

УДК 502/504, 004.942

## ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПОДБОРУ КОМПОНЕНТОВ ФИЛЬТРОВ В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ БАЛЛАСТНЫХ ВОД

Цыгута Анна Николаевна<sup>1</sup>, старший преподаватель

e-mail: [anna.tsyguta@mail.ru](mailto:anna.tsyguta@mail.ru)

Головацкая Леся Ивановна<sup>1</sup>, доцент, кандидат технических наук, профессор

e-mail: [lesy\\_g@mail.ru](mailto:lesy_g@mail.ru)

<sup>1</sup> Каспийский институт морского и речного транспорта имени генерал-адмирала Ф.М. Апраксина Астраханский филиал Волжского государственного университета водного транспорта, Астрахань, Россия

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам повышения экологической эффективности систем очистки балластных вод, используемых в морском судоходстве. Особое внимание уделено подбору сорбционных материалов, способных удалять химические соединения. В работе рассмотрены ключевые критерии оценки компонентов фильтров: их экономическая обоснованность, сорбционная активность и экологическая безопасность. Представлена методика количественного анализа взаимодействия сорбентов с загрязняющими веществами, позволяющая оптимизировать состав фильтрующих элементов. Разработан алгоритм автоматизированного подбора материалов с использованием базы данных и специализированного программного обеспечения. Предложенный подход может применяться при проектировании новых и модернизации действующих судовых очистных систем.

**Ключевые слова:** балластные воды, фильтрация, сорбенты, экологическая безопасность, автоматизация, очистные системы, эффективность, судоходство, токсичные соединения.

## BASIC REQUIREMENTS FOR THE SELECTION OF FILTER COMPONENTS IN THE BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM

Anna N. Tsyguta<sup>1</sup>, Senior Lecturer

e-mail: [anna.tsyguta@mail.ru](mailto:anna.tsyguta@mail.ru)

Lesya I. Golovatskaya<sup>1</sup>, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Professor

e-mail: [lesy\\_g@mail.ru](mailto:lesy_g@mail.ru)

<sup>1</sup> The Caspian Institute of Marine and River Transport named after Admiral F.M. Apraksin – Astrakhan branch of the Volga State University of Water Transport, Astrakhan, Russia

**Abstract.** The article is devoted to the issues of improving the environmental efficiency of ballast water treatment systems used in maritime navigation. Special attention is paid to the selection of sorption materials capable of removing chemical compounds. The paper considers the key criteria for evaluating filter components: their economic validity, sorption activity, and environmental safety. A method of quantitative analysis of the interaction of sorbents with pollutants is

presented, which makes it possible to optimize the composition of filter elements. An algorithm for automated selection of materials using a database and specialized software has been developed. The proposed approach can be applied in the design of new and modernization of existing marine wastewater treatment systems.

**Keywords:** ballast water, filtration, sorbents, environmental safety, automation, treatment systems, efficiency, shipping, toxic compounds.

Устранение загрязнений водных поверхностей является важным элементом обеспечения экологической безопасности судоходства. Балластные воды, используемые для обеспечения остойчивости судов, часто становятся источником распространения инвазивных видов, патогенных микроорганизмов и химических загрязнителей. Данные процессы наносят значительный ущерб морским экосистемам и требуют разработки эффективных и надежных систем очистки.

Несмотря на существование международных нормативных документов, таких как Конвенция по управлению балластными водами [1], в практике морского судоходства по-прежнему актуальна проблема недостаточной эффективности традиционных методов очистки. Современные системы чаще всего используют комбинацию механической фильтрации и методов обеззараживания (ультрафиолетовое излучение, химические реагенты), однако они не всегда обеспечивают требуемую степень очистки при наличии сложных загрязнителей, таких как нефтепродукты или других химических соединений [2].

Актуальным направлением исследований становится выбор дополнительных компонентов для фильтров, способных связывать и удалять токсичные вещества. В ряде работ [3-5] предложены методы, позволяющие прогнозировать эффективность взаимодействия сорбентов с загрязнителями, в том числе на основе квантово-химического анализа и моделирования. Однако, только эффективности очистки недостаточно – важно также учитывать экономические затраты и экологическую безопасность используемых материалов.

Комплексная оценка потенциальных компонентов фильтра требует учета факторов, имеющих различную природу и степень влияния на конечный результат. В связи с этим в ряде современных работ [6-8] предлагается использовать методы, основанные на теории нечетких множеств и нечеткого логического вывода, для формирования обоснованных решений при подборе компонентов фильтрующих систем. Настоящее исследование направлено на реализацию метода выбора сорбентов для фильтров балластных вод, учитывающего эффективность, экономичность и безопасность материалов в условиях морской эксплуатации.

Для обеспечения обоснованного выбора компонентов фильтров были выделены три ключевых параметра: **экономичность, эффективность и безопасность**. Эти параметры легли в основу системы оценки и включения веществ в базу правил [9, 10], на основе которой производится дальнейший подбор фильтрующих материалов.

**Экономичность** отражает доступность и себестоимость потенциального компонента, включая его производство, транспортировку и утилизацию. Компоненты, предлагаемые для использования в составе фильтров, должны быть не только эффективными, но и приемлемыми по стоимости, особенно при массовом внедрении на флоте. При этом учитываются также затраты на регенерацию и срок службы материала.

