

УДК 629.124.9.039

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi67.197>

Анализ технико-эксплуатационных характеристик перспективных типов скоростных судов

В.И. Любимов

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

Аннотация. В статье рассмотрены тенденции развития различных типов скоростных судов, которые в перспективе могут быть использованы для транспортных перевозок в Российской Федерации. Проанализированы задачи «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» по развитию скоростного флота. Приведены примеры постройки и использования скоростных судов второго поколения. Выполнен сравнительный анализ технико-эксплуатационных характеристик различных типов отечественных и зарубежных скоростных судов. Приведенный анализ позволяет с учетом выявленных преимуществ различных типов скоростных судов принять решение об использовании определенного судна с динамическими принципами поддержания (СДПП) для работы на заданной линии эксплуатации. Предлагается разработать сетку перспективных скоростных судов с учетом их технико-эксплуатационных характеристик. Рекомендуется сравнить результаты технико-экономического обоснования выбранного типа СДПП с показателями других транспортных средств, которые могут составить конкуренцию новому судну.

Ключевые слова: транспортная система, скоростные суда, суда на подводных крыльях, суда на воздушной подушке, экранопланы, технико-эксплуатационные характеристики, особенности конструкции.

Analysis of technical and operational characteristics of high-speed vessels their promising types

Viktor I. Lyubimov

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article considers the trends in the development of high-speed vessels various types that can be used for Russian transport in the future. The tasks of the "Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030" for the development of the high-speed fleet are analyzed. Examples of the construction and use of the second generation high-speed vessels are given. A comparative analysis of the technical and operational characteristics of various types of domestic and foreign high-speed vessels is performed. The above analysis makes it possible, taking into account the identified advantages of high-speed vessels various types to make a decision on the use of a certain ship with dynamic maintenance principles for working on a given line of operation. It is proposed to develop a grid of promising high-speed vessels, taking into account their technical and operational characteristics. It is recommended to compare the results of the feasibility study of the selected type of ships with dynamic maintenance principles with the performance of other vehicles that may compete with the new vessel.

Keywords: transport system, high-speed vessels, hydrofoils, hovercrafts, ekranoplanes, technical and operational characteristics, design features.

Введение

Одной из приоритетных задач «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» является увеличение доступности транспортных услуг для

населения в два раза по сравнению с 2007 годом [1]. Решение этой задачи ложится на все виды транспорта России, в том числе на морской и речной. При этом каждый вид транспорта должен найти свою нишу, которая обеспечивала бы ему высокую конкурентоспособность и эффективность использования.

Важной особенностью Транспортной стратегии Российской Федерации считается обеспечение конкурентоспособности внутреннего водного транспорта. По прогнозу Минтранса России к 2030 году пассажирские речные перевозки за навигацию должны увеличиться до 16,6 млн. пассажиров, т.е. по сравнению с существующими объемами перевозок в 1,38 раза. Решение этой сложной проблемы требует пополнения флота новыми современными судами.

Перспективные направления развития скоростного флота

Как известно, перевозки пассажиров на внутренних водных путях осуществляются на водоизмещающих судах и скоростном флоте. Огромная территория России, опоясанная многочисленными речными артериями, особенно в районах Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока, предопределяет использование для перевозок населения скоростных судов. Это имеет основание. В 80-е годы XX века, когда на речных судах ежегодно перевозилось около 100 млн. человек, более четверти пассажиров совершали поездки на скоростных судах. В то время в России действовала отлаженная система скоростных пассажирских перевозок, основу которой составляли серийные пассажирские суда на подводных крыльях (СПК).

Использование для перевозок пассажиров скоростных судов позволило значительно расширить сферы действия водного транспорта, увеличить скорость поездки в 2-3 раза, составить достойную конкуренцию другим средствам сообщения. Анализ технического состояния скоростных судов, работающих в настоящее время на перевозках пассажиров, показывает, что действующий скоростной флот морально и физически устарел и требует пополнения новыми высокоэффективными транспортными средствами [2].

Первые шаги в возрождении скоростного флота в России сделаны. В 2017 году было построено и спущено на воду первое СПК «Валдай 45Р» (рис. 1). Пассажировместимость судна 45 человек. Судно может развивать скорость до 75 км/ч [3], дальность плавания по запасам топлива 550 км.



