

2. *Горохов М. С.* Состояние и направления развития корпусных конструкций судов из железобетона / М. С. Горохов // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2013. — № 35. — С. 67–70.
3. Дебаркадер // Википедия. [2014 – 2014]. Дата обновления: 27.08.2014. URL: <http://ru.wikipedia.org/?oldid=65111407> (дата обращения: 27.12.2014).
4. *Анфимов В. Н.* Техничко-эксплуатационные качества судов смешанного плавания / В. Н. Анфимов. — М.: Транспорт, 1974. — 271 с.
5. *Бронников А. В.* Проектирование судов / А. В. Бронников. — Л.: Судостроение, 1991. — 320 с.
6. *Горохов М. С.* Влияние параметров дисперсного армирования на трещиностойкость судовых конструкций из фибробетона / М. С. Горохов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 1 (23). — С. 68–73.
7. *Егоров Н. М.* Справочник по железобетонному судостроению (суда внутреннего плавания) / Н. М. Егоров [и др.]. — Л.: Судостроение, 1969. — 356 с.
8. *Ашик В. В.* Проектирование судов: учебник / В. В. Ашик. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Судостроение, 1985. — 320 с.
9. *Синцов Г. М.* Конструкция и прочность железобетонных судов / Г. М. Синцов [и др.]. — Л.: Судостроение, 1969. — 384 с.
10. *Базилевский С. А.* Теория ошибок, возникающих при проектировании судов / С. А. Базилевский. — Л.: Судостроение, 1964. — 200 с.
11. *Егоров Н. М.* Проектирование элементов корпуса железобетонного судна: учеб. пособие для студентов кораблестроительного факультета / Н. М. Егоров. — Горький: ГИИВТ, 1980. — С. 85.

УДК 629.122

Е. В. Купальцева,
асп.

АНАЛИЗ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛАВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ ДЛЯ ВНУТРИГОРОДСКИХ И ПРИГОРОДНЫХ ЛИНИЙ

ANALYSIS OF THE DESIGN CHARACTERISTICS OF THE MAIN ELEMENTS OF INLAND VESSELS

Пассажирские суда, предназначенные для работы на внутригородских и пригородных линиях, по архитектурно-конструктивным признакам разделены на четыре типа. Основными признаками деления являются палубность и принцип расположения пассажирских мест. На основе статистического анализа для каждого из типов выявлено влияние пассажироместимости на величину водоизмещения и коэффициента утилизации. В функции от пассажироместимости, как наиболее важного параметра, выявлены устойчивые регрессионные зависимости для определения главных размеров судна для каждого из выделенных типов. В общем случае получены аналитические зависимости проектных характеристик в функции от водоизмещения. Для оценки мощности на стадии концептуального проектирования предлагается использовать зависимость адмиралтейского коэффициента в функции от скорости. В работе приводятся соответствующие коэффициенты для двухкомпонентной формулы и регрессионная зависимость.

Passenger vessels operating on urban and domestic routes, on architectural and design solutions are divided into four main types. Main signs the division are decked and the principle of the location of passenger seats. On the basis of statistical analysis for each of the types identified impact passenger capacity on the magnitude of the displacement and the utilization rate. As well as depending on the passenger capacity of the identified sustainable regression dependences for determination of the main dimensions of the vessel for each of the selected types. In general, the obtained analytical dependences of design characteristics in a function of displacement. To estimate the power at the stage of conceptual design is proposed to use the dependence of the Admiralty coefficient as

a function of the speed. The paper presents the corresponding coefficients for the two-component formula and regression dependence.

Ключевые слова: «малые» пассажирские суда, главные размерения, пассажировместимость, коэффициент утилизации водоизмещения, адмиралтейский коэффициент.

Key words: inland vessels, the principal dimensions, seating capacity, deadweight coefficient, Admiralty coefficient.