**Эффективность** компонента фильтра определяется его способностью удалять целевые загрязнители из балластных вод в заданных условиях эксплуатации. Для обеспечения объективной количественной оценки данного параметра была разработана специальная расчетная формула [11], которая учитывает число активных центров загрязнителя, количество заблокированных активных центров при взаимодействии с очистителем, а

также их соотношение с общим числом атомов в молекуле. Такая методика позволяет проводить сравнительный анализ различных веществ по степени их селективного действия и сорбционной активности, а также формировать оптимальные комбинации фильтрующих материалов, ориентированные на удаление специфических загрязнителей.

**Безопасность** предполагает экологическую и технологическую приемлемость вещества: отсутствие вторичного загрязнения, устойчивость к разрушению в морской среде, отсутствие токсичных побочных продуктов и безопасность для обслуживающего персонала. Приоритет отдается веществам с минимальным риском при транспортировке, эксплуатации и утилизации.

На основе вышеуказанных критериев осуществляется систематизированный подбор компонентов фильтров, результаты которого заносятся в базу данных. Расчёт параметров, автоматизированный анализ свойств веществ и формирование рекомендаций по составу фильтров выполняет разработанная программа [9], получившая патентное подтверждение.

Повышение эффективности систем очистки балластных вод является приоритетной задачей для обеспечения экологической безопасности морского судоходства. Как показал проведённый анализ, традиционные методы фильтрации и обеззараживания не всегда справляются с удалением стойких химических загрязнителей и токсичных соединений. В этой связи обоснованный выбор дополнительных компонентов фильтров, обладающих сорбционными свойствами, становится важнейшим направлением модернизации очистных установок. Разработанная методика расчёта эффективности с использованием количественной оценки взаимодействия между загрязнителями и активными центрами очистителей позволяет формировать оптимальные комбинации сорбентов для конкретных загрязнителей. Реализация автоматизированного подбора веществ на основе базы знаний и специализированного программного обеспечения, прошедшего патентную регистрацию, способствует принятию взвешенных инженерных решений. Представленный подход может быть использован при проектировании новых или модернизации существующих систем очистки балластных вод, обеспечивая повышение их надёжности, экономической целесообразности и экологической безопасности.

#### Список литературы:

1. Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими 2004 года (рус., англ.) (с изменениями на 20 ноября 2020 года) [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902152089> (дата обращения: 03.05.2025).
2. Цыгута, А. Н. Анализ технологий очистки балластных вод / А. Н. Цыгута, Л. И. Головацкая // Актуальные решения проблем водного транспорта: Сборник материалов I Международной научно-практической конференции, Астрахань, 28 апреля 2022 года. – Астрахань: Индивидуальный предприниматель Сорокин Роман Васильевич (Издатель: Сорокин Роман Васильевич), 2022. – С. 157-161. – EDN LTGIJG.
3. Цыгута А.Н., Головацкая Л.И. Эффективность метода сорбции при поиске очистителей к химическим загрязнителям балластных вод. Каспийский научный журнал. 2025;(1).
4. Molecular simulation-based insights into dye pollutant adsorption: A perspective review / I. Salahshoori, Q. Wang, M. A. L. Nobre [et al.] // Advances in Colloid and Interface Science. – 2024. – Vol. 333. – P. 103281. – DOI 10.1016/j.cis.2024.103281. – EDN HGHKCF.
5. Review of Adsorption Studies for Contaminant Removal from Wastewater Using Molecular Simulation / N. E. Hira, S. S. M. Lock, N. F. Shoparwe [et al.] // Sustainability. – 2023. – Vol. 15, No. 2. – P. 1510. – DOI 10.3390/su15021510. – EDN GNXAIT.



6. Ansari, M. Optimized fuzzy inference system to enhance prediction accuracy for influent characteristics of a sewage treatment plant / M. Ansari, F. Othman, A. El-Shafie // Science of the Total Environment. – 2020. – Vol. 722. – P. 137878. – DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.137878. – EDN ULBIKQ.

7. Drinking Water Quality Assessment Using a Fuzzy Inference System Method: A Case Study of Rome (Italy) / Ya. Barzegar, I. Gorelova, F. Bellini, F. D'ascenzo // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2023. – Vol. 20, No. 15. – P. 6522. – DOI 10.3390/ijerph20156522. – EDN NFYPIA.

8. A Non-Hybrid Data-Driven Fuzzy Inference System for Coagulant Dosage in Drinking Water Treatment Plant: Machine-Learning for Accurate Real-Time Prediction / A. Bressane, A. P. G. Goulart, C. P. Melo [et al.] // Water. – 2023. – Vol. 15, No. 6. – P. 1126. – DOI 10.3390/w15061126. – EDN SDLYKQ.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024680137 Российская Федерация. Нечеткая продукционная система автоматизированного подбора наиболее предпочтительных компонентов фильтров балластных вод : № 2024669397 : заявл. 21.08.2024 : опубл. 26.08.2024 / А. Н. Цыгута, А. А. Сорокин, А. Е. Пластинин, Л. И. Головацкая ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волжский государственный университет водного транспорта". – EDN EGDMRJ.

10. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624025 Российская Федерация. База правил для оценки предпочтительности выбора очищающих компонентов фильтров балластных вод : № 2024623603 : заявл. 21.08.2024 : опубл. 10.09.2024 / А. Н. Цыгута, А. А. Сорокин, А. Е. Пластинин, Л. И. Головацкая ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Волжский государственный университет водного транспорта". – EDN FMDGYD.

11. Цыгута, А. Н. Разработка базы данных по загрязняющим веществам с учетом эффективности противоядий / А. Н. Цыгута, Л. И. Головацкая, А. Е. Пластинин // Безопасность жизнедеятельности. – 2024. – № 7(283). – С. 34-41. – EDN FQXVXE.

