

УДК 659.62

DOI: 10.37890/jwt.vi86.677

Ледовый паспорт речного ледокола: оптимизация проекта

В.А. Лобанов

ORCID: 0000-0002-0931-7317

В.И. Тихонов

ORCID: 0000-0002-3147-0668

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

Аннотация. Статья завершает цикл авторских публикаций с обзором ледовых качеств речного ледокола проекта 1191 типа «Капитан Евдокимов».

Отмечено, что исследованное судно стало реализацией экспериментального проекта в речном ледоколостроении – принципиального изменения традиционных ледокольных обводов корпуса судна. В качестве положительного результата этого эксперимента зафиксирован высокий уровень критерия «ледопроходимость/осадка» у данного судна, что сохраняет группировку ледоколов проекта 1191 в активной эксплуатации.

В качестве «негатива» эксперимента показано, что относительная ледовая ходкость по сравнению с предыдущим проектом ледоколов (1105) не была улучшена, а ледовая маневренность значительно ухудшена.

Заявлено, что в связи с «истощением» ресурса этих ледоколов в настоящее время обострилась проблема обновления ледокольного флота для ВВП и мелководных морских районов РФ. При этом критический анализ накопленного эксплуатационного и научного опыта должен стать основой разработки перспективных проектов речных ледокольных средств с применением современных CAE-технологий.

Ключевые слова: ледяной покров, ледокол, ледовые качества, ледокольный корпус

Ice passport of a river icebreaker: project optimization

Vasily A. Lobanov

ORCID: 0000-0002-0931-7317

Vadim I. Tikhonov

ORCID: 0000-0002-3147-0668

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article completes a series of author's publications with an overview of the ice performances of the Kapitan Evdokimov type 1191 river icebreaker.

It is noted that the investigated vessel became the implementation of an experimental project in river icebreaking – a fundamental change in the traditional icebreaking contours of the vessel's hull. As a positive result of this experiment, a high level of the criterion «ice breaking/draft» was protected for this vessel, which preserves the grouping of icebreakers of project 1191 in active operation.

As a «negative» of the experiment, it was shown that the relative ice propulsion ability compared to the previous icebreaker project (1105) was not improved, and ice maneuverability was significantly worsened.

It is stated that due to the «depletion» of the resource of these icebreakers, the problem of updating the icebreaker fleet for the inland waterway and shallow-water marine areas of the Russian Federation has now become more acute. At the same time, a critical analysis of the accumulated operational and scientific experience should become the basis for the development of promising projects for river icebreaking vessels using modern CAE technologies.

Keywords: ice cover, icebreaker, ice performances, icebreaker hull

Дискуссия

Настоящая работа подводит итог по ряду авторских публикаций с обзором ледовых качеств речного ледокола проекта 1191 типа «Капитан Евдокимов» [1-4]. Оценка таковых качеств была произведена только по натурно подтверждённым данным: официальным полевым испытаниям, многолетним научно-оперативным сопровождениям ледовых транспортных операций с участием судов данного проекта, различных рукописных источников, авторских архивов [5, 6].

Исследованное судно стало реализацией экспериментального проекта в речном ледоколостроении [7]. При этом следует признать, что эксперимент оказался неудачным. Пожалуй, единственным достоинством ледоколов данного типа является высокий уровень критерия «ледопроеходимость/осадка». Последнее пока оправдывает их содержание в ледокольной группировке «Росморпорта» даже при ощутимом возрасте проекта (более 40 лет).

Требования заказчика (МРФ РСФСР) к минимизации осадки ледокола с сохранением его большого водоизмещения и высокой мощности СЭУ (не менее, чем у предыдущей серии, проект 1105 типа «Капитан Чечкин» [8]) спровоцировали конструкторов и судостроителей к принципиальному отказу от традиционных ледокольных обводов корпуса, проверенных «хорошей ледовой практикой». При этом на этапе проектирования не был реализован научный прогноз основных ледовых качеств потенциального судна. Поэтому уже начальный период их эксплуатации выявил ошибочность базовых проектных решений: удельная ледопроеходимость не превысила уровень у ледокола проекта 1105, маневренные качества во льдах (и, особенно, поворотливость) значительно ухудшились (Рис.1 [6]). Последующие пробные попытки «косметических» правок у некоторых «подопытных» ледоколов этого типа уже не смогли оптимизировать проект.

