

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ НА ВНЕСУДОВЫЕ ВОДООХРАННЫЕ СРЕДСТВА

Васькин С. В., Дмитриева М. С.

MODELING THE LOAD ON RECEPTION FACILITIES

Vas'kin S. V., Dmitrieva M. S.

Аннотация

Введение. Совершенствование системы внутреннего водного транспорта является одним из приоритетных направлений развития России. Основной практический способ обеспечения экологической безопасности при эксплуатации судов — накопление отходов в специальных емкостях на борту судна и сдача их на природоохранные сооружения. **Методы.** Предложен алгоритм моделирования нагрузки на внесудовые водоохранные средства речного порта на основе вероятностного метода. Данный метод учитывает количество и тип эксплуатируемых судов, автономность их плавания по сточным и нефтесодержащим водам, экологическую характеристику водного пути. **Результаты.** Реализация предложенного алгоритма позволяет определить среднесуточное количество отходов, принимаемых с судов внесудовыми водоохранными средствами, среднесуточное количество заявок на сдачу отходов с судов и максимальное с заданной вероятностью количество отходов того или иного типа, которое может поступить на природоохранные сооружения в течение суток. В результате расчета нагрузки на природоохранные средства речного порта было оценено количество сдаваемых отходов с судов в зависимости от интенсивности судоходства в бассейнах внутренних водных путей и экологической характеристики водного пути. **Заключение.** Предложенный и реализованный в работе алгоритм моделирования нагрузки на внесудовые водоохранные средства позволяет оценить количество принимаемых судовых отходов в зависимости от интенсивности судоходства.

Ключевые слова: судовые отходы, интенсивность судоходства, сточные воды, внесудовые водоохранные средства, экологическая безопасность.

Abstract

Introduction: Improving the system of inland water transport is one of the priorities for the development of Russia. The main practical way to ensure environmental safety during vessel operation is accumulation of wastes in special tanks on board the vessel and their handover to environmental protection facilities. **Methods:** The paper proposes an algorithm for modeling the load on river port reception facilities based on the probabilistic method. This method takes into account the number and type of vessels in operation, their endurance in sewage and oily waters, and waterway environmental characteristics. **Results:** The implementation of the proposed algorithm makes it possible to determine the average daily amount of wastes from vessels, delivered to reception facilities, the average daily number of applications for the delivery of wastes from vessels, and the maximum amount of wastes of a particular type with a given probability that can be received by environmental protection facilities during the day. As a result of calculating the load on river port environmental protection facilities, the amount of wastes delivered from vessels was estimated depending on the intensity of navigation in basins of inland waterways and waterway environmental characteristics. **Conclusion:** The proposed and implemented algorithm for modeling the load on reception facilities allows us to estimate the amount of ship-generated wastes, depending on the intensity of navigation.

Keywords: ship-generated wastes, navigation intensity, sewage waters, reception facilities, environmental safety.

Введение

В последние годы в нашей стране уделяется большое внимание развитию и модернизации транспортной системы, в том числе и активизации работы водного транспорта. Это нашло от-

ражение в разработке и принятии Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)» [7], Концепции развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2015 года

[10], Стратегии развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года [13] и в ряде других документов.

В связи с этим первоочередными задачами, которые необходимо решить в ближайшие сроки, являются: обновление флота, повышение эффективности и интенсивности его использования, а также развитие соответствующей инфраструктуры. Важной задачей является обеспечение безопасности судоходства на внутренних водных путях (ВВП), включая экологическую безопасность. Для ее решения, в частности, предусматривается «создание специальных судов и технических средств по сбору, комплексной переработке и утилизации различных видов отходов, образующихся при эксплуатации ... объектов водного транспорта» [10].

Сегодня, с учетом требований действующих законов Российской Федерации и подзаконных нормативных актов в области охраны водных объектов, наиболее приемлемым с практической точки зрения способом обеспечения экологической безопасности при эксплуатации судов (как и на реках Европы) является накопление отходов в специальных емкостях на борту судна и сдача их на внесудовые водоохраные средства. К таким средствам в соответствии с «Техническим регламентом о безопасности объектов внутреннего водного транспорта» [11] относятся:

- суда-сборщики загрязнений;
- специализированные причалы для приема сточных (СВ), нефтесодержащих вод (НВ) и мусора;
- специализированные очистные суда для приема и обработки части или всех загрязнений, скапливающихся на судах.

