



УДК 656.6

**Дмитриева Маргарита Сергеевна**, аспирант ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

**Васькин Сергей Владимирович**, доцент, к.т.н., доцент кафедры Гидродинамики, теории корабля и экологической безопасности судов ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»)

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

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМЫ СБОРА ЗАГРЯЗНЕНИЙ С СУДОВ

*Ключевые слова:* судовые отходы, экологическая безопасность, автономность плавания, судно-сборщик.

*Аннотация.* Для обеспечения экологической безопасности при эксплуатации судов на внутреннем водном транспорте существует несколько способов, в том числе - накопление отходов в специальных ёмкостях на борту судна и сдача их на внесудовые водоохранные средства. В данной работе описывается алгоритм моделирования работы системы сбора загрязнений с судов. Он позволяет установить зависимость интенсивности судоходства и нагрузки на внесудовые водоохранные средства.

Совершенствование системы внутреннего водного транспорта (ВВТ) является одним из приоритетных направлений развития нашей страны. К основным проблемам, присущих текущему положению ВВТ относят высокий износ речного транспортного флота, снижение объёма речных перевозок, недостаточное развитие береговой инфраструктуры и т.д.

Для улучшения сложившейся ситуации существуют следующие задачи и мероприятия:

- совершенствование комплексного обслуживания судов ВВТ, включая приём и обработку хозяйственно-бытовых, сточных (СВ), нефтесодержащих вод (НВ) и других отходов;
- оснащение портов средствами для защиты окружающей среды;
- разработка и строительство технологически совершенных судов (сборщиков льяльных вод, судов комплексной переработки отходов (СКПО) и нефтемусоросборщиков) для замены существующего природоохранного флота;
- обеспечение экологической безопасности при эксплуатации судов, предотвращение загрязнения с судов хозяйственно-бытовыми, СВ и НВ, нефтью и другими вредными для здоровья людей и водных биологических ресурсов веществами и др. [1].

Проблема обеспечения экологической безопасности при эксплуатации судов требует комплексного решения, которое должно учитывать интенсивность судоходства, типы эксплуатируемых в бассейнах внутренних водных путей судов, производительность или пропускную способность природоохранных средств, их количество и места их дислокации на водном пути.

Одним из способов предотвращения загрязнения водных объектов при эксплуатации судов является накопление отходов в специальных ёмкостях на борту судна и сдача их на внесудовые водоохранные средства. К таким средствам относятся:

- суда-сборщики загрязнений;
- специализированные причалы для приема СВ, НВ и мусора;
- специализированные очистные суда для приёма и обработки загрязнений, скапливающихся на судах.

Для моделирования работы системы сбора судовых загрязнений целесообразно установить зависимость интенсивности судоходства и нагрузки на внесудовые водоохранные средства. Данную нагрузку можно определить, используя следующие методы:

1) Анализ статистических данных о количестве различных отходов, принимаемых с судов на рассматриваемом участке водного пути.

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

2) Метод имитационного моделирования предусматривает разработку математической модели движения судов на участке водного пути и учитывает рост количества образующихся на судне отходов по мере их движения по данному участку.

Имитационное моделирование позволяет получить достаточно достоверные результаты. В то же время, для проведения расчетов метод требует наличия и обработки очень большого количества 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.

3) Вероятностный метод учитывает количество и тип эксплуатируемых судов, автономность их плавания по сточным и нефтесодержащим водам, а также экологическую характеристику водного пути (ЭХВП).

В данной работе рассматривается применение третьего метода, который априори дает меньшую достоверность, но позволяет рассчитать случайную величину нагрузки на внесудовые водоохранные 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.

Рассмотрим участок водного пути, на котором эксплуатируется некоторое количество судов различных типов. На этом участке располагается некий речной порт, в котором дислоцируются внесудовые водоохранные средства.

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

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

$$N_{cp} = N / T_{нав}, \quad (1)$$

где  $N$  – число судов в год, ед.;

$T_{нав}$  – период навигации, сут.

Нагрузка на внесудовые водоохранные средства рассматриваемого речного порта моделируется в течение некоторого времени  $T$ . Моделирование ведется пошагово. Длительность одного шага составляет  $\tau$ , а общее число шагов  $T/\tau$ . На рисунке 1

схематически изображены действия в течение одного шага: (а) – отвечает начальному состоянию, (б) – процессу сбора отходов с судов, (в) – конечному состоянию.

