



УДК 629.122

**Дмитриева Маргарита Сергеевна**, аспирант ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
Волжский государственный университет водного транспорта  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

**Васькин Сергей Владимирович**, доцент, к.т.н. ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
Волжский государственный университет водного транспорта  
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ И ГЛАВНЫХ РАЗМЕРЕНИЙ СУДОВ-СБОРЩИКОВ ОТХОДОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

*Аннотация. Предотвращение загрязнения внутренних водных путей при эксплуатации судов в настоящее время обеспечивается применением специальных сборщиков отходов. Эффективность функционирования сборщиков определяется различными показателями, в том числе экономическими. Одними из главных таких показателей являются стоимость постройки и эксплуатации, которые во многом зависят от грузоподъемности, водоизмещения и размеров судна. В работе рассматривается расчет водоизмещения и главных размерений различных вариантов судов-сборщиков, позволяющий в дальнейшем выполнить оценку их экономической целесообразности.*

*Ключевые слова: экологическая безопасность судоходства, судовые отходы, судно-сборщик, проектирование судов, нагрузка масс, водоизмещение судов.*

Для предотвращения загрязнения внутренних водных путей судовыми отходами сегодня широко используется технология, предусматривающая накопление отходов на судне и передачу их на специализированные суда-сборщики, которые транспортируют отходы на береговые очистные сооружения или сдают их на суда комплексной переработки. При этом сборщик, являясь важнейшим элементом системы обеспечения экологической безопасности, будет являться и элементом системы обслуживания флота, влияющим на экономическую эффективность его эксплуатации. В связи с этим количество и технические характеристики судов-сборщиков должны обеспечивать достижение следующих целей:

- сбор отходов со всех нуждающихся в этом судов, проходящих через пункт базирования сборщиков;
- минимальное время простоя обслуживаемых судов, связанное с приемом находящихся на них отходов;
- минимальное время простоя самих сборщиков.

Таким образом, возникает задача оптимизации обслуживания флота, решение которой возможно путем имитационного моделирования. Это моделирование, помимо прочих начальных условий, должно предусматривать использование судов-сборщиков с различными эксплуатационными характеристиками. [1, 2, 3]

Основными эксплуатационными параметрами судов-сборщиков, оказывающими влияние на процесс сбора судовых отходов, будут являться грузоподъемность сборщиков, скорость их движения и скорость выполнения грузовых операций, зависящая от производительности насосов для перекачки сточных и нефтесодержащих вод [4]. Эти параметры во многом зависят от количества принимаемых с судов отходов, которое, в свою очередь, определяется интенсивностью судоходства в том или ином районе водных путей, а также экологической характеристикой водного пути.

В результате моделирования может сложиться ситуация, при которой задачи оптимизации могут быть в равной степени успешно решены с использованием сборщиков, обладающих различными характеристиками. В этом случае выбор оптимальных технико-эксплуатационных параметров сборщика может быть выполнен на основе сравнения показателей их экономической эффективности, предусматривающего расчет затрат, связанных со строительством и эксплуатацией этих судов.

На стоимость постройки и эксплуатации судна-сборщика наибольшее влияние оказывают его водоизмещение и мощность энергетической установки. Проектное водоизмещение сборщика в первую очередь будет определяться заданной грузоподъемностью, мощностью главных двигателей – заданной скоростью хода. Следовательно, для получения в дальнейшем сравнительной экономической оценки при моделировании работы сборщиков необходимо задать вариативный ряд их грузоподъемности и скорости.

Проектирование нового судна на начальных этапах обычно начинается с определения основных его элементов, к которым относят водоизмещение  $D$ , главные размерения – длину  $L$ , ширину  $B$ , высоту борта  $H$ , осадку  $T$ , коэффициенты полноты, мощность главных двигателей  $N$  и ряд других. В теории проектирования судов разработаны многочисленные способы и приёмы, позволяющие решить поставленную задачу [5, 6, 7, 8]. Часто задача нахождения основных элементов судна начинается с определением его массы (массового водоизмещения). Для этого используется так называемое уравнение масс [5]:

$$D = \sum P_i + \sum P_j, \quad (1)$$

где  $P_i$  и  $P_j$  – соответственно зависящие и не зависящие от элементов и характеристик проектируемого судна нагрузки.