Проблема обеспечения экологической безопасности при эксплуатации судов требует комплексного решения, учитывающего интенсивность судоходства и типы эксплуатируемых в бассейнах ВВП судов, производительность (т. е. пропускную способность) природоохранных средств и места их дислокации на водном пути. В настоящее время такой подход отсутствует. Специализированный флот, представленный судами-сборщиками постройки 60–70-х годов прошлого века, постепенно выводится из эксплуатации, заменяясь переоборудованными для этих целей танкерами, судами-водолеями

и другими судами самой различной грузоподъемности. Отсутствует единый подход и к проектированию судов комплексной переработки отходов (СКПО), который должен содержать методики обоснования и рекомендации их производительности, типа природоохранного оборудования и других характеристик. Очевидно, что такие важнейшие характеристики, как грузоподъемность судов-сборщиков и производительность СКПО, должны соответствовать количеству СВ и НВ, находящихся на судах и предназначенных для передачи на водоохраные средства в районе их дислокации.

Методы и материалы

Для решения задачи определения нагрузки на внесудовые водоохраные средства могут быть использованы следующие методы:

- 1) анализ статистических данных о количестве различных отходов, принимаемых с судов на рассматриваемом участке водного пути;
- 2) метод имитационного моделирования, предусматривающий разработку математической модели движения судов на участке водного пути и учитывающий рост количества образующихся на судне отходов по мере их движения по участку;
- 3) вероятностный метод, учитывающий количество и тип эксплуатируемых судов, автономность их плавания по СВ и НВ, а также экологическую характеристику водного пути (ЭХВП).

Преимуществом статистического метода является его высокая достоверность при условии сохранения или незначительного изменения интенсивности судоходства. Однако полученные результаты актуальны только для рассматриваемого водного бассейна и их нельзя распространить на другие бассейны водных путей или на долговременную перспективу.

Имитационное моделирование также позволяет получить достаточно достоверные результаты. В то же время для проведения расчетов метод требует наличия и обработки очень большого объема исходных данных: маршрутов и графиков движения всех судов в бассейне водного пути, точной даты выхода их в навигацию и даты завершения навигации, количества и продолжительности запланированных и вынужденных стоянок каждого судна и т. п. Отличия фактических режимов эксплуатации судов от первоначальных

чально заложенных в модель могут существенно изменить картину движения по водному пути и снизить достоверность полученных результатов.

В данной работе рассматривается применение третьего метода, который априори дает меньшую достоверность, но позволяет рассчитать случайную величину нагрузки на внесудовые водоохраные средства для множества вариантов. Такой метод учитывает количество эксплуатируемых судов, особенности накопления на них различных отходов и различные значения экологической характеристики рассматриваемого водного пути, т. е. минимальной автономности плавания, определяемой количеством и дислокацией приемных устройств в районе эксплуатации судна.

Задача, решаемая авторами в представленной работе с использованием предлагаемого метода, заключается в следующем.

Рассмотрим участок водного пути, на котором эксплуатируется некоторое количество судов различных типов. На этом участке располагается некий речной порт, в котором дислоцируются внесудовые водоохраные средства. Проходящие мимо порта суда имеют различные мощность двигателей, число людей на борту и количество накопленных отходов. Те суда, у которых истекает автономность плавания по тому или иному виду отходов, будут передавать их на приемные сооружения. В соответствии с общепринятой технологией отходы с судов принимает и транспортирует на береговые очистные сооружения или несамоходное СКПО судно-сборщик. С учетом того, что количество загрязнений на судах, проходящих через район дислокации приемных сооружений, носит случайный характер, необходимо определить следующие их характеристики:

- среднесуточное количество отходов, принимаемых с судов внесудовыми водоохраными средствами;
- максимальное с определенной вероятностью количество отходов того или иного типа, которое может поступить на приемные сооружения в течение суток;
- среднесуточное количество заявок на сдачу отходов с судов.

Предположим, что в течение навигации $T_{\text{нав}}$ через рассматриваемый пункт дислокации внесудовых водоохраных средств проходит N судов.

Тогда среднее количество судов, проходящих мимо данного порта в течение суток, составит:

$$N_{\text{ср}} = N / T_{\text{нав}}, \quad (1)$$

где N — число судов в год, ед./год; $T_{\text{нав}}$ — период навигации, сут.

