

УДК 504.054; 656.6
DOI: 10.37890/jwt.vi78.412

Влияние скорости судна-сборщика на эффективность работы системы сбора судовых отходов

М.С. Манакова¹

С.В. Васькин²

¹*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

²*Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия*

Аннотация. Внесудовая очистка судовых отходов является одним из способов обеспечения экологической безопасности при эксплуатации судов. Сточные и нефтесодержащие воды, образующиеся на судне, передаются на береговые природоохранные сооружения с помощью судна-сборщика. При рассмотрении такого способа обеспечения экологической безопасности судоходства возникает ряд вопросов, связанных с оптимизацией работы такой системы. В данной статье рассмотрено влияние средней скорости судна-сборщика на работу внесудовой системы сбора судовых отходов. Для решения такой задачи была разработана численная модель данной системы, которая сочетает в себе элементы вероятностного и имитационного моделирования. Было выявлено незначительное влияние скорости судна-сборщика на эффективность работы данной системы. В результате моделирования работы системы сбора судовых отходов посредством судна-сборщика можно сказать о том, что высокие скорости судна-сборщика при обслуживании судов не требуются.

Ключевые слова: внесудовая очистка, судовые отходы, экологическая безопасность, скорость судна, судно-сборщик

Influence of the collecting vessel speed on the efficiency of the ship waste collection system

Margarita S. Manakova¹

Sergey V. Vas'kin²

¹*Institute of applied physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod, Russia*

²*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. Off-vessel treatment of ship-generated waste is one of the ways to ensure environmental safety in ship operation. Sewage and oily waters generated on the vessel are transferred to coastal environmental protection facilities with the help of a collecting vessel. When considering such a way of ensuring environmental safety of shipping, a number of issues arise related to the optimization of the operation of such a system. In this article, the influence of the average speed of the collecting vessel on the operation of the off-ship waste collection system is considered. To solve this problem, a numerical model of this system was developed, that combines elements of probabilistic and simulation modeling. Negligible effect of the collecting vessel speed on the performance of this system was determined. As a result of the modeling of the ship waste collection system operation with the help of a collection vessel, we can state that high speeds of the collecting vessel are not required in the ship maintenance.

Keywords: off-ship cleaning, ship waste, environmental safety, ship speed, collecting vessel

Введение

При эксплуатации судов образуются различного рода отходы, которые могут негативно влиять на окружающую среду. Для обеспечения экологической безопасности судов применяются два основных способа избавления от образующихся на судне загрязнений: обработка непосредственно на борту судна и передача на внесудовые водоохранные средства [1, 2, 3].

Первый способ предполагает применение специальных судовых установок для очистки сточных и нефтесодержащих вод (СВ и НВ) с последующим сбросом их за борт. Данный способ получил распространение преимущественно на судах, эксплуатируемых в морских районах, поскольку такие суда часто совершают длительные рейсы, когда нет возможности сдать накопленные отходы или заход в порт специально для этих целей экономически нецелесообразен.

Второй способ получил распространение, на внутренних водных путях, где сдача судами СВ и НВ обычно не представляет серьезной проблемы ввиду наличия достаточного количества береговых приемных сооружений. В этом случае сдача отходов на берег оказывается выгоднее установки и эксплуатации на судне сложного и дорогостоящего водоочистного оборудования. Поэтому речные суда чаще всего накапливают и хранят сточные и нефтесодержащие воды в сборных цистернах и периодически сдают данные отходы на внесудовые водоохранные средства, находящиеся в районе эксплуатации. [4, 5, 6, 7, 8].

К внесудовым природоохранным техническим средствам относят целый комплекс средств, которые обеспечивают сбор, транспортировку, временное хранение и очистку воды от загрязнений [9, 10, 11, 12, 13].