На начальных этапах проектирования используют ограниченное количество составляющих нагрузки масс, записывая выражение (1) в следующем виде [5, 9]:

$$D = P_{\text{ко}} + P_{\text{м}} + P_{\text{тс}} + P_{\text{ж}} + DW^0 + \Delta D, \quad (2)$$

где  $P_{\text{ко}}$  – масса корпуса судна с оборудованием и системами, т;

$P_{\text{м}}$  – масса СЭУ, включая механизмы и оборудование машинного отделения, т;

$P_{\text{тс}}$  – масса запасов топлива и смазки, т;

$P_{\text{ж}}$  – масса жидкостей, находящихся в механизмах и трубопроводах, т;

$DW^0$  – чистый дедвейт судна, т;

$\Delta D$  – запас водоизмещения, т.

Чистый дедвейт представляет собой сумму масс, которые могут быть сняты с судна или приняты на него без нарушения конструктивной целостности. В случае судна-сборщика:

$$DW^0 = \sum P_i = P_{\text{гр}} + P_{\text{эк}} + P_{\text{пв}} + P_{\text{пр}} + P_{\text{ф}}, \quad (3)$$

где  $P_{\text{гр}}$  – масса перевозимого груза (грузоподъемность судна), т;

- $P_{\text{эк}}$  – масса экипажа с багажом, т;
- $P_{\text{пв}}$  – масса запасов питьевой воды, т;
- $P_{\text{пр}}$  – масса запасов провизии, т;
- $P_{\text{ф}}$  – масса фекально-сточных вод, т.

Поскольку питьевая вода в результате ее потребления превращается стоки, то можно считать, что общее количество воды на судне не изменяется, т.е.  $P_{\text{в}} = P_{\text{пв}} + P_{\text{ф}}$  остается постоянным. Тогда уравнение (3) запишется в следующем виде:

$$DW^0 = P_{\text{гр}} + P_{\text{эк}} + P_{\text{в}} + P_{\text{пр}}. \quad (4)$$

Если к чистому дедвейту добавить массу топлива и смазки, то получим полный дедвейт судна:

$$DW = DW^0 + P_{\text{тс}}.$$

Общепринятым подходом определения составляющих нагрузки масс на начальных стадиях проектирования является расчет с использованием измерителей массы и соответствующих модулей [7, 10, 11]. Таким образом, задача сводится к определению вида модуля для расчета массы определенной статьи. При этом модуль должен косвенно отражать влияние соответствующих элементов и характеристик судна на составляющую нагрузки, а так же давать наиболее тесную корреляционную связь с соответствующим измерителем. Вид модуля и зависимость от него измерителя масс находят на основе статистического анализа или принимают по судну-прототипу, имеющему то же назначение и близкие характеристики. В качестве модулей для расчета массы отдельных статей нагрузок обычно используют водоизмещение судна  $D$ , кубический модуль  $LBH$ , а также мощность главных двигателей судна  $N$ .

В данной работе в качестве прототипа было выбрано судно-сборщик проекта 354К. Суда этого проекта хорошо зарекомендовали себя за время длительной эксплуатации на внутренних водных путях. Прототип имеет следующие основные характеристики [12]:

- водоизмещение в грузу  $D$  273,1 т;
- главные размерения  $L \times B \times H$  42,0×7,0×2,2 м;
- средняя осадка с полным грузом  $T$  1,15 м;
- коэффициент общей полноты  $\delta$  0,808;
- грузоподъемность  $P_{\text{гр}}$  121,5 т;
- скорость хода с грузом  $v$  3,5 км/ч;
- мощность главных двигателей  $N$  110 кВт.

Нагрузка масс судна-прототипа представлена в Таблице 1.