Рис. 1. «Валдай 45Р»
Fig. 1. "Valday 45R"

Построена головная серия судов этого проекта. Первые СПК «Валдай 45Р» успешно зарекомендовали себя на перевозках пассажиров в Ханты-Мансийском автономном округе и Нижегородской области.

В настоящее время СПК «Валдай 45Р» серийно строятся на производственном предприятии АО «ЦКБ по СПК имени Р.Е. Алексеева» (табл. 1).

Таблица 1

Технико-эксплуатационные характеристики пассажирских СПК

Характеристики	Название судов		
	Валдай 45Р	Комета 120М	Циклон 250М
Пассажировместимость, чел	45	120	250
Габариты, м:			
длина	21,3	35,2	44,2
ширина	5,2	10,2	12,6
высота борта	4,5	6,5	14,2
Осадка, м:			
на плаву	1,1	3,5	4,3
на крыльях	0,3	1,2	2,4
Водоизмещение, т	21,4	59,5	137,1
Мощность СЭУ, кВт	1×810	2×820	2×2940
Скорость, км/ч (узл)	65	(35)	(42)
Мореходность, h_v , м	1,2	2,0	2,5
Дальность плавания, км (мили)	400	(250)	(300)

Уже три года на линии Севастополь–Ялта успешно работает морское СПК «Комета-120», построенное по проекту АО «ЦКБ по СПК имени Р.Е. Алексеева» на судостроительном заводе «Вымпел» в Рыбинске. Загрузка на линии составляет 90–95%. Ведется постройка еще двух таких судов.



Рис. 2. СПК «Комета 120М»
Fig. 2. Hydrofoil "Cometa 120M"

Продолжением возрождения скоростного флота стала закладка в декабре 2019 года на предприятии АО «ЦКБ по СПК имени Р.Е. Алексеева» первого СПК «Метеор 120Р» нового поколения. Примечательно, что первый СПК «Метеор» был заложен в декабре 1959 года и серийно строился более 30 лет. И вот новый шаг в возрождении скоростных судов. Судно предназначено для перевозки 120 пассажиров, автономность плавания 8 ч. Заинтересованность в использовании СПК «Метер-120Р» проявляют эксплуатационники в Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде и Ханты-Мансийском автономном округе.

Большой рыночный потенциал для работы на Дальнем Востоке, Японском, Балтийском и Черном морях и других морских регионах имеет газотурбоход «Циклон-250М», спроектированный в АО «ЦКБ по СПК имени Р.Е. Алексеева» (см. табл. 1).



Рис. 3. СПК «Циклон 250М»
Fig. 3. Hydrofoil "Cyclone 250M"

Благодаря высокой скорости, амфибийности, возможности посадки и высадки пассажиров у необорудованного берега и других преимуществ, всё большее место в пассажирских перевозках занимают амфибийные суда на воздушной подушке (АСВП). Их использование позволяет существенно увеличить скорость доставки пассажиров, при необходимости организовать круглогодичную работу судов, расширить сферы применения речного транспорта.

Многие судостроительные фирмы внесли вклад в создание отечественных АСВП, среди которых следует выделить ЦМКБ «Алмаз» (г. Санкт-Петербург).

Лидером в постройке гражданских АСВП можно считать судостроительную компанию «Аэроход» (г. Нижний Новгород). С 2000 г. эта компания построила более 900 единиц АСВП. По проектам этой компании ведется серийная постройка многоцелевых АСВП «Хивус-6» и «Хивус-10» (рис. 4), а также других пассажирских амфибийных судов (проекты А20 и А25). С 2019 г. два 26-местных АСВП (проект А20) успешно работают в Ханты-Мансийском автономном округе. Большие перспективы компания «Аэроход» связывает с постройкой АСВП с аэродинамической разгрузкой «Тунгус» (рис. 5). Его пассажировместимость 30 чел. Отличительной особенностью этих судов является наличие конструктивных элементов, позволяющих обеспечить движение на двух режимах: на обычной воздушной подушке (скорость до 80 км/ч) и на аэродинамической подушке (до 200 км/ч) [7].



