



УДК 656.6

С.В. Васькин, доцент, к.т.н. ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

М.С. Дмитриева, аспирант ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЗКИ ПО СТОЧНЫМ И НЕФТЕСОДЕРЖАЩИМ ВОДАМ НА ВНЕСУДОВЫЕ ПРИРОДООХРАННЫЕ СРЕДСТВА

Ключевые слова: автономность плавания, внутренние водные пути, моделирование нагрузки, водоохранные средства

Статья посвящена определению нагрузки на внесудовые водоохранные средства с помощью вероятностно-статистического метода. В результате определены зависимости средних значений количества сточных вод, которые должны принять природоохранные сооружения, от среднего количества судов.

Внутренний водный транспорт исторически занимает одно из ведущих мест в обслуживании приречных районов. Он имеет особое значение для северных и восточных регионов, где плотность автомобильных и железных дорог низка или же они вообще отсутствуют. В этих регионах доля речного транспорта в общем грузообороте составляет 60...90 %, тогда как в целом по России этот показатель составляет около 3 %.

Наиболее значимыми проблемами, стоящими сегодня на пути развития речного транспорта, являются значительный возраст судов, низкая эффективность и интенсивность его использования, а также недостаточное развитие береговой инфраструктуры.

Для решения данных проблем разработана «Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года». При подготовке данного документа рассматривались три основных сценария: инновационный с ускоренным ростом, инновационный с умеренным ростом и консервативный. Самый масштабный из них, инновационный ускоренный, подразумевает кроме ликвидации узких мест, строительства новых гидротехнических сооружений и обновления флота, также строительство вторых ниток Волго-Донского и Волго-Балтийского каналов [1].

Актуальной является и проблема повышения уровня безопасности и экологичности внутреннего водного транспорта. Для ее решения предусматривается совершенствование системы приема и обработки судовых хозяйственно-бытовых и нефтесодержащих вод, разработка и реализация программы строительства технологически совершенных сборщиков льяльных вод, станций комплексной очистки судов и нефтемусоросборщиков для замены существующего природоохранного флота.

Очевидно, что такие важнейшие характеристики, как грузоподъемность судов-сборщиков и производительность судов комплексной переработки отходов (СКПО), должны соответствовать количеству сточных и нефтесодержащих вод (СВ и НВ), находящихся на судах и предназначенных для передачи на водоохранные средства в районе их дислокации.

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

Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов

1) анализ статистических данных по типу и количеству судов, эксплуатируемых 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) вероятностно-статистический метод, тоже учитывающий количество и тип эксплуатируемых судов, а также автономность их плавания по СВ и НВ и экологическую характеристику водного пути (ЭХВП).

В данной работе рассматривался третий метод, который априори дает меньшую достоверность, но позволяет рассчитать нагрузку на водоохранные средства для множества вариантов, учитывая различное количество эксплуатируемых судов и значения экологической характеристики рассматриваемого водного пути, т.е. минимальной автономности плавания, определяемой количеством и дислокацией приемных устройств в районе эксплуатации судна.

На начальном этапе выполнения моделирования нагрузки по сточным и нефтесодержащим водам на внесудовые водоохранные средства были проанализированы суда из Регистровой книги Российского речного регистра на 06.02.2017. Всего было рассмотрено 2939 судов 79 различных проектов, относящихся к I и II группе по санитарным правилам [2].

Для данных судов была посчитана автономность плавания по сточным и нефтесодержащим водам [3,4].

На рисунках 1 и 2 представлены гистограммы распределения вероятности автономности плавания судов по сточным и нефтесодержащим водам соответственно.