Таблица 1

**Составляющие нагрузки масс самоходной очистительной станции проекта 354К**

Вид нагрузки	Масса нагрузки, т
Корпус и надстройка	107,45
Механизмы	14,81
Системы и трубопроводы	13,04
Электрооборудование	4,25
Заполнение механизмов и трубопроводов	3,5
Топливо и дизельное масло	7,2
Запас питьевой воды	0,9
Команда с багажом и запас провизии	0,42
Груз в цистернах, в том числе:	121,5
- сточные и нефтесодержащие воды;	120,0
- мусор в контейнерах	1,5
Полное водоизмещение	273,07

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

На основании представленной таблицы нагрузки масс судна-прототипа можно представить в следующем виде:

$$D = P_{\text{ко}} + P_{\text{м}} + P_{\text{тс}} + P_{\text{ж}} + P_{\text{гр}} + P_{\text{кп}} + P_{\text{в}}. \quad (5)$$

где  $P_{\text{кп}}$  – масса экипажа с багажом и запасами провизии, т.

В выражении (5) масса  $P_{\text{ко}}$  будет являться функцией водоизмещения судна  $D$ , а массы  $P_{\text{м}}$  и  $P_{\text{тс}}$  – функцией мощности главных судовых двигателей. На величину массы  $P_{\text{ж}}$  одновременно влияют и водоизмещение судна, и мощность его энергетической установки. Первое связано с протяженностью и диаметром трубопроводов общесудовых систем, зависящих от размеров судна, второе – с размерами двигателей, вспомогательных механизмов и оборудования, обслуживающего энергетическую установку: холодильников, насосов и др. Принимая в первом приближении равное влияние на величину  $P_{\text{ж}}$  водоизмещения и мощности СЭУ, можем записать:

$$\begin{cases} P_{\text{ж}} = P_{\text{жс}} + P_{\text{жм}}; \\ P_{\text{жс}} = P_{\text{жм}}. \end{cases} \quad (6)$$

где  $P_{\text{жс}}$  – масса жидкостей в общесудовых системах, т;

$P_{\text{жм}}$  – масса жидкостей в механизмах и оборудовании энергетической установки, т.

При проведении расчетов с использованием измерителей масс примем следующие положения для прототипа и проектируемых судов:

- 1) удельный расход топлива энергетическими установками одинаков;
- 2) автономности плавания по топливу, воде и провизии одинаковы;
- 3) количество членов экипажа на судах одинаково;
- 4) нормы водопотребления также одинаковы.

Следствием приведенных выше положений является равенство нагрузок  $P_{\text{кп}}$  и  $P_{\text{в}}$  для прототипа и проектируемых судов. Для нахождения других статей нагрузки воспользуемся измерителями массы:

- корпуса с оборудованием  $p_{\text{ко}} = P_{\text{ко}}/D$ ;

- механизмов  $p_{\text{м}} = P_{\text{м}}/N$ ;

- топлива и смазки  $p_{\text{тс}} = P_{\text{тс}}/N$ .

Исходя из допущения (6) измеритель массы жидкостей в системах и трубопроводах разделим на две составляющих:

- жидкостей в общесудовых системах как функцию от водоизмещения судна:

$$P_{\text{жс}} = \frac{P_{\text{жс}}}{2D};$$

- жидкостей в механизмах и другом оборудовании силовой установки судна как функцию от ее мощности:

$$P_{\text{жс}} = \frac{P_{\text{жс}}}{2N}.$$

Используя измерители масс, выразим водоизмещение судна-прототипа в следующем виде:

$$D_0 = p_{\text{ко}} D_0 + p_{\text{жс}} D_0 + p_{\text{м}} N_0 + p_{\text{тс}} N_0 + p_{\text{жм}} N_0 + P_{\text{гр}0} + P_{\text{кп}} + P_{\text{в}} \text{ или} \\ (1 - p_{\text{ко}} - p_{\text{жс}}) D_0 - (p_{\text{м}} + p_{\text{тс}} + p_{\text{жс}}) N_0 - P_{\text{гр}0} - P_{\text{кп}} - P_{\text{в}} = 0. \quad (7)$$