Важнейшим элементом такого комплекса является судно-сборщик. Преимущество использования судов-сборщиков заключается в возможности обслуживать суда, стоящие на рейде, а также на значительном удалении от него, обеспечивать подход к судам, для которых подход к берегу недоступен. В 1970-80-х годах в нашей стране была построена серия специализированных речных судов, предназначенных для сбора судовых отходов. Сегодня, в связи с износом, большинство из них выведено из эксплуатации, и в качестве судов-сборщиков часто используются переоборудованные суда [14, 15].

Совокупность транспортных судов, судов-сборщиков, осуществляющих процесс приема СВ и НВ в речном порту с последующей передачей этих отходов на береговые природоохранные сооружения и внесудовых природоохранных средств, представляет собой систему, обеспечивающую экологическую безопасность на внутренних водных путях [15]. Оптимальность функционирования такой системы зависит как от интенсивности судоходства в рассматриваемом районе водных путей, так и от количества и характеристик судов-сборщиков. Одной из таких характеристик является эксплуатационная скорость судов-сборщиков, влияющая на время их перемещения от мест базирования до обслуживаемых судов и береговых пунктов приема отходов.

В данной статье оценивается влияние скорости хода судна-сборщика на максимальный поток судов, проходящих мимо порта, часть из которых подает заявки на сдачу СВ и НВ.

Материалы и методы

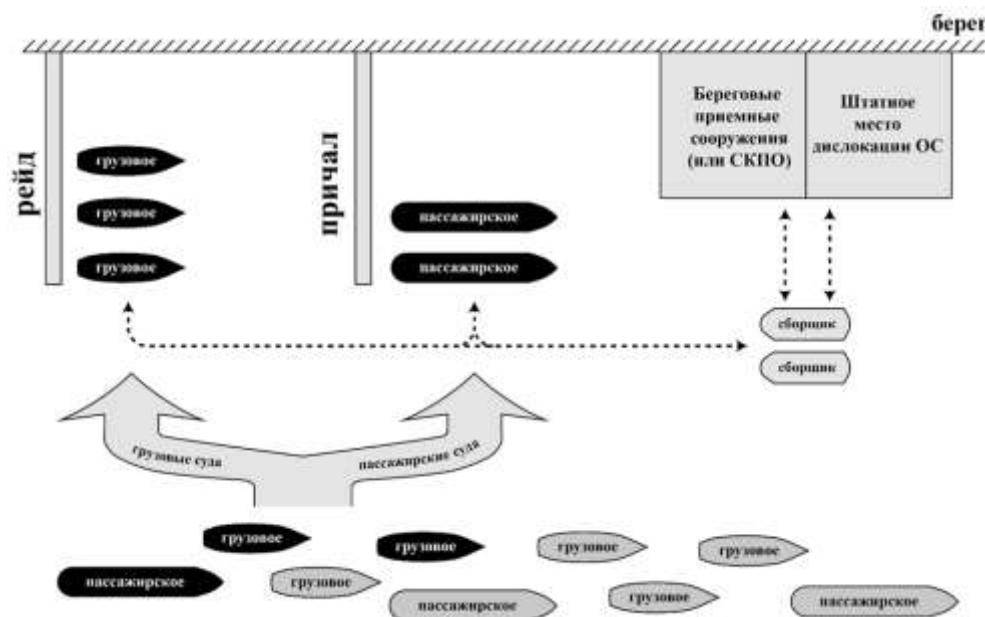


Рис. 1. Упрощённая схема движения судов с целью сдачи накопившихся отходов

Введем параметр «поток судов», который представляет собой суда, проходящие мимо порта, часть из которых заходит в порт для сдачи накопившихся отходов.