Рис. 4. «Хивус-6»



Рис. 5. АСВП с АР

Можно констатировать факт: АСВП нашли свою нишу в транспортном комплексе страны. В дальнейшем сферы их использования будут расширяться.

Большой опыт в проектировании и эксплуатации в России накоплен и в создании пассажирских судов на воздушной каверне (СВК). Серийные СВК типа «Линда» были построены на Зеленодольском судостроительном заводе имени М. Горького. Они хорошо зарекомендовали себя в работе в Ханты-Мансийском автономном округе. На базе СВК «Линда» построены более крупные пассажирские суда [8].

Еще одним перспективным направлением развития скоростного флота являются экранопланы (ЭП). Накоплен полувековой опыт изучения эффекта опорной поверхности и создания судов с динамической воздушной подушкой. В числе лидеров по созданию ЭП – ЦКБ по СПК. Под руководством Р.Е. Алексева был разработан размерный ряд ЭП, обоснованы их технико-эксплуатационные характеристики, компоновка и архитектурный облик.

Многолетние испытания различных моделей стали основой создания самого большого в мире экспериментального ЭП «КМ» (корабль-макет). Его размеры: длина 98 м; высота 21,8 м; размах крыльев 37,8 м. Первый полет ЭП «КМ» состоялся 18 октября 1966 г. на Каспийском море в районе города Каспийск. С полетной массой 544 т ЭП «КМ» показал скорость около 550 км/ч. Зарубежные специалисты назвали его «Каспийский монстр».

Результаты всесторонних испытаний ЭП «КМ» позволили получить необходимые данные для проектирования и постройки ЭП различного назначения («Стриж», «Орленок», «Лунь»).

В 1974 г. под руководством Р.Е. Алексева началась работа по созданию ЭП второго поколения. На нижегородском заводе «Сокол» была построена головная серия 8-местных ЭП «Волга-2». Результаты многолетних исследований АО «ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексева» стали базой для проектирования и постройки ЭП в различных проектных организациях. Например, ПКБ судоходной компании «Элиен» были выполнены проектные разработки пассажирских ЭП по схеме «составное крыло». Из них можно выделить морской ЭП МПЭ-40. Этот ЭП спроектирован как пассажирское судно на 30–40 чел., с возможностью переоборудования в грузопассажирское или патрульное судно [6].

Следует выделить практические достижения экраностроительного предприятия «Орион». В 2014 г. оно провело испытания 20-местного ЭП «Орион-20». Его взлетная масса 20 т, грузоподъемность 3 т. Судно на испытаниях развивало скорость до 130 км/ч. Эта организация построила и продала Ирану три ЭП «Орион-12», способных брать 12 пассажиров или 1,2 т груза.

ЭП могут стать прочной основой для создания скоростных транспортных систем Приморья и освоения арктических районов Якутии [3].

Сравнительный анализ технико-эксплуатационных характеристик скоростных судов

В сложившихся условиях важно выполнить сравнительный анализ технико-эксплуатационных характеристик перспективных типов отечественных и зарубежных скоростных судов. В качестве таковых могут рассматриваться перспективные типы судов с динамическими принципами поддержания (СДПП) – СПК, амфибийные и скеговые СВП (соответственно АСВП и ССВП), суда на воздушной каверне (СВК) и экранопланы (ЭП). Их технико-эксплуатационные характеристики приведены в табл. 2 [7–15].