Воспользоваться уравнением (7) для нахождения характеристик проектируемого судна невозможно, поскольку в нем оказываются неизвестными как искомое водоизмещение  $D_1$ , так и мощность двигателей  $N_1$ . Для выхода из данной ситуации используют адмиралтейский коэффициент, связывающий водоизмещение судна с его скоростью и мощностью силовой установки. Существуют различные формулы для вычисления такого коэффициента, для речных судов рекомендуется выражение следующего вида [5, 7]:

$$C_a = \frac{D^{2/3} v^3}{N}.$$

Выразив отсюда мощность и подставив ее в выражение (7), получим формулу для расчета водоизмещения проектируемого судна-сборщика при заданных значениях его грузоподъемности и скорости:

$$(1 - p_{\text{ко}} - p_{\text{жс}}) D_1 - (p_{\text{м}} + p_{\text{тс}} + p_{\text{жс}}) \frac{D_1^{2/3} v_1^3}{C_a} - P_{\text{гр1}} - P_{\text{кп}} - P_{\text{в}} = 0. \quad (8)$$

Таким образом, задавая различные значения грузоподъемности и скорости проектируемого судна-сборщика, в результате решения уравнения (8) будем получать соответствующее этим характеристикам водоизмещение. Мощность силовой установки судов будет вычисляться через адмиралтейский коэффициент, а отдельные статьи нагрузки масс – с помощью измерителей масс этих нагрузок.

Размеры и осадка различных вариантов сборщиков при известном водоизмещении могут быть найдены следующим образом [5, 9].

Известно, что водоизмещение судна вычисляется по выражению:

$$D = \rho \delta L B T, \quad (9)$$

где  $\rho$  – плотность пресной воды, равная 1 т/м<sup>3</sup>.

Примем условие равенства отношения главных размерений для прототипа и проектируемых судов. В этом случае получим:

$$\frac{L_0}{B_0} = \frac{L_1}{B_1} = l; \quad \frac{B_0}{T_0} = \frac{B_1}{T_1} = b; \quad \frac{H_0}{T_0} = \frac{H_1}{T_1} = h. \quad (10)$$

В соответствии с (9) водоизмещение проектируемого судна будет определяться как

$$D_1 = \rho \delta L_1 B_1 T_1.$$

На основании (10) запишем:

$$D_1 = \frac{\rho \delta B_1^3}{b}, \text{ откуда получим размерения нового судна:}$$

$$B_1 = \sqrt[3]{\frac{D_1 b}{\rho \delta}}; \quad L_1 = l \cdot B_1; \quad T_1 = \frac{B_1}{b}; \quad H_1 = h \cdot T_1.$$

Следует отметить, что в уравнении (8) не учтен закладываемый при проектировании судов запас водоизмещения  $\Delta D$ . Это связано с тем, современные судовые силовые установки обладают меньшими удельными расходом топлива и массой по

сравнению с силовой установкой прототипа. Поэтому фактическая масса двигателей и запасов топлива на проектируемых судах окажется несколько меньше расчетных, что и даст некоторый запас  $\Delta D$ .

Различные варианты грузоподъемности проектируемых сборщиков выбирались с учетом ранее проведенных исследований. Необходимость сдачи отходов каким-либо судном, проходящим через пункт базирования сборщиков, носит случайный характер. В проведенных ранее исследованиях [3] на основании разработанной вероятностной модели были выполнены расчеты нагрузки на внесудовые водоохранные средства по сточным и нефтесодержащим водам. Расчеты показали, что при существующем сегодня составе речного флота и нормативах образования отходов, количество образующихся на судах сточных вод примерно в три раза превышает количество нефтесодержащих вод. Исходя из этого соотношения, были рассмотрены варианты сборщиков вместимостью по сточным и нефтесодержащим водам 80, 120 (прототип), 160 и 200 т. С учетом пропорционального по сравнению с прототипом изменения массы принимаемого судами мусора, полная грузоподъемность рассматриваемых судов составили 81,0; 121,5; 162,0 и 202,5 т.