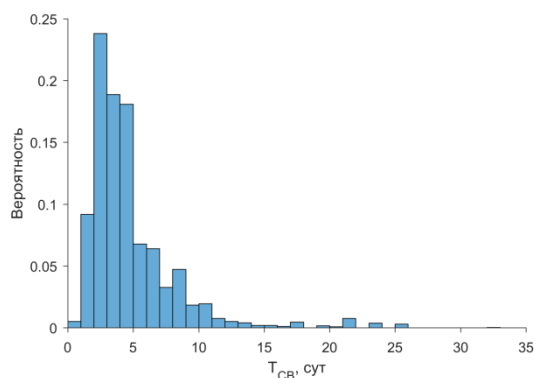


Рисунок 1 – гистограмма автономности плавания по сточным водам

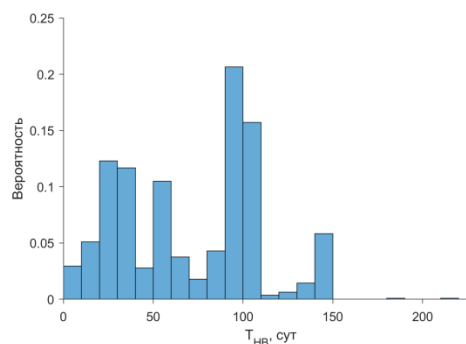


Рисунок 2 – гистограмма автономности плавания по нефтесодержащим водам

В работах, посвященных вопросам эксплуатации флота [5], указывается, что вероятностное распределение потоков судов достаточно хорошо описывается законом Пуассона вида:

$$P(k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda} \quad (1)$$

где $P(k)$ – вероятность прохода k судов в данные сутки;

λ – среднее число судов в сутки.

Среднее число судов в сутки n_{cp} , численно равное λ , определялось по формуле:

$$n_{cp} = N / T_{нав} \quad (2)$$

где N – число судов в год, ед./год;

$T_{нав}$ – период навигации, принятый равным средней по речным бассейнам продолжительности навигации, составляющей 204 сут.

В расчетах было рассмотрено три варианта n_{cp} :

при $N_1 = 2400$ ед./год, $n_{cp1} = 11,7$ судов в сутки;

при $N_2 = 5000$ ед./год, $n_{cp2} = 24,5$ судов в сутки;

при $N_3 = 10000$ ед./год, $n_{cp3} = 49$ судов в сутки.

Исходными для моделирования данными являлись:

- количество людей на борту, чел; мощность главных двигателей, кВт (данные принимались из Регистровой книги Российского речного регистра на 06.02.2017);
- объем сборных цистерн СВ, м³;
- среднее число судов, проходящее через район дислокации природоохранных средств в сутки;
- автономность плавания по СВ, сут.[3,4]:

$$T_{CB} = 0.9V_{CB} / Q_{CB} n \quad (3)$$

где V_{CB} – объем сборной цистерны для СВ, м³;

Q_{CB} – удельное значение накопления сточных вод для различных типов судов, м³/(чел·сут);

n – количество людей на борту судна, чел.

На начальном этапе для получения распределения вероятности количества проходящих природоохранных средств через район дислокации судов, соответствующей закону Пуассона, было смоделировано 100 000 суток навигации. Для генерации случайного числа судов n_{cp} использовался программный комплекс Matlab.

На рисунке 3 показана реализация числа судов, которые проходят мимо природоохранного сооружения в течение суток при интенсивности судоходства равной 2400 судов в год. На рисунке 4 изображена гистограмма распределения вероятности суточного количества судов, проходящих через район дислокации внесудовых водоохранных средств.

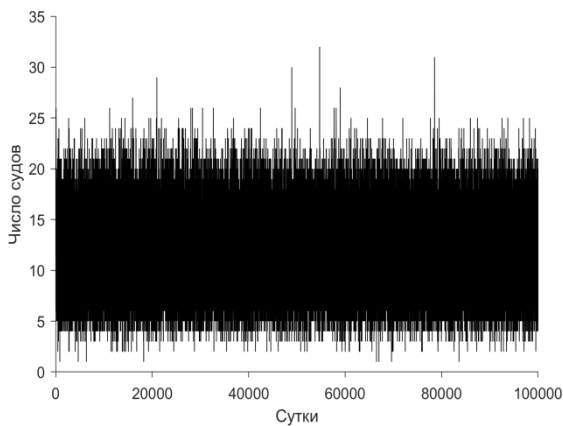


Рисунок 3 – число судов, проходящих мимо природоохранного сооружения

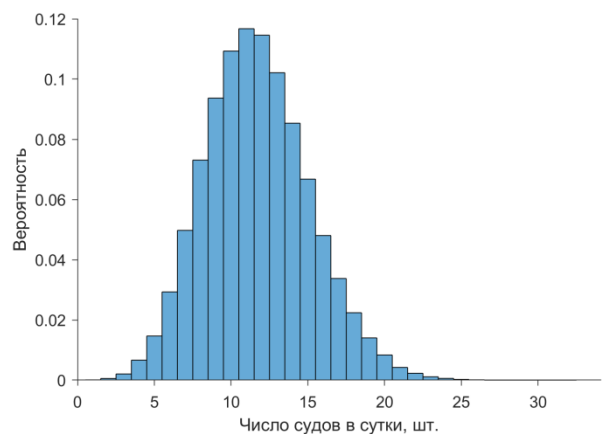


Рисунок 4 – гистограмма распределения вероятности число судов, которые проходят мимо природоохранного сооружения