Среднесуточное количество судов, проходящих мимо данного порта $N_{\text{ср}}$, является случайной величиной. Это характерно для сложившейся сегодня на внутренних водных путях ситуации, при которой отсутствуют регулярные плановые перевозки в масштабах бассейнов в целом. Исключение могут составлять только рейсы транзитных туристических и пассажирских судов, осуществляющиеся по известному заранее расписанию.

При отсутствии регулярного графика движения суда проходят мимо рассматриваемого порта через некоторые временные интервалы, длительность которых также случайна. Количество этих интервалов равно $N - 1$, а сумма представляет собой продолжительность периода навигации $T_{\text{нав}}$.

Средний интервал времени между двумя судами, последовательно проходящими через рубеж дислокации пункта приема загрязнений, составит:

$$t_{\text{ср}} = 24 / N_{\text{ср}}. \quad (2)$$

В работах, посвященных вопросам эксплуатации флота [3, 6], указывается, что вероятностное распределение потоков судов достаточно хорошо описывается законом Пуассона:

$$P(n) = \frac{N_{\text{ср}}^n}{n!} e^{-N_{\text{ср}}}, \quad (3)$$

где $P(n)$ — вероятность прохода n судов за единицу времени; $N_{\text{ср}}$ — среднее количество судов в единицу времени.

Для этого потока плотность вероятности распределения интервалов времени Δt_i между двумя последовательными прибытиями судов соответствует экспоненциальному распределению [9]:

$$f(\Delta t_i) = \frac{1}{t_{\text{ср}}} \cdot \exp\left(-\frac{\Delta t_i}{t_{\text{ср}}}\right). \quad (4)$$

Тогда функция распределения вероятности временных интервалов Δt_i будет иметь вид:

$$F(\Delta t_i) = 1 - \exp\left(-\frac{\Delta t_i}{t_{\text{ср}}}\right), \quad (5)$$

а случайная величина промежутка времени между двумя последовательно проходящими через

район дислокации приемных сооружений судами вычисляться по выражению [2]:

$$\Delta t_i = -t_{cp} \cdot \ln[1 - rnd], \quad (6)$$

где rnd — случайная величина с равномерным распределением от 0 до 1.

Для моделирования нагрузки создается массив судов, эксплуатируемых на рассматриваемом участке водного пути. Из данного массива через рассчитываемые интервалы времени случайным образом выбирается судно, для которого (по данным справочников [1, 8, 16]) устанавливаются следующие параметры:

- мощности главных двигателей;
- количество людей на борту;
- объём сборных цистерн.

Для определения количества отходов, имеющих на борту судна в момент прохождения им рубежа дислокации приемных сооружений, генерируется случайное значение времени пути данного судна t_i в сутках, лежащее в интервале от 0 до автономности плавания t_a . Автономность плавания по СВ и НВ рассчитывается в соответствии с методикой, содержащейся в Правилах предотвращения загрязнения с судов Российского Речного Регистра [5] по формулам:

$$t_a^{CB} = 0,9V_{CB} / Q_{CB}n_p; \quad (7)$$

$$t_a^{HB} = 0,9V_{HB} / Q_{HB}, \quad (8)$$

где V_{CB} — объём судовой сборной цистерны сточных вод, м³; Q_{CB} — удельное значение накопления сточных вод, м³/(чел.·сут), зависящее от типа судна; n_p — количество людей на борту, чел.; V_{HB} — объём судовой сборной цистерны нефтесодержащих вод, м³; Q_{HB} — удельное значение накопления нефтесодержащих вод, м³/сут, зависящее от типа судна и от мощности главных двигателей. В соответствии с требованиями санитарных правил [4] автономность плавания рассматриваемого судна по СВ должна приниматься равной 6 суткам, даже если вместимость сборных цистерн позволяет накапливать эти воды более длительный срок.

Фактическое случайное количество сточных и нефтесодержащих вод на выбранном судне определяется следующим образом:

$$\tilde{V}_{CB} = Q_{CB} \cdot t_i \cdot n_p / 0,9; \quad (9)$$

$$\tilde{V}_{HB} = Q_{HB} \cdot t_i / 0,9, \quad (10)$$

где t_i — время пути судна, проходящего мимо порта.