Серийно было введено в эксплуатацию восемь судов проекта 1191 (март 1983 года – май 1986 года). С началом «перестроечного» периода и политической неустойчивости в стране, перераспределением и приватизацией государственного флота, ухудшением экономической ситуации с последующим отказом государственного финансирования строительство этих ледоколов было прекращено (а, равно, и серийное речное ледоколостроение). При этом необходимо отметить, что при всех недостатках данного проекта в настоящее время отсутствует альтернатива этим судам на внутренних водных путях и в прибрежных морских районах России. Однако их истощённый ресурс бесспорно актуализировал проблему обновления ледокольного флота для ВВП РФ, решение которой доступно только при государственной поддержке [9-11]. Критический анализ накопленного опыта должен стать основой разработки перспективных проектов речных ледокольных средств.

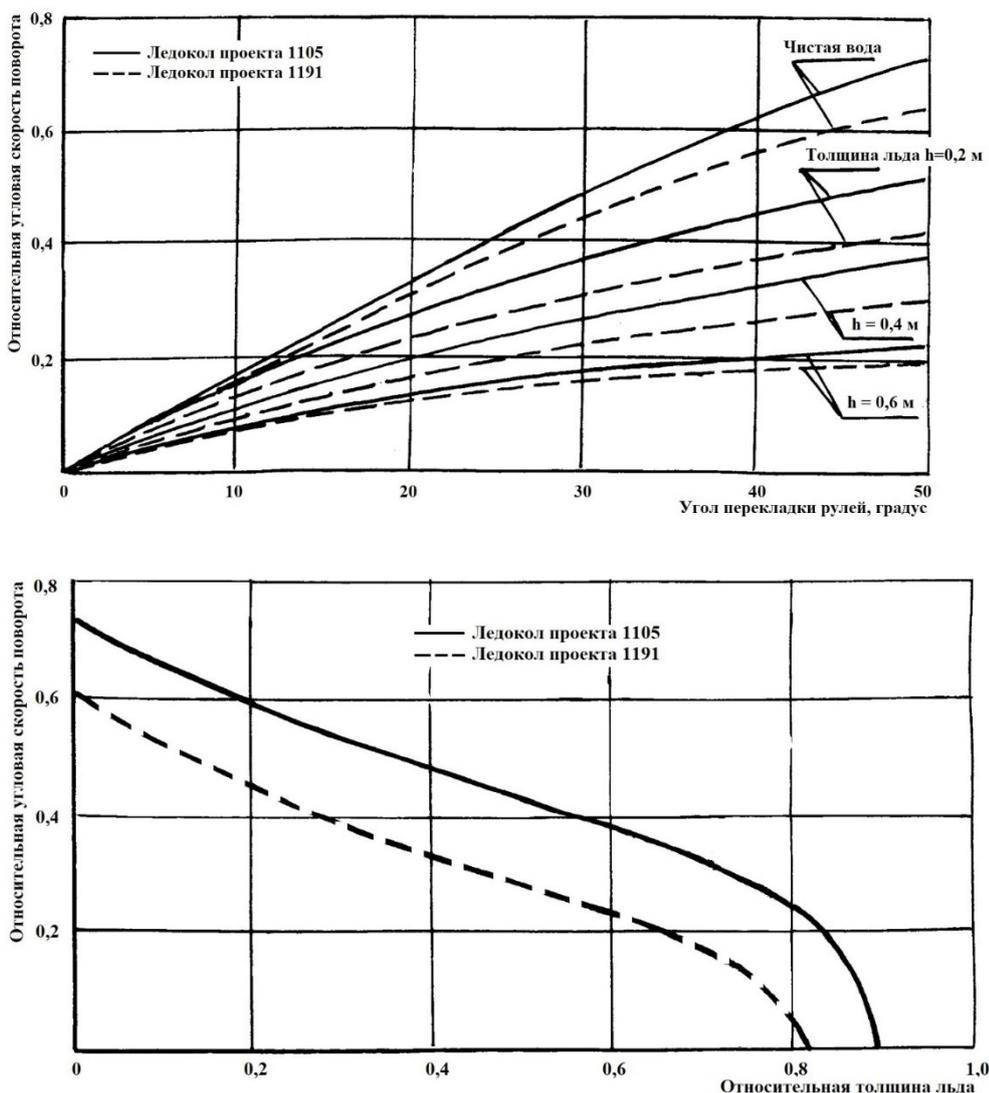


Рис. 1. Характеристики поворотливости ледоколов проектов 1105 и 1191 в сплошном льду