Далее для каждого суток случайным образом выбирался проект судна, проходящего мимо приемного сооружения. Для выбранного проекта судна вычислялась автономность плавания по выражению (3).

Необходимость сдачи каждым судном сточных или нефтесодержащих вод зависит как от автономности плавания судна по этим видам отходов T , так и от экологической характеристики водного пути $t_{ЭХВП}$, и носит случайный характер. Вероятность того, что

рассматриваемое судно будет сдавать отходы на внесудовые водоохраные средства на данном рубеже их дислокации может быть определена по формуле:

$$p = t_{\text{ЭХВП}} / T \quad (4)$$

Для моделирования стохастического процесса сдачи сточных и нефтесодержащих вод с судов генерировалась случайная величина в интервале от 0 до 1, которая сравнивалась с рассчитанной для каждого судна по формуле (4) вероятностью. Если случайная величина оказывалась меньше отношения $t_{\text{ЭХВП}} / T$, то к суммарному количеству отходов, сдаваемых на приемные сооружения добавлялась величина объема сборных цистерн судна.

В соответствии с [2] автономность плавания по сточным водам не должна превышать 6 суток. Поэтому в расчетах при превышении расчетной автономности плавания 6 суток, она сокращалась до указанного времени.

На рисунках 5 и 6 показано количество судов, которые будут сдавать сточные воды в рассматриваемом районе дислокации природоохранных средств и вероятность распределения этого количества для интенсивности судоходства равной 2400 судов в год и экологической характеристики водного пути $t_{\text{ЭХВП}}$ равной 1 суткам.

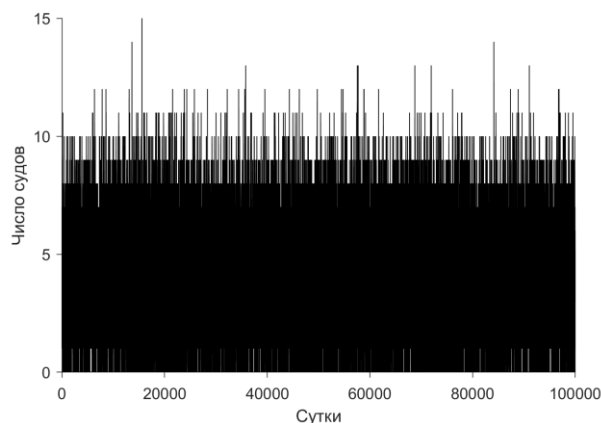


Рисунок 5 – число судов, сдающих отходы

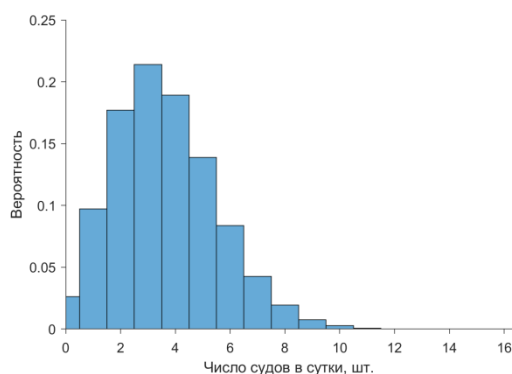


Рисунок 6 - гистограмма распределения вероятности числа судов, сдающих отходы

По данным суммарного объема сданных отходов каждые сутки были построены гистограммы распределения суточного количества сточных вод, сдаваемых на приемные сооружения при различной интенсивности судоходства (см. рис. 7 – 9). Красная черта на гистограммах отражает средний объем принятых приемными сооружениями сточных вод. Зеленая черта – максимальное с вероятностью 95 % количество принятых сточных вод.

