

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ГЛАВНЫХ РАЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СКОРОСТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ КАТАМАРАНОВ

С.С. Метелица

*Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р.Е.Алексеева,
г. Нижний Новгород, Россия*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6336-0685>

Аннотация. Данная работа посвящена оптимизации главных размерений при проектировании скоростных пассажирских катамаранов. Показаны доминирующие факторы, влияющие на выбор главных размерений скоростных катамаранов на начальных стадиях проектирования. Рассмотрены особенности пассажирских перевозок с помощью различных типов скоростных судов, показана доля скоростных пассажирских катамаранов от общего числа строящихся пассажирских судов. Приведен краткий обзор наиболее распространенных компоновочных решений, используемых при проектировании вновь построенных пассажирских катамаранов. Показаны статистические данные по проектным характеристикам вновь построенных скоростных пассажирских паромов. На основе этих данных сформулирован диапазон характерных для данного типа судов главных размерений и проектных характеристик. Даны рекомендации для использования полученных эмпирических зависимостей на начальных стадиях проектирования скоростных пассажирских катамаранов.

Ключевые слова: скоростные катамараны, главные размерения, оптимизация, варианты компоновки, пассажироемкость.

Введение

Катамараны составляют более половины вновь построенных скоростных пассажирских и автомобильно-пассажирских паромов. В настоящее время работы по созданию скоростных автомобильно-пассажирских катамаранов ведутся во многих странах мира. Среди лидеров отрасли можно выделить страны Европы (Норвегия, Великобритания, Италия, Россия), Тихоокеанского региона (Австралия, Япония, Новая Зеландия), а также ЮАР и США [1]. Активное развитие этой группы судов в последнее время еще недостаточно подкреплено теоретическими обоснованиями проектных характеристик. Несмотря на то, что в предыдущее десятилетие были проведены работы [2], [3], [4] по обоснованию выбора главных размерений скоростных катамаранов разнообразие компоновок данного типа судов ставит новые вопросы. Так, зачастую выбор главных размерений и основных характеристик скоростных катамаранов часто подчиняется только задачам правильного выбора архитектурно-компоновочного типа, полностью или частично исключая влияние ходкости и мореходности на облик будущего судна. В этой связи ключевым вопросом становится обоснование на ранних стадиях проектирования оптимальной длины и поперечного клиренса, которые наиболее сильно влияют на наиболее важные показатели мореходных качеств и на эффективность катамарана в целом.

Среди основных задач на начальном этапе проектирования скоростных катамаранов, которые в первую очередь необходимо решить, является выбор архитектурно-конструктивного типа судна, распределение полезных площадей, выбор гидродинамической компоновки на основе анализа скоростного режима движения и статистических данных. Такой подход позволяет избежать грубых просчетов на дальнейших стадиях проектирования.

1. Постановка задачи по оптимизации главных размерений скоростного пассажирского катамарана

Основой процесса оптимизации главных размерений и проектных характеристик будущего судна является разделение задачи проектирования на два уровня: верхний (оптимизация судна в целом) и нижний (оптимизация подсистем). Взаимодействие подмоделей и характеристик разных уровней может осуществляться путем внедрения локальных критериев оптимизации. Стоит также заметить, что точность определения элементов судна зависит от конкретной стадии проектирования и глубины проработки проекта.

Создание системы взаимодействующих задач для оптимизации судна означает автоматизацию системного проектирования. В данной статье приведены рекомендации по выбору главных размерений скоростных пассажирских катамаранов, для чего были обработаны статистические данные по главным основным характеристикам современных автомобильно-пассажирских паромов. При поиске основных характеристик по данному типу судов широко использовались такие ресурсы, как [5], [6], [7].

В работе [8] и [9] процесс оптимизации основных характеристик судна можно выразить как согласованное решение следующего массива уравнений:

- уравнение нагрузки;
- уравнение плавучести;
- уравнение мощности;
- уравнение объемов и минимально необходимых площадей;
- уравнение управляемости;
- выполнение условий мореходности;
- уравнение остойчивости, выполнение требований непотопляемости и безопасности плавания;
- выполнение условий рациональности конструкций, общей и местной прочности.

Наиболее важными из данных уравнений являются те, в которых определяющими параметрами будут главные размеры, а также те из них, которые влияют на форму и компоновку будущего судна. Величины, входящие в остальное число уравнений, могут оптимизироваться на более поздних стадиях проектирования на основе способа последовательных приближений.

