

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И ХАРАКТЕРИСТИК РЕЧНЫХ ЗЕМЛЕСОСНЫХ СНАРЯДОВ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**Э.Г. Румянцев**

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

**Е.П. Роннов**

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

*Аннотация. В статье впервые приводится методика расчета на стадиях исследовательского проектирования основных элементов и характеристик речных земснарядов статистическим методом. Для исследования были использованы наиболее распространенные проекты речных несамоходных земснарядов различных архитектурно-конструктивных типов как с жилой надстройкой, так и без нее, в широком диапазоне производительности по грунту. Были подробно проанализированы зависимости полного водоизмещения и мощности главного двигателя от основных данных технического задания, таких как производительность землесоса и глубина разработки грунта. Получены графические зависимости и аналитические выражения для определения главных размерений землесоса. Отдельно рассмотрен вопрос выбора длины основных отсеков земснаряда, что позволяет решать задачу предварительной разбивки корпуса на отсеки. Дается анализ точности полученных статистических зависимостей определения длин судна.*

*Ключевые слова: землесос, земснаряд, главные размерения, длина отсеков корпуса, добыча нерудных материалов, производительность землесоса, глубина рыления.*

### Введение

В настоящее время как проектирование, так и строительство добычных судов технического флота водоизмещением более 300 т находится практически на нуле. Основу эксплуатируемого флота этого типа составляют суда старых проектов постройки до 90-х годов XX века [1]. Каждое из этих судов имеет ограниченный срок эксплуатации и в недалеком будущем, даже проверенные временем, они придут в негодность, и потребуются их замена новыми. Однако, до сих пор не существует единой методики определения основных элементов и характеристик речных земснарядов, что создает серьезные проблемы на этапе обоснования их оптимальных параметров, целесообразности проектирования и постройки. Данная работа выполнена в целях создания такой методики проектирования добычных судов технического флота. Поскольку задачи начальных стадий ставятся в условиях отсутствия необходимой информации по судну, кроме данных технического задания, то их решение достигается с использованием статистического анализа по ранее спроектированным судам рассматриваемого типа и назначения. Данный методический подход принят и в настоящей работе.

### Характеристика статистической базы

Элементы и характеристики земснарядов [2], по которым выполняется статистический анализ, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Элементы и характеристики земснарядов

| Элементы и характеристики     | Номера проектов земснарядов |        |       |      |        |      |        |       |      |           |        |           |        |
|-------------------------------|-----------------------------|--------|-------|------|--------|------|--------|-------|------|-----------|--------|-----------|--------|
|                               | 324*                        | 1-516* | P109* | 12*  | 1-520* | 4395 | 23-110 | 81390 | P139 | RDB 66.42 | ДЭ-725 | RDB 66.09 | 23-112 |
| Длина расчетная, м            | 25,8                        | 49     | 52,6  | 40   | 49,4   | 54   | 45,8   | 52,6  | 85   | 52,9      | 50     | 69,9      | 58     |
| Ширина, м                     | 7,5                         | 10,6   | 10    | 9,2  | 9,2    | 10,5 | 9      | 10    | 12   | 12        | 9,2    | 12        | 9,2    |
| Высота борта, м               | 1,5                         | 2,6    | 2,8   | 2,85 | 2,7    | 3,65 | 2,5    | 2,8   | 4    | 3,4       | 2,8    | 3,5       | 2,8    |
| Осадка в рабочем положении, м | 0,64                        | 1,08   | 1,26  | 1,20 | 1,64   | 1,30 | 1,28   | 1,87  | 1,47 | 1,33      | 1,36   | 1,85      | 1,43   |

|   |       |      |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |     |
|---|-------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|
| Водоизмещение попожнем, т                       | 93,5  | 408  | 446 | 322 | 575 | -   | 398 | 446 | 946  | -    | 467  | 980  | 527 |
| Глубина разработки, м                           | 8     | 11,5 | 15  | 11  | 18  | 10  | 11  | 20  | 25   | 10   | 11   | 30   | 8   |
| Мощность привода, кВт                           | 165   | 515  | 367 | 257 | 340 | 400 | 397 | 426 | 883  | 1200 | 588  | 736  | 589 |
| Водоизмещение в рабочем положении, т            | 108,5 | 434  | 555 | 386 | 630 | 653 | 469 | 555 | 1231 | 747  | 544  | 1206 | 680 |
| Производительность проектная, м <sup>3</sup> /ч | 250   | 500  | 525 | 600 | 600 | 700 | 700 | 800 | 800  | 1000 | 1000 | 1500 | 725 |
| Класс Российского Речного Регистра              | Л     | Р    | О   | О   | О   | О   | О   | О   | О    | О    | О    | О    | О   |