Таблица 2

Технико-эксплуатационные характеристики отечественных и зарубежных СДПП

Тип судна	Характеристики					
	Пассажироместимость, $n_{пас.}$, чел.	Водоизмещение полное D , т	Скорость, v , км/ч	Коэффициент утилизации по полезной нагрузке	Энерговооруженность N/D , кВт/т	Энергетическая эффективность $N/n_{пас.} \cdot v$, кВт·ч / чел·км
Отечественные суда						
СПК	40–260	14,5–137	60–100	0,17–0,39	21,1–58	0,147–0,336
ССВП	48–130	15,4–70,8	36–53	0,17–0,27	11,9–34,3	0,106–0,295
АСВП	5–50	1,85–36,4	40–90	0,14–0,31	23,9–46,4	0,203–0,515
СВК	70–100	24,6–40,0	60–80	0,23–0,26	26,8–49,7	0,157–0,248
ЭП	8–250	2,5–105	120–280	0,11–0,32	78,9–189	0,214–0,460
Зарубежные суда						
СПК	45–350	16,7–170	59–90	0,16–0,33	25,3–48,8	0,148–0,298
ССВП	40–500	20,0–260	45–93	0,13–0,46	16,2–62,0	0,100–0,540
АСВП	10–155	3,0–65,0	61–90	0,18–0,47	25,5–125	0,086–0,578
СВК	150–400	43–154	50–78	0,28–0,37	19,0–24,7	0,093–0,141
ЭП	2–5	0,5–8,1	80–200	0,28–0,33	74–125	0,151–0,231

Как следует из данных табл. 2 максимальная пассажироместимость СДПП – 500 человек. Наибольшие перспективы в увеличении пассажироместимости и обеспечении высокого уровня комфорта поездки пассажиров имеют ССВП.

Выбор типа скоростного судна и пассажироместимости зависит от условий эксплуатации и интенсивности пассажиропотока на линии. Например, опыт эксплуатации отечественных СПК и СВП показывает, что оптимальная пассажироместимость речных скоростных судов находится в диапазоне от 70 до 130 человек. Для проектирования крупных морских СПК и СВП характерна разработка на одной базе модификаций пассажирского судна и автомобильно-пассажирского парома.

Максимальное водоизмещение пассажирских скоростных судов зависит от типа СДПП. Для СПК его значение равно 170 т («Джетфойл», США); для ССВП – 260 т (WSES 4000, Норвегия); для АСВП – 65 т (СВП типа 722, Китай); для ЭП – 19,0 т (ТХ-5, Китай)

Скорость пассажирских судов определяется в первую очередь типом СДПП, а также зависит от типа и мощности главных двигателей. Для отечественных СПК и ССВП, используемых в качестве главных двигателей дизели, диапазон изменения скоростей довольно велик – от 36 до 86 км/ч. Использование на СПК «Буревестник» ГТУ позволило увеличить скорость до 100 км/ч. На зарубежных скоростных судах, как правило, устанавливаются ГТУ, что позволяет значительно увеличить агрегатную мощность СЭУ. Верхний предел их скорости достигает 90–100 км/ч. На ЭП в качестве главных двигателей используются турбовентиляторные двигатели, которые позволяют обеспечить скорость 200 км/ч и более.

В прямой зависимости от типа СДПП и коэффициент утилизации по полезной нагрузке. У отечественных пассажирских скоростных судов его значение изменяется в пределах от 0,11 до 0,39. У речных судов этот показатель во многом зависит от класса судна. Большие значения этого показателя имеют суда классов «Л» и «Р». Значение коэффициента утилизации по полезной нагрузке зарубежных судов несколько выше, чем у отечественных. Это обстоятельство объясняется тем, что на зарубежных СДПП используются более легкие двигатели, системы и устройства.

Зависимость энергозатрат у различных типов СДПП можно выполнить по коэффициенту энерговооруженности (N/D) и критерию энергетической эффективности ($N/n_{\text{пас}} \cdot v$). Как у отечественных, так и у зарубежных скоростных судов, меньшая энерговооруженность у ССВП. У отечественных судов она изменяется от 11,9 до 34,3 кВт/т, а у зарубежных – от 16,2 до 62,0 кВт/т. Это объяснимо, поскольку скорости ССВП имеют наименьшие значения по сравнению с другими типами СДПП. Они изменяются в диапазоне от 36 до 93 км/ч. Наибольшие энергозатраты у ЭП – до 189 кВт/т. Это связано с затратами на обеспечение высоких скоростей движения (особенно во время выхода ЭП на крейсерскую скорость 220–280 км/ч).

Аналогичная зависимость прослеживается и при анализе изменения критерия энергетической эффективности скоростных судов ($N/n_{\text{пас}} \cdot v$). Наименьшие значения этого критерия у ССВП и СВК, а наибольшие – у ЭП.

