



УДК 504.054, 656.62

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДНА-СБОРЩИКА В СИСТЕМЕ СБОРА СУДОВЫХ ОТХОДОВ В РЕЧНОМ ПОРТУ

**Манакова Маргарита Сергеевна**, инженер, лаборатория электромагнитного окружения Земли, отдел геофизической электродинамики, ИПФ РАН.  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46

**Васькин Сергей Владимирович**, к.т.н., доцент кафедры гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов  
ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта».  
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

*Аннотация. Предложена методика определения оптимальных проектных характеристик судна-сборщика с учетом специфики его функционирования в условиях речного порта. Данная методика может быть использована при проектировании новых судов-сборщиков, модернизации существующих систем сбора отходов, а также в процессе планирования развития инфраструктуры внутреннего водного транспорта.*

*Ключевые слова: внесудовая очистка, судовые отходы, экологическая безопасность, судно-сборщик, оптимизация.*

Функционирование судов экологического назначения, построенных в 1960–1970-х годах, характеризуется высокими эксплуатационными расходами и снижающейся эффективностью в условиях роста интенсивности судоходства, что формирует угрозы для экологической безопасности водных путей. Альтернативные меры, такие как переоборудование неспециализированных судов, носят временный характер и сопряжены с повышенными техническими и экологическими рисками. Отсутствие унифицированных методологий для расчета проектных параметров судов-сборщиков в зависимости от интенсивности судоходства приводит к неоптимальному распределению ресурсов, увеличению операционных затрат и усилению вероятности загрязнения водных экосистем [1, 2].

Для решения задачи соответствия проектных характеристик судна-сборщика объему отходов с транспортных судов эксплуатирующихся на водном пути с заданной интенсивностью судоходства была разработана методика оптимизации, реализованная в программном обеспечении на языке программирования C++ с последующей обработкой результатов с помощью стандартных функций пакетов NumPy и SciPy языка python.

В основе предлагаемой методики лежит численная модель функционирования системы сбора судовых отходов в речном порту с использованием судна-сборщика, как система массового обслуживания [3, 4, 5]. Упрощенно работа судов-сборщиков описывается как последовательность операций по приему сточных (СВ) и

нефте содержащих вод (НВ) с транспортных судов с последующим перемещением этих отходов к береговым приемным сооружениям. Ключевыми внешними факторами модели являются интенсивность судоходства и экологическая характеристика водного пути (ЭХВП). Первый задается средним числом транспортных судов, следующих по водному пути, в сутки. Второй обусловлен расположением береговых приемных сооружений и определяет вероятность захода судна в порт для обслуживания. Численная реализация модели позволяет оценить следующие показатели эффективности системы: среднюю длину очереди судов, среднее время нахождения судна в порту (включая ожидание и обслуживание), объемы собранных СВ и НВ, а также распределение времени работы судна-сборщика по состояниям (время простоя, движения, функционирования насосов для СВ и НВ, время на вспомогательные операции). Более подробно о используемой модели можно найти в работах [6, 7].

Алгоритм определения оптимальных характеристик судов-сборщиков с использованием разработанного программного обеспечения представлен на рисунке 1.



Рис.1. Алгоритм определения оптимальных проектных характеристик судна-сборщика

В качестве оптимальных рассматривались такие значения параметров судна-сборщика как объем цистерн СВ ( $V_{СВ}$ ) и производительность насосов СВ ( $q_{СВ}$ ), обеспечивающие наименьшее среднее время нахождения транспортного судна в порту.

Поиск оптимальных значений указанных характеристик проводился по сетке параметров, формируемого из массива значений  $V_{CB}$  и  $q_{CB}$  (таблица 1).

Таблица 1

**Сетка параметров моделирования при оптимизации характеристик судна-сборщика**

Параметр	Значение							
Объем цистерн СВ, м <sup>3</sup>	10	20	30	40	60	80	100	130
Производительность насоса СВ, м <sup>3</sup> /час	10	20	30	40	60	80	100	130

Критериями оптимизации были выбраны параметры судна-сборщика: объем цистерн СВ, производительность насосного оборудования СВ, а также среднее время, проведенное судном в порту. Это время, будучи статистической характеристикой результатов расчетов, рассматривалось как усредненная величина и имело приоритетное значение по сравнению с другими критериями, что обусловлено его влиянием на пропускную способность порта и водного пути в целом.

В качестве целевой функции использовалась мультипликативная функция скаляризации, не зависящая от размерности используемых величин [8, 9]:

$$F(V_{CB}, q_{CB}) = t^{1/2} (V_{CB}, q_{CB}) \cdot V_{CB}^{1/4} \cdot q_{CB}^{1/4} \quad (1)$$

где  $t$  – среднее время, проведенное транспортным судном в порту.

Целью многокритериальной оптимизации системы являлось нахождение минимума целевой функции.

Разработанная методика, реализованная в программном обеспечении, позволяет определять оптимальные параметры функционирования системы и проектные характеристики судна-сборщика на основе следующих исходных данных: база данных транспортных судов (тип, объем цистерн СВ/НВ, производительность насосов СВ, численность экипажа/пассажира, мощность двигателей, автономность); данные о потоке судов (интенсивность движения); диапазон характеристик судна-сборщика (скорость, объем цистерн СВ/НВ, производительность насосов СВ/НВ); местоположение береговых приемных сооружений (ЭХВП – расстояние до пунктов приема отходов) и причалов/рейдов (расстояние до базы судна-сборщика) [8, 9].

На основании полученных оптимальных параметров функционирования судов-сборщиков (объем цистерн, производительность насосов) возможно определение их ключевых проектных характеристик посредством применения общепринятых методик теории проектирования судов.