Также следует обратить внимание на разнообразие компоновочных схем при проектировании скоростных катамаранов, которое обусловлено как различным назначением каждого конкретного судна, так и условиями судоходства на каждой конкретной линии, экономическими причинами (такими как величина пассажиропотока), выбранным скоростным диапазоном, а также сложившейся у каждой конкретной инжиниринговой организации культуры проектирования.

Анализируя современные тенденции развития архитектуры скоростных пассажирских и автомобильно-пассажирских паромов-катамаранов [10], [11], можно отметить две доминирующие схемы. В первом случае надстройка располагается по всей протяженности главной палубы, также включающей в себя соединительный мост. В противовес данной компоновке существует «пирамидальная» схема расположения ярусов надстройки. В случае применения данного компоновочного решения рулевая рубка, как правило, смещается в корму от мидель-шпангоута. Это позволяет сместить центр парусности, что благоприятно влияет на управляемость при сильном встречном ветре. Также кормовое расположение ходового мостика придает некий динамизм внешнему облику судна, что может вызвать интерес у потенциальных пассажиров. Примеры подобного рода компоновок представлены на рисунках 1–3.



Рис. 1. Автомобильно-пассажирский паром HSS1500



Рис. 2. Автомобильно-пассажирский паром INCAT052



Рис. 3. Пассажирский катамаран Muslim Magomaev

2. Статистическое исследование главных размерений скоростных пассажирских катамаранов

Согласно исследованиям, приведенным в работах [12], [13], [14], [15], алгоритм определения главных размерений и проектных характеристик катамарана в зависимости от дедвейта (DW) и эксплуатационной скорости хода v имеет следующую структуру (1).

$$[DW, v] \rightarrow L_1 \rightarrow B_1 \rightarrow Fr_L \rightarrow S_n \rightarrow b \rightarrow L_0 \rightarrow B_0 \rightarrow T \rightarrow V_1 \rightarrow \delta \rightarrow Fr_V \rightarrow N_\Sigma \quad (1)$$

где L_1 – длина одиночного корпуса скоростного катамарана;

B_1 – ширина одиночного корпуса скоростного катамарана;

$Fr_L = \frac{v}{\sqrt{gL_1}}$ – величина числа Фруда в зависимости от длины корпуса катамарана;

S_n – ширина главной палубы;

b – поперечный клиренс между корпусами катамарана;

L_0, B_0 – габаритные длина и ширина скоростного катамарана;

T – осадка катамарана;

δ – коэффициент общей полноты одиночного корпуса скоростного катамарана;

V_1 – водоизмещение одиночного корпуса катамарана;

$Fr_V = \frac{v}{\sqrt{g\delta V_1}}$ – величина числа Фруда в зависимости от водоизмещения одиночного корпуса катамарана;

N_Σ – суммарная мощность главных двигателей судна.

Поскольку для корректного обоснования основных характеристик скоростного катамарана на начальных этапах проектирования необходимо выделить и сравнить как можно большее количество вариантов компоновки и архитектуры подобного типа судов, при выборе судов-прототипов учитывался довольно большой разброс главных размерений. Так, длина по ватерлинии $L_{вл}$ варьировалась от 60 м до 121,5 м. Соответственно, показатели авто- и пассажироместимости тоже варьировались в значительном диапазоне. Для выбора главных размерений скоростного катамарана была создана база из 16 современных автомобильно-пассажирских паромов-катамаранов. Данные по судам-прототипам приведены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики современных скоростных пассажирских катамаранов

Название судна	INCAT 094	INCAT 091	HSS 1500	HSS 900	INCA T 097	INCAT 096	Sea Speed Jet	Mannan an
Длина по ватерлинии $L_{вл}$, м	92,1	103,2	125	85	68	121,51	59,9	86
Ширина катамарана B , м	26,6	30,5	40	30	20,6	32,36	26	26,6
Ширина корпуса катамарана B_0 , м	4,5	5,8	10	7,5		6,6	4,33	4,5
Осадка расчетная	3,7	4,1	4,5	3,9	2,35	2,5	3,1	3,43
Дедвейт DW , т	720	1000	1500	450	300	600	230	770