Поток судов, следующих по реке, состоит из грузовых и пассажирских судов. Часть судов (обозначены чёрным цветом на рис. 1) заходит в порт с целью сдачи отходов. Грузовые суда встают на рейд, а пассажирские подходят к причалу. Судно-сборщик дислоцируется в определённом месте акватории порта – рядом с береговыми приёмными сооружениями. Судно-сборщик находится в режиме ожидания обслуживания до тех пор, пока не появится хотя бы одно судно, которому необходимо сдать накопившиеся отходы. Далее судно-сборщик следует к нему. В зависимости от ранее указанных типов обслуживаемых судов судно-сборщик движется либо к причалу, либо к рейду. Затем судно-сборщик пришвартовывается к обслуживаемому судну, чтобы обеспечить приём отходов и проводит прочие сопутствующие операции, которые мы обозначили как вспомогательные операции. Время подобных операций в реальных условиях сильно различается из-за различных типов обслуживаемых судов, применяемого оборудования для приёма судовых отходов, погодных условий и пр. Поэтому было принято решение о введении единой величины этого времени на всём протяжении моделирования процесса сбора судовых отходов.

При приёме отходов с обслуживаемого судна судно-сборщик использует насосы. Приём для сбора СВ пользуется насосами обслуживаемого судна (если таковые имеются), иначе – своими насосами. При приёме НВ судно-сборщик применяет только насосы, установленные на его борту.

Обслуживание судна происходит до тех пор, пока все сдаваемые отходы не будут приняты судном-сборщиком. В порту, на некотором расстоянии от рейда и причала, находятся береговые приёмные сооружения (или суда комплексной переработки отходов (СКПО), которые принимают отходы с судов-сборщиков и занимаются их дальнейшей утилизацией. В данной модели предполагается, что приемные сооружения принимают любое количество СВ и НВ. Длительность такого процесса ограничена по времени работой насосов судна-сборщика.

Модель, которая используется для описания процесса сбора судовых отходов посредством судна-сборщика, сочетает в себе элементы вероятностного и имитационного моделирования, что позволяет определить необходимые характеристики судна-сборщика в зависимости от внешних условий, к которым были отнесены интенсивность судоходства и экологическая характеристика водного пути (ЭХВП⁹) на данном участке внутреннего водного пути и обеспечивает приемлемое значение затрат времени на моделирование данного процесса.

При оценке значимости средней скорости хода судна-сборщика на количество обслуженных судов с помощью разработанной модели помимо самой скорости варьировались такие параметры, как поток судов и расстояния от точек сдачи отходов с грузовых и пассажирских судов до мест дислокации береговых приёмных сооружений. Процент судов, которые сдают отходы из общего потока судов, зависит только от ЭХВП.

В рассматриваемой работе было принято, что все суда, подающие заявки, обслуживаются одним судном-сборщиком. Значение ЭХВП было принято равным 1 сут. При этой величине процент судов, сдающих отходы, был равен 54%.

Поток судов описывается законом Пуассона [15].

Характеристики судна-сборщика принимались по прототипу, в качестве которого было принято специализированное судно проекта 354К, которое довольно распространено на внутренних водных путях [17]:

- объем цистерн СВ – 80 м³
- объем цистерн НВ – 40 м³
- скорость в грузу – 13,5 км/ч
- производительность насоса СВ – 80 м³/час
- производительность насоса НВ – 40 м³/час

При моделировании назначалась средняя скорость сборщика с учетом его разгона, торможения и маневрирования.

Важно отметить, что в портах существуют ограничения по скорости судов, особенно в районе их стоянок (см., например, Приказ Минтранса России от 10.07.2013 № 235 (ред. от 18.05.2020)). Поэтому рассматриваемые варианты скорости были ограничены максимальной величиной 15 км/ч.

В связи с вышеизложенным, были рассмотрены следующие варианты скоростей судна-сборщика: 4, 6, 8, 10, 12, 13.5 и 15 км/ч. Первые два варианта, какими бы они малыми не казались, рассмотрены для того, чтобы продемонстрировать тенденции в полученных результатах.

