

УДК 629.12

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПАССАЖИРСКОГО СУДНА-ТРИМАРАНА

Корепанов Алексей Эдуардович¹, аспирант

e-mail: a.e.korepanov@yandex.ru

Роннов Евгений Павлович¹, доктор технических наук, профессор

e-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru

Кочнев Юрий Александрович¹, доктор технических наук, профессор кафедры Проектирования и технологии постройки судов

e-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Рассматриваются вопросы проектирования судна нового типа – пассажирского тримарана, включающие в себя обоснование главных проектных элементов, основанные на формулировке задачи оптимизации, разработке математической модели, алгоритма и программных средств её реализации. Целью работы является исследование математической модели пассажирского судна-тримарана. Отражено влияние положения аутригеров по длине и ширине судна на показатель транспортной эффективности. Получена оптимальная рядность мест в салоне от пассажировместимости. Показана зона эффективности судов-тримаранов.

Ключевые слова: тримаран, аутригеры, модельные испытания, интерференция волн, математическая модель, главные размерения.

INVESTIGATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF A PASSENGER TRIMARAN VESSEL

Alexey E. Korepanov¹, Doctoral Student

e-mail: a.e.korepanov@yandex.ru

Evgeny P. Ronnov¹, Doctor of Technical Sciences, Professor

e-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru

Yuri A. Kochnev¹, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of design and technology of ship construction

e-mail: kaf_ptps@vsuwt.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses the issues of designing a new type of vessel, including model tests based on the formulation of an optimization problem, the development of a mathematical model, algorithm and software for its implementation. The purpose of the work is to study the mathematical model of a passenger trimaran vessel. The influence of the position of outriggers along the length and width of the vessel on the indicator of transport efficiency is reflected. The

optimal row of seats in the cabin is obtained depending on passenger capacity. The efficiency zone of trimaran vessels is characterized.

Keywords: trimaran, outriggers, model tests, wave interference, mathematical model, main dimensions.

Речные пассажирские тримараны, в отличие, например, от катамаранов, на реках Российской Федерации не используются, несмотря на их огромный потенциал. Наряду с большой полезной площадью палуб тримараны имеют лучшие показатели мореходных качеств, таких как качка и ходкость. В мировой практике тримараны широко используются как для морских пассажирских перевозок, а также в качестве паромов и различного типа военных кораблей. Кроме того, им присуще снижение интенсивности внешнего волнообразования, что бывает актуально с точки зрения размыва берега и береговых сооружений. Все это дает основания рассматривать тримаран как перспективный тип скоростного пассажирского судна не только морского, но и внутреннего плавания. Основная задача, которую необходимо решать на этапе их исследовательского проектирования – это определение оптимальных размерений судна, положения боковых корпусов (аутригеров) как по длине, так и по ширине судна.

Смещение аутригеров по ширине или длине (в нос или корму) образует различную интерференцию системы волн [3, 4, 5], и существенно сказывается на сопротивлении воды движению судна, а, следовательно, и мощности главных двигателей. Проведенные модельные испытания [1, 2] показали, что взаимное расположение аутригеров и центрального корпуса по длине из-за влияния интерференции системы волн оказывает существенное влияние на величину полного сопротивления. Это влияние особенно сильно проявляется с увеличением скорости хода.

Учитывая, что опыт эксплуатации таких судов отсутствует, то в задачах оптимизации и разработки математической модели использовать в качестве функции цели экономический показатель преждевременно, а более объективную картину даст показатель технической эффективности судна.

Математическая модель приведённой задачи в обобщенном виде состоит из таких блоков [6, 7]:

$$\begin{aligned} &Y(y_1, y_2 \dots y_n) \\ &Z(z_1, z_2 \dots z_k) \\ &X(x_1, x_2 \dots x_v) \rightarrow opt \\ &F(X, Y, Z) \rightarrow min(max) \\ &G_i(X, Y, Z) = 0 \quad i = 1, 2, 3 \dots m_l \\ &G_j(X, Y, Z) \leq 0 \quad j = m_l + 1 \dots m \\ &X_{min} \leq X_i \leq X_{max} \quad i = 1, 2, \dots g. \end{aligned}$$

где Y – вектор исходных данных (пассажировместимость, скорость хода, автономность);

Z – векторе нормативно-технических требований;

X – вектор оптимизируемых параметров (варьируемые параметры: число и рядность кресел, расположение аутригеров по длине и ширине судна относительно центрального корпуса);

F – функция цели (принимает экстремальное значение и выполняются ограничения в виде равенств (уравнения плавучести, баланса масс, ходкости) и неравенств (уравнений пассажировместимости, продольной прочности, остойчивости)).