НАЛИЗ отечественной и зарубежной научной литературы, посвященной проектированию «малых» речных пассажирских судов, позволяет сделать вывод о недостаточном уровне разработки методики проектирования рассматриваемого типа судов и отсутствии систематизированных данных об их элементах и характеристиках. На начальном этапе проектирования, когда основной задачей является определение главных элементов судна, широкое применение имеет метод статистического анализа. Его основы отражены в трудах В. В. Ашика, В. Л. Поздюнина, Л. М. Ногида, А. В. Бронникова и др. [1] – [3]. Правильно обработанные статистические данные по уже построенным судам дают возможность для достоверного анализа характера изменения той или иной величины, ее зависимости от элементов и характеристик судна.

Целью данной работы является выявление устойчивых статистических зависимостей для определения на начальном этапе проектирования главных элементов речных пассажирских судов для местных и внутригородских линий с целью последующей их оптимизации [4]. Анализировались характеристики 27 проектов отечественных речных пассажирских судов, предназначенных для работ на внутригородских и местных линиях. Они имеют длину от 10 до 50 м, суммарную мощность силовой установки от 50 до 450 л. с., скорость хода в диапазоне от 13 до 24 км/ч, пассажировместимость от 40 до 300 чел.

При выполнении анализа необходимо учесть, что рассматриваемые типы судов имеют разнообразные архитектурно-компоновочные решения [5]. Это обусловлено, прежде всего, их различной пассажировместимостью, назначением, классом судна, протяженностью линий эксплуатации и особенностью размещения пассажиров и пассажирских помещений. Можно выделить следующие архитектурно-конструктивные типы.

Тип I представлен однопалубными судами с расположением пассажиров в трюме и в надстройке на главной палубе. Данные суда имеют большее водоизмещение и более высокий класс.

Пассажирские салоны в трюме расположены в носовой и средней частях (при размещении машинного помещения в корме), либо в носовом и кормовом отсеках (когда машинное помещение находится в средней части судна). Представителями этого типа являются суда типа «ОМ», пр. 839, пр. 81080. Места для расположения пассажиров в трюме и на главной палубе оборудуются мягкими диванами, либо жесткими скамьями (тип «ОМ»), либо четырехместными сиденьями и столом (пр. 81080). На судне предусматривается буфет, санитарный блок, а так же каюты для экипажа и другие служебные помещения.

Тип II включает группу судов, на которых пассажиры размещаются в трюме в полуутопленной надстройке, на ее крыше предусматривается пассажирская палуба, иногда снабжаемая легким тентом.

В зависимости от расположения машинного помещения, аналогично предыдущему типу, салоны находятся либо в кормовой и носовой частях трюма, либо в средней и носовой. Примером этого типа являются суда пр. Р35, Р51Э, пр. 544, пр. К-80 и др.

Тип III однопалубные суда, являющиеся подвидом II типа и отличающиеся от них только тем, что на крыше надстройки пассажирская палуба не предусматривается. Примером судов данного типа являются пр. 222, пр. Р118, пр. 23020 и др.

Тип IV беспалубные открытые суда с расположением пассажирских кресел на палубе трюма, для защиты от непогоды над ними обычно устанавливается легкий тент. Представителями данного типа можно считать пр. 2044, пр. 792, тип «Пригородный». Машинное помещение также

располагается либо в средней части, либо в корме. Ходовая рубка — в носу и средней части судна. Дальнейший анализ элементов и характеристик был проведен с учетом выделенных архитектурно-конструктивных типов судов.

Как известно, для предварительной оценки водоизмещения пассажирского судна на начальной стадии проектирования можно использовать коэффициент утилизации водоизмещения по «чистому» дедвейту (без запасов топлива) [6]

$$\eta_{DW_0} = \frac{DW^0}{D_{гр}}, \quad (1)$$

где η_{DW_0} — коэффициент утилизации по чистому дедвейту; DW^0 — чистый дедвейт; $D_{гр}$ — полное водоизмещение судна.

График зависимости коэффициента утилизации по дедвейту от количества пассажиров приведен на рис. 1.