Название судна	INCAT 094	INCAT 091	HSS 1500	HSS 900	INCA T 097	INCAT 096	Sea Speed Jet	Mannan an
Скорость расчетная V , узл	39,5	42,4	40	40	42	37,5	37	38
Мощность ГЭУ N_e , кВт	29120	36400	68000	34000	22000	35200	16200	28800
Количество пассажиров, n	1000	1200	1500	900	700	2100	450	600
Количество автомобилей, $n_{авт}$	182	401	375	208	79	229	84	240
Название судна	Megajet	Harmony Flower	Stena Lynx	Champion Jet	Max Mols	Kat Express 2	Volcan de Tirajana	INCAT 082
Длина по ватерлинии $L_{вл}$, м	63,9	72,3	66,3	76,4	81,3	105,6	59,9	86
Ширина катамарана B , м	26,0	19,0	26	26,0	26,0	30,5	26	26,6
Ширина корпуса катамарана B_o , м	4,3	5,0	4,33	4,33	4,50	5,8	4,33	4,5
Осадка расчетная	3,5	2,16	3,0	3,5	3,73	4,18	3,1	3,43
Дедвейт DW , т	250	174	320	415	510	1497	230	770
Скорость расчетная V , узл	36,0	49,7	44	40	42	42,1	37	38
Мощность ГЭУ N_e , кВт	19680	21680	14400	28320	28320	36000	16200	28800
Количество пассажиров, n	600	785	700	900	900	1000	450	600
Количество автомобилей, $n_{авт}$	50	32	181	200	220	415	84	240

На основании приведенных данных были построены зависимости проектных характеристик от длины по ватерлинии $L_{вл}$ и дедвейта DW . Графически данные зависимости отображены на рисунках 4–7.