В качестве функции цели $F(X, Y, Z)$ в данной задаче был принят один из показателей технической эффективности. Это, так называемый, показатель транспортной

производительности судна, рассчитываемый как отношение мощности главных двигателей к произведению «чистого» дедвейта на скорость хода $N / DW^{\circ} \cdot v$.

Выполненные тестовые расчеты по программе TrimDeM, реализующей математическую модель позволяют сделать следующие выводы. Носовое расположение аутригеров по длине во всех рассмотренных диапазонах скоростей хода и пассажировместимости является оптимальным. Как видно из рисунка 1 наибольшая степень влияния положения аутригеров может достигать при кормовом расположении, где при увеличении скорости степень этого влияния несколько уменьшается.

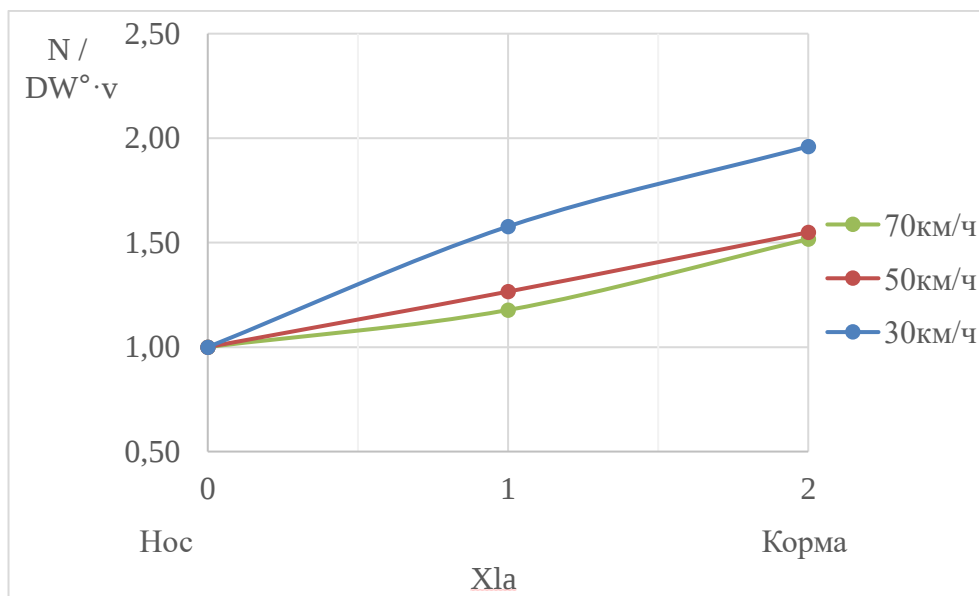


Рисунок 1 – Влияние положения аутригера по длине на показатель транспортной эффективности

Отстояние аутригеров от центрального корпуса по ширине показано на рисунке 2. Надо иметь в виду, что с одной стороны с увеличением поперечного клиренса уменьшает взаимное гидродинамическое влияние волновых систем этих корпусов. Однако в то же время отрицательно сказывается увеличение массы соединительного моста и водоизмещения тримарана в целом.