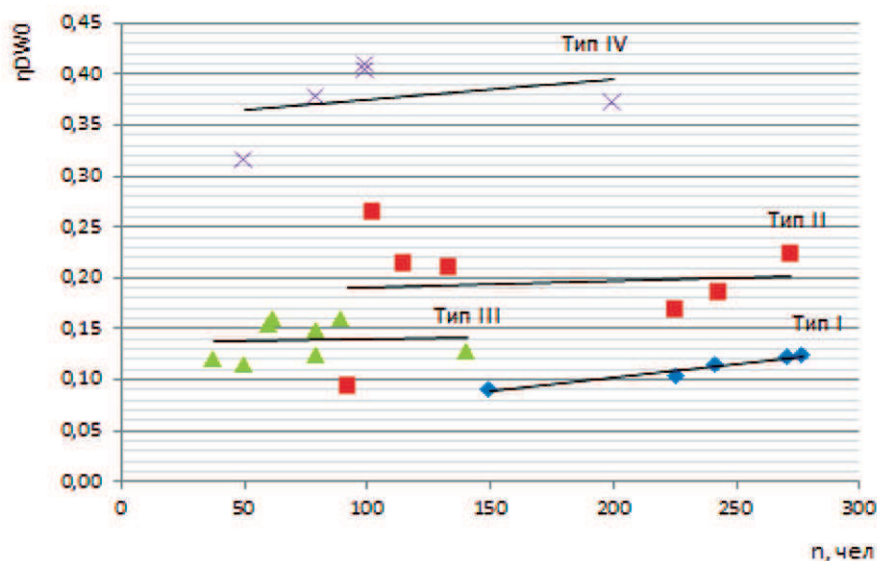


Рис. 1. Зависимость коэффициента утилизации водоизмещения от пассажироместимости судна $\eta_{DW_0} = f(n)$

Влияние количества пассажиров на величину водоизмещения можно проследить на рис. 2.

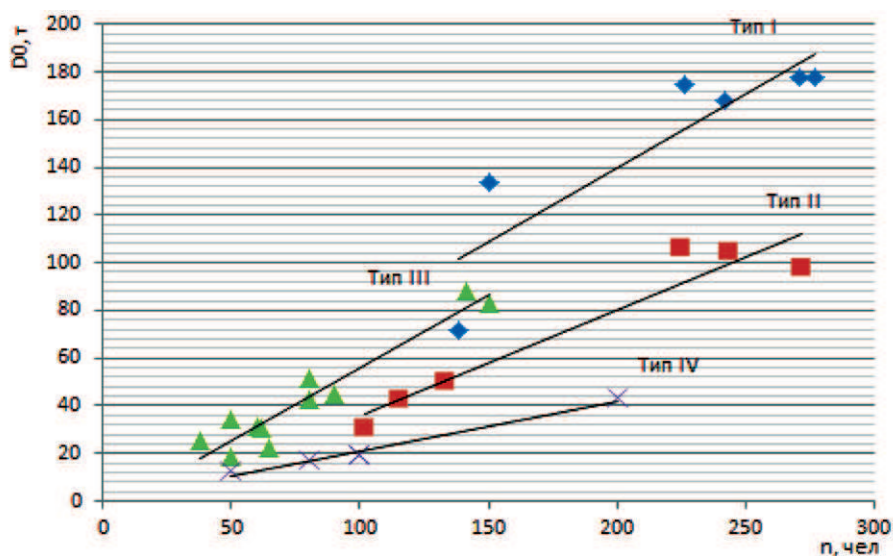


Рис. 2. Зависимость величины D_0 от количества пассажиров $D_0 = f(n)$

Величина D_0 , во избежание влияния автономности, представлена в виде

$$D_0 = D_{\text{пор}} + DW_0, \quad (2)$$

где DW_0 — чистый дедвейт, т; $D_{\text{пор}}$ — вес порожнего судна, т.

Анализируя зависимости, представленные на рис. 1 и 2, можно сделать следующие выводы:

- коэффициент утилизации η_{DW_0} и величина D_0 с ростом пассажиров линейно растут;
- в зависимости от выделенных ранее конструктивных типов пассажирских судов, видно, что наиболее высокий коэффициент утилизации у судов IV типа, а наиболее низкий у I типа. Такое поведение обусловлено тем, что при одинаковой пассажировместимости у судов с меньшим количеством палуб для размещения пассажиров и более легкой надстройкой собственная масса уменьшается;
- верхние значения для судов типа III обусловлены, прежде всего, высокой массой корпуса при относительно невысоких показателях пассажировместимости, что свойственно судам довоенной постройки (заложены большие толщины обшивки и набора, клепаное соединение деталей) либо современным судам, когда толщины закладываются на более высокий класс;
- разница по водоизмещению между судами типа I и II составляет от 17 до 89 %, а между III и IV типом от 50 до 70 %.

