

УДК 659.62

DOI: 10.37890/jwt.vi78.438

Ледовый паспорт речного ледокола: маневренность

В.А. Лобанов

ORCID: 0000-0002-0931-7317

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

Аннотация. Работа продолжает ряд статей с анализом опыта эксплуатации ледоколов проекта 1191 в ледовых условиях внутренних водных путей и прибрежных морских районов. Настоящая публикация посвящена обобщению данных натурных наблюдений и испытаний ледовой маневренности судна.

В табличной форме даны инерционные характеристики, курсовая устойчивость и параметры циркуляции ледокола в сплошных и битых льдах различных характеристик в зависимости от режимов работы его движительно-рулевого комплекса и вспомогательных систем. В графическом виде проиллюстрированы условия, возможности и технология выполнения маневров в предельных и запредельных льдах.

Проведён сравнительный анализ маневренных качеств судна на чистой воде и в ледовых условиях.

Ключевые слова: ледяной покров, ледокол, ледовые качества, ледовая маневренность.

Ice passport of a river icebreaker: maneuvering ability

Vasily A. Lobanov

ORCID: 0000-0002-0931-7317

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The work continues with a number of articles analyzing the experience of operating icebreakers of Project 1191 in ice conditions of inland waterways and coastal marine areas. This publication is devoted to the generalization of data from field observations and tests of ice maneuverability of the vessel.

The inertial characteristics, course stability and circulation parameters of the icebreaker in fast and broken ice of various characteristics are given in tabular form, depending on the operating modes of its propulsion and steering complex and auxiliary systems. The conditions, capabilities and technology of performing maneuvers in extreme and exorbitant ice are illustrated graphically.

A comparative analysis of the maneuverability performances of the vessel in clear water and in ice conditions was carried out.

Keywords: ice cover, icebreaker, ice performances, ice maneuvering ability.

Введение

Настоящей работой автор продолжает заявленную серию публикаций натурно зафиксированных ледовых качеств ледокола типа «Капитан Евдокимов» (проект 1191) [1, 2].

Текущий год стал юбилейным для судов данного проекта – минуло сорок лет спуска на воду головного ледокола. Промышленно-экономический спад в годы «перестройки» не позволил «осилить» более восьми единиц этого проекта к середине мая 1986 года и «похоронил» серийное строительство речного ледокольного флота для России. В последующие годы для потребностей внутренних водных путей (ВВП) были осуществлены только отдельные несерийные проекты. Последний из таковых – «Невская застава» (пр. 2805 [3]) отмечен 2010 годом реализации.

В настоящее время «Росморпорт» интенсивно эксплуатирует ледоколы типа «Капитан Евдокимов», несмотря на их «возрастные» проблемы. Районы эксплуатации – это низовья к югу текущих рек, прибрежные акватории южных морей, сибирские реки и прибрежные приполярные и арктические воды России. Практически использованный потенциал этих судов, а также серии их предшественников типа «Капитан Чечкин» (ледокол пр. 1105 [4]) и прочего внутреннего ледокольного флота при его невоспроизводимости с очевидностью усугубил проблемы обеспечения безопасности и эффективности ледового судоходства на ВВП России.

Решение задач ледокольного обеспечения внутреннего и прибрежного судоходства при наметившихся тенденциях импортозамещения и поддержки со стороны государства представляется возможным на базе судостроительного потенциала России [5-7]. Однако следует признать, что «ныне имеет место быть» ощутимая потеря преемственности в сфере отечественного ледоколостроения для ВВП, что чревато непрофессиональными решениями. Поэтому необходим предварительный сбор, обобщение и критический анализ ледовых качеств отработавших и эксплуатируемых речных ледокольных судов. При этом имеет значение опыт не только производителей, но и различных научных коллективов воднотранспортной отрасли (в том числе и ВУЗовских), отметившихся вкладом в «продление речной навигации». Последнее является залогом совершенствования перспективных судов.