На основании анализа фактических расстояний между причалами, рейдами и пунктами дислокации судов-сборщиков и береговых приемных сооружений при моделировании были приняты следующие значения:

- до причала 1000, 2000, 4000 м;
- до рейда 2000, 4000, 8000 м.

Суточный баланс времени судна-сборщика складывался из следующих периодов: простоя в ожидании заявки на обслуживание, времени движения к обслуживаемому судну и от него, времени вспомогательных операций, времени обслуживания судна, времени движения от обслуженного судна к пункту дислокации судов-сборщиков для пересменки экипажа, времени движения к береговому пункту для приема отходов (или СКПО) при заполнении цистерн сборщика, времени сдачи сборщиком отходов на берег (или СКПО).

По результатам численного моделирования процесса были построены зависимости максимального потока судов от скорости судна-сборщика (рис. 2) и

⁹ ЭХВП – минимально допустимая автономность плавания судна, определяемая количеством и дислокацией приёмных устройств в районе предполагаемой эксплуатации судна, в соответствии с которой сопоставляется автономность плавания по нефтесодержащим и сточным водам [16].

количество времени, которое судно проводит в порту при обслуживании от потока судов (рис. 3).

Результаты и обсуждения

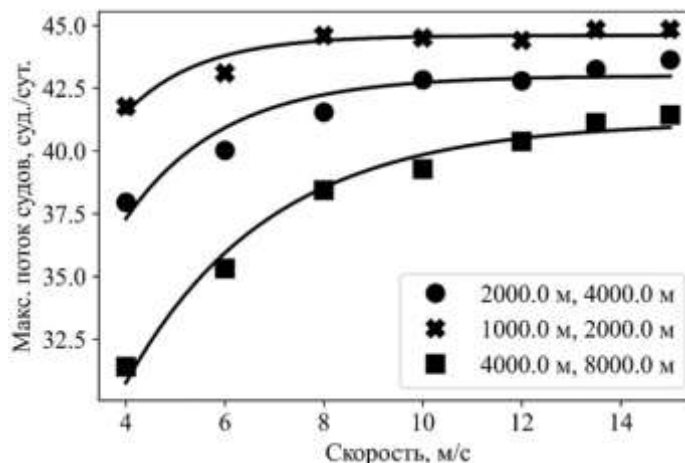


Рис. 2. Зависимость максимального потока судов от скорости судна-сборщика

На рис. 2 представлен основной результат моделирования. По горизонтальной оси отложена скорость судна-сборщика, а по вертикальной – максимальный поток судов, который может обслужить система сбора судовых отходов. Выше этого порога количество сдаваемых отходов превышает возможность их сбора. Маркеры соответствуют расчетным данным, а линии – аппроксимации этих данных. Для аппроксимации использовалась следующая функция: $a(1 - e^{-bx})$, где x – скорость судна-сборщика, a, b – коэффициенты аппроксимации, равные:

- при расстоянии до причала 2000 м, до рейда 4000 м $a = 43.0, b = 0.51$,
- при расстоянии до причала 1000 м, до рейда 2000 м $a = 44.6, b = 0.67$,
- при расстоянии до причала 4000 м, до рейда 8000 м $a = 41.2, b = 0.34$.

На основании результатов, представленных на рис. 2, можно сделать следующие выводы:

- увеличение средней скорости сборщика выше 10 км/ч практически не приводит к увеличению количества обслуженных судов;
- влияние на количество обслуженных судов расстояний, которые проходит сборщик в процессе обслуживания, заметно только при низких его скоростях – до 10 км/ч. При скорости хода сборщика 10 км/ч и выше увеличение проходимых им расстояний в 4 раза ведет к снижению количества обслуженных судов всего примерно на 10%;
- скорость судна-сборщика, при вариации в разумных пределах, не оказывает существенного воздействия на эффективность системы сбора отходов. При уменьшении скорости судна-сборщика с 15 км/ч в 2 раза пропускная способность уменьшится примерно на 5%. При минимально рассматриваемой скорости судна 4 км/ч пропускная способность сокращается примерно на 10-20%.