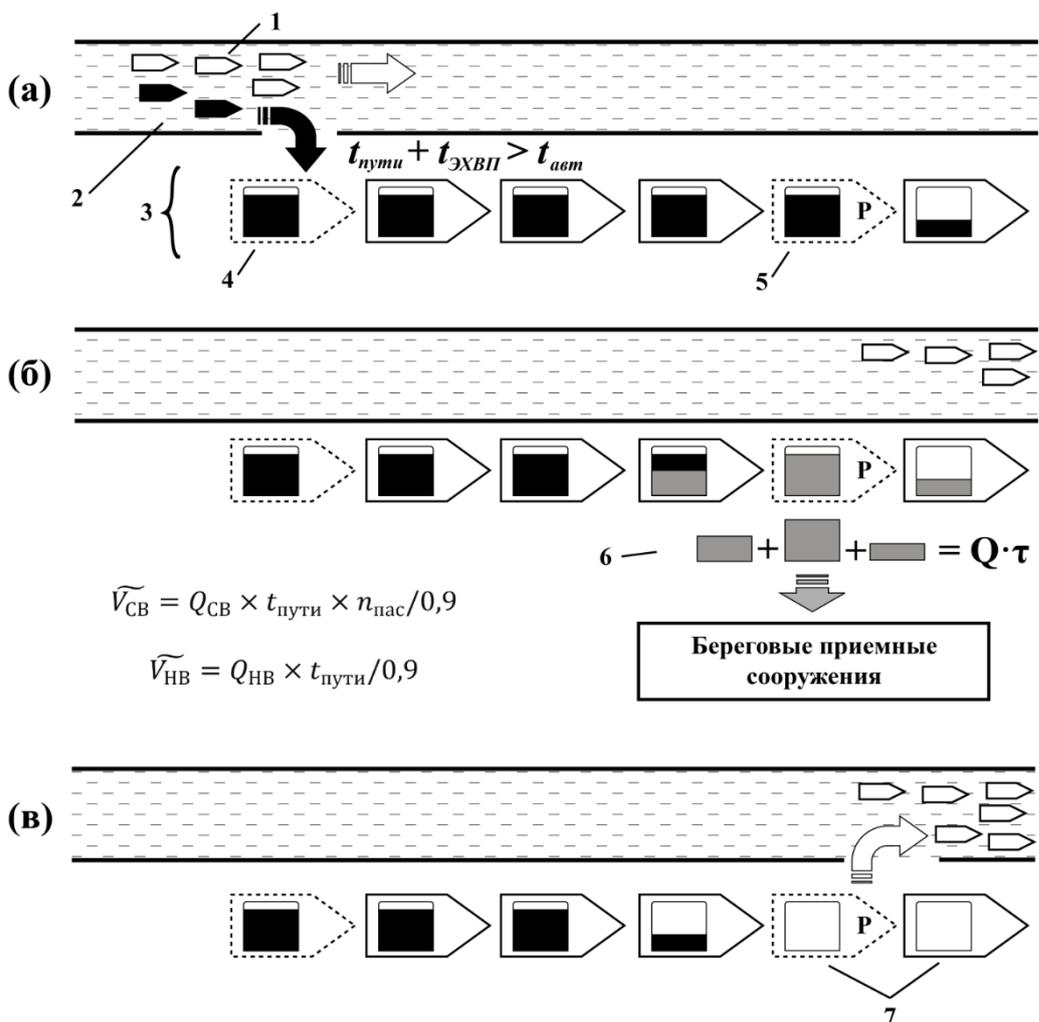


Рис. 1. Схема моделирования работы системы сбора отходов с судов

В работах, посвященных вопросам эксплуатации флота [2-4] указывается, что вероятностное распределение потоков судов достаточно хорошо описывается законом Пуассона вида:

$$P(n) = \frac{(N_{\text{ср}} \cdot \tau)^n}{n!} e^{-N_{\text{ср}} \cdot \tau}, \quad (2)$$

где  $P(n)$  – вероятность прохода  $n$  судов за единицу времени  $\tau$  ;

Каждое судно, проходящее мимо порта, имеет следующие параметры:

- объём сборных цистерн сточных и нефтесодержащих вод;
- количество людей на борту;
- мощность главных двигателей;
- автономность плавания по видам отходов;
- время в пути, лежащее в интервале от 0 до автономности плавания.

Фактическое случайное количество сточных и нефтесодержащих вод находящееся на выбранном судне определяется следующим образом [5]:

$$\tilde{V}_{CB} = Q_{CB} \cdot t_{н\text{утми}} \cdot n_{nac} / 0,9; \quad (3)$$

$$\tilde{V}_{HB} = Q_{HB} \cdot t_{н\text{утми}} / 0,9, \quad (4)$$

где  $Q_{CB}$  – удельное значение накопления сточных вод,  $m^3 / (\text{чел.} \cdot \text{сут.})$ , зависящее от типа судна;

$t_{н\text{утми}}$  – время в пути судна, проходящего мимо порта, сут.;

$n_{nac}$  – количество людей на борту, чел.;

$Q_{HB}$  – удельное значение накопления нефтесодержащих вод,  $m^3 / \text{сут.}$ , зависящее от типа судна и от мощности главных двигателей.

Необходимость сдачи случайным судном отходов определяется следующим условием:

$$t_{н\text{утми}} + t_{\text{ЭХВП}} > t_{\text{авт}}, \quad (5)$$

где  $t_{\text{ЭХВП}}$  – экологическая характеристика водного пути;

$t_{\text{авт}}$  – автономность плавания по видам отходов.