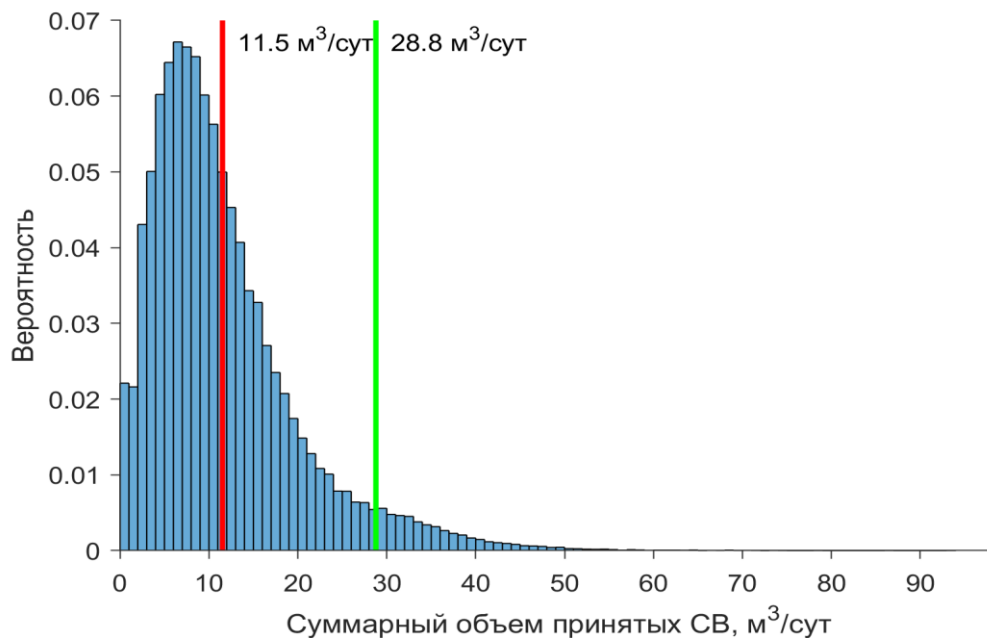


Рисунок 7 – Гистограмма распределения вероятности от объема принятых сточных вод при $n_{ср1} = 11,7$ судов в сутки

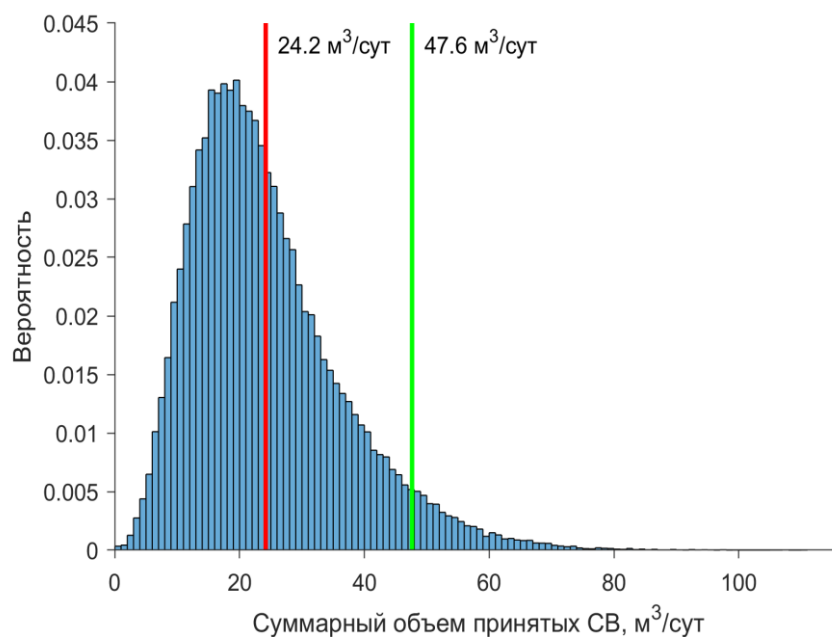


Рисунок 8 – гистограмма распределения вероятности от объема принятых сточных вод при $n_{ср} = 24,5$ судов в сутки