Необходимость сдачи случайным судном отходов определяется следующим условием:

$$t_i + t_{ЭХВП} > t_a, \quad (11)$$

где $t_{ЭХВП}$ — экологическая характеристика водного пути.

Если условие (11) выполняется, то судно должно сдавать отходы на внесудовые водоохраные средства. В противном случае оно проходит мимо пунктов сбора загрязнений без сдачи имеющихся на борту отходов.

Суммирование количества сданных отходов судами, проходящих мимо пункта дислокации приемных сооружений, позволяет рассчитать объём этих отходов для каждого моделируемых суток в течение навигации.

В связи с тем что выбор судна и проверка необходимости сдачи им отходов носят случайных характер, суточное количество отходов, поступающих на внесудовые водоохраные средства, также случайная величина, характеризующаяся некоторой функцией плотности распределения, получив которую можно рассчитать искомые характеристики приемных сооружений.

Алгоритм предлагаемой методики в виде блок-схемы показан на рис. 1.

С использованием указанного алгоритма был выполнен расчет нагрузки по сточным водам на условные приемные сооружения.

В силу того что моделирование является вероятностным, конечные результаты — тоже случайные величины. Для уменьшения ошибки их вычисления описанный выше алгоритм выполнялся много раз, поскольку согласно центральной предельной теореме дисперсия ошибки обратно пропорциональна числу реализаций [12]. Полученный набор конечных результатов усреднялся по полученным реализациям.

Результаты и обсуждение

При реализации предлагаемого алгоритма из регистровой книги Российского Речного Регистра [15] были сделаны две выборки по судам, относящимся более чем к 70 проектам и имеющим автономность плавания по сточным водам не менее суток для первой выборки и не менее двух суток для второй.

Расчеты выполнялись с использованием следующих исходных данных:

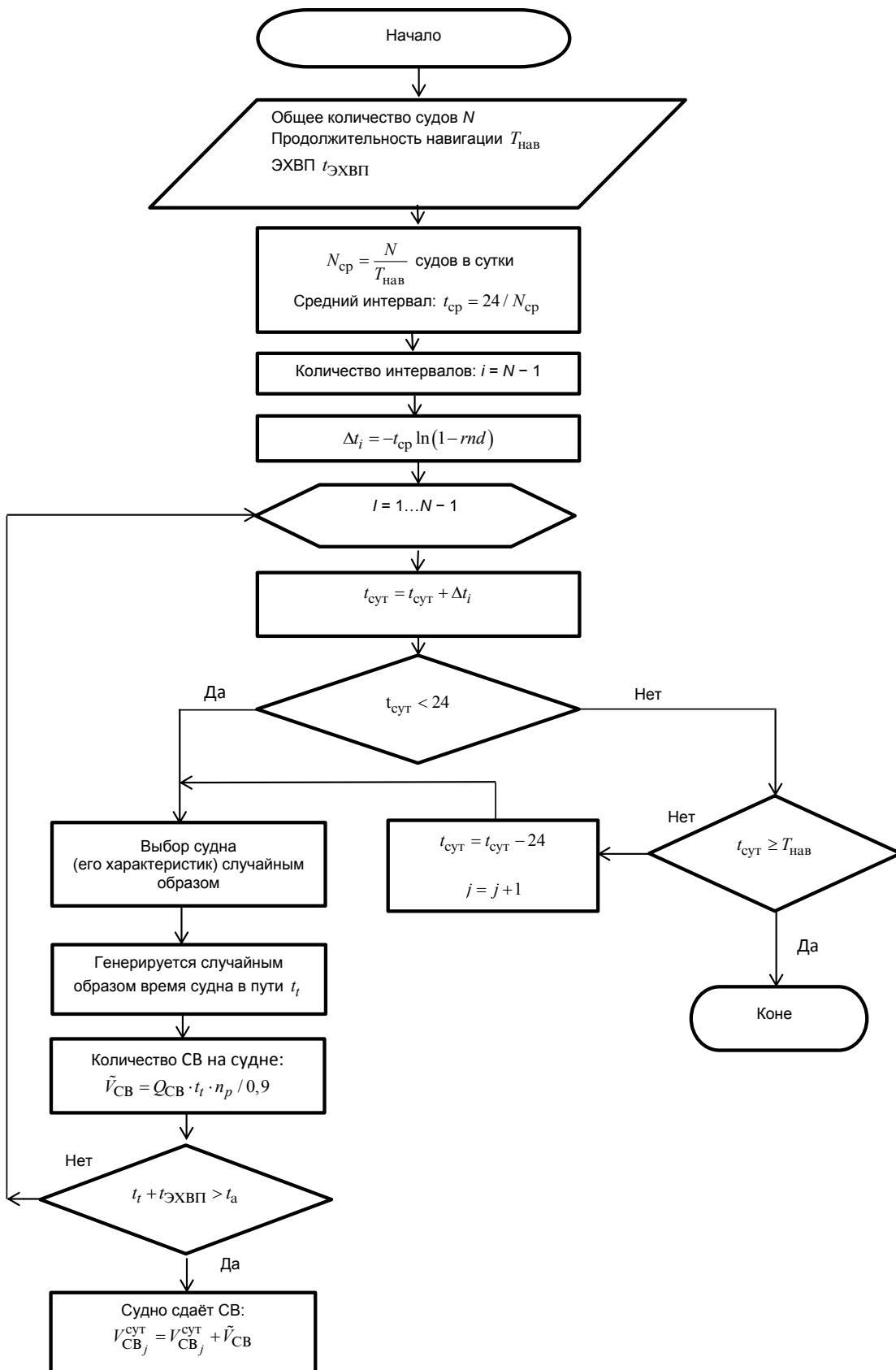


Рис. 1. Блок-схема моделирования нагрузки на внесудовые

1) продолжительность навигации $T_{нав} = 204$ сут, что является средним значением по бассейнам ВВП Российской Федерации;

2) количество судов, проходящих мимо приемных сооружений и имеющих автономность плавания не менее суток:

$$N_1 = 2325 \text{ ед.}; N_2 = 4650 \text{ ед.}; N_3 = 9300 \text{ ед.};$$

3) количество судов, проходящих мимо приемных сооружений и имеющих автономность плавания не менее двух суток:

$$N_1 = 2112 \text{ ед.}; N_2 = 4224 \text{ ед.}; N_3 = 8448 \text{ ед.};$$

4) экологическая характеристика водного пути. Для первой выборки задавалось значение $t_{ЭХВП} = 1$ сут, а для второй — $t_{ЭХВП} = 2$ сут;

5) количество повторных расчетов по представленному алгоритму моделирования 200 (относительная ошибка определения функции вероятности менее 1 %).

На рис. 2 отражено полученное численно вероятностное распределение потоков заходящих в порт судов для сдачи отходов. Следует заметить, что оно соответствует распределению Пуассона (3).

На рис. 3 и 4 показаны гистограммы распределения вероятности суточного объема СВ, сдаваемых судами на внесудовые водоохранные средства в зависимости от интенсивности судоходства и значения экологической характеристики водного пути.

Среднесуточное накопление сдаваемых судами СВ определялось следующим образом:

$$V_{сут}^{ср} = \frac{\sum V_{СВj}^{сут}}{T_{нав}}. \quad (12)$$

Максимальный суточный объем сточных вод, сдаваемых на приемные сооружения, который не будет превышен с вероятностью 95 %, находился из условия

$$F(V_{сут}^{max95}) = 0,95, \quad (13)$$

где F — численно оцененная по данным $V_{СВj}^{сут}$ функция распределения. Процедура оценки была следующей. Массив данных $\{V_{СВj}\}$, длина которого равна $T_{нав}$, сортировался по возрастанию. В нем находился первый элемент с индексом, большим $0,95T_{нав}$. Значение этого элемента и принималось равным $V_{сут}^{max95}$ [14].

Полученные данные на основе предложенного авторами алгоритма моделирования нагрузки на внесудовые водоохранные средства речного порта позволяют определить их характеристики, представленные в таблице.

Заключение

Результаты расчета нагрузки на внесудовые водоохранные средства речного порта показывают, что среднее значение количества сдаваемых сточных вод растет прямо пропорционально интенсивности судоходства. Среднее количество заявок на сдачу СВ с судов также растет пропорционально количеству судов, проходящих мимо порта. При этом объем сдаваемых СВ с вероятностью 95 % также растет с увеличением среднего количества судов. При увеличении ЭХВП до двух суток количество принимаемых СВ и число обслуживаемых судов возрастает примерно в 1,5 раза.