Одной из архитектурно-конструктивных особенностей земснарядов является размещение экипажа [3]. На земснарядах, отмеченных в таблице 1 знаком (\*), экипаж на судне не проживает. Для этих целей используются специальные стояночные суда-брандвахты. Тогда как на более крупных судах для размещения экипажа используются достаточно развитые надстройки [4].

Удаление поднятого грунта на дноуглубительных земснарядах производится по плавучему грунтопроводу. Чисто добычные земснаряды таких грунтопроводов могут не иметь, либо на них дополнительно предусматривается выгрузка грунта непосредственно в бункер [5]. На земснарядах используются различные способы рыхления грунта. На мягких грунтах используются гидравлическое рыхление. При разработке тяжелых грунтов, например, гравийного типа, используются различного типа фрезерные разрыхлители [6].

Отмеченные архитектурно-конструктивные особенности следует учитывать при статистическом анализе элементов и характеристик земснарядов.

#### Анализ главных элементов

Основными характеристиками, которые указываются в задании на проектирование земснаряда, являются его производительность  $Q$  и глубина  $H_p$  разработки (рыхления) грунта. Поэтому для предварительной оценки главных размерений их и следует использовать в качестве аргументов.

Длина судна во многом определяется условием размещения в корпусе и на палубе оборудования, механизмов и устройств, обеспечивающих необходимую, в соответствии с заданием, производительность земснаряда [7]. На графике рис. 1 приведена эта зависимость, аналитический вид которой следующий:

$$L = 2,064 * Q^{0,4868} \quad (1)$$

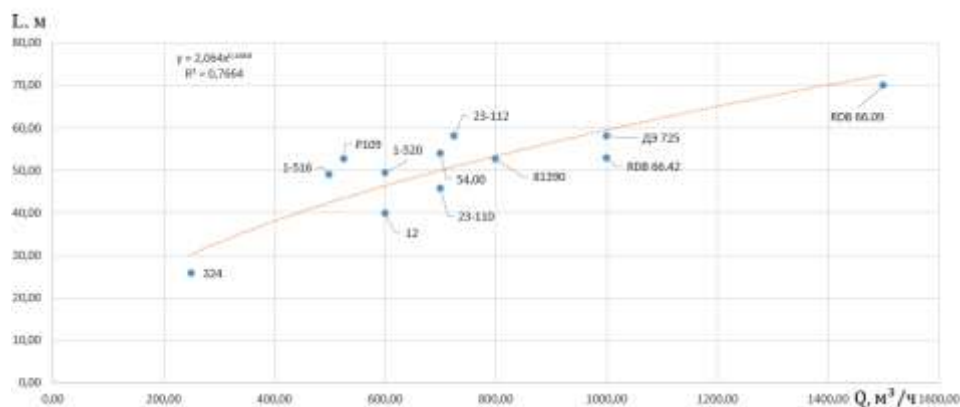


Рис. 1. Зависимость расчетной длины земснаряда от его производительности

Условия размещения главных механизмов, судовых устройств, обеспечивающих функционирование землесоса, а также основные навигационные качества судна, определяет его ширина. Зависимость ширины земснаряда от производительности приведена на рис. 2.

Аналитически эта зависимость имеет вид:

$$B = 2,2305 * Q^{0,2287} \quad (2)$$

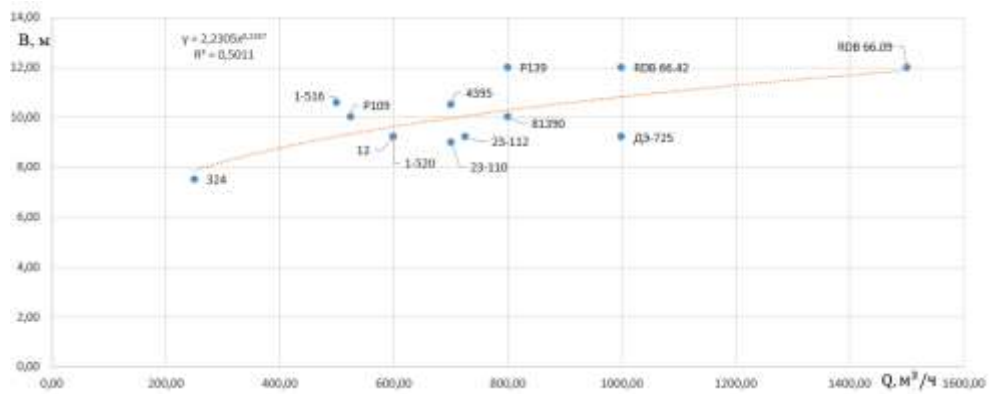


Рис. 2. Зависимость ширины землесоса от производительности

Высота борта определяется условиями размещения в корпусе жилых и служебных помещений, главных и вспомогательных механизмов, требованиями о минимальной высоте надводного борта и обеспечения остойчивости и прочности. На графике рис. 3 приведена зависимость высоты борта от производительности земснаряда. Она также может быть рассчитана по формуле:

$$H = 1,167 * Q^{0,1485} \quad (3)$$

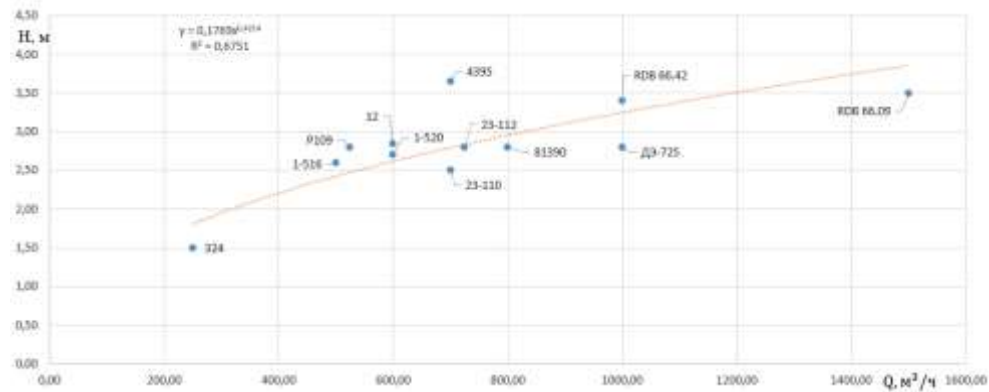


Рис. 3. Зависимость высоты борта от производительности землесоса

Землесосы имеют упрощенную форму корпуса и, по сути, являются стоячными судами. Поэтому их коэффициент полноты водоизмещения близок к единице, что положительно влияет на уменьшение осадки. Но и с точки зрения выполнения основных технологических операций землесосу большая осадка не нужна. Как показано на рис. 4, даже у наиболее мощных речных снарядов она не превышает 1,8 м. Формула, отражающая эту зависимость:

$$T = 4,26 * 10^{-2} * Q^{0,5255} \quad (4)$$

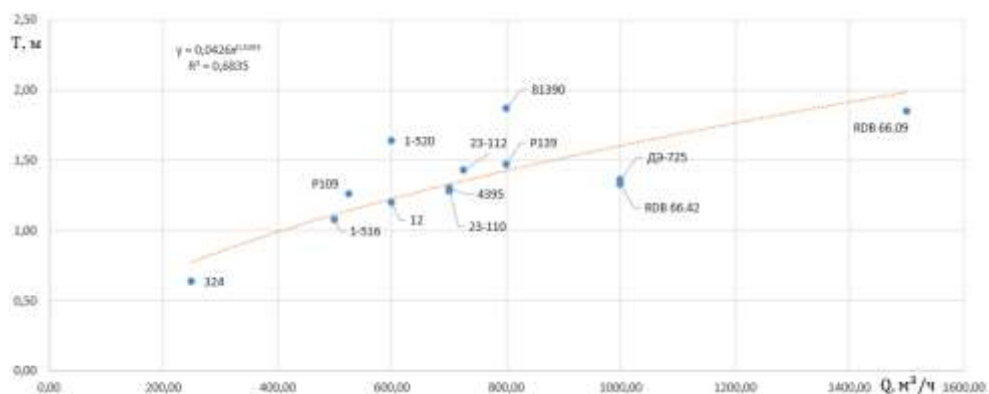


Рис.4. Зависимость осадки землесоса от производительности

На рис. 5 приведена зависимость полного водоизмещения  $D$  от проектной производительности  $Q$ . Она имеет линейный характер и описывается следующим выражением:

$$D = 0,83 * Q - 17,4 \quad (5)$$

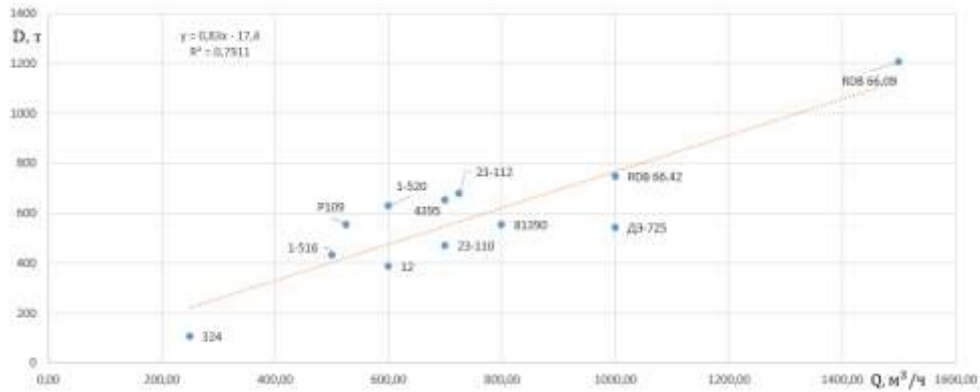


Рис. 5. Результаты зависимости водоизмещения от производительности

На рис. 6 дана зависимость мощности энергетической установки  $N$  (мощность привода грунтового насоса) от проектной производительности землесоса  $Q$ . Аналитически данная линейная зависимость имеет вид:

$$N = 0,5 * Q + 80 \quad (6)$$

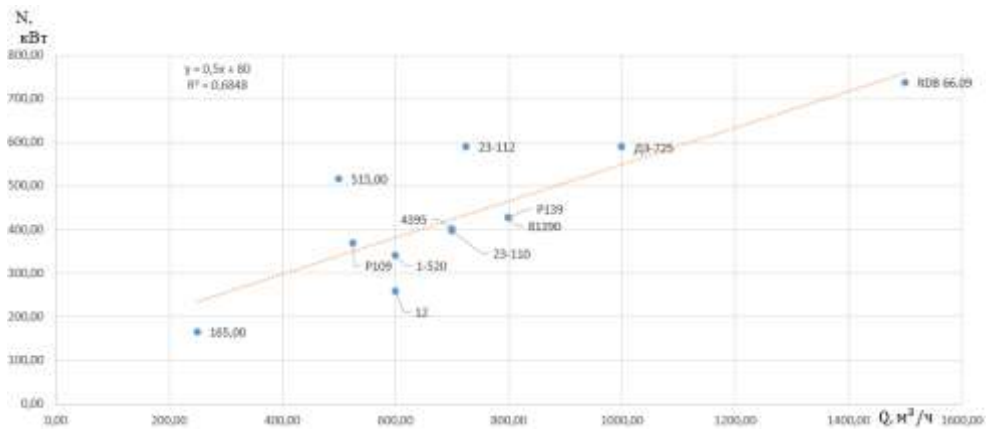


Рис. 6. Зависимость мощности привода от производительности

#### Анализ величины отсеков корпуса

После определения в первом приближении главных элементов судна важно определиться с размером основных отсеков корпуса. На самоходном землесосе отсеки по их функциональному назначению и размерам весьма специфические. Кроме отсека машинного отделения, в котором располагаются главные и вспомогательные двигатели, вспомогательные установки и механизмы, на землесосе иногда выделяется в отдельный отсек грунтового насосного оборудования [8]. Отсек носовой прорези в корпусе предназначен для размещения забортного пульпопровода с разрыхлителем и приемником пульпы, а также переходного участка к магистрали грунтового насоса. Палуба кормового ахтерпикового отсека пользуется для размещения оборудования подсоединения к плавучему пульпопроводу и закорных свай.