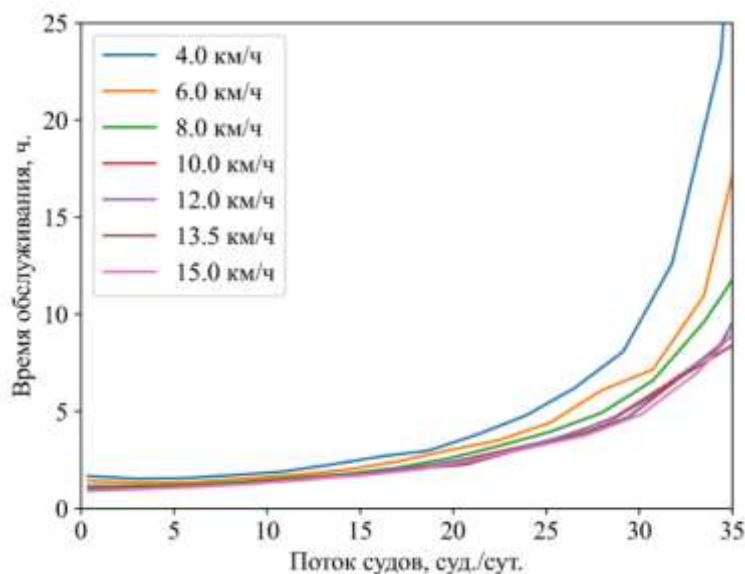


Рис. 3. Зависимость времени обслуживания судна в порту при сдаче накопившихся отходов от потока судов

На рис. 3 показана зависимость среднего времени обслуживания судна в порту при сдаче накопившихся отходов от потока судов, проходящих мимо порта при фиксированных расстояниях до причала 2000 м и до рейда 4000 м. По горизонтальной оси отложен поток судов, а по вертикальной – среднее время обслуживания судов, заходящих в порт. Каждая кривая отвечает своей величине рассматриваемой скорости судна-сборщика. Время обслуживания судна в порту определялось как среднее по всем судам (обслуживаемым) и равняется сумме времени ожидания и времени сдачи отходов. Из рис. 3 видно, что влияние скорости судна-сборщика на время обслуживания судна становится заметным только при приближении потока к максимально принятому и при скоростях хода сборщика до 10 км/ч.

Заключение

Таким образом, результаты выполненного моделирования позволяют утверждать о том, что при оптимизации работы системы сбора отходов с судов следует рассматривать другие параметры, которые могут являться более значимыми, а среднюю скорость судов-сборщиков при дальнейшем моделировании принимать равной 10 км/ч.

Список литературы

1. Конвенция МАРПОЛ М. 1978 о предотвращении загрязнения с судов. [Электронный ресурс] //URL: http://www.conventions.ru/view_base.php. – 1973. [Дата обращения: 02.02.2023]
2. Zhang S. Chen, J., Wan, Z., Yu, M., Shu, Y., Tan, Z., & Liu, J. . Challenges and countermeasures for international ship waste management: IMO, China, United States, and EU //Ocean & Coastal Management. – 2021. – V. 213. – P. 105836.
3. Argüello G. Environmentally sound Management of Ship Wastes: challenges and opportunities for European ports //Journal of Shipping and Trade. – 2020. – V. 5. – №. 1. – P. 12.
4. Новиков В. К., Мокеров Л. Ф., Дубовицкий В. А. Основы экологической безопасности судоходства. – М.: 2015, 288 с.
5. Зубрилов С.П., Ищук Ю.Г., Косовский В.И. Охрана окружающей среды при эксплуатации судов/– Л.: Судостроение, 1989. – 256с.