Таким образом, предложенный и реализованный в работе алгоритм моделирования на-

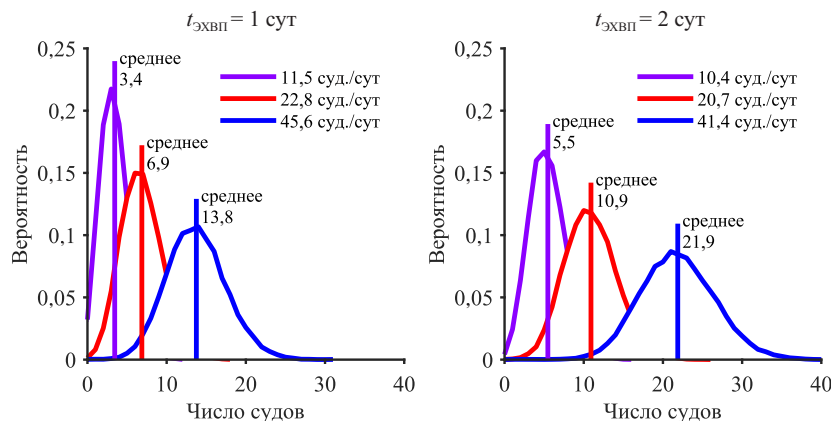


Рис. 2. Вероятностное распределение потоков судов

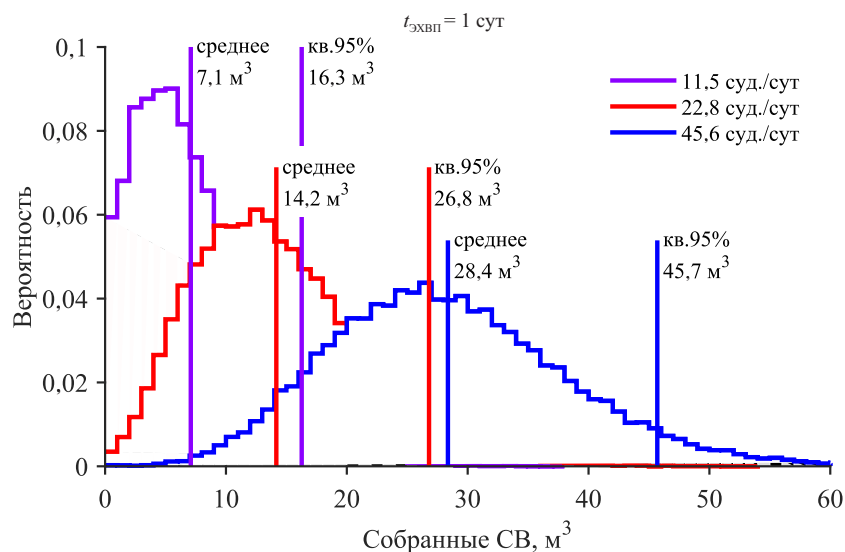


Рис. 3. Гистограмма распределения вероятности суточного объема сточных вод в зависимости от среднего количества судов при $t_{\text{эвп}} = 1$ сут

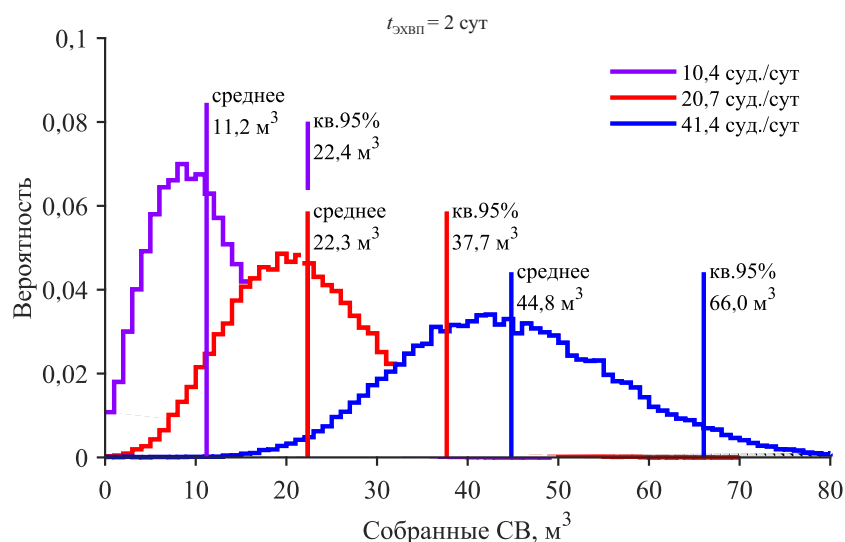


Рис. 4. Гистограмма распределения вероятности суточного объема сточных вод в зависимости от среднего количества судов при $t_{\text{эвп}} = 2$ сут