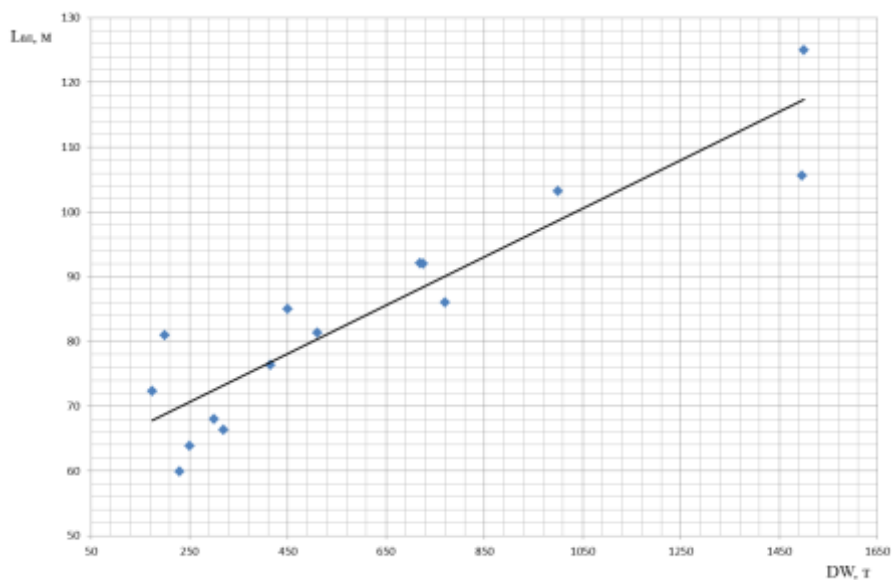


Рис. 4. Зависимость $L_{вл} - DW$

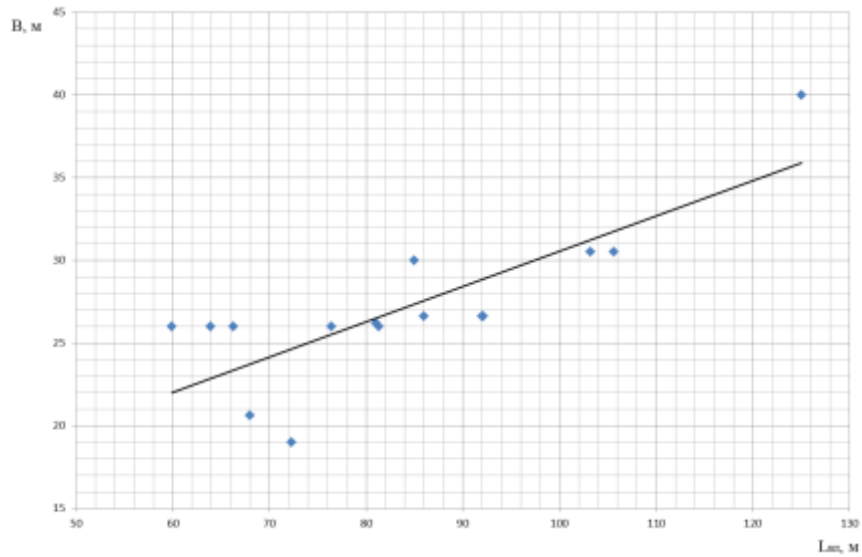


Рис. 5. Зависимость $B - L_{вл}$

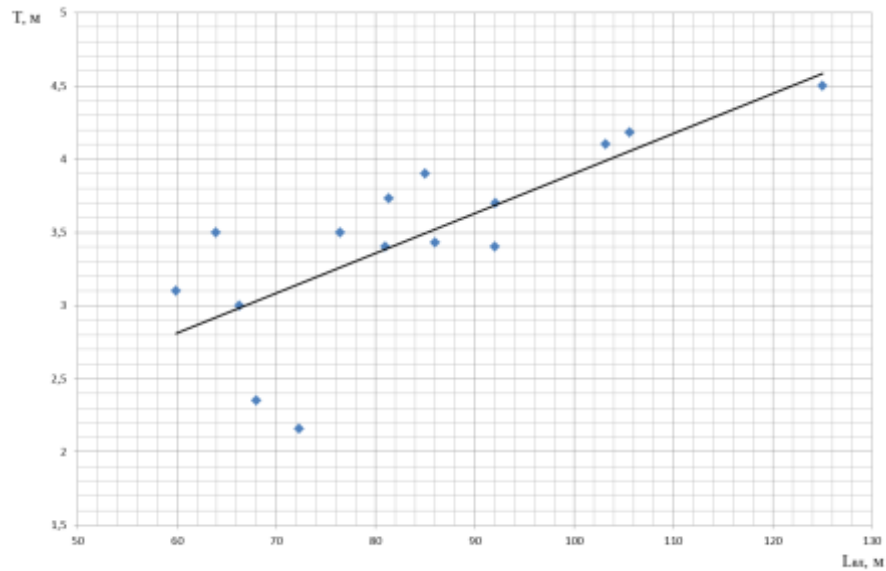


Рис. 6. Зависимость $T - L_{вл}$

Путем аппроксимации полученные зависимости можно описать линейными уравнениями, где в качестве независимой переменной будет выступать длина по ватерлинии

$$L_{вл} = 0,0374DW + 61,296 \quad (2)$$

$$B = 0,2135L_{вл} + 9,2061 \quad (3)$$

$$T = 0,0273L_{вл} + 1,1754 \quad (4)$$

$$n_{пасс} = 13,186L_{вл} - 250,75 \quad (5)$$

Таким образом, полученные эмпирические формулы (2–5) могут быть использованы для решения уравнения нагрузки и плавучести в первом приближении и определения основных проектных характеристик скоростных катамаранов (СК), т.е. послужить первым шагом для решения оптимизационной задачи верхнего уровня по проектированию скоростного пассажирского катамарана.