Оптимизация формы корпуса

При разработке ледового паспорта в первоначальный проект этого документа были включены рекомендации по улучшению поворотливости исследуемого судна, разработанные на основе трудов [12-14]. Однако в большей степени эти предложения носили качественный характер, что вызывало сомнения в пользу их публикации в паспорте. Оптимизация требовала научно обоснованных количественных изменений теоретического чертежа ледокола при разработке нового проекта. Первые попытки создать полуэмпирическую методику для решения этой задачи были представлены только в 1988 году [15], а до численного применения она была доведена лишь к 1990 году [6].

Для наглядной иллюстрации влияния формы корпуса судна на параметры поворотливости во льду, были сгенерированы три модели исследуемого ледокола: фактический (базовый) проект – 1191; модифицированные – 1191а и 1191б. При

сохранении осадки и водоизмещения судна, несколько увеличены длина и ширина модифицированных проектов, но уменьшены коэффициенты полноты ватерлинии и общей полноты судна. Сравнительные характеристики формы корпуса базового и модифицированных ледоколов приведены в табл. 1, а вид их ватерлиний показан на рис. 2.

Таблица 1

Характеристики формы корпуса ледоколов

Характеристики корпуса	Модели ледоколов		
	1191 (базовая)	1191a	11916
Длина, м	73,0	76,0	79,0
Ширина, м	16,0	16,3	16,5
Осадка, м	2,5	2,5	2,5
Коэффициент общей полноты корпуса	0,75	0,71	0,65
Угол входа ватерлинии на нулевом теоретическом шпангоуте, рад [6]	1,05	0,98	0,98
Коэффициент общей полноты ватерлинии	0,92	0,8	0,78
Коэффициент полноты носовой ветви ватерлинии	0,85	0,85	0,85
Коэффициент полноты кормовой ветви ватерлинии	0,95	0,77	0,75
Параметр формы корпуса [6]	0,3	0,3	0,3

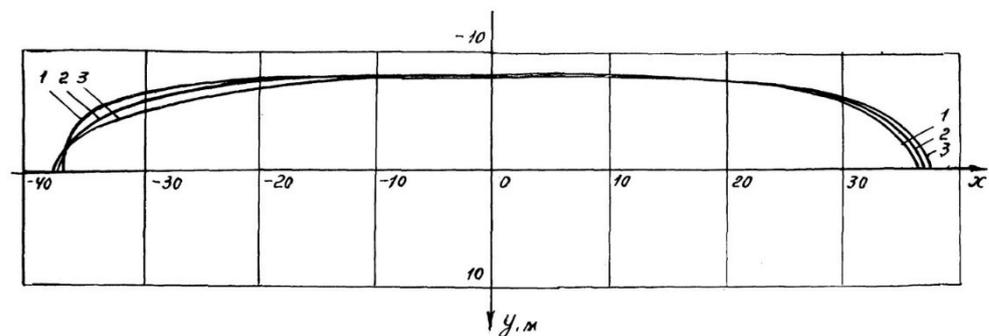


Рис. 2. Ватерлинии моделей ледоколов (1 – 1191; 2 – 1191a; 3 – 11916)

Поскольку предметом анализа являлась поворотливость, основное внимание уделено изменению формы корпуса в кормовой оконечности, направленному на уменьшение величины момента корпусных ледовых сил, который значительно демпфирует поворот судна во льдах. С этой целью коэффициент полноты кормовой ветви ватерлинии в варианте 1191a уменьшен на 18,9%, а в варианте 11916 – на 21,4%, что приводит к уменьшению коэффициента общей полноты корпуса на 5,3% и 13% соответственно. Как видно из рис. 2, такие изменения сопровождаются постепенным заужением кормы, уходу от цилиндрической вставки и смещению в сторону носа наиболее широкого сечения корпуса.