6. Дмитриева М.С., С.В. Васькин. Рекомендации по выбору систем очистки и обеззараживания сточных вод на СКПО // Материалы IX межвузовской научно-практической конференции аспирантов, студентов и курсантов «Современные тенденции и перспективы развития водного транспорта России». Санкт-Петербург. - 2018. – С. 248-252
7. Melnyk O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Lohinov, O., Ocheretna, V., & Dovidenko, Y. Basic aspects ensuring shipping safety //Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska. – 2022.
8. Karakulski K., Gryta M. The application of ultrafiltration for treatment of ships generated oily wastewater //Chemical Papers. – 2017. – V. 71. – P. 1165-1173.
9. Решняк К. В., Посашкова С. Е. Технология внесудовой переработки судовых загрязнений //Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала СО Макарова. – 2011. – №. 1 (9)
10. Shu Y., Wang, X., Huang, Z., Song, L., Fei, Z., Gan, L. & Yin, J. et al. Estimating spatiotemporal distribution of wastewater generated by ships in coastal areas //Ocean & Coastal Management. – 2022. – V. 222. – P. 106133.
11. Yamato H. Ship routing design for the oily liquid waste collection //Journal of the Society of Naval Architects of Japan. – 2001. – V. 2001. – №. 190. – P. 325-335.
12. Deja A., Strulak-Wójcikiewicz R., Kaup M. Management of ship-generated waste reception at the port of Szczecin as a key component in the reverse logistics chain //Sustainable Design and Manufacturing 2019: Proceedings of the 6th International Conference on Sustainable Design and Manufacturing (KES-SDM 19). – Springer Singapore, 2019. – P. 533-543.
13. Palantzas G., Naniopoulos, A., Nalmpantis, D., & Theodossiou, P. The " Chain" Management of Ship-Generated Waste and Cargo Residues in the Port of Thessaloniki //Journal of Marine Environmental Engineering. – 2005. – V. 8. – №. 2.
14. Давыдова С. В., Роннов Е. П. Проектирование судов экологического назначения. Ч. 2. Общее устройство и специализированное оборудование судов экологического назначения: учеб. пособие для студ. Оч. и заоч. обуч //И. Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ».-2012.-76 с. – 2012.
15. Васькин С. В., Дмитриева М. С. Моделирование нагрузки на внесудовые водоохраные средства //Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – №. 3 (79). – С. 38-46
16. ГОСТ Р 56022-2014 Внутренний водный транспорт. Система управления безопасностью судов. Требования по предотвращению загрязнения окружающей среды (Переиздание). – М.: Стандартинформ, 2020. – 48 с.
17. Справочник по серийным речным судам. Том 6. Плавающие краны, перегружатели и земснаряды, дебаркадеры; плавающие доки и мастерские; кренователи; зачистные станции и суда для очистки водоемов; вспомогательные суда разного назначения, Москва, 1977, 192 с.

References

1. MARPOL M. 1978 Convention on the Prevention of Pollution from Ships. [Electronic resource] //URL: http://www.conventions.ru/view_base.php. – 1973. [Accessed: 02.02.2023]
2. Zhang S. Chen, J., Wan, Z., Yu, M., Shu, Y., Tan, Z., & Liu, J. . Challenges and countermeasures for international ship waste management: IMO, China, United States, and EU //Ocean & Coastal Management. – 2021. – V. 213. – P. 105836.
3. Argüello G. Environmentally sound Management of Ship Wastes: challenges and opportunities for European ports //Journal of Shipping and Trade. – 2020. – V. 5. – №. 1. – P. 12.
4. Novikov V. K., Mokerov L. F., Dubovitsky V. A. Fundamentals of environmental safety of shipping. – М.: 2015, 288 p.
5. Zubrilov S.P., Ishchuk Yu.G., Kosovsky V.I. Environmental protection during ship operation/– L.: Shipbuilding, 1989. – 256p.
6. Dmitrieva M.S., S.V. Vaskin. Recommendations on the choice of wastewater treatment and disinfection systems at the SKPO // Materials of the IX interuniversity scientific and practical conference of graduate students, students and cadets "Modern trends and prospects for the development of water transport in Russia". Saint Petersburg. - 2018. – pp. 248-252

