

УДК 656.62: 504.054

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi72.304>

## **Внесудовая очистка нефтесодержащей подсланевой воды при эксплуатации судов внутреннего плавания**

**В.И. Решняк<sup>1</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0639-9684>

**О.Л. Домнина<sup>2</sup>**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9098-313X>

<sup>1</sup>ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, г. Санкт Петербург, Россия

<sup>2</sup>Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

**Аннотация.** Настоящая статья посвящена проблеме защиты водоемов от загрязнения нефтепродуктами, которые содержатся в судовой подсланевой воде (НПВ), образующейся в процессе эксплуатации судов на внутренних водных путях. Несмотря на имеющийся в настоящее время опыт, эта проблема пока не нашла своего сколь-нибудь эффективного решения. Применяемые судовые установки не обеспечивают достаточную степень очистки. Кроме того, на многих судах внутреннего плавания отсутствует возможность размещения установок для очистки подсланевой воды. По этим причинам наиболее эффективным решением исследуемой проблемы является применение комплекса технических средств внесудовой очистки НПВ. При этом в статье предлагается все действия, которые при этом претерпевает подсланевая вода, представлять как технологию процесса ее перемещения. Содержание этой технологии зависит от участков водных путей. Установлены факторы, которые будут определять указанное содержание технологии перемещения НПВ. Такой подход позволяет обеспечить требуемую очистку всей посланевой воды, которая образуется в рассматриваемом районе водных путей с наименьшими затратами и при обеспечении навигационной безопасности.

**Ключевые слова:** нефтесодержащая подсланевая вода, очистка, технология внесудовой очистки

## **Off-vessel purification of oil-containing bilge water of inland navigation vessels**

**Valery I. Reshnyak<sup>1</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0639-9684>

**Olga L. Domnina<sup>2</sup>**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9098-313X>

<sup>1</sup>Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract.** This article is devoted to the problem of protecting reservoirs from pollution by petroleum products in ship's bilge water formed during the operation of inland navigation vessels. Despite the current experience, this problem has not yet found any effective solution. The ship's installations used do not always reliably provide the required degree of purification, and, in addition, many inland navigation vessels do not have the possibility of placing installations for the purification of oil bilge water. It is shown that for these reasons, the most effective solution to the problem under study is the use of a complex of technical means of off-vessel cleaning of oil bilge water. At the same time, the article represents all the actions that the oil bilge water undergoes as the technology of the process of its movement. It

is also shown that this technology will be different for different sections of waterways. The factors that will determine the specifics of the oil bilge water movement technology have been established. This approach makes it possible to ensure the required purification of bilge water that is formed in the considered area of waterways at the lowest cost and while ensuring navigation safety.

**Keywords:** oil bilge water, purification, off-vessel purification technology

### **Введение**

Одним из негативных факторов транспортной деятельности, влияющим на загрязнение окружающей среды и ее техносферную безопасность, является попадание в реки нефтесодержащей подсланевой воды (НПВ). Влияние этого фактора регулируется природоохранным законодательством в области эксплуатации судов [1-3].

Анализ современных природоохранных требований показывает, что удовлетворение этих требований обеспечивается применением технических средств – систем очистки подсланевой воды [4-5].

К таким системам на судах морского плавания, эксплуатация которых должна отвечать международным требованиям, относятся судовые установки для очистки льяльной воды (подсланевой воды). В ряде работ [5-9] описан опыт их создания и применения. Но в основном эти исследования касаются морского транспорта. На судах внутреннего плавания такой способ решения не всегда целесообразен и даже возможен. Основными причинами этого являются недостаток места в машинном отделении судна для размещения оборудования очистки загрязнений, а также условия водоотведения очищенной воды. Поэтому при эксплуатации судов внутреннего плавания должна быть применена другая стратегия – использование внесудовой очистки, когда очистка судовых загрязнений осуществляется вне судна.

На практике мы уже в настоящее время встречаем примеры применения стратегии внесудовой очистки подсланевой и сточной воды – суда-сборщики судовых загрязнений, плавучие очистные комплексы – станции очистки НПВ, суда для комплексной переработки отходов (СКПО). Однако перечень вариантов реализации этой стратегии может быть существенно расширен, что дает возможность выбора, который, в свою очередь, позволяет находить наиболее приемлемые варианты.

Целью данной работы является разработка механизма определения вариантов расположения плавучих очистных станций.

Для реализации этой цели были поставлены следующие задачи:

- выявление задач технологического процесса внесудовой очистки;
- анализ способов передачи подсланевой воды и особенности их применения;
- определение критериев определения вариантов расположения плавучих очистных станций.