Расчёты угловой скорости на установившейся циркуляции в сплошном льду и скорости прямолинейного движения, выполненные с использованием упомянутой методики, позволили получить результаты, приведённые на рис. 3 и в табл. 2.

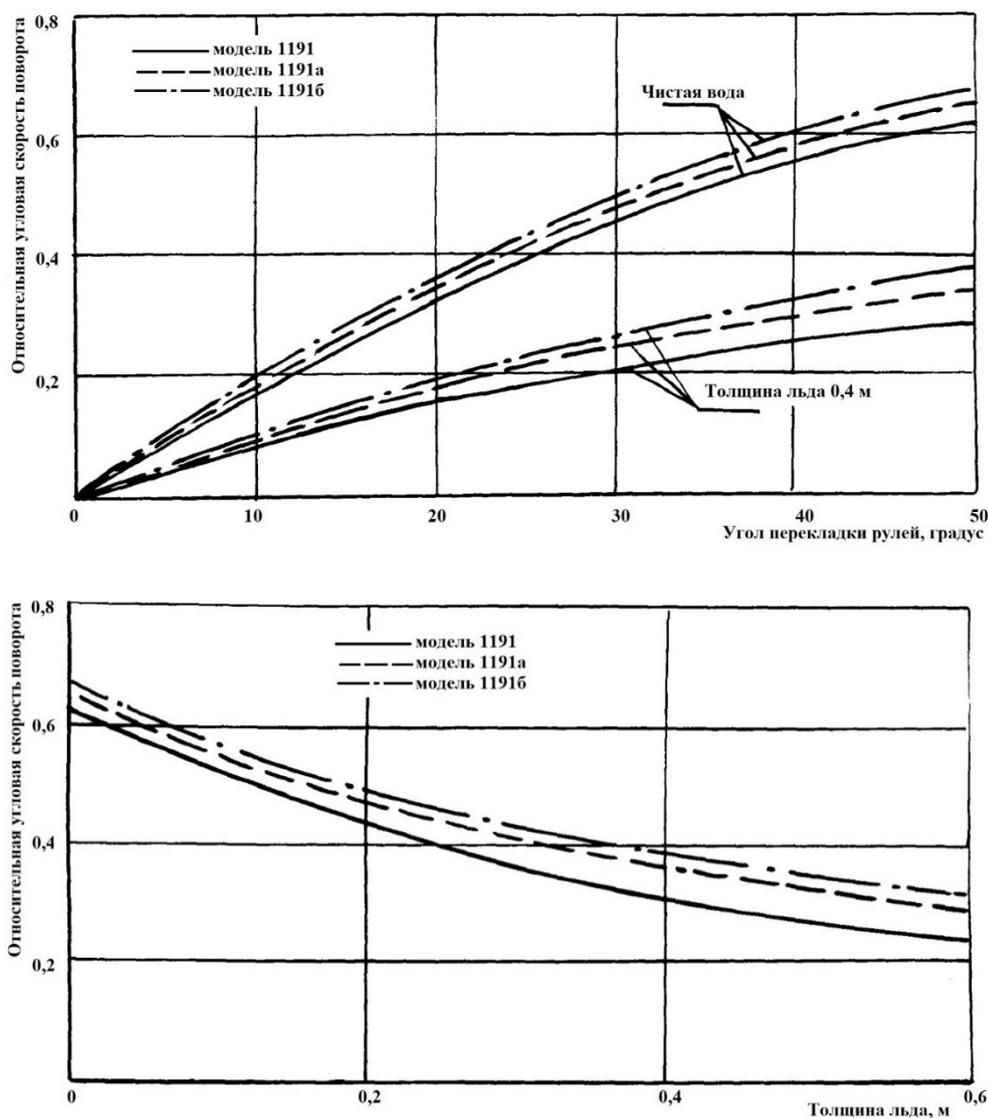


Рис. 3. Характеристики поворотливости моделей ледоколов

Изменения формы ватерлинии существенно сказались на поворотливости ледоколов во льду и на чистой воде. Как видно из рис. 3, относительная угловая скорость при переложенных «на борт» рулями во льду толщиной 0,4 м возросла у ледокола проекта 1191а на 17%, у ледокола проекта 11916 – на 26% по сравнению с базовым судном. На чистой воде это увеличение составляет соответственно 5 и 8%.