Выводы

Каждый тип СДПП с учетом имеющихся преимуществ имеет свою нишу использования. Целесообразно разработать сетку перспективных скоростных судов с учетом технико-эксплуатационных показателей.

Приведенный анализ позволяет с учетом выявленных преимуществ (высокая скорость, амфибийность и т.д.) принять решение об использовании определенного типа СДПП для работы на заданной линии. Для окончательного решения о выборе типа СДПП следует выполнить сравнение его технико-экономических характеристик с показателями других транспортных средств, которые могут составить конкуренцию новому судну.

Список литературы

1. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года // Утверждена постановлением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. № 1734р.
2. Смердов В.Н., Любимов В.И. Пассажирские скоростные суда – важные составляющие транспортного комплекса Ленского бассейна // Речной транспорт (XXI век). 2014. – № 2. – С. 65–68.
3. Федорев Г.А., Знатков А.С., Шауб П.А. Экранопланы и скоростные транспортные системы для Приморья и освоения арктических регионов Якутии // Судостроение, 2017. – № 2. – С. 12–16.
4. Любимов В.И., Роннов Е.П., Малышкин А.А., Барышев В.И. Современное состояние, тенденции развития и коммерческого использования скоростных судов // Судостроение, 2019. – № 5. – С. 17–19.
5. Любимов В.И., Варакозов Ю.Г., Барышев В.И. Техничко-эксплуатационные аспекты использования скоростных судов в транспортной системе Российской Федерации // Вестник ВГАВТ. Вып. 59. – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – С.69–71.
6. Любимов В.И., Барышев В.И. Перспективные области применения транспортных экранопланов // Речной транспорт (XXI век). 2015. – № 4. – С. 57–59.
7. Любимов В.И., Роннов Е.П. Использование амфибийных судов на воздушной подушке – важная компонента технического прогресса на водном транспорте // Судостроение, 2020 – № 2. – С. 17–20.
8. Горбачев Ю., Буянов А., Сверчков А. Суда на воздушной каверне – реальный способ повышения энергоэффективности и экономической безопасности // Морской флот, 2015. – № 2. – С. 15-17.
9. Zalek S., Karr D.G., Jabbarizadeh S., Maki K.J. Modeling of air cushion vehicle's flexible seals under steady state conditions // Ocean Systems Engineering. 2011, vol.1., no.1, pp.17-28
10. Xuan Zhang, Qulin Qu, Ramesh K., Aqerval Computations of Flow Fields of an Airfoil and a Wing with Gurney Flap in Ground Effect //35th AIAA Aerodynamics conference, 2017. doi:10.2514/6.2017-4466. <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2017-4466>

11. Banks, Ioe. Free-surface CFD Prediction of Components of Ship Resistance for KCS / Ioe Banks, A.B. Philips, Stephen R u Turnock // 13 th Numerical Towing Tank Symposium – 2010 – Duisburg / Germany.
12. Dakhrabadi, M. Tavakoli. Influence of main and outer wings on aerodynamic characteristics of compound wing-in-ground effect / M. Tavakoli Dakhrabadi, M.S. Self // Aerospace Science and technology – № 55 – 2016 – pp. 177–188.
13. Iamei, Salld. Numerical Investigation on Aerodynamic Characteristics of Compound Wing-in-Ground Effect / Salld Iamei, Adi Maimun, Shuhaimi Mansor, Nor Azwadi, Agoes Priyanto // Journal of Aircraft. – Vol. 49. – № 5. – 2012 – pp. 1297–1305.
14. Kleinsorge, Luts. About of Effect of Discretisation Schemes on the Results of Numerical Calculation of Ship Flow / Luts Kleinsorge, Robert Brousart, Katia Hartig // 15-th Numerical Towing Tank Symposium. – 2012 – Cortona / Italy.
15. Qua Qiulin. Numerical study of the aerodynamics of a NACA 4412 airfoil in dynamic ground effect / Qiulin, Xi Iiaa, Wei Wanga, Peiging Lina, Ramesh K. Agarwal // Aerospace Science of Technology. – № 38. – 2014 – pp. 56–63/