### **Материалы и методы**

Исследования проводились в области эксплуатации судов внутреннего плавания. В качестве метода исследования использовался анализ возможных способов перемещения нефтесодержащей подсланевой воды от судна-источника накопления НПВ до водоотведения очищенной подсланевой воды в водоем. Учтены условия формирования требований к водоотведению. Результаты анализа являлись отправной информацией для формирования технологии перемещения нефтесодержащей подсланевой воды при условии обеспечения требований экологической безопасности. В целом предлагаемый метод решения проблемы защиты окружающей среды от ее

загрязнения нефтесодержащей подсланевой водой дает возможность организации внесудовой очистки.

### Результаты

Внесудовая очистка включает в себя ряд таких операций, как транспортировка, временное хранение, очистка подсланевой воды и ее водоотведение [10]. Поэтому существование подсланевой воды от момента образования до сброса очищенной воды в речной водоем можно считать ее транспортировкой, а сам процесс перемещения - технологией перемещения посланевой воды.

При этом в целом такая технология должна обеспечивать решение следующих задач:

- обеспечение безопасности перемещения НПВ всеми техническими средствами, осуществляющими этот процесс;
- обеспечение требуемой очистки НПВ перед сбросом в водоем или передачей ее в приемную канализацию;
- обеспечение наименьших затрат на реализацию внесудовой очистки НПВ.

Условия реализации этих задач предполагают выбор стратегии с точки зрения многих факторов – навигационных условий, типов судов, количества образующейся в границах рассматриваемого района водных путей посланевой воды, требований к водоотведению уже очищенной воды, наличия мест расположения внесудовых технических средств (ВТС) и некоторых других. Поэтому решение указанных задач может различаться и достигаться разным набором технических средств, разными технологиями. Например, передача подсланевой воды с обслуживаемого судна может быть осуществлена на следующие средства внесудовой очистки:

- на береговые накопительные емкости или плавучие средства при подходе к ним судов;
- на специализированные суда при подходе их к обслуживаемому судну;
- на береговые очистные сооружения при подходе к ним судов.

При необходимости организации транспортировки НПВ (схема с использованием судов-сборщиков) возникает вопрос о местах расположения ВТС на участке водных путей. Оно должно обеспечивать наименьшие затраты времени транспортировки судовых загрязнений. На рис. 1 показан пример размещения ВТС, который поясняет сказанное.

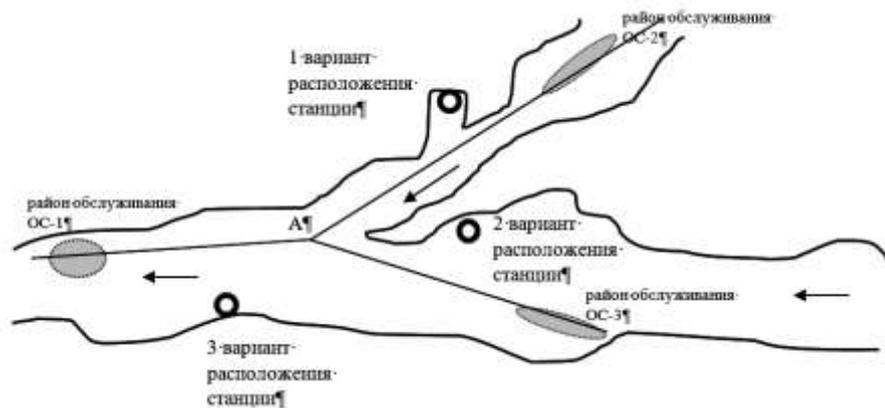


Рис. 1. Различные варианты расположения плавучих внесудовых очистных станций.

Как видно из рис.1, в качестве примера рассматривается три варианта расположения внесудовых очистных станций. «Судно-сборщик» подходит к судну, забирает подсланевую воду и отвозит ее станцию, затратив на перевозку время  $t_{ij}$ , где  $i$  – признак судна,  $j$  – признак варианта расположения станции. Тогда затрачиваемое время можно выразить формулой:

$n_{ij}$  – общее количество рейсов, выполненных по маршруту  $i \rightarrow j$ .

$$t_{ij} = \frac{2 \cdot L_{ij}}{\vartheta_{ij}} + t_{\text{пр}} \quad (1)$$

где  $L_{ij}$  – расстояние от «судна-сборщика» до внесудовой очистной станции по  $j$ -му варианту;

$\vartheta_{ij}$  – средняя скорость движения «судна-сборщика»;

2 – коэффициент, учитывающий необходимость возвращения «судна-сборщика» в свой район обслуживания;

$t_{\text{пр}}$  – время приема НПВ с обслуживаемого судна на судно-сборщик.

При этом затраты времени на обслуживание судов при  $j$ -ом варианте расположения внесудовой станции составит:

$$T_j = \sum_i (N_{ij} \cdot t_{ij}) \quad (2)$$

где  $N_{ij}$  – количество рейсов «судно-сборщика» за навигацию по  $j$ -му варианту размещения очистной станции.