7. Melnyk O., Onyshchenko, S., Onishchenko, O., Lohinov, O., Ocheretna, V., & Dovidenko, Y. Basic aspects ensuring shipping safety //Zeszyty Naukowe. Transport/Politechnika Śląska. – 2022.
8. Karakulski K., Gryta M. The application of ultrafiltration for treatment of ships generated oily wastewater // Chemical Papers. – 2017. – V. 71. – P. 1165-1173.
9. Reshnyak K. V., Posashkova S. E. Technology of off-ship processing of marine pollution //Bulletin of the Admiral SO Makarov State University of the Sea and River Fleet. – 2011. – №. 1 (9)
10. Shu Y., Wang, X., Huang, Z., Song, L., Fei, Z., Gan, L. & Yin, J. et al. Estimating spatiotemporal distribution of wastewater generated by ships in coastal areas //Ocean & Coastal Management. – 2022. – V. 222. – P. 106133.
11. Yamato H. Ship routing design for the oily liquid waste collection //Journal of the Society of Naval Architects of Japan. – 2001. – V. 2001. – №. 190. – P. 325-335.
12. Deja A., Strulak-Wójcikiewicz R., Kaup M. Management of ship-generated waste reception at the port of Szczecin as a key component in the reverse logistics chain //Sustainable Design and Manufacturing 2019: Proceedings of the 6th International Conference on Sustainable Design and Manufacturing (KES-SDM 19). – Springer Singapore, 2019. – P. 533-543.
13. Palantzas G., Naniopoulos, A., Nalmpantis, D., & Theodossiou, P. The "Chain" Management of Ship-Generated Waste and Cargo Residues in the Port of Thessaloniki //Journal of Marine Environmental Engineering. - 2005. – V. 8. – No. 2.
14. Davydova S. V., Ronnov E. P. Design of environmental vessels. Ch. 2. General arrangement and specialized equipment of environmental vessels: studies. manual for students. Full-time and part-time training //N. Novgorod: Publishing house of FBOU VPO "VGAVT".-2012.-76 p. – 2012.
15. Vaskin S. V., Dmitrieva M. S. Modeling of the load on off-shore water protection facilities //Water and ecology: problems and solutions. – 2019. – №. 3 (79). – Pp. 38-46
16. GOST R 56022-2014 Inland waterway transport. Ship safety management system. Requirements for the prevention of environmental pollution (Reissue). – Moscow: Standartinform, 2020. – 48 p.
17. Handbook of serial river vessels. Volume 6. Floating cranes, reloaders and dredgers, landing stages; floating docks and workshops; krenovateli; stripping stations and vessels for cleaning reservoirs; auxiliary vessels for various purposes, Moscow, 1977, 192 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Манакова Маргарита Сергеевна, Инженер, Лаборатория электромагнитного окружения Земли (265), Отдел геофизической электродинамики (260); «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», 603950, г. Нижний Новгород, БОКС-120, ул. Ульянова, 46, e-mail: margarita@ipfran.ru

Margarita S. Manakova, Engineer, Laboratory of Electromagnetic Environment of the Earth (265), Department of Geophysical Electrodynamics (260); Federal Research Center A.V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences", 603950, Nizhny Novgorod, BOX-120, ul. Ulyanov, 46, e-mail: margarita@ipfran.ru.

Васькин Сергей Владимирович, к.т.н, доцент кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов, ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», 603905, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: serwaskin@mail.ru

Sergey V. Vas'kin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Hydrodynamics, Ship Theory and Environment Safety of Ships, Volga State University of Water Transport, 603905, Nizhny Novgorod, ul. Nesterova, 5, e-mail: serwaskin@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 05.10.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.
Received 05.10.2023; published online 20.03.2024