Интервал варьирования скорости хода сборщиков определялся исходя из следующих условий. В процессе обслуживания судов большая скорость сборщикам не нужна, поскольку они совершают короткие переходы от причала базирования или от судна или к очередному судну, нуждающемуся в сдаче отходов. Переходы на значительные расстояния (например, в БТОФ для сбора отходов с судов, которые ставятся в ремонт или на отстой) совершаются крайне редко. С другой стороны, слишком низкие скорости могут привести к значительному росту продолжительности перехода сборщика к месту сдачи отходов на береговые сооружения или на СКПО, что может привести к задержкам в обслуживании транспортных судов и их простоя. Поэтому в работе были рассмотрены скорости сборщиков, достаточно близкие к прототипу, а именно: 10,0; 12,0; 13,5 (прототип) и 15,0 км/ч.

Таким образом, в соответствии с выбранными вариантами грузоподъемности и скорости движения сборщиков, по уравнению (8) были рассчитаны водоизмещение и главные размерения проектируемых судов, соответствующие каждому варианту. Зависимости водоизмещения судов от их грузоподъемности и скорости представлены на рисунке.

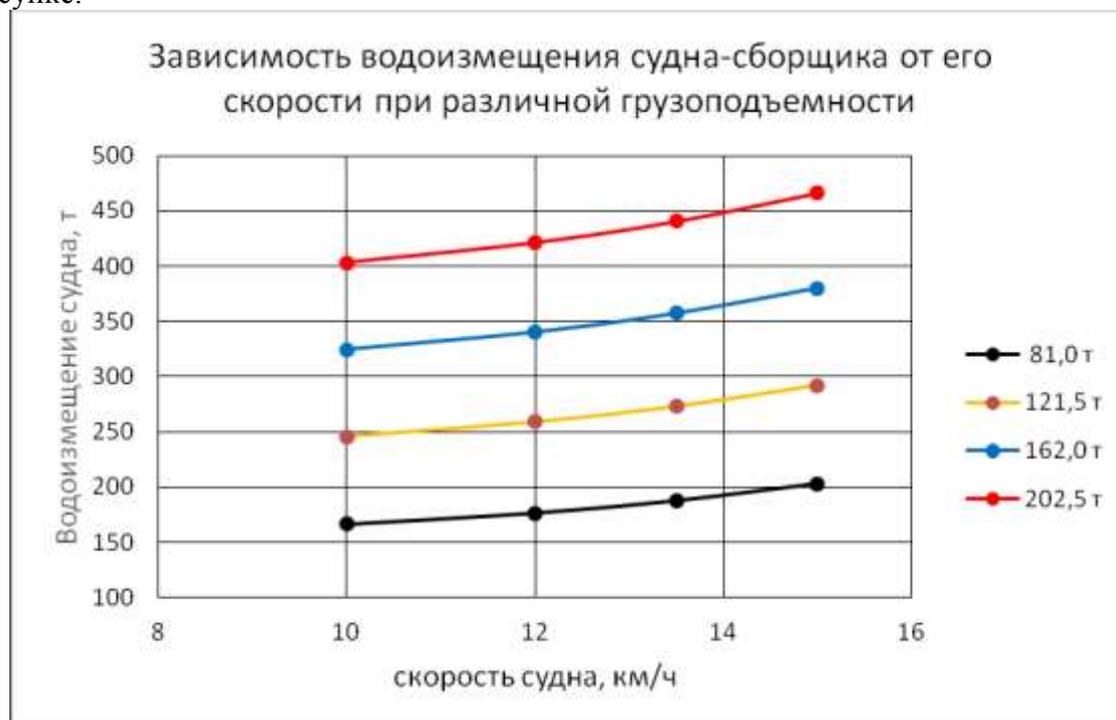


Рис. 1. Зависимость водоизмещения судна-сборщика от его скорости при различной грузоподъемности.