Таблица 2

Ходовые характеристики моделей ледоколов

Толщина льда, м	Скорость движения модели ледокола в сплошном льду, м/с		
	1191 (базовая)	1191а	11916
Чистая вода	7,5	7,7	7,8
0,2	4,5	4,8	5,1
0,4	2,8	3,2	3,4

Толщина льда, м	Скорость движения модели ледокола в сплошном льду, м/с		
	1191 (базовая)	1191a	11916
0,6	1,8	2,05	2,25
0,8	1,05	1,25	1,4
1,0	0,0	0,0	0,7

Анализируя данные табл. 2, следует отметить, что, несмотря на незначительное увеличение ширины корпуса, ходовые качества ледоколов моделей 1191a и 11916 улучшились. Можно полагать, что при сохранении практически неизменной формы носа уменьшение ледового сопротивления связано с сокращением зоны взаимодействия обломков льда с корпусом судна в кормовой оконечности.

Приведённые примеры показывают, что даже сравнительно небольшие изменения теоретического чертежа могут привести к заметному улучшению ходовых и маневренных качеств судна во льдах. Использование предложенной математической модели в сочетании с опытом и интуицией проектировщика позволит более обоснованно решать задачу оптимизации формы корпуса судна, предназначенного для эксплуатации в ледовых условиях. Такая оптимизация может быть осуществлена путём разработки (в рамках проектного задания) ряда вариантов теоретического чертежа и выполнения для каждого варианта расчётов ледовой ходкости и поворотливости.

Что касается целевого проектировочного расчёта оптимальных характеристик корпуса для заданных ледовых условий, то такая «прямая» задача в настоящее время пока не решена сколь-нибудь удовлетворительно. Поэтому под оптимизацией в данном случае понимается выбор наилучшего варианта теоретического чертежа судна из числа тех, для которых выполнены поверочные расчёты по указанной методике.

Следует отметить, что применение разработанной математической модели произвольного движения судна в ледовых условиях не ограничивается рассмотренными случаями движения судна на прямом курсе и установившейся циркуляции. С её помощью может быть выполнен анализ и разнообразных по характеру манёвров при нестационарном движении. Таким образом могут быть определены характеристики эволюционного движения, разгона, торможения судна и т.п.

При этом автор считает необходимым сделать принципиальное предупреждение потенциальным пользователям упомянутой методики. Она имеет полуэмпирическую природу на основе натурных и экспериментальных данных ледовых испытаний ограниченной группы речных судов с традиционными обводами и движительно-рулевыми комплексами (ДРК). Экстраполяция этой методики на суда с иным формообразованием и типами ДРК, наверняка, будет сопровождаться ухудшением адекватности результата расчётов и пониженной оправдываемостью прогноза ледовых качеств проектируемых судов вплоть до его полной неприемлемости. В этих случаях можно рекомендовать применение САЕ-технологий для решения подобных задач [16]. Значительная ресурсозатратность САЕ-испытаний потенциального флота ледового плавания оправдывается высоким уровнем адекватности и наглядности моделирования при универсальности этого метода.

Заключение

Исследованное судно стало реализацией экспериментального проекта в речном ледоколостроении, суть которого – принципиальный уход от традиционных ледокольных обводов корпуса, проверенных «хорошей ледовой практикой». В качестве положительного результата этого эксперимента можно отметить высокий уровень критерия «ледопроеходимость/осадка» у данного судна, что сохраняет группировку ледоколов проекта 1191 в штате «Росморпорта». При этом его относительная ледовая ходкость по сравнению с предыдущим проектом ледоколов

(1105) не была улучшена, а ледовая маневренность значительно ухудшена. В связи с «истощением» ресурса этих ледоколов в настоящее время обострилась проблема обновления ледокольного флота для ВВП и мелководных морских районов РФ. Критический анализ накопленного опыта должен стать основой разработки перспективных проектов речных ледокольных средств.