Автор является членом экспертного подразделения ФГБОУ ВО «ВГУВТ» по оценкам ледовых качеств речного флота и формированию регламентирующих и рекомендательных документов по безопасности ледового плавания [8]. Ледовый паспорт ледокола проекта 1191 является такой разработкой. Сейчас он оформлен в виде рукописи «для служебного пользования» [9]. Действие этого грифа истекло, поэтому поэтапная публикация этого документа допустима. В данной работе печатаются натурные данные испытаний ледовой маневренности – одного из основных ледовых качеств ледокола [10-13]. Также опубликованы некоторые характеристики маневренности для условий чистой воды, учитывая, что в навигационный период все ледоколы являются судами-спасателями.

Инерционные характеристики

Основные технические параметры ледокола, влияющие на его маневренные качества во льдах приведены в источниках [1, 2].

Справочные материалы по инерционным характеристикам судна показаны в табл.1. При этом время реверса ГЭД при активном торможении составляло 10 с, путь и время выбега ограничены падением скорости движения до 0,1 от начального уровня.

Таблица 1

Инерционные характеристики ледокола

Суммарная мощность ГЭД, кВт	Толщина льда, м	Скорость в начале манёвра, км/ч	Глубина акватории, м	Инерционные характеристики	
				Путь, м	Время, с
Активное торможение, сплошной лёд					
3696	0,49	5,4	6	12	16
3691	0,64	5,2	15	15	15
3710	0,60	4,1	11-15	9	14
3700	0,67	4,4	8-12	10	14
*3614	0,70	4,0	9-15	11	15
3710	0,90	2,5	16	2	6
*3710	1,00	2,6	16-17	4	7

Суммарная мощность ГЭД, кВт	Толщина льда, м	Скорость в начале манёвра, км/ч	Глубина акватории, м	Инерционные характеристики	
				Путь, м	Время, с
Активное торможение, чистая вода					
1129		19,3	5	203	65
2402		21,9	5	195	56
3691		23,0	5	210	55
1129		20,3	16	180	74
2376		23,9	16	200	53
3696		26,0	16	160	44
Выбег, сплошной лёд					
3696	0,59	4,4	6	12	20
3691	0,59	5,1	8-15	19	22
3710	0,62	4,2	5	8	13
3700	0,63	4,4	8-10	11	17
3614	0,64	3,8	8-13	9	16
3710	0,68	3,6	14	9	14
3710	0,72	3,3	9-15	8	15
3710	0,74	3,1	8	6	14
*3710	0,74	3,8	10	15	21
Выбег, чистая вода					
1100		19,5	5	775	283
2404		22,4	5	840	284
3614		24,4	5	907	302
1129		20,4	16	705	254
2409		24,9	16	885	282
3710		26,3	16	898	275

*Работает ПОУ

Устойчивость на курсе

Натурные данные по устойчивости ледокола на курсе приведены в табл.2.

Таблица 2

Устойчивость ледокола на курсе

Толщ. льда, м	Ширина канала, м	Сплоч. льда (относит. шкала)	Высота снега, м	Скорость движения, км/ч	Кол-во перекладок рулей в мин.	Средний угол перекладки рулей, градус	Амплит. угла рыск., градус
Сплошной лёд							
0,59		1,0	0,12	9,0	1,3	18,6	0,9
Ледовый канал							
0,45	26	1,0		9,0	3,8	13,0	0,5
0,63	19-23	1,0		11,2	3,5	13,8	0,9
0,65	25-30	1,0		11,2	4,0	12,5	1,0
Чистая вода							
				13,0	3,9	7,7	0,9
				18,2	6,4	7,0	2,0
				18,4	2,7	1,9	0,3
				22,6	2,8	1,3	0,2
				23,1	3,6	0,9	0,2
**				19,4	1,3	4,2	2,2
**				22,3	2,1	4,4	2,4
**				23,0	1,9	6,2	3,2
**				20,2	0,6	2,0	0,2

Толщ. льда, м	Ширина канала, м	Сплоч. льда (относит. шкала)	Высота снега, м	Скорость движения, км/ч	Кол-во переключений рулей в мин.	Средний угол переключки рулей, градус	Амплит. угла рыск., градус
**				24,1	0,6	1,0	0,6
**				26,3	0,6	1,3	0,4

**Судном управляет авторулевой

Поворотливость

В битом льду и сплошном ровном льду толщиной до 0,4 м при наличии достаточной акватории обороты выполняются в виде циркуляции. Параметры циркуляции и оборотов ледокола на месте приведены в табл. 3 и 4 соответственно.

