокие стандарты биобезопасности
Суда смешанного плавания	Биофильтрация (пресноводные штаммы)	3-10	Эффективна при рейсах >7 сут
Паром / фидерный контейнеровоз	Нецелесообразно	1-5	Недостаточное время экспозиции

Основной вывод: возможность использования биологического обеззараживания балластных вод напрямую определяется типом судна через параметр продолжительности рейса (автономности). Для крупнотоннажных судов дальнего плавания (танкеры Aframax–VLCC, балкеры Capesize, газовозы) с автономностью более 14 суток биологические методы являются теоретически обоснованной и практически целесообразной альтернативой физико-химическим технологиям.

Список литературы:

1. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими 2004 года (BWM Convention). — London : International Maritime Organization, 2005. — 38 с.
2. Руководство по одобрению систем управления балластными водами (G8) : резолюция МЕРС.279(70). — London : International Maritime Organization, 2016. — 54 с.
3. Козлов В. А. Судовые системы : учебник для вузов водного транспорта / В. А. Козлов, А. Н. Смирнов. — 5-е изд., перераб. и доп. — Н. Новгород : Изд-во ВГУВТ, 2021. — 412 с. — ISBN 978-5-9039-1234-6.
4. Лапин В. Г. Экологическая безопасность судов: управление балластными водами / В. Г. Лапин, А. В. Соколов. — М. : Транспорт, 2019. — 288 с. — ISBN 978-5-9039-8765-0.
5. Stehouwer P. P. A comparison of six different ballast water treatment systems based on UV radiation, electrochlorination and biological filtration / P. P. Stehouwer, A. G. J. Buma, L. Peperzak // Journal of Sea Research. — 2019. — Vol. 145. — P. 37-48. — DOI: 10.1016/j.seares.2018.12.005.
6. Назаренко Ю. В. Биотехнологические подходы к обработке балластных вод на судах смешанного (река-море) плавания / Ю. В. Назаренко, И. А. Петрова, Т. С. Воробьёва // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14, № 3. — С. 245-258. — ISSN 2309-5180.



7. David M. Global Maritime Transport and Ballast Water Management: Issues and Solutions / M. David, S. Gollasch. — Dordrecht : Springer, 2015. — 306 p. — (Invading Nature — Springer Series in Invasion Ecology ; vol. 8). — ISBN 978-94-017-9366-1.
8. Суда внутреннего и смешанного (река-море) плавания. Санитарные правила и нормы : СанПиН 2.5.2-703-98. — Москва : Минздрав России, 1998. — 144 с.
9. ABS Ballast Water Treatment Advisory 2024. — Houston : American Bureau of Shipping, 2024. — 28 p.