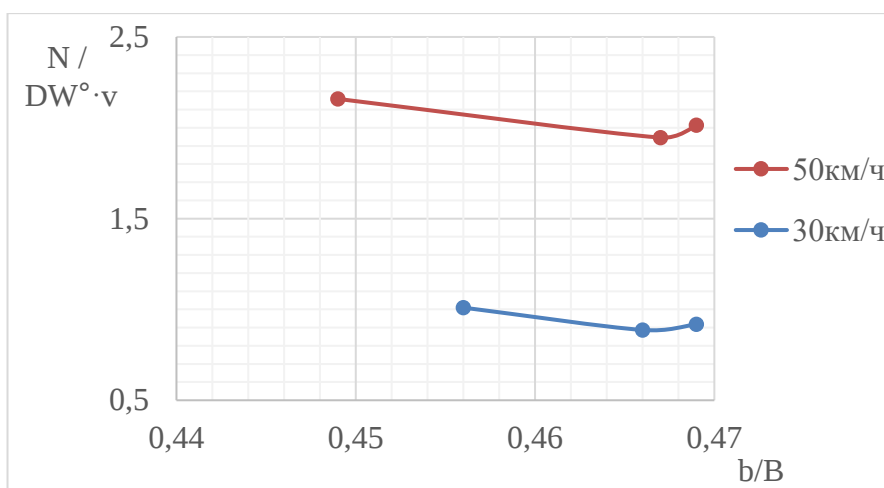


Рисунок 2 – Влияние отстояния аутригеров от центрального корпуса

Изменение числа рядов n_p пассажирских кресел в салоне приводит к изменению размеров надстройки и соответственно главных размерений тримарана. Пример такого взаимного влияния приведён на рисунке 3, из которого можно заключить, что тримаран по условию пассажировместимости эффективнее развивать в ширину, чем в длину.

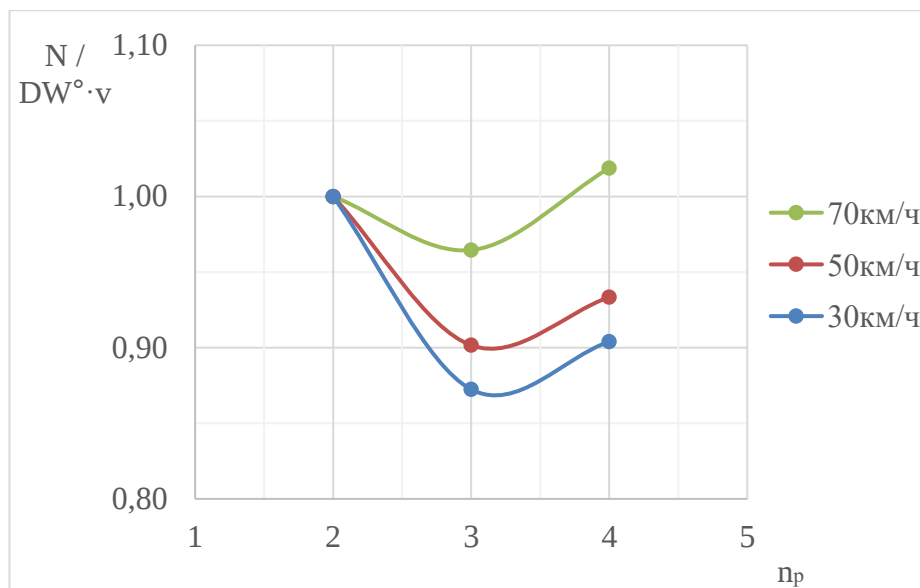


Рисунок 3 – Влияние числа рядов пассажирских мест в салоне

В определенной степени это подтверждает зависимость оптимального количества рядов в пассажирском салоне от пассажировместимости и скорости, показанная на рисунке 4.