Главные размерения отражают особенности судна, обусловленные требованиями, выдвигаемыми техническим заданием и ограничениями, связанными с обеспечением остойчивости, непотопляемости, ходкости, условиям эксплуатации и т. д. [7], [8]. Для пассажирских судов главные размерения и, как следствие, многие навигационные и эксплуатационно-технические качества связаны с выполнением требований по пассажировместимости. Исходя из этого, определение главных размерений на начальной стадии проектирования следует рассматривать в зависимости, прежде всего, от пассажировместимости судна.

На рис. 3 – 6 приведены зависимости расчетной длины, ширины, высоты борта и осадки.

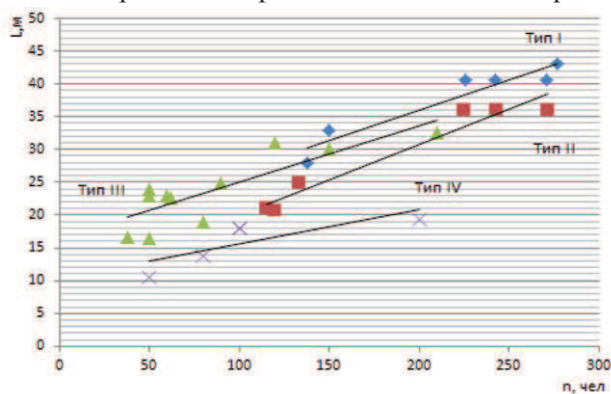


Рис. 3. Зависимость расчетной длины судна от пассажировместимости $L = f(n)$

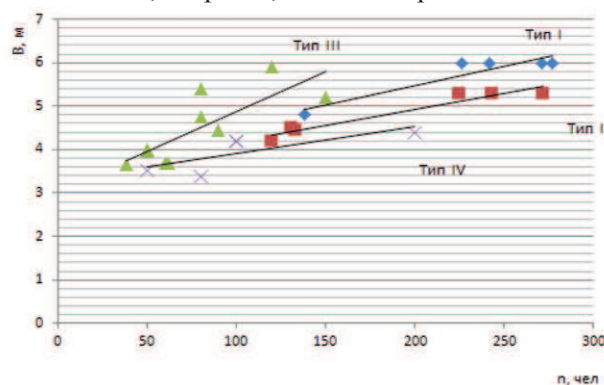


Рис. 4. Зависимость расчетной ширины судна от пассажировместимости $B = f(n)$

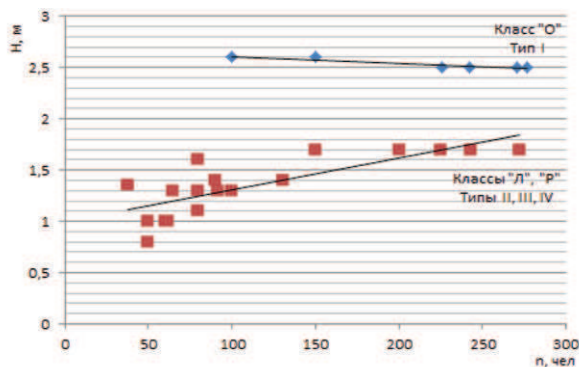


Рис. 5. Зависимость расчетной высоты борта от пассажировместимости $H = f(n)$

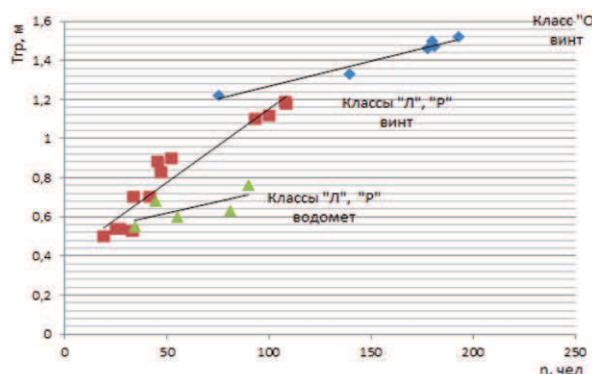


Рис. 6. Зависимость осадки судна в грузу от пассажировместимости $T_{\text{гр}} = f(n)$

Проводя анализ полученных зависимостей главных размерений «малых» пассажирских судов, можно сделать следующие выводы.