Суда, для которых не истекает автономность плавания по тому или иному виду отходов (цифра 1 на рис. 1) продолжают движение без захода в порт, а те суда, для которых выполняется условие (5) (цифра 2 на рис. 1), останавливаются в порту для сдачи отходов.

Процесс сбора судовых загрязнений в рассматриваемом речном порту построен следующим образом: существует очередь из судов, ожидающих обслуживания (цифра 3 на рис. 1). Прибывающие грузовые суда (цифра 4 на рис. 1) встают в конец этой очереди, а пассажирские (цифра 5 на рис. 1) за последним пассажирским или если таковых нет, то за первым, т.е. обслуживание пассажирских судов является приоритетным. Береговые приемные сооружения принимают количество отходов (цифра 6 на рис. 1) равных  $Q \cdot \tau$ , где  $Q$  – производительность установки по приему судовых загрязнений ( $m^3$  в единицу времени). Суда, которые осуществили процесс сдачи отходов, покидают порт (цифра 7 на рис. 1).

В связи с тем, что выбор судна и проверка необходимости сдачи им отходов носят случайный характер, количество отходов, поступающих на внесудовые водоохраные средства, также является случайной величиной. Эта случайная величина характеризуется некоторой функцией плотности распределения, получив которую, можно рассчитать такие характеристики приемных сооружений, например, как:

- среднесуточное количество отходов, принимаемых с судов внесудовыми водоохраными средствами;
- среднесуточное количество заявок на сдачу отходов с судов;
- максимальное с определенной вероятностью количество отходов того или иного типа, которое может поступить на приемные сооружения в течение некоторого времени;
- время ожидания судна в очереди на обслуживание.

Таким образом, предложенное моделирование работы системы сбора загрязнений с судов позволяет:

- оценить количество принимаемых судовых отходов в зависимости от интенсивности судоходства в различных бассейнах внутренних водных путей, а также от обеспеченности водных путей этими средствами, которая в свою очередь, определяет экологическую характеристику водного пути;
- оценить и оптимизировать производительность береговых приемных сооружений в зависимости от интенсивности судоходства.

Предполагается дальнейшее развитие модели, а именно - включение в данную систему сбора судовых загрязнений судна-сборщика. Данное судно будет обладать такими характеристиками как грузоподъемность, скорость хода и производительность насосного оборудования.

Это позволит установить следующие важные характеристики работы внесудовых водоохраных средств как системы массового обслуживания:

- среднюю и максимальную продолжительность обслуживания транспортных судов;
- среднее и максимальное время ожидания обслуживания судов;
- продолжительность работы и простоев судов-сборщиков;
- длину очереди;
- пропускную способность данной системы и т.д.

При моделировании работы системы сбора судовых отходов с новыми условиями варьируемыми параметрами работы системы сбора загрязнений с судов могут быть:

- количество судов-сборщиков;
- вместимость этих судов по сточным и нефтесодержащим водам;
- скорость движения судов-сборщиков;
- производительность насосного оборудования и т.д.

Полученные результаты позволяют оптимизировать работу системы сбора загрязнений с судов по отдельным критериям и установление характеристик судов-сборщиков в соответствии с этими критериями.

### Список литературы:

- [1] Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс] // Распоряжение Правительства РФ № 327-р от 29 февраля 2016 г. URL: <http://static.government.ru/media/files/YxvWxYkzMqwAsfBmAX6anAVViKnFgYwA.pdf> (дата обращения: 20.04.2019);
- [2] Воевудский Е. Н. и др. Экономико-математические методы и модели в управлении морским транспортом: Учеб. для студентов морских вузов. / Воевудский Е.Н., Коневцева Н.А., Махуренко Г.С., Тарасова И.П.; под ред. Воевудского Е.Н. // М.: Транспорт, 1988. - 384 с.;
- [3] Лифшиц А.Л., Мальц Э.А., Бусленко Н. П. Статистическое моделирование систем массового обслуживания // М.: Советское радио, 1978. - 249 с.;
- [4] Лубенцова В.С. Математические модели и методы в логистике: учеб. пособ./ Лубенцова В.С.. Под редакцией Радченко В.П.. // Самара: Самарский гос. техн. ун-т, 2008, - 157 с.
- [5] Правила предотвращения загрязнения окружающей среды. Российский речной регистр. Москва. – 2015 г. [Электронный ресурс] // Официальный сайт Российского речного регистра URL: <https://www.rivreg.ru/assets/Uploads/rules2015/rules062018.pdf> (дата обращения: 16.04.2019).

## MODELING OF THE WORK OF THE SYSTEM OF COLLECTION OF POLLUTION FROM SHIPS

Margarita S. Dmitrieva, Sergey V. Vas'kin

*Key words: ship waste, environmental safety, autonomy of navigation, a collecting vessel.*

*To ensure environmental safety in the operation of vessels in inland waterway transport, there are several ways, including the accumulation of waste in special tanks on board the vessel and handing them over to non-vessel water protection facilities. This paper describes an algorithm for modeling the operation of the pollution collection system from ships. It allows you to set the dependence of the intensity of shipping and the load on out-of-court water protection facilities.*