Длину машинного отделения на начальных стадиях проектирования связывают с мощностью главных двигателей и их типом. На рис.7 такая линейная зависимость приведена, аналитический вид которой следующий:

$$L_{MO} = 3,4 * 10^{-3} * N + 7,18 \quad (7)$$

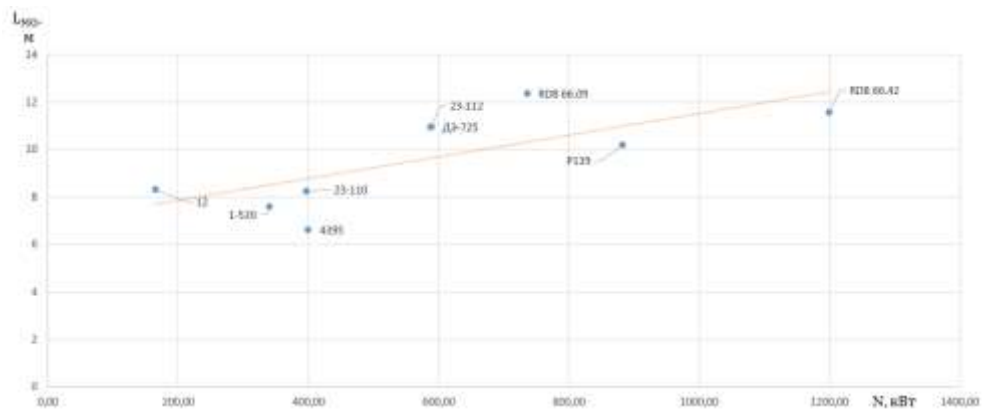


Рис. 7. Зависимость длины машинного отделения от мощности привода

Длина отсека носовой прорези для пульпопровода зависит от глубины рыхления  $H_p$  землесоса, что показано на графике рис. 8. Зависимость имеет линейный характер и описывается выражением:

$$L_p = 1,6 * H_p - 2 \quad (8)$$

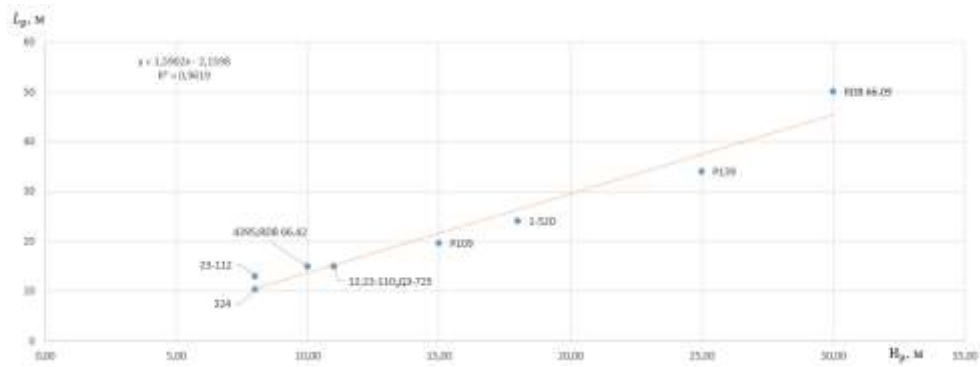


Рис. 8. Зависимость длины носовой прорези от глубины рыхления земснаряда

Кормовой отсек включает в себя расстояние от кормовой переборки машинного отделения до кормового перпендикуляра. На несамходном землесосе в этом отсеке рулевая машина отсутствует. Как отмечалось выше, отсек обеспечивает площадь главной палубы в корме, необходимую для размещения устройств, обеспечивающих соединение судовой части пульпопровода с его плавучей частью. Иногда для улучшения условий размещения и обслуживания узла перехода судового пульпопровода в плавучий, площадь палубы в корме увеличивают навесной палубой (кринолины) с прорезью. Наличие кринолина с прорезью изменяет габаритную и наибольшую длину землесоса, а на расчетной длине практически не сказывается. На рис.9 приведена зависимость длины кормового отсека  $L_k$  от произведения ширины на высоту борта корпуса землесоса.

Аналитический вид этой зависимости следующий:

$$L_k = 0,4 * B * H - 1 \quad (9)$$

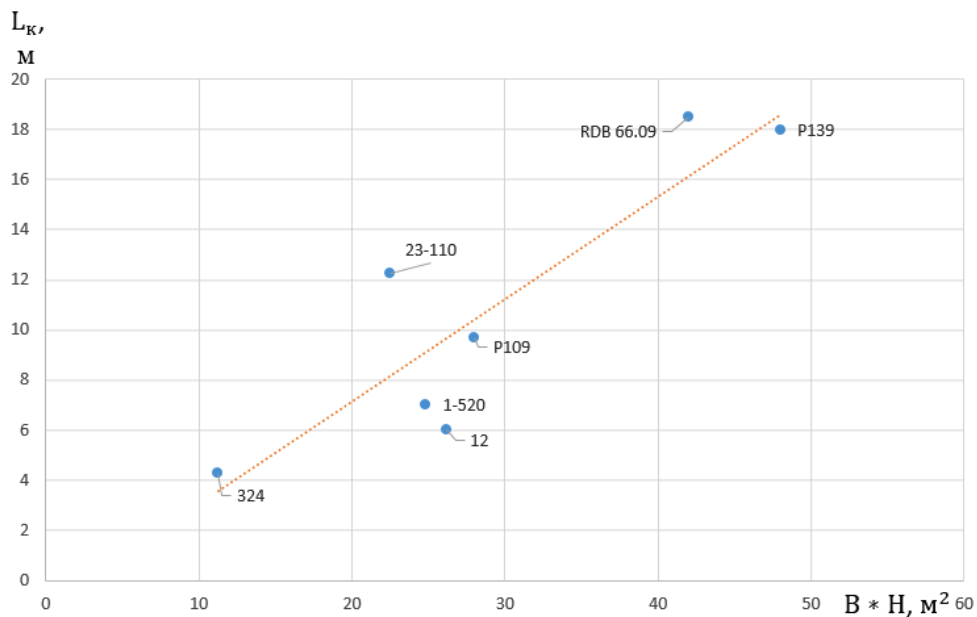


Рис. 9. Зависимость длины кормового отсека  $L_k$  от произведения ширины корпуса  $B$  на высоту борта  $H$

При наличии свайного хода значение, получаемое по формуле (9) следует умножить на коэффициент, равный 2.

Размеры насосного отделения зависят от габаритных размеров грунтового насоса и совокупного с ним оборудования [9]. Характеристики насоса в свою очередь зависят как от его производительности, так и от развиваемого им напора, зависящего от глубины рыхления  $H_p$ . Поэтому при анализе длины насосного отделения (рис.10) в качестве аргумента было принято произведение  $Q * H_p$ . Зависимость  $L_{HO} = f(Q * H_p)$  имеет линейный характер и описывается следующим выражением:

$$L_{HO} = 1,25 * 10^{-4} * Q * H_p + 2,75 \quad (10)$$

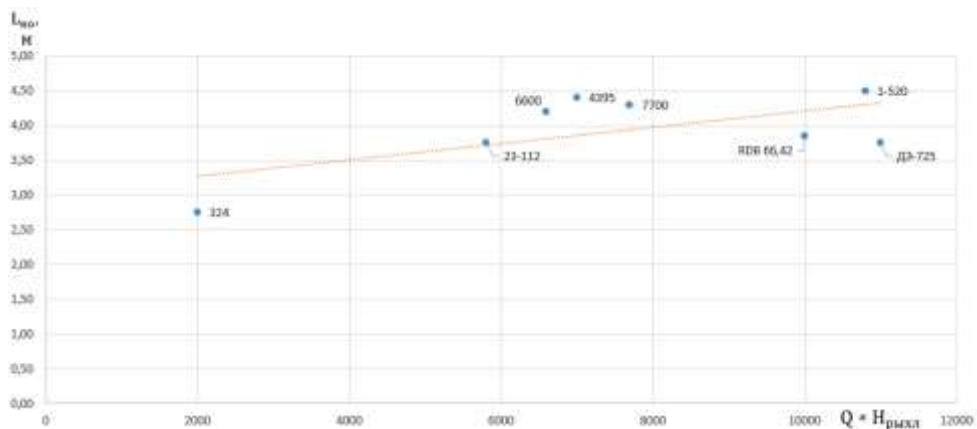


Рис. 10. Зависимость длины насосного отделения от произведения производительности на глубину рыхления  $Q * H_p$ .

Сложив размеры отдельных отсеков корпуса, можно получить расчетную длину корпуса судна:

$$L = L_{MO} + L_p + L_k + L_{HO} \quad (11)$$

Выражение (11) может быть использовано для дополнительного анализа при формировании длины землесоса.

В таблице в качестве примера приведено сравнение результатов расчета расчетной длины (по конструктивной ватерлинии), полученной по статистическим зависимостям (1) и (11) с фактическими значениями.