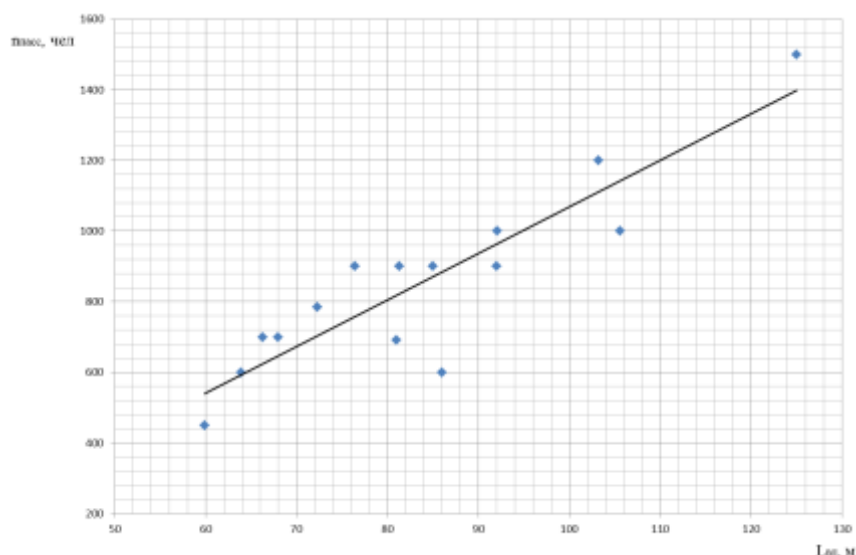


Рис. 7. Зависимость $n_{\text{пасс}}-L_{\text{вл}}$

Наряду с этим следует заметить, что для принятия решения относительно пассажироместимости будущего судна требуется подробный анализ условий навигации, величины пассажиропотока на конкретной линии, на которых планируется использовать судно, с учётом особенностей географии и экономического развития региона, а также влияния на эти процессы конкурирующих транспортных компаний.

3. Заключение

В данной статье показаны статистические исследования, которые позволяют сформулировать принципы проектного анализа на начальных этапах проектирования пассажирских катамаранов, а также зависимости для обоснования выбора главных, размерений, архитектурно-компоновочного типа, обводов, ходкости, энергетической установки и других свойств, последовательно обосновываемых на различных этапах создания проектной документации. Полученные результаты также могут послужить основанием для разработки и практического внедрения методики анализа и обоснования главных размерений и проектных характеристик скоростных пассажирских катамаранов.

Список литературы:

1. Смирнов М.А. Скоростные пассажирские суда: транспортные, технические и эксплуатационные аспекты/М.А. Смирнов//Морской вестник. 2019. – № 4 (72) – С. 108–114
2. Соколов В.П. Проектные особенности скоростных катамаранов /В.П. Соколов, А.А. Даняев, А.П. Ермилкин, В.Г. Трубинов // Тезисы докладов конференции «Моринтех – 99», Спб. НИЦ-Моринтех – С. 53–54.
3. Сахновский Б.М. Экспериментальное исследование ходкости традиционных и «гибридных» скоростных катамаранов / Б.М. Сахновский, Э.Б. Сахновский // Современные проблемы кораблестроения. Труды НГТУ. – 2005. – Т. 46. – С. 30–39.
4. Соколов В.П. Новые подходы к концепции гидродинамического проектирования надводных кораблей / В.П. Соколов, В.А. Дубровский, В.Н. Половинкин // Сборник докладов конференции «Моринтех-2003», СПб, НИЦ «Моринтех», 2003 – С. 263–269.
5. <http://www.incat.com.au/vessel-progress/current-fleet> (дата обращения: 18.05.2020).
6. <http://www.janes.com> (дата обращения: 18.05.2020).
7. <http://www.austal.com/ship-search> (дата обращения: 18.05.2020).
8. Пашин В.М. Оптимизация судов./ В.М. Пашин – Л.: Судостроение, 1983 – 296 с.
9. Царев Б.А. Критерии эффективности скоростных судов / Материалы научно-технической конференции по проектированию скоростных судов 1986 и 1988 годов. Горький, НТО им. Акад. А.Н. Крылова – 1990 – С. 32–34.
10. Chizhiumov, Sergey & N.A., Taranukha.. Design of high-speed vessels experiencing impact shocks in waves, 2004
11. Lyakhovitsky A.G. Shallow Water and Supercritical Ships. Backbone Publishing Co., Fair Lawn, NJ, USA, 2007. – 277 p.
12. Царев Б. А., Лицис А.В. Формирование алгоритмов оптимизации скоростных судов /Материалы научно-техн. Конфер по проектир. Скоростных судов 1986 и 1988 годов. Горький, НТО им. Акад. А.Н. Крылова – 1990. – С. 35–38.
13. Царев Б.А. Оптимизационное проектирование скоростных судов/ Б.А. Царев. – Л.: ЛКИ, 1988. – 102 с.
14. Матюков Э.Б. О выборе величины запаса водоизмещения скоростных судов /Матюков Э.Б., Любимов В.И. // Труды ГИИВТ: Вопросы проектирования и обеспечения прочности судов внутреннего плавания. – 1983. – №198. – С. 168–174.
15. Чупайло В.Л. Определение основных характеристик малых скоростных судов в начальной стадии проектирования / Чупайло В.Л., Чупайло И.Л. // Труды ЛКИ: Оптимизация проектируемых судов. – 1985. – №4(242). – С. 103–106.