Расчетные длина и ширина судна, осадка в грузу при увеличении пассажироместимости линейно растут. Зависимость описывается выражением

$$y = a \cdot x + b, \quad (3)$$

коэффициенты и показатели корреляции представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Параметры линейных регрессионных зависимостей судовых элементов в функции от пассажироместимости, n , чел.

Параметр	Тип I			Тип II		
	L , м	B , м	H , м	L , м	B , м	H , м
a	0,092	0,009	$0,7 \cdot 10^{-3}$	0,11	0,007	0,003
b	17,6	3,7	2,7	8,3	3,5	0,99
R^2	0,9	0,86	0,88	0,9	0,9	0,63
Параметр	Тип III			Тип IV		
	L , м	B , м	L , м	B , м	L , м	B , м
a	0,086	0,019	0,086	0,019	0,086	0,019
b	16,4	3,02	16,4	3,02	16,4	3,02
R^2	0,7	0,64	0,7	0,64	0,7	0,64

Таблица 2

Параметры линейных зависимостей для определения осадки судна в грузу $T_{гр}$, м, в функции от пассажироместимости, n , чел.

Параметр	«О»		«Л», «Р»	
	винт	водомер	винт	водомер
a	$2,6 \times 10^{-3}$	—	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \times 10^{-3}$
b	1,01	—	0,4	0,5
R^2	0,96	—	0,92	0,5

Влияние архитектурно-конструктивного типа на длину судна обусловлено несколько отличным перечнем жилых и служебных помещений и условиями размещения пассажиров. Для судов I и II типов разница по их длине составляет от 43 до 54 %. Длина судов III типа, где пассажиры размещаются только на палубе трюма, в среднем на 40 %.

Значения расчетной ширины судна лежат в диапазоне 4 – 6 м, что обусловлено многими параметрами: количеством и расположением пассажирских мест (рядностью кресел), вальностью силовой установки, условиями обеспечения остойчивости судна.

Так ширина судов I типа на 15 – 17 % больше ширины судов II типа, что обусловлено при одинаковой вальности и рядности наличием прогулочных проходов на главной палубе.

Двухвальная энергетическая установка приводит к увеличению ширины судна в среднем на 20 %.

При выборе осадки судна необходимо учитывать несколько факторов, влияющих на данную величину: тип движителя, район эксплуатации, дедвейт и т.д. Как видно из графика на рис. 6, для судов класса «О», имеющих большее водоизмещение, осадка в грузу лежит в верхнем диапазоне. Для судов классов «Л» и «Р», оборудованных винтами, диапазон величин осадок достаточно ши-

рок, что свидетельствует о многофакторном подходе при выборе данной величины. Для судов с установленными водометными движителями, осадки в грузу имеют невысокие значения.

Высота борта выбирается, прежде всего, исходя из требований обеспечения достаточной высоты помещений в корпусе, а также требований Российского Речного Регистра к достаточному надводному борту.

Представляет интерес определение главных размерений судна от водоизмещения D_0 , описываемого формулой (2) [9]. Полученные графики показаны на рис. 7 – 10, соответствующие регрессионные формулы приведены в табл. 3. Для данного случая зависимости выявлены в общем виде, и они имеют нелинейный характер:

$$y = a \cdot x^b, \quad (4)$$

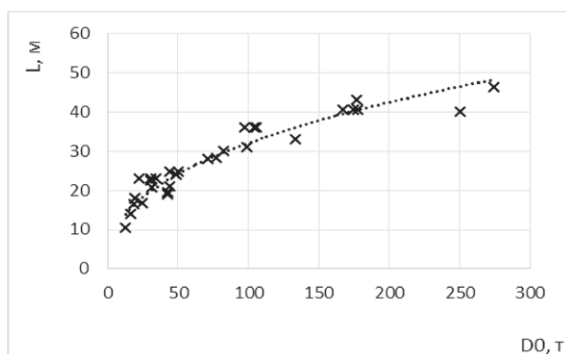


Рис. 7. Зависимость расчетной длины судна от величины D_0

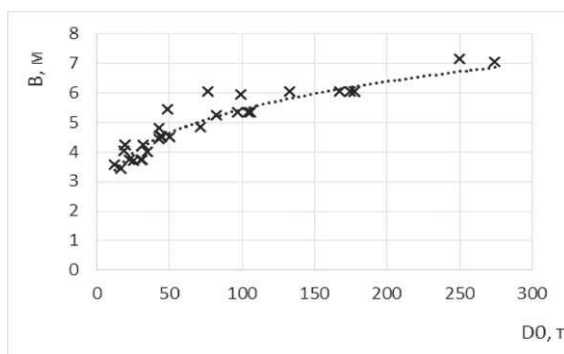


Рис. 8. Зависимость расчетной ширины судна от величины D_0

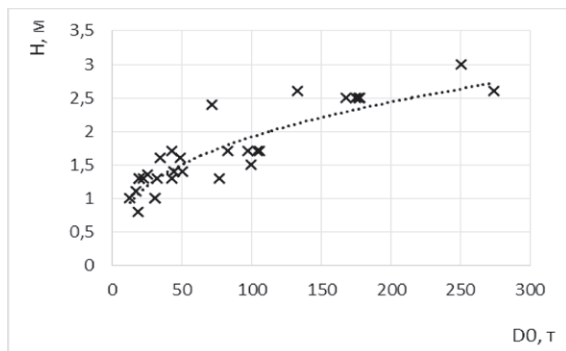


Рис. 9. Зависимость расчетной высоты борта от величины D_0

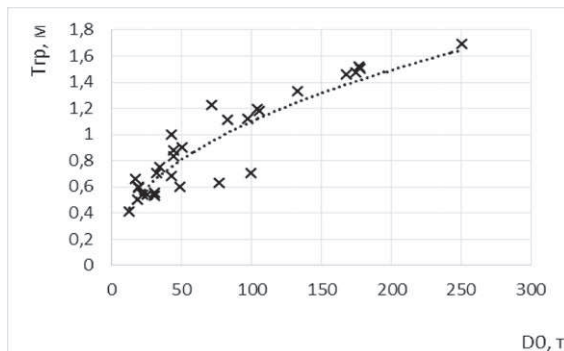


Рис. 10. Зависимость осадки судна в грузу от величины D_0

Таблица 3

**Параметры степенных регрессионных зависимостей
для определения судовых элементов в функции от величины D_0**

Параметр	L , м	B , м	H , м	$T_{гр}$, м
a	4,97	1,9	0,39	0,14
b	0,405	0,23	0,35	0,44
R^2	0,91	0,88	0,77	0,81

На начальной стадии проектирования определение мощности силовой установки возможно с использованием двухкомпонентной формулы [10], [11]

$$N = \frac{D^n \cdot v^m}{C_{nm}}, \quad (5)$$

где N — мощность энергетической установки, кВт; D — водоизмещение судна, т; v — эксплуатационная скорость, м/с; C — постоянный коэффициент; n, m — числовые значения степеней при водоизмещении и скорости соответственно.

При анализе данных пассажирских судов, оборудованных в качестве движителя винтом, была получена зависимость, отраженная на графике рис. 11.