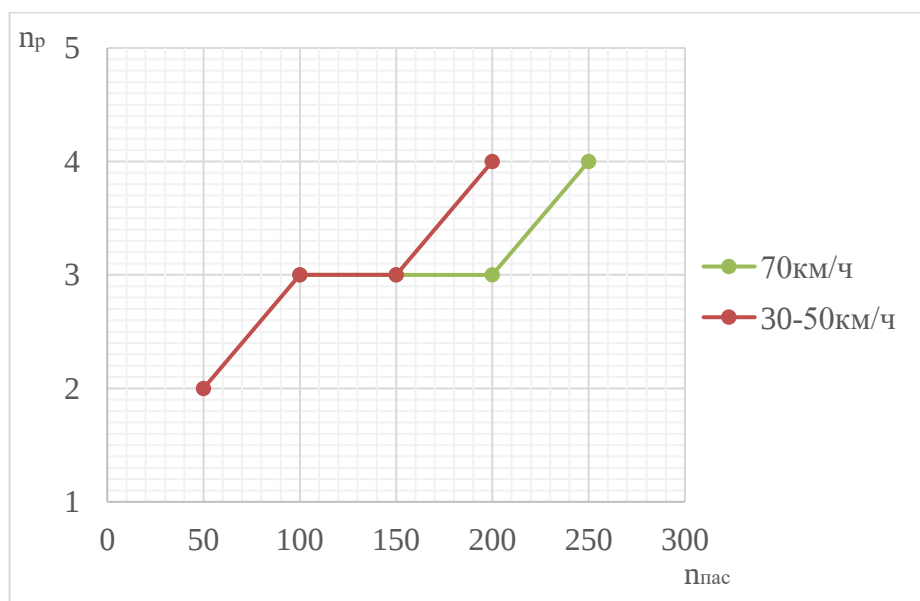


Рисунок 4 – Оптимальная рядность в пассажирском салоне

Зоны перехода на рисунке 4 соответствуют сложной конфигурации проходов, когда, например, в средней части два прохода, а в носу один.

Выполненные систематические тестовые расчеты во всем возможном диапазоне варьируемых параметров применительно к тримаранам внутреннего плавания для местных и пригородных линий и их анализ позволил построить график интегральной взаимосвязи основных проектных элементов приведенных на рисунке 5.

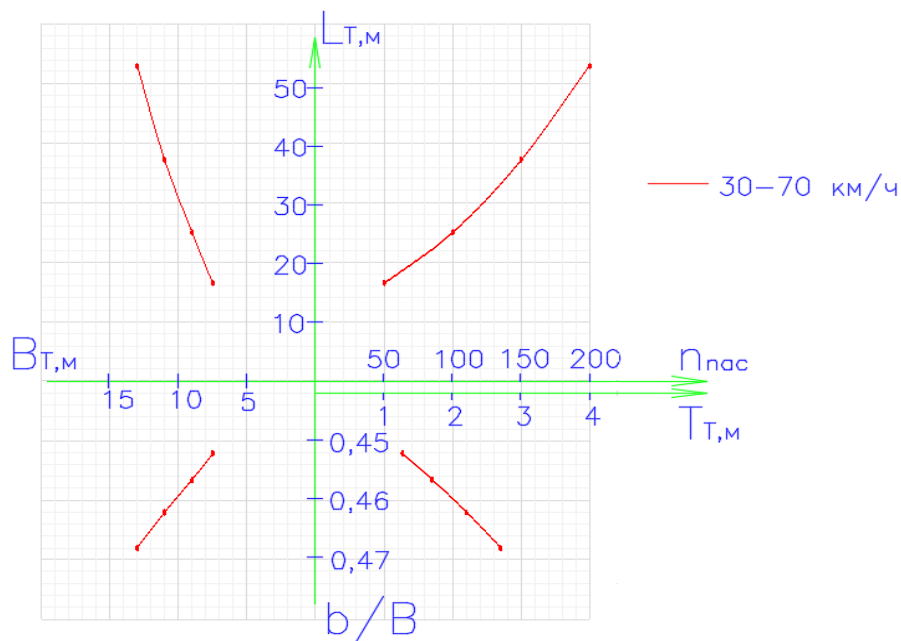


Рисунок 5 – Проектные элементы и характеристики тримарана с заданной пассажировместимостью для носового расположения аутригеров

Косвенным подтверждением адекватности использованного программного обеспечения является приведенное на рисунке 6 сопоставление реальных зон технической эффективности тримаранов и катамаранов при их близких исходных характеристиках, где показывается преимущество тримарана как более скоростного судна.