Таблица 3

Параметры циркуляции ледокола

Толщина льда, м	Высота снега, м	Глубина акватории, м	Суммарная мощность ГЭД, кВт	Угол переключки рулей, градус	Время развор. на обратн. курс, с	Диаметр циркуляции, м
Сплошной лёд						
0,69	0,14	10-12	3690	50	2220	1670
***0,64	0,19	8-13	3650	50	2490	1280
Чистая вода						
		5	1100	25	145	390
		5	1100	45	131	240
		16	1100	35	142	320
		5	2400	25	144	375
		5	2400	45	91	255
		16	2400	25	133	440
		16	2400	35	111	340
		5	3600	25	120	420
		5	3600	35	100	280
		5	3600	45	80	240
		16	3600	35	99	345

***ПОУ работает на полную мощность

Таблица 4

Параметры оборотов ледокола на месте (чистая вода)

Глубина акватории, м	Суммарная мощность ГЭД, кВт	Частота вращения ГЭД, об/мин	Положение рулей, градус	Время развор. на обратн. курс, с
Первый и второй ГЭД работают назад, третий и четвёртый - вперёд				
5,5	1115	194	Правый руль – лево 45 Левый руль – право 45	134,0
5,5	2385	249	То же	106,4
5,5	3640	290	То же	92,8
12,5	2290	245	То же	95,0
5,5	1101	192	Левый руль – право 45 Правый руль - прямо	139,9
5,5	2383	241	То же	111,4
5,5	3426	281	То же	95,8
10,5	2393	251	То же	99,8
12,5	2393	249	То же	103,0

Глубина акватории, м	Суммарная мощность ГЭД, кВт	Частота вращения ГЭД, об/мин	Положение рулей, градус	Время развор. на обратн. курс, с
10,5	2402	250	Рули прямо	156,2
Первый и второй ГЭД работают вперёд, третий и четвёртый - назад				
5,5	1101	191	Правый руль – лево 45 Левый руль – право 45	147,8
10,5	2385	245	То же	196,3
5,5	1110	188	Рули прямо	92,8
Первый и четвёртый ГЭД работают вперёд, второй и третий – назад				
10,5	2397	248	Рули право - 45	174,2

Сравнительная обработка данных ледового паспорта исследуемого судна [9] и результатов натурных испытаний предыдущих серий речных ледоколов [12] показывает, что его поворотливость способом циркуляции неудовлетворительна (Рис. 1).

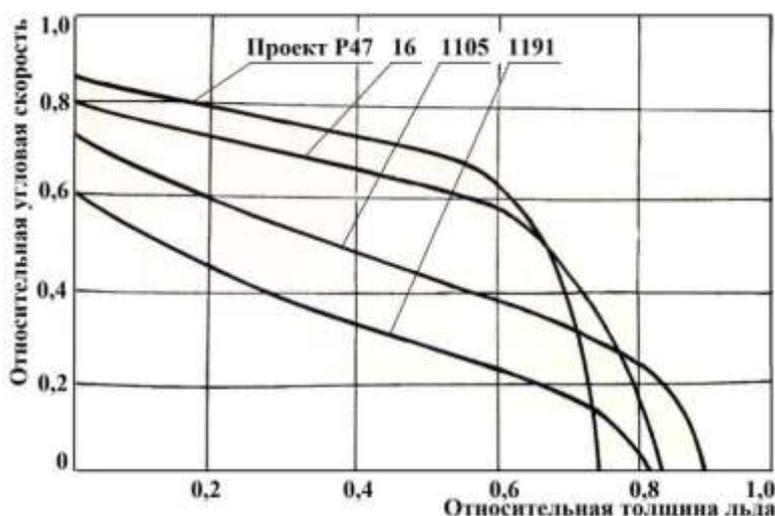


Рис. 1. Сравнительная характеристика поворотливости речных ледоколов в сплошных льдах

Анализ кривых рис. 1 показывает, что относительная угловая скорость поворота на циркуляции в сплошных льдах у ледокола проекта 1191 наименьшая в ряду его предшественников других проектов, не имеющих цилиндрических вставок.