Выбор конкретного расположения определяется по критерию минимума совокупных временных затрат:

$$T_j = \sum_i (N_{ij} \cdot t_{ij}) \rightarrow \min \quad (3)$$

Принципиальные схемы плавучих очистных станций могут различаться по назначению, конструкции и обеспеченности оборудованием. Станции могут быть получены в процессе изготовления базового варианта, в которой предусмотрена возможность оснащения (по принципу разных вариантов комплектации) и получения любого, требуемого для определенных условий, то есть варианта технологии внесудовой очистки НПВ, сооружения.

### **Обсуждение**

Стратегия внесудовой очистки подсланевой воды является наиболее целесообразным, а часто единственно возможным способом, позволяющим добиться экологической безопасности эксплуатации судов на внутренних водных путях. При этом такая внесудовая очистка должна рассматриваться как технология перемещения НПВ. Ее содержание определяется условиями: экологическими, навигационными и логистическими, которые могут быть разными для разных участков внутренних водных путей.

Формирование технологии практически всегда может предполагать несколько ее вариантов. Наличие выбора конкретной технологии дает возможность применения оптимального варианта в тех или иных условиях.

При формировании возможных для рассматриваемого участка водных путей технологий допустимо и целесообразно использовать при необходимости принцип размещения отдельных очистных устройств на разных средствах ВПТС. При проектировании и изготовлении очистных устройств целесообразно пользоваться

принципом базового варианта, дооснащение которого позволяет получить любой другой.

Авторами рассмотрен наиболее простой вариант нахождения оптимального решения задачи организации транспортировки НПВ. На практике организация расстановки внесудовых природоохранных технических средств может выглядеть сложнее. Например, может иметь место необходимость расстановки не одной, а нескольких станций. В других случаях технология внесудовой очистки НПВ может включать более узкий круг операций. Иногда операции могут осуществляться одновременно.

Необходимо также отметить, что операции очистки могут быть выполнены с помощью различных технических средств или разными способами. Поэтому при формировании технологии перемещения НПВ необходимо также учитывать возможность расположения отдельных очистных устройств из возможного состава ВТС, а также возможность реализации технологии очистки с применением разных технических средств. Могут быть рассмотрены следующие варианты организации процесса очистки НПВ:

- использование накопительных барж в качестве устройства для организации процесса очистки седиментацией, а процесс окончательной очистки (например, адсорбцией) осуществлять в адсорбционных фильтрах, размещенных на специализированных судах [6, 11];
- использование очистных сооружений, энергетическое обеспечение которых осуществляется от отдельных источников – береговых или специализированных судов (см. выше);
- использование очистных сооружений, оснащенных собственной СЭУ;
- использование очистных сооружений с разным видом их обслуживания – периодическое, постоянное, без обслуживающего персонала.

### **Заключение**

Таким образом, в работе получены следующие результаты:

- показано, что внесудовая очистка НПВ является более актуальной, а часто и единственно возможным способом решения проблемы предотвращения загрязнения окружающей среды;
- показана необходимость формирования технологии перемещения НПВ от судов до сброса очищенной воды в водоем с учетом условий водоотведения и условий эксплуатации судов;
- показаны возможность и целесообразность оптимизации размещения технических средств внесудовой очистки.

Установлены факторы, определяющие упомянутую технологию перемещения НПВ, что позволяет формировать оптимальные ее варианты, которые определяют состав комплекса – инфраструктуру.

### **Список литературы**

1. Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 года и Протокол 1978 года. — СПб.: Изд-во ЦНИИМФ, 2008. — 706 с.
2. Правила Речного Регистра: в 4 т. — М.: Речной регистр, 2008. — 1430 с.
3. Правила охраны поверхностных вод. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.libussr.ru/doc\\_ussr/usr\\_18252.htm](http://www.libussr.ru/doc_ussr/usr_18252.htm) (дата обращения: 11.06.2022).
4. Якименко А.В. Системы очистки сточной воды предприятий как обязательный компонент сохранения окружающей среды// В сборнике: Экологическая безопасность в техносферном пространстве. сборник материалов Третьей Международной научно-

- практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов. Екатеринбург, 2020. С. 211-213.
5. Пластинин А.Е., Домнина О.Л. Оценка экологического риска транспортных происшествий на водных объектах в республике Татарстан// В сборнике: ВЕЛИКИЕ РЕКИ' 2017. труды научного конгресса 19-го Международного научно-промышленного форума: в 3 томах. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. 2017. С. 322-325
  6. Решняк В. И. Регулирование эксплуатационного и аварийного загрязнения окружающей среды на объектах водного транспорта / В. И. Решняк, З. Юзвяк, А. Г. Щуров // Журнал университета водных коммуникаций. — 2013. — № 17. — С. 85–90.
  7. Li Yu, Mei Han, Fang He, A review of treating oily wastewater, Arabian Journal of Chemistry, Volume 10, Supplement 2, May 2017, Pages S1913-S1922, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.020>
  8. Hekkenberg, R. G. Technological Challenges and Developments in European Inland Waterway Transport, Book Chapter published 2015 in Operations Research/Computer Science Interfaces Series on pages 297-313, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16133-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16133-4_16).
  9. Решняк В. И. Теоретические основы технологии перемещения подсланевой воды, образующейся при эксплуатации судовых энергетических установок / В. И. Решняк, А. И. Каляуш, А. Н. Григорьев // Вестник АГТУ. — Сер.: Морская техника и технология. — 2016. — № 2. — С. 70–76.
  10. Решняк В.И. Система управления экологической безопасностью судов на внутренних водных путях: монография/Решняк В.И.- СПб, Изд-во ГУМРФ им. С.О. Макарова, 2017, 148 с.
  11. Решняк В.И., Пластинин А.Е., Наумов В.С., Слюсарев А.С. Применение озона в процессах очистки нефтесодержащей льяльной (подсланевой) воды// Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4-2 (46). С. 168-173

#### References

1. The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships of 1973 and the Protocol of 1978. — St. Petersburg: Publishing House of TSNIIMF, 2008. - 706 p
1. 2. Rules of the River Register: in 4 volumes. — M.: River Register, 2008. — 1430 p.
2. Rules for the protection of surface waters. [electronic resource]. — Access mode: [http://www.libussr.ru/doc\\_ussr/ussr\\_18252.htm](http://www.libussr.ru/doc_ussr/ussr_18252.htm) (date of application: 11.06.2022).
3. Yakimenko A.V. Wastewater treatment systems of enterprises as a mandatory component of environmental conservation// In the collection: Environmental safety in the technosphere space. collection of materials of the Third International Scientific and Practical Conference of teachers, young scientists and students. Yekaterinburg, 2020. pp. 211-213.
4. Plastinin A.E., Domnina O.L. Assessment of environmental risk of transport accidents on water bodies in the Republic of Tatarstan// In the collection: GREAT RIVERS' 2017. proceedings of the Scientific Congress of the 19th International Scientific and Industrial Forum: in 3 volumes. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering. 2017. pp. 322-325
5. Reshnyak V. I. Regulation of operational and emergency environmental pollution at water transport facilities / V. I. Reshnyak, Z. Yuzvyak, A. G. Shchurov // Journal of the University of Water Communications. - 2013. — No. 17. — pp. 85-90.
6. Li Yu, Mei Han, Fang He, A review of treating oily wastewater, Arabian Journal of Chemistry, Volume 10, Supplement 2, May 2017, Pages S1913-S1922, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.020>
7. Hekkenberg, R. G. Technological Challenges and Developments in European Inland Waterway Transport, Book Chapter published 2015 in Operations Research/Computer Science Interfaces Series on pages 297-313, [https://doi.org/10.1007/978-3-319-16133-4\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16133-4_16).
8. Reshnyak V. I. Theoretical foundations of the technology of moving subslane water formed during the operation of ship power plants / V. I. Reshnyak, A. I. Kalyaush, A. N. Grigoriev // Bulletin of ASTU. — Ser.: Marine engineering and technology. - 2016. — No. 2. — pp. 70-76.

9. Reshnyak V.I. Environmental safety management system of vessels on inland waterways: monograph/Reshnyak V.I.- St. Petersburg, Publishing House of GUMRF named after S.O. Makarov, 2017, 148 p.
10. Reshnyak V.I., Plastinin A.E., Naumov V.S., Slyusarev A.S. The use of ozone in the processes of purification of oil-containing bilge (sublayer) water// Marine intelligent technologies. 2019. No. 4-2 (46). pp. 168-173

#### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Решняк Валерий Иванович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии и экологии, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7, e-mail: rv53@mail.ru

**Valery I. Reshnyak**, Dr.Sci.(Eng), Professor, Head of the Department of Chemistry and Ecology, Admiral S.O. Makarov State University of Marine and River Fleet, 198035, St. Petersburg, Dvinskaya str., 5/7, e-mail: rv53@mail.ru

**Домнина Ольга Леонидовна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры логистики и маркетинга, Волжский государственный университет водного транспорта, 603950, Н.Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: o-domnina@yandex.ru

**Olga L. Domnina**, Ph.D.(Eng), assistant professor, Associate Professor of the Department of Logistics and Marketing, Volga State University of Water Transport, Nesterovast., 5, N. Novgorod, 603950, Russian Federation, e-mail: o-domnina@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16.05.2022; опубликована онлайн 20.09.2022  
Received 16.05.2022; published online 20.09.2022.