Таблица 2

Анализ результатов расчета по раздельным методикам длины землесосов

| № проекта | Длина по проекту, м | Длина по формуле (1), м | Длина по формуле (11) |
|-----------|---------------------|-------------------------|-----------------------|
| 324       | 25,8                | 30,34/+17,59%           | 25,04/-2,94%          |
| 1-516     | 49                  | 42,51/-13,22%           | 38,82/-20,76%         |
| P109      | 52,6                | 43,53/-17,22%           | 44,36/-15,66%         |
| 12        | 40                  | 46,46/+16,15%           | 36,71/-8,2%           |
| 1-520     | 49,44               | 46,46/-6,02%            | 48,17/-2,56%          |
| 4395      | 54                  | 50,08/-7,25%            | 54,82/+1,52%          |
| 23-110    | 58,85               | 50,08/+9,23%            | 43,84/-4,37%          |
| 81390     | 53,25               | 53,44/-1,61%            | 53,57/+1,86%          |
| P139      | 85                  | 53,44/-37,11%           | 71,63/-15,72%         |
| RDB 66.42 | 52,9                | 59,58/+12,62%           | 59,9/+13,23%          |
| ДЭ-725    | 50                  | 59,58/+2,72%            | 47,51/-18,08%         |
| RBD 66.09 | 69,9                | 72,58/+3,83%            | 79,85/+14,24%         |

Дробью в знаменателе показана относительная разница в % между рассчитанными и фактическими значениями длины.

Из таблицы 2 видно, что наиболее близки к фактическим значения, получаемые по формуле (11) как сумма длин основных отсеков корпуса. Это является следствием более полного учета конструктивных особенностей при анализе каждого отсека.

Одновременно следует отметить, что по некоторым проектам имеет место достаточно значительное отличие расчетных значений длины. Причины этих отличий могут носить объективный характер, связанный как с отличием нормативных требований, действующих на момент разработки проекта, так и с неизвестными особенностями технического задания и т.д. [10]. В то же время можно говорить и о субъективных причинах, проявляющихся в принятии различных конструкторских решений, выборе того или иного оборудования.

### Заключение

Выполненный статистический анализ позволил получить аналитические выражения для определения в первом приближении водоизмещения, мощности и главных размерений самоходных землесосных снарядов [11]. Они могут быть использованы на начальных стадиях проектирования при решении задач обоснования целесообразности рассматриваемых судов технического флота, оптимизации их элементов и характеристик [12].

По некоторым землесосам отмеченные отличия расчетных и фактических значений имеют объективный и субъективный характер. При решении указанных выше задач это не имеет принципиального значения, так как при вариантных решениях обеспечивается условие их сопоставимости [13].

### Список литературы:

1. Ильин Н.И. Земснаряды / Н.И. Ильин. – М.: Транспорт, 1982. – 200 с.
2. Смирнов Е.Л. Речная справочная книжка корабельного инженера Е.Л. Смирнова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://russrivership.ru/ships/33> (дата обращения 05.02.2020)
3. Ялтанец И.М. Справочник по гидромеханизации / И. М. Ялтанец. – Изд. 3-е, испр. и доп. – Москва: Горная книга, 2011. – 736, с.
4. Шкундин Б.М. Землесосы и землесосные снаряды / Б. М. Шкундин. – М.: Госэнергиздат, 1961. – 286 с.
5. Укоров Н.Г., Т.В. Марголин Землесосные снаряды: уч.пос. / Н.Г. Укоров, Т.В. Марголин. – Москва: Высшая школа, 1985. – 256 с.
6. Силин Н.А. Режим работы крупных землесосных снарядов и трубопроводов / Н.А. Силин, С.Г. Коберник. – Киев : Изд-во Акад. наук УССР, 1962. – 215 с.
7. Иванов В.Л. Суда технического флота / В.Л. Иванов, Н.В. Лукин, С.Н. Разживин. – М.: Транспорт, 1982. – 366 с.
8. Ухова Э.П. Методология определения главных размерений различных типов земснарядов на начальной стадии проектирования: дис. ... канд. тех. наук: 05.00.00. / Э.П. Ухова. – Горький, 1972. – 143 с.
9. Ашик В.В. Проектирование судов / В.В. Ашик. – Л.: Судостроение, 1985. – 315 с.
10. Кочнев Ю.А. Определение элементов и характеристик «малых» танкеров на начальных стадиях проектирования / Ю.А. Кочнев. – Н. Новгород: Вестник ВГАВТ Выпуск 28 ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2010. – 26–34 с.
11. Dredgers of the World / Julie Simons. – United Kingdom: Oilfield Publications Limited, 1997. – 480 p.
12. Dredging: A Handbook for Engineers / R.N. Bray, A.D. Bates, J.M. Land. –United Kingdom: Elsevier Science Technology, 1996. – 448 p.