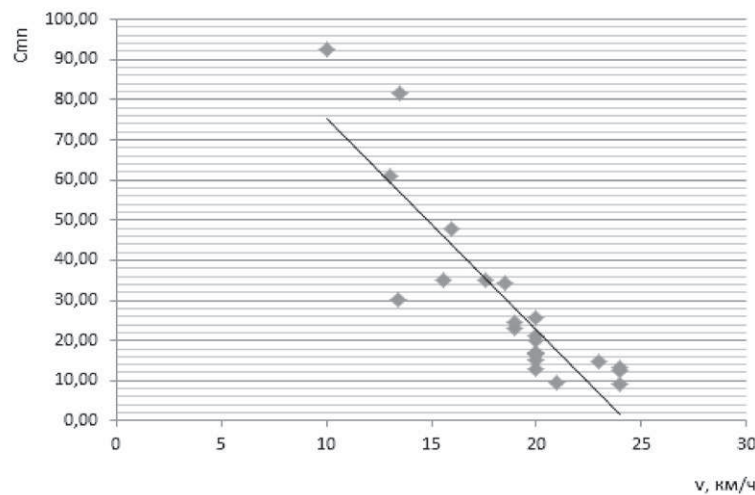


Рис. 11. Зависимость коэффициента C_{nm} от скорости хода судна v , км/ч

Данному графику соответствует следующий вид формулы адмиралтейского коэффициента:

$$N = \frac{D^{0,67} \cdot v^{3,5}}{C_{nm}}. \quad (6)$$

Адмиралтейский коэффициент представляется регрессионной формулой

$$C_{nm} = 5,3v + 127,7. \quad (7)$$

В ходе анализа статистических зависимостей элементов и характеристик «малых» пассажирских судов можно сделать следующие выводы:

- зависимости проектных характеристик в функции от заданной пассажировместимости носят линейный характер;
- зависимость главных размерений от полного водоизмещения изменяются нелинейно в соответствии с формулой (4);
- значение адмиралтейского коэффициента с ростом скорости линейно убывает.

Параметры регрессионных зависимостей для определения судовых элементов приведены в табл. 1 – 3. Выявленные зависимости могут быть использованы при оптимизации данного типа судов.

Дальнейшее решение задачи по созданию методики проектирования корпуса малого речного пассажирского судна необходимо вести в направлении уточнения зависимости главных размерений от мореходных качеств, вместимости и нагрузки масс.

Список литературы

1. Бронников А. В. Разработка основных технико-эксплуатационных требований на проектирование морского судна: учеб. пособие / А. В. Бронников. — СПб.: Судостроение, 1997. — 217 с.

2. *Papanikolaou A.* Methodologies of Preliminary Design / A. Papanikolaou. — Dordrecht: Springer, 2014. — 628 p.
3. *Schneekluth H.* Ship Design for Efficiency and Economy / H. Schneekluth, V. Bertram. — Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998. — 227 p.
4. *Роннов Е. П.* Перспективы создания судов с автономным электрическим двигателем / Е. П. Роннов, Е. В. Купальцева // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2014. — № 40. — С. 107–110.
5. *Гайкович А. И.* Основы теории проектирования сложных технических систем / А. И. Гайкович. — СПб.: ТОО-Моринтех, 2001. — 432 с.
6. *Вашедченко А. Н.* О точности оценки водоизмещение судна в начале проектирования / А. Н. Вашедченко, Чан Ван Налим // Сб. науч. работ НУК. — 2007. — № 4 (415). — С. 3–7.
7. *Boccolini V.* Some data and techniques suitable for the conceptual and preliminary design of high-speed ferries / V. Boccolini, T. Coppola // 2-nd international conference on marine research and transportation. — 2007. — Session A. — P. 159–166.
8. *Ray T.* A global optimization model for ship design / T. Ray, R. P. Gokarn, O. P. Sha // Computers in Industry. — 1995. — № 26. — P. 175–192.
9. *Жибоедов В. В.* Статистический метод выбора главных размерений малых морских судов / В. В. Жибоедов, А. В. Кузьмина, А. И. Раков // Вестник СевГТУ. — 2008. — Вып. № 85. — С. 140–145.
10. *Раков А. И.* Определение мощности главных механизмов проектируемого судна по двухкомпонентным формулам / А. И. Раков, А. В. Кузьмина, В. В. Жибоедов // Вісник СевДТУ. — 2009. — Вип. 97: Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. — С. 141–143.
11. *Панкова О. В.* К определению мощности энергетической установки на начальных стадиях проектирования судна / О. В. Панкова // Зб. наук. праць НУК. — 2007. — № 3 (414). — С. 32–38.