References

1. Transport Strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 // Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation of November 22, 2008 No. 1734p.
2. Smerdov V.N., Lyubimov V.I. Passenger high-speed vessels - important components of the transport complex of the Lena basin // River transport (XXI century). 2014. – No. 2. – P.65–68
2. Lyubimov V.I., Gakkel A.A., Baryshev V.I. "We don't swim, we fly!" – the motto of the "Elien" company // V. I. Lyubimov, A. A. Gakkel, V. I. Baryshev. St. Petersburg, 2007. – 68 p.
3. Fedoreev G.A., Znatkov A.S., Shaub P.A. Ekranoplans and high-speed transport vessels for Primorye and the development of the Arctic regions of Yakutia // Shipbuilding. 2017 – No. 2. P.12–16.
4. Lyubimov V.I., Ronnov E.P., Malyshkin A.G., Baryshev V.I. Current status, development trends and commercial use of high-speed vessels // Shipbuilding. 2019. – No. 5. – P. 13–18.
5. Lyubimov V. I., Varakozov Yu. G., Baryshev V. I. Technical and operational aspects of the high-speed vessels use in the Russian Federation transport system // Vestnik VGAVT. Issue 59. - N. Novgorod: Izd-vo FGBOU VO "VGUVT", 2020. - P. 69-71.
6. Lyubimov V.I., Baryshev V.I. Promising areas for the use of vehicle ekranoplanes // River transport (XXI century). – 2015. – No. 2. – P. 57–59.
7. Lyubimov V. I., Ronnov E. P. The Use of amphibious hovercraft is an important component of technological progress on water transport Shipbuilding, 2020 – № 2. – P. 17-20.
8. Gorbachev Y., Buyanov A., Crickets A. Court on the hovercraft is a real way to improve the efficiency and economic security // Marine Fleet, 2015. - No. 2. - P. 15-17.
9. Zalek S., Karr D.G., Jabbarizadeh S., Maki K.J. Modeling of air cushion vehicle's flexible seals under steady state conditions // Ocean Systems Engineering. 2011, vol.1., no.1, P.17–28
10. Xuan Zhang, Qiulin Qu, Ramesh K., Aqerval Computations of Flow Fields of an Airfoil and a Wing with Gurney Flap in Ground Effect //35th AIAA Aerodynamics conference, 2017. doi:10.2514/6.2017-4466. <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2017-4466>
11. Banks, Ioe. Free-surface CFD Prediction of Components of Ship Resistance for KCS / Ioe Banks, A.B. Philips, Stephen R u Turnock // 13 th Numerical Towing Tank Symposium – 2010 – Duisburg / Germany.
12. Dakhrabadi, M. Tavakoli. Influence of main and outer wings on aerodynamic characteristics of compound wing-in-ground effect / M. Tavakoli Dakhrabadi, M.S. Self // Aerospace Science and technology – № 55 – 2016 – pp. 177–188.
13. Iamei, Salld. Numerical Investigation on Aerodynamic Characteristics of Compound Wing-in-Ground Effect / Salld Iamei, Adi Maimun, Shuhaimi Mansor, Nor Azwadi, Agoes Priyanto // Journal of Aircraft. – Vol. 49. – № 5. – 2012 – pp. 1297–1305.
14. Kleinsorge, Luts. About of Effect of Discretisation Schemes on the Results of Numerical Calculation of Ship Flow / Luts Kleinsorge, Robert Brousart, Katia Hartig // 15-th Numerical Towing Tank Symposium. – 2012 – Cortona / Italy.
15. Qua Qiulin. Numerical study of the aerodynamics of a NACA 4412 airfoil in dynamic ground effect / Qiulin, Xi Iiaa, Wei Wanga, Peiging Lina, Ramesh K. Agarwal // Aerospace Science of Technology. – № 38. – 2014 – pp. 56–63/

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Виктор Иванович Любимов, д.т.н.,
профессор кафедры 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

Viktor I. Lyubimov, Doctor of Technical
Sciences, Professor of the "Volga State
University of Water Transport", 5, Nesterov st,
Nizhny Novgorod, 603951, e-mail:
ptps@vgavt_nn.ru

Статья поступила в редакцию 11.03.2021; опубликована онлайн 15.06.2021
Received 11.03.2021; published online 15.06.2021