Маневрирование в сложных ледовых условиях

В сплошном льду толщиной более 0,4 м значительная по длине цилиндрическая вставка ограничивает способность мелкосидящего ледокола изменять траекторию своего движения, поэтому обороты необходимо выполнять в виде последовательных манёвров. Типовые схемы оборотов судна представлены на рис. 2.

По схемам I и II обороты рекомендуется выполнять в осенних льдах разрушенностью 4-5 баллов, когда скорость прямолинейного движения превышает 10-12 км/ч. Причём, к схеме II следует переходить, если ледокол не может заколотиться кормой в кромку канала при отходе назад из положения 1 в положение 2 схемы I.

В сплошном льду толщиной 0,3-0,5 м, когда угловая скорость поворота ледокола незначительна, следует выполнять обороты по схемам III и IV, причём для отхода

назад из положения 3 схемы III и положения 5 схемы IV в некоторых случаях необходимо ослабить лёд путём работы винтов на передний ход.

Во сплошных льдах толщиной свыше 0,5-0,6 м ледокол не может двигаться задним ходом, поэтому обороты в этих условиях следует выполнять по схемам IV-V.

В более тяжёлых ледовых условиях при толщинах льда свыше 0,8-0,9 м скорость движения в ледовом канале уменьшается и ледокол плохо разворачивается в сплошном льду после разгона по каналу, поэтому следует выполнять обороты по схеме VI, причём четвертый закол (положение 7) необходимо выполнять, не доходя 30-50 м до места второго закола (положение 3).

Количество заколов, а, следовательно, и затраты времени на оборот, определяются как толщиной льда, размерами акватории оборота, наличием ветра и течения, так и мастерством судоводителя.

Значительно затруднено выполнение оборотов при движении против ветра и течения, когда наблюдается значительный снос и дрейф, судно прижимается к кромке льда и корму при отходе назад трудно, а иногда практически невозможно направить против течения и ветра.

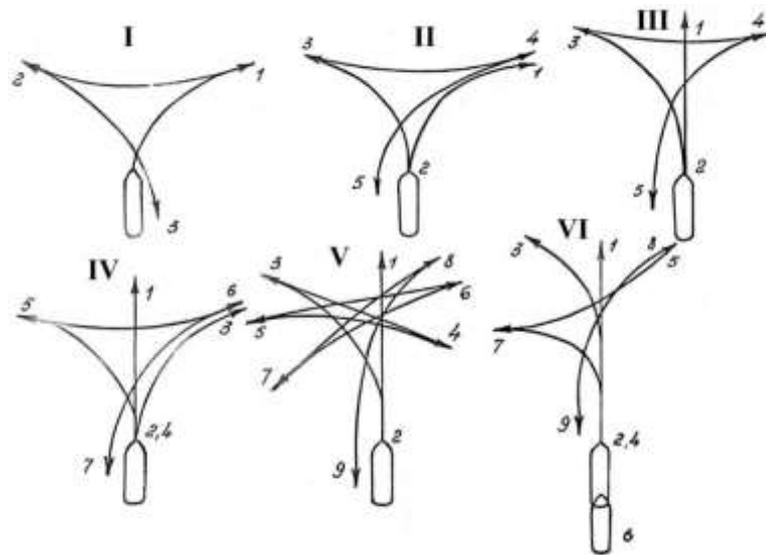


Рис. 2. Типовые схемы оборотов ледокола

В этом случае необходимо выполнить серию заколов, двигаясь передним ходом в сплошном льду, с целью подготовки акватории оборота и «кармана» для кормы ледокола у кромки фарватера в «тиховоде». Затем отвести ледокол в исходное положение (2-3 корпуса до акватории оборота) и, дав полный ход вперёд, разогнать ледокол до максимальной скорости и, переложив рули на необходимый борт в 70-100 метров ниже «кармана», развернуть ледокол по направлению к «карману», заправить в него корму, после чего выполнение оборота затруднений не вызывает.