Список литературы

1. Лобанов, В. А. (2023). Ледовый паспорт речного ледокола: ходкость. Научные проблемы водного транспорта, (76), 219-228. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi76.390>
2. Лобанов, В. А. (2024). Ледовый паспорт речного ледокола: маневренность. Научные проблемы водного транспорта, (78), 169-177. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78.438>
3. Лобанов, В. А. (2024). Ледовый паспорт речного ледокола: винтеризация и реконструкция. Научные проблемы водного транспорта, (81), 193-201. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi81.544>
4. Лобанов, В. А., Тихонов, В. И., Уртминцев, Ю. Н. (2025). Ледовый паспорт речного ледокола: особые работы. Научные проблемы водного транспорта, (85), 191-197. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi85.628>
5. Ледовый паспорт ледокола проекта 1191. – Отчёт по теме НИР. Тронин В.А. – Горький, ГИИВТ, 1986. – 32 с.
6. Тронин В.А. Повышение безопасности и эффективности ледового плавания судов на внутренних водных путях: диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук: специальность 05.22.16 – Судовождение / Горький, 1990. – 414 с.
7. Серийные речные суда. Пассажирские суда; сухогрузные теплоходы и танкеры; толкачи, буксиры; баржи; прочие суда. Т. 8, ЦБНТИ Минречфлота. – М.: Транспорт, 1987. – 230 с.
8. Справочник по серийным речным судам. Пассажирские суда; сухогрузные теплоходы и танкеры; толкачи, буксиры; баржи; прочие суда. Т. 7, ЦБНТИ Минречфлота. – М.: Транспорт, 1981. – 232 с.
9. Стратегия развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 февраля 2016 г. № 327-р. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/8910>
10. Дрейбанд Д.В., Коршунов Д.А., Ничипорук А.О. Развитие инфраструктуры внутреннего водного транспорта: стратегические задачи, проблемы и перспективы // Научные проблемы водного транспорта, №74(1), 2023. – с. 96-104, DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi74.347>
11. Веселов Г.В., Кузмичев И.К., Минеев В.И., Новиков А.В. Обновление речного флота в условиях дефицита инвестиций // Научные проблемы водного транспорта, №61(2019), 2019. – с. 90-96. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/issue/view/4>
12. Тронин В.А. Результаты натурных испытаний маневренных характеристик речных ледоколов. - Тр./ГИИВТ, вып. 90. – М.: Транспорт, 1968, с. 72-77.
13. Тронин В.А., Пушкарев Л.В. Управление речными судами при плавании в ледовых условиях. - М.; Транспорт, 1973. – 112 с.
14. Тронин В.А., Сандаков Ю.А. Характеристики ледовой ходкости и маневренности ледокольных и транспортных судов. – Проблемы Арктики и Антарктики, вып. 50. - Л.: Гидрометеиздат, 1977, с. 105-109.
15. Тронин В.А. Определение ледовых усилий, действующих на корпус судна при криволинейном движении. – Тр./ГИИВТ, вып. 234, – Горький, 1988, с. 3-91.
16. Теоретические основы обеспечения безопасности судовождения на внутренних водных путях: монография / А.Н. Клементьев, И.К. Кузьмичёв, В.А. Лобанов [и др.]; под. ред. И.К. Кузьмичёва. – Нижний Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – 124 с. – ISBN 978-5901722-73-2. – Текст: непосредственный.

References

1. Lobanov, V. A. (2023). Ledovyj pasport rechnogo ledokola: hodkost'. Nauchnye problemy vodnogo transporta, (76), 219-228. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi76.390>
2. Lobanov, V. A. (2024). Ledovyj pasport rechnogo ledokola: manevrennost'. Nauchnye problemy vodnogo transporta, (78), 169-177. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78.438>
3. Lobanov, V. A. (2024). Ledovyj pasport rechnogo ledokola: vinterizaciya i rekonstrukciya. Nauchnye problemy vodnogo transporta, (81), 193-201. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi81.544>