Результат реализации алгоритма моделирования нагрузки на внесудовые водоохранные средства порта

Интенсивность судоходства, судов в сутки	Среднее число судов, сдающих сточные воды в сутки	Среднесуточное количество сточных вод, принимаемых с судов, м³/сут	Максимальное с вероятностью 95 % количество сточных вод, которое может поступить на приемные сооружения в течение суток	Экологическая характеристика водного пути, сут	Автономность плавания по сточным водам, сут
11,5	3,4	7,1	16,3	1	1
22,8	6,9	14,2	26,8		
45,6	13,8	28,4	45,7		
10,4	5,5	11,2	22,4	2	2
20,7	10,9	22,3	37,7		
41,4	21,9	44,8	66,0		

грузки на внесудовые водоохранные средства позволяет оценить количество принимаемых судовых отходов в зависимости от интенсивности судоходства в различных бассейнах ВВП, а также от обеспеченности водных путей этими средствами, которая определяет экологическую характеристику водного пути.

Разработанная методика может быть использована для оценки производительности береговых очистных сооружений, а также установок по очистке СВ и НВ, находящихся на СКПО.

Литература

1. Антонов, Б. А. (1987). Серийные речные суда. Т. 8. М.: Транспорт, 230 с.
2. Бусленко, Н. П. (1970). Метод статистического моделирования. М.: Статистика, 113 с.
3. Воевудский, Е. Н., Коневцева, Н. А., Махуренко, Г. С., и Тарасова, И. П. (1988). Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом. М.: Транспорт, 381 с.
4. Главный государственный санитарный врач РФ (1998). СанПиН 2.5.2-703-98. Суда внутреннего и смешанного (река-море) плавания. М.: Минздрав России, 76 с.
5. Ефремов, Н. А. (2016). Правила предотвращения загрязнения окружающей среды с судов (ППЗС). М.: Российский речной регистр, 35 с.
6. Лифшиц, А. Л. и Мальц, Э. А. (1978). Статистическое моделирование систем массового обслуживания. М.: Советское радио, 248 с.
7. Министерство транспорта Российской Федерации (2019). Федеральная целевая программа «Развитие транспортной системы России (2010–2020 годы)». [online] Доступно по ссылке: <https://www.mintrans.ru/ministry/targets/200/204/documents> [Дата обращения: 22.04.2019].
8. Министерство транспорта РФ, Департамент речного транспорта, Центральное бюро научно-технической информации, АО «Минибот» (1994). Справочник по серийным речным судам. Пассажирские суда, сухогрузные теплоходы и танкеры, толкачи, буксиры, баржи. Т. 10. М.: б. и., 135 с.
9. Назаров, А. А. и Терпугов, А. Ф. (2010). Теория массового обслуживания: учебное пособие. 2-е изд. Томск: Изд-во НТЛ, 228 с.
10. Официальный сайт Морской Коллегии при Правительстве Российской Федерации (2010). Концепция развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2015 года. [online] Доступно по ссылке: http://www.morskayakollegiya.ru/legislation/doktrinalnye_i_k/kontseptsija_raz/ [Дата обращения: 02.04.2019].
11. Охрана труда в России (2015). Постановление Правительства РФ № 623 «Технический регламент о безопасности объектов внутреннего водного транспорта» от 12.08.2010. [online] Доступно по ссылке: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/252641/ [Дата обращения: 02.04.2019].

12. Печинкин, А. В., Тескин, О. И. и Цветкова, Г. М. (2006). Теория вероятностей: учебник для студентов вузов. 4-е изд. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 456 с.

13. Правительство России (2019). Распоряжение № 327-р «Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года» от 29 февраля 2016 г. [online] Доступно по ссылке: http://static.government.ru/media/files/YxvWxYkzMqwAsfBmAX6anAVV_iKnFgYwA.pdf [Дата обращения: 20.04.2019].