При выполнении оборотов маневрирование ГЭД и рулями, в общем случае, выполняется следующим образом.

В первой фазе оборота положение 1 схем II-VI рис. 2 все главные двигатели реверсируются на задний ход, рули в положении «прямо», ледокол отводится на расстояние 2-3 корпуса судна для разгона. Разгон осуществляется по оси канала до максимально возможной для данных условий скорости и затем рули переключаются в необходимую для поворота сторону. Обычно при втором заколе ледокол разворачивается на 60-90 градусов, закалываясь в кромку канала примерно на длину корпуса. Затем ГЭД реверсируются и ледокол отводится из положения 3 схем II-IV,

VI рис. 1 назад по каналу для выполнения следующего закола. После выполнения необходимого для конкретных условий количества заколов и подготовки «кармана» для кормы ледокола (положение 5 схемы VI рис. 2) необходимо заправить корму в «карман» (из положения 3 в положение 4, из положения 5 в положение 6, из положения 7 в положение 8, схем II, IV и VI рис. 2 соответственно) или заколоться в кромку канала при движении задним ходом из положения 1 в положение 2, из положения 3 в положение 4, из положения 3, 5, 7 в положения 4, 6, 8 схем I, III, V рис. 2 соответственно) используя работу винтов «враздрай», причём скорость в этом случае не должна превышать 5-8 км/ч для обеспечения управляемого движения. После того, как ледокол наберёт указанную скорость, крайний ГЭД, а, в случае необходимости и средний, с противоположного повороту кормы борта (положение I, рис. 3), реверсируются вперед, корма при этом двигается в нужном направлении, а скорость движения поддерживается путём регулировки частоты вращения ГЭД, работающих с упором в противоположных направлениях. После того, как корма надёжно заколется в кромку льда, все ГЭД реверсируются назад (положение II, рис. 3) для обеспечения закола в кромку канала примерно на длину корпуса судна. Затем, все ГЭД реверсируются на передний ход и после небольшого разгона, рули переключаются в положение «на борт» (положение III, рис. 3).

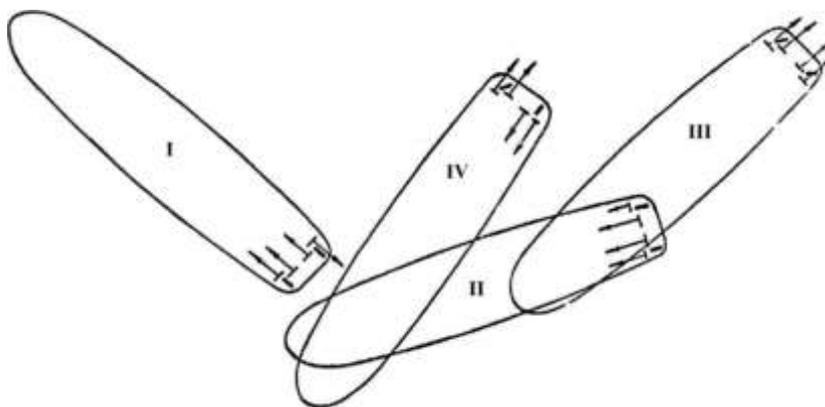


Рис. 3. Типовые схемы маневрирования ГЭД и рулями при оборотах ледокола (Стрелками обозначены направления гидродинамических струй от винтов)

После выхода кормы из сплошного льда скорость движения гасится путём реверса двух ГЭД на задний ход и ледокол разворачивается в битом льду, используя работу винтов «враздрай». При этом руль, расположенный за винтом, работающим на передний ход, переключается в необходимую для поворота сторону (положение IV, рис. 3). Следует помнить, что удовлетворительную способность