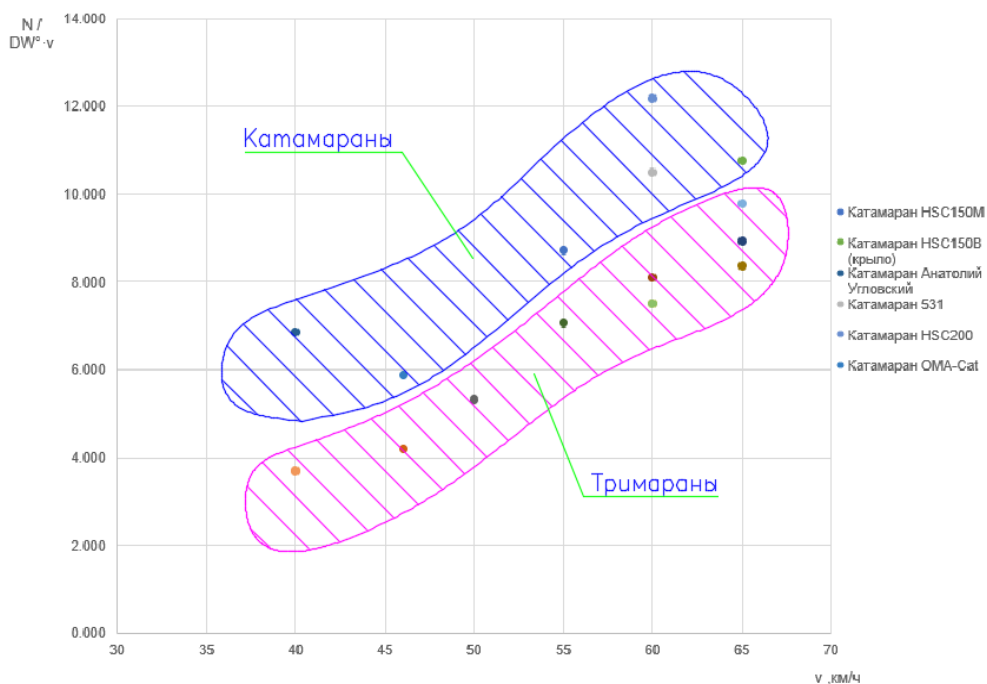


Рисунок 6 – Зоны эффективности тримаранов и катамаранов

На рисунке для сравнения показаны точки эффективности тримаранов, имеющие проектные характеристики, соответствующие катамаранам.

На основании выполненного исследования можно сделать вывод, что предложенная математическая модель пассажирского тримарана и разработанное на ее базе программное обеспечение дает возможность определять оптимальные основные проектные элементы и характеристики и проанализировать их влияние на показатель транспортной эффективности тримарана.

Список литературы:

1. Корепанов, А. Э. Влияние особенности компоновки корпуса тримарана на его гидродинамическое сопротивление / А. Э. Корепанов // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 4-1(54). – С. 37-41. – DOI 10.37220/MIT.2021.54.4.028.
2. Корепанов, А. Э. Обоснование расположения аутригеров тримарана / А. Э. Корепанов, Е. П. Роннов // Транспортные системы. – 2021. – № 3(21). – С. 22-27. – DOI 10.46960/62045_2021_3_22.
3. Роннов, Е. П. Вопросы прогнозирования сопротивления движения судов-тримаранов / Е. П. Роннов, А. Э. Корепанов // Великие реки - 2020 : Труды 22-го международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 27–29 мая 2020 года. – Нижний Новгород: Волжский государственный университет водного транспорта, 2020. – С. 32.
4. Wang Z., Lu X., Zhan J. New development on the investigation of high speed trimaran hydrodynamics and hull form. Journal of Ship Mechanics, 2011, Vol. 15, Is. 7, 813-826 p.
5. Войткунский Я. И. Сопротивление движению судов / Я. И. Войткунский. — Л.: Судостроение, 1988. — 288 с.
6. Гайкович, А.И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов. В 2 т. Т1. Описание системы «Корабль». – СПб.: изд. НИЦ МОРИНТЕХ, 2014 – 819с., 660рис., 154 табл., 766 формул, 688 ссылок.
7. Гайкович, А. И. Основы теории проектирования сложных технических систем. СПб.: НИЦ "МОРИНТЕХ", 2001. 432 с.