THE RATIONAL MAIN DIMENSIONS IN THE DESIGN OF HIGH-SPEED PASSENGER CATAMARANS CHOICE JUSTIFICATION

Sergey S. Metelitsa,

*Nizhny Novgorod state Technical University named after R. E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russia*

Abstract. The article considers the passenger transport features by high-speed vessels, shows the high-speed passenger catamarans share from the total number of passenger vessels under construction. The most common layout solutions brief overview used in newly built passenger catamarans design is given. Statistical data on the high-speed passenger ferries design characteristics are provided. Based on these data, a range of main dimensions and design characteristics related to this type of vessel is formulated. Recommendations are given for using the obtained empirical dependencies in the high-speed passenger catamarans designing process.

Keywords: high-speed catamarans, main dimensions, optimization, layout options, passenger capacity.

References:

1. Smirnov M. A. high-Speed passenger vessels: transport, technical and operational aspects/M. A. Smirnov//Marine Bulletin. 2019. – № 4 (72) – P. 108-114
2. Sokolov V. P. Design features of high-speed catamarans /V. P. Sokolov, A. A. Danyaev, A. p. Ermilkin, V. G. Trubnikov // Abstracts of the conference «Morintech – 99», St. Petersburg, SIC-Morintech-P. 53-54.
3. Sakhnovsky, B. M. Experimental study of the speed of traditional and «hybrid» speed catamarans / B. M. Sakhnovsky, E. B. Sakhnovsky // Modern problems of shipbuilding. Trudy NSTU. – 2005. – Vol. 46. – P. 30-39.
4. Sokolov V. P. New approaches to the concept of hydrodynamic design of surface ships / V. P. Sokolov, V. A. Dubrovsky, V. N. Polovinkin // Collection of reports of the conference «Morintech-2003», St. Petersburg, SIC» Morintech», 2003 – P. 263-269.
5. <http://www.incat.com.au/vessel-progress/current-fleet> (accessed 18.05.2020).
6. <http://www.janes.com> (accessed: 18.05.2020).
7. <http://www.austal.com/ship-search> (accessed: 18.05.2020).
8. Pashin V. M. Optimization of vessels. / V. M. Pashin – L.: Shipbuilding, 1983-296s.
9. Tsarev B. A. Criteria for the effectiveness of high-speed vessels / Materials of the scientific and technical conference on the design of high-speed vessels in 1986 and 1988. Gorky, NTO im. Akad. A. N. Krylova-1990-P. 32-34.
10. Chizhiumov, Sergey & N.A., Taranukha.. Design of high-speed vessels experiencing impact shocks in waves, 2004
11. Lyakhovitsky A.G. Shallow Water and Supercritical Ships. Backbone Publishing Co., Fair Lawn, NJ, USA, 2007 – 277p.
12. Tsarev B. A., litsis A.V. Formation of algorithms for optimization of high-speed vessels / Materials of scientific and technical research. Conference on engineered. High-speed vessels of 1986 and 1988. Gorky, NTO im. Akad. A. N. Krylova-1990-P. 35-38.
13. Tsarev B. A. Optimization design of high-speed vessels/ B. A. Tsarev. – L.: LKI, 1988. – 102 p.
14. Matyukov E. B. on the choice of the size of the water displacement reserve of high-speed vessels / Matyukov E. B., Lyubimov V. I. // Proceedings of the GIIVT: Issues of designing and ensuring the strength of inland navigation vessels. – 1983. – №198. – P. 168-174.
15. Chupaylo V. L. Determination of the main characteristics of small high-speed vessels in the initial design stage / Chupaylo V. L., Chupaylo I. L.//Works of LKI: Optimization of designed vessels. – 1985. – №4(242). – P. 103-106.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Метелица Сергей Сергеевич, аспирант,
Нижегородский Государственный Технический
Университет им. Р.Е. Алексеева» (ФГБОУ ВО «НГТУ
им. Р.Е. Алексеева»),
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24 e-mail:
meteserg@yandex.ru

Sergey S. Metelitsa, post-graduate student,
Nizhny Novgorod state Technical University named after R.
E. Alekseev (NSTU NAMED after R.E. Alekseev»),
24, Minina st., Nizhny Novgorod, 603950,