14. Розенберг, В. И. (1993). Справочник по серийным речным судам. Пассажирские суда; сухогрузные теплоходы, танкеры; толкачи, буксиры. Т. 9. М.: Транспорт, 201 с.

15. Российский речной регистр (2019). Регистровая книга Российского речного регистра [online]. Доступно по ссылке: <http://www.rivreg.ru/activities/class/regbook/> [Дата обращения: 04.03.2019].

16. Шмойлова, Р. А., Минашкин, В. Г. и Садовникова, Н. А. (2014). Практикум по теории статистики. 3-е изд. М.: Финансы и статистика, 416 с.

References

1. Antonov, B. A. (1987). Serial river vessels. Vol. 8. Moscow: Transport, 230 p.
2. Buslenko, N. P. (1970). Statistical modeling method. Moscow: Statistika, 113 p.
3. Voyevudsky, Ye. N., Konevtseva, N. A., Makhurenko, G. S. and Tarasova, I. P. (1988). Economic and mathematical methods and models in maritime transport management. Moscow: Transport, 381 p.
4. Chief Public Health Officer of the Russian Federation (1998). Sanitary Rules and Regulations SanPiN 2.5.2-703-98. Inland and mixed (river-sea) navigation vessels. Moscow: Ministry of Health of the Russian Federation, 76 p.
5. Efremov, N. A. (2016). Regulations for the prevention of environmental pollution from ships. Moscow: Russian River Register, 35 p.
6. Lifshits, A. L. and Malts, E. A. (1978). Statistical modeling of queuing systems. Moscow: Sovetskoye Radio, 248 p.
7. Ministry of Transport of the Russian Federation (2019). Federal target program “Development of the transport system of Russia (2010–2020)”. [online] Available at: <https://www.mintrans.ru/ministry/targets/200/204/documents> [Date accessed 22.04.2019].
8. Ministry of Transport of the Russian Federation, Department of River Transport, Central Bureau of Scientific and Technical Information, AO Minibot (1994). Handbook of serial river vessels. Passenger ships, dry cargo motor ships and tankers, pushers, tugs, barges. Vol. 10. Moscow: s. n., 135 p.
9. Nazarov, A. A. and Terpugov, A. F. (2010). Queuing theory: textbook. 2nd edition. Tomsk: Izdatelstvo NTL, 228 p.
10. Official website of the Marine Board under the Government of the Russian Federation (2010). Concept of inland water transport development in the Russian Federation for the period up to 2015. [online] Available at: http://www.morskayakollegiya.ru/legislation/doktrinalnye_i_k/kontseptsija_raz/ [Date accessed 02.04.2019].
11. Labor Safety in Russia (2015). Resolution of the Government of the Russian Federation No. 623 “Technical regulations for the safety of inland water transport facilities”

dated August 12, 2010. [online] Available at: https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/252641/ [Date accessed 02.04.2019].

12. Pechinkin, A. V., Teskin, O. I. and Tsvetkova, G. M. (2006). Probability theory: textbook for university students. Moscow: Bauman University Publishing House, 456 p.

13. Government of Russia (2019). Order of the Government of the Russian Federation No. 327-r "Strategy of inland water transport development in the Russian Federation for the period up to 2030" dated February 29, 2016. [online] Available at: <http://static.government.ru/media/files/YxvWxYkzMqwAsfBmAX6anAVViKnFgYwA.pdf> [Date accessed: 20.04.2019].

14. Rozenberg, V.I. (1993). Handbook of serial river vessels. Passenger ships, dry cargo motor ships, tankers; pushers, tugboats. Vol. 9. Moscow: Transport, 201 p.

15. Russian River Register (2018). Register Book of the Russian River Register. [online] Available at: <http://www.rivreg.ru/activities/class/regbook/> [Date accessed 04.03.2019]

16. Shmoylova, R. A., Minashkin, V. G., Sadovnikova, N. A. (2014). Theory of statistics. Practical course. 3rd edition. Moscow: Finansy i Statistika, 416 p.

Авторы

Васькин Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент

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

E-mail: serwaskin@mail.ru

Дмитриева Маргарита Сергеевна

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

E-mail: margarita.dmitrieva.1992@mail.ru

Authors

Vas'kin Sergey Vladimirovich, Ph. D. in Engineering, Associate Professor

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: serwaskin@mail.ru

Dmitrieva Margarita Sergeevna

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: margarita.dmitrieva.1992@mail.ru