4. Lobanov, V. A., Tikhonov V. I., Urtmintsev, Y.N. (2025). Ledovyy pasport rechnogo ledokola: osobyе raboty. Nauchnye problemy vodnogo transporta, (85), 191-197. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi85.628>
5. Ledovyy pasport ledokola proekta 1191. – Otchyot po teme NIR. Tronin V.A. – Gor'kij, GIIVT, 1986. – 32 s.
6. Tronin V.A. Povyshenie bezopasnosti i effektivnosti ledovogo plavaniya sudov na vnutrennih vodnyh putyakh: dissertaciya na soiskanie uchyonoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk: special'nost' 05.22.16 – Sudovozhdenie / Gor'kij, 1990. – 414 s.
7. Serijnye rechnye suda. Passazhirskie suda; suhogruzye teplohody i tankery; tolkachi, buksiry; barzhi; prochie suda. T. 8, CBNTI Minrechflota. – M.: Transport, 1987. – 230 s.
8. Spravochnik po serijnym rechnym sudam. Passazhirskie suda; suhogruzye teplohody i tankery; tolkachi, buksiry; barzhi; prochie suda. T. 7, CBNTI Minrechflota. – M.: Transport, 1981. – 232 s.
9. Strategiya razvitiya vnutrennego vodnogo transporta Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda, utverzhennaya rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 29 fevralya 2016 g. № 327-r. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/8910>
10. Dreyband D.V., Korshunov D.A., Nichiporuk A.O. Razvitie infrastruktury vnutrennego vodnogo transporta: strategicheskie zadachi, problemy i perspektivy // Nauchnye problemy vodnogo transporta, №74(1), 2023. – s. 96-104, DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi74.347>
11. Veselov G.V., Kuzmichev I.K., Mineev V.I., Novikov A.V. Obnovlenie rechnogo flota v usloviyah deficita investicij // Nauchnye problemy vodnogo transporta, №61(2019), 2019. – s. 90-96. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/issue/view/4>
12. Tronin V.A. Rezul'taty naturnyh ispytaniy manevrennyh harakteristik rechnyh ledokolov. – Tr./GIIVT, vyp. 90. – M.: Transport, 1968, s. 72-77.
13. Tronin V.A., Pushkarev L.V. Upravlenie rechnymi sudami pri plavanii v ledovyh usloviyah. – M.; Transport, 1973. – 112 s.
14. Tronin V.A., Sandakov YU.A. Harakteristiki ledovoj hodkosti i manevrennosti ledokol'nyh i transportnyh sudov. – Problemy Arktiki i Antarktiki, vyp. 50. - L.: Gidrometeoizdat, 1977, s. 105-109.
15. Tronin V.A. Opredelenie ledovyh usilij, dejstvuyushchih na korpus sudna pri krivoliniyem dvizhenii. – Tr./GIIVT, vyp. 234, – Gor'kij, 1988, s. 3-91.
16. Teoreticheskie osnovy obespecheniya bezopasnosti sudovozhdeniya na vnutrennih vodnyh putyakh: monografiya / A.N. Klement'ev, I.K. Kuz'michyov, V.A. Lobanov [i dr.]; pod. red. I.K. Kuz'michyova. – Nizhnyj Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2020. – 124 s. – ISBN 978-5901722-73-2. – Tekst: neposredstvennyj.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Лобанов Василий Алексеевич, профессор кафедры Судовождения и безопасности судоходства, доцент, д.т.н., кафедра Судовождения и безопасности судоходства, Волжский государственный университет водного транспорта» (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, Россия, Нижний Новгород, Нестерова 5, e-mail: lobbas@mail.ru; тел: +7 910 388 56 33

Vasily A Lobanov, Professor of department of Navigation and safety of navigation, associate professor, Dr. Sci. Tech., department of Navigation and safety of navigation, Volga State University of Water Transport (FSFEI HE VSUWT), 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Nesterova 5

Тихонов Вадим Иванович, профессор кафедры Судовождения и безопасности судоходства, доцент, д.т.н., кафедра Судовождения и безопасности судоходства, Волжский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «ВГУВТ»), 603950, Россия, Нижний Новгород, Нестерова 5, e-mail: vitnn12@mail.ru

Vadim I Tikhonov, Professor of department of Navigation and safety of navigation, associate professor, Dr. Sci. Tech., department of Navigation and safety of navigation, Volga State University of Water Transport (FSFEI HE VSUWT), 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Nesterova 5

Статья поступила в редакцию 19.12.2025; принята к публикации 22.01.2026; опубликована онлайн 20.03.2026. Received 19.12.2025; published online 20.03.2026.