## DETERMINATION OF ELEMENTS AND CHARACTERISTICS OF RIVER SUCTION DREDGERS AT INITIAL DESIGN STAGES

**Ernest G. Rumyantsev**

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

**Evgeniy P. Ronnov**

*Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia*

*Abstract. The article provides a methodology for calculating the basic elements and characteristics of river dredgers at the stages of research design by means of the statistical method. For the study, the most common projects of river non-self-propelled dredgers with both a residential superstructure and without it, in a wide range of soil productivity, were used. The dependences of the total displacement and the main engine power on such basic technical data as suction dredger performance and loosening depth were analyzed in detail. Graphic dependencies and analytical expressions for determining the main suction dredger dimensions were obtained. The issue of choosing the length of the main dredger compartments is considered, which allows to solve the problem of pre-splitting the hull into compartments. The analysis of the accuracy of the obtained statistical dependencies for determining the length of the vessel is provided.*

*Keywords: suction dredger, dredger, main dimensions, length of hull compartments, mining of non-metallic materials, suction dredger performance, loosening depth.*



## References:

1. Smirnov E.L. «Rechnaya spravochnaya knizhka korabel'nogo inzhenera Smirnova» (River reference book of a ship engineer E.L. Smirnov) Access mode: <https://russrivership.ru/ships/33> (accessed date 02/05/2020);
2. Ilyin, N.I. «Zemsnaryady» (Dredgers) *Transport* (1982): 200;
3. Yaltanetz I.M. «Spravochnik po gidromekhanizatcii» (Hydromechanization Handbook) *Gornaya kniga* (2011): 736;
4. Shkundin B.M. «Zemlesosy i zemlesosniye snaryady» (Dredgers) *Gosenergoizdat*: (1961): 286;
5. Ukorov N.G., Margolin T.V. «Zemlesosniye snaryady» (Dredgers) *Vishya Shkola* (1985): 256;
6. Silin N.A., S.G. Kobernik «Rezhim raboty krupnykh zemlesosnykh snaryadov i truboprovodov» (Mode of operation of dredging shells and pipelines) *Izdatel'stvo akademii nauk USSR* (1962): 215;
7. V.L. Ivanov, N.V. Lukin, S.N. Razzhivin «Suda tekhnicheskogo flota» (Technical fleet vessels) *Transport* (1982):366;
8. Uhkova E.M. «Metodologiya opredeleniya glavnykh razmerenij razlichnykh tipov zemsnaryadov na nachal'noj stadii proektirovaniya» (Methodology for determining the main dimensions of various types of dredgers at the initial design stage) *Gor'kiy* (1972): 366;
9. Ashik V.V. «Proektirovanie sudov» (Ship design) *Sudostroenie* (1985): 315;
10. Kochnev Y.A. «Opredelenie elementov i harakteristik «malyyh» tankerov na nachal'nykh stadiyakh proektirovaniya» (Determination of the elements and characteristics of «small» tankers in the initial stages of design) *Vestnik VGAVT Vypusk 28 FGOU VPO «VGAVT»* (2010). – 26-34;
11. Dredgers of the World / Julie Simons. – United Kingdom: Oilfield Publications Limited, 1997. – 480 p.;
12. Dredging: A Handbook for Engineers / R.N. Bray, A.D. Bates, J.M. Land. –United Kingdom: Elsevier Science Technology, 1996. – 448 p.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Эрнест Георгиевич Румянцев**, магистрант кафедры «Проектирования и технологии постройки судов», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5 e-mail: [rumernest@gmail.com](mailto:rumernest@gmail.com)

**Евгений Павлович Роннов**, профессор, д.т.н., заведующий кафедрой «Проектирования и технологии постройки судов», Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: [ptps@vgavt-nn.ru](mailto:ptps@vgavt-nn.ru)

**Ernest G. Rumyantsev**, student of the Department of «Design and shipbuilding technology», Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951,

**Evgeniy P. Ronnov**, professor, Head of the Department of «Design and shipbuilding technology», Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951

Статья поступила в редакцию 10.02.2020 г.