Расчеты характеристик различных вариантов судов-сборщиков показали, что суда, имеющие самые «скромные» грузоподъемность и скорость, будут иметь водоизмещение в 2,8 раза меньше по сравнению с судами, обладающими максимальными такого рода характеристиками. Можно предположить, что и строительные стоимости этих судов будут соотноситься так же. Однако определение стоимости постройки и эксплуатации сборщиков требует использования специальных методик и выходит за рамки данной работы, которая может являться основой для проведения таких расчетов.

#### **Список литературы:**

1. М.В. Власов Имитационное моделирование Учебно-методическое пособие для подготовки к лекционным и практическим занятиям. Новочеркасск, ЮРГПУ (НПИ), 2016, Имитационное моделирование: конспект лекций / Н.Л. Леонова; СПбГТУРП. –СПб., 2015. – 94 с.
2. Volodymyr B. Kopei, Oleh R. Onysko, Vitalii G. Panchuk. Component-oriented acausal modeling of the dynamical systems in Python language on the example of the model of the sucker rod string (англ.) // PeerJ Computer Science. — 2019-10-28. — Vol. 5. — P. e227. — ISSN 2376-5992. — doi:10.7717/peerj-cs.227.
3. Васькин С. В., Дмитриева М. С. Моделирование нагрузки на внесудовые водоохранные средства Vas'kin S. V., Dmitrieva M. S. Modeling the load on reception facilities DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.3.38-46
4. Этин В. Л., Васькин С. В., Дмитриева М. С. Выбор основных характеристик судна экологического назначения как элемента внесудовой природоохранной технологии //Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2017. – №. 52. – С. 125-129
5. Роннов, Е.П. Проектирование судов: в 2 ч.: учеб. пособие / Е.П. Роннов. – Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2009. – 288 с.
6. Бубнов, И.Г. Об одном методе определения главных размеров проектируемого судна / И.Г. Бубнов // Избранные труды. – Л.: Судостроение, 1956. – 305 с.
7. Ашик, В.В. Проектирование судов: учебник/ В.В. Ашик.–2-е изд., перераб. и доп. Л.: Судостроение, 1985. - 320 с.
8. Бронников, А.В. Проектирование судов: учеб. / А.В. Бронников. – Л.: Судостроение, 1991. – 319 с.
9. Качанов, И. В. Проектирование судов: пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта»: в 3 ч. Ч. 1 / И. В. Качанов. – Минск: БНТУ, 2017. – 60 с.
10. Врублевская, Л. Н. Анализ измерителей массы металлического корпуса грузовых судов для малых рек. Вопросы проектирования и обеспечения прочности судов внутреннего плавания / Л.Н. Врублевская // Труды ГИИВТа.- 1983.–Вып.198.–с. 156–167.
11. Grubisic I. Reliability of Weight Prediction in Small Craft Concept Design / I. Grubisic // Proc. of 6th HIPER Congress, [September 18 – 19, 2008].–Naples, Italy, 2008.–pp. 215–226.
12. Справочник по серийным речным судам. Том 6. Плавучие краны, перегружатели и земснаряды, дебаркадеры; плавучие доки и мастерские; кренователи; зачистные станции и суда для очистки водоемов; вспомогательные суда разного назначения / ЦБНТИ МРФ РСФСР. – М.: Транспорт, 1977. – 192 с.

**DETERMINATION OF WATER DISPLACEMENT AND MAIN DIMENSIONS  
WASTE COLLECTORS WITH VARIOUS  
TECHNICAL AND PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

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

*Prevention of pollution of inland waterways during the operation of ships is currently provided by the use of special waste collectors. The efficiency of the operation of collecting vessel is determined by various indicators, including economic ones. One of the main indicators is the cost of construction and operation, which largely depends on the carrying capacity, displacement and size of the vessel. The paper considers the calculation of displacement and main dimensions of various options for picking vessels, which allows to further evaluate their economic feasibility.*

*Keywords: environmental safety of shipping, shipboard waste, collecting vessel, ship design, mass loading, ship displacement.*