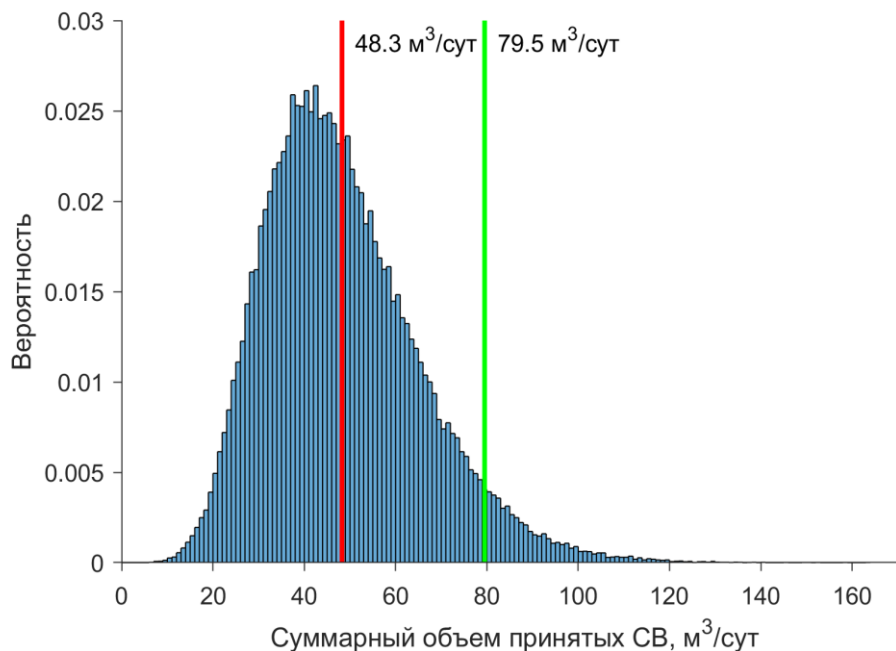


Рисунок 9 – Гистограмма распределения вероятности от объема принятых сточных вод при $n_{спз} = 49$ судов в сутки

Проведенные на основе предложенной авторами модели исследования позволяют определить следующие характеристики внесудовых водоохранных средств:

1) суточную производительность, которая для принятых в расчетах интенсивностях судоходства составила по сточным водам:

- 11,5 м³/сут при интенсивности судоходства 11,7 судов в сутки;
- 24,2 м³/сут при интенсивности судоходства 24,5 судов в сутки;
- 48,3 м³/сут при интенсивности судоходства 49 судов в сутки;

2) максимальный с вероятностью 95% объем цистерн для приема и временного накопления сточных вод на приемных устройствах, составляющий

- 30 м³ при интенсивности судоходства 11,7 судов в сутки
- 50 м³ при интенсивности судоходства 24,5 судов в сутки
- 80 м³ при интенсивности судоходства 49 судов в сутки.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что среднее значение количества сточных вод, которое должны принять природоохранные сооружения, растет прямо пропорционально в зависимости от среднего количества судов. При этом объем сдаваемых сточных вод с вероятностью 95% также растет с увеличением среднего количества судов, но коэффициент пропорциональности в этом случае имеет значение меньше 1.

Список литературы:

- [1] Гагаев С. Ю. Проблемы и перспективы развития внутреннего водного транспорта в российской федерации //Научный взгляд в будущее. – 2016. – Т. 1. – №. 2. – С. 46-50.
- [2] Суда внутреннего и смешанного (река-море) плавания. Санитарные правила и нормы: СанПиН 2.5.2-703-98. – М.: Минздрав России, 1998. – 144 с..
- [3] Правила предотвращения загрязнения окружающей среды. Российский речной регистр. Москва. – 2016 г.;
- [4] Регистровая книга Российского речного регистра. Режим доступа <http://www.rivreg.ru/activities/class/regbook/>

[5] Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом: Учеб. для студентов морских вузов. / Е.Н. Воевудский, Н.А. Коневцева, Г.С. Махуренко, И.П. Тарасова; под ред. Е.Н. Воевудского. - М.: Транспорт, 1988. - 384 с.

LOAD MODELING ON WASTEWATER AND OIL-CONTAINING WATER ON OUT-OF-SHIP ENVIRONMENTAL PROTECTION

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

Key words: autonomy of navigation, inland waterways, load modeling, water protection means.

The article is devoted to the determination of the out-of-ship environmental protection means by the probabilistic-statistical method. As a result, the dependence of the average values of the amount of waste water to be taken by environmental protection facilities on the average number of ships is determined.