Расчет водоизмещения проектируемого судна-сборщика может быть осуществлен на основе уравнения масс судна с использованием известных значений грузоподъемности и скорости [10].

$$(1 - p_{ко} - p_{эс})D_1 - (p_m - p_{тс} - p_{эс}) \frac{D_1^{2/3} g_1^3}{C_a} - P_{сп1} - P_{кн} - P_g = 0 \quad (2)$$

где  $p_{ко}$  – измеритель массы корпуса с оборудованием;

$p_{эс}$  – измеритель массы жидкостей в общесудовых системах;

$D_1$  – водоизмещение проектируемого судна, т;

$p_m$  – измеритель массы механизмов;

$p_{тс}$  – измеритель массы топлива и смазки;

$g_1$  – скорость проектируемого судна, уз.;

$C_a$  – адмиралтейский коэффициент;

$P_{сп1}$  – масса перевозимого груза проектируемого судна, т;

$P_{кн}$  – масса экипажа с багажом и запасами провизии, т;

$P_6$  – масса общего количества воды на судне, т.

Значения отдельных статей весовой нагрузки масс определяются на основе соответствующих массовых измерителей по судну-прототипу. Расчет мощности силовой установки выполняется с применением адмиралтейского коэффициента.

В качестве примера в таблице 2 представлены проектные характеристики судна-сборщика (длина  $L_1$ , ширина  $B_1$ , осадка  $T_1$ , высота борта  $H_1$ ) и их количество  $N_{cb}$ , полученные в результате оптимизации и зависящие от потока судов, ЭХВП и соотношения СВ и НВ.

Таблица 2

**Проектные характеристики судна-сборщика в зависимости от внешних параметров системы**

№ п/п	Исходные данные			$V_{св}$ , м <sup>3</sup>	$V_{нв}$ , м <sup>3</sup>	$B_1$ , м	$L_1$ , м	$T_1$ , м	$H_1$ , м	$N_{сб}$ , суд.
	Поток судов, суд./сут	ЭХВП, сут	СВ:НВ							
1	25	1	5:1	106	21,2	7,10	42,60	1,16	2,2	1
2	50	1	5:1	100	20,0	7,02	42,12	1,15	2,2	2
3	75	1	5:1	79	15,8	6,80	40,80	1,11	2,2	3
4	25	1	4:1	79	19,8	6,83	40,98	1,12	2,2	1
5	25	1	3:1	103	34,3	7,17	43,02	1,18	2,2	1
6	25	1	2:1	77	38,5	6,98	41,88	1,14	2,2	1

На специально разработанное программное обеспечение было получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Программа может быть использована не только для определения оптимальных характеристик сборщиков на ранних стадиях проектирования, но и для нахождения необходимого количества таких судов с заданными характеристиками для обеспечения экологической безопасности рассматриваемого участка водного пути [11].

**Список литературы:**

1. Наумов, В. С., Кочнева, И. Б. Анализ экологических аспектов эксплуатации судов в навигационный период // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 72. – С. 267-273.
2. Каминский, В. Ю., Скороходов, Д. А., Турусов, С. Н. Показатели экологической безопасности водного транспорта // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – Т. 1. – № 3. – С. 161-170.
3. Васькин, С. В., Дмитриева, М. С. Моделирование нагрузки на внесудовые водоохранные средства // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – №. 3 (79). – С. 38-46.
4. Лифшиц, А. Л., Мальц, Э. А. Статистическое моделирование систем массового обслуживания // Сов. радио. – 1978. – 247с.
5. Саакян, Г. Р. Теория массового обслуживания // Шахты: ЮРГУЭС, 2006. – 28 с.
6. Манакова, М. С., Васькин, С. В. Влияние скорости судна-сборщика на эффективность работы системы сбора судовых отходов // Научные проблемы водного транспорта. – 2024. – №. 78. – С. 76-83.
7. Дмитриева М.С., Васькин С.В. Моделирование работы системы сбора загрязнений с судов // Великие реки-2019. – 2019. – 4 с.
8. Манакова, М. С., Васькин, С. В. Оптимизация характеристик теплохода – сборщика отходов в системе внесудовой очистки в зависимости от интенсивности движения флота // Речной транспорт (XXI век). – 2024. – №. 3. – С. 55-58.
9. Манакова, М.С., Васькин, С.В. Многокритериальная оптимизация характеристик судна-сборщика в системе внесудовой очистки в зависимости от интенсивности

судоходства //Труды 9-й всероссийской научной конференции «Проблемы экологии Волжского бассейна» («ВОЛГА-2024»). Выпуск 7.- г. Н.Новгород: изд. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2024.

10. Дмитриева, М. С., Васькин, С.В. Определение водоизмещения и главных размерений судов-сборщиков отходов с различными технико-эксплуатационными характеристиками // Великие реки-2020. – 2020. – С. 25-25.

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025666358 Российская Федерация / Программное обеспечение для моделирования системы сбора судовых отходов в речном порту/ М.С. Манакова; правообладатель М.С. Манакова. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 15.06.2025; опубликовано 25.06.2025.

## **METHOD FOR DETERMINING THE OPTIMAL DESIGN CHARACTERISTICS OF A COLLECTING VESSEL IN A RIVER PORT WASTE COLLECTION SYSTEM**

Margarita S. Manakova, Sergey V. Vas'kin,

*Abstract. A method is proposed for determining the optimal design characteristics of a collecting vessel, taking into account the specifics of its operation in a river port. This methodology can be used in the design of new collection vessels, the modernization of existing waste collection systems, and the planning of the development of inland waterway transport infrastructure.*

*Keywords: off-ship cleaning, ship waste, environmental safety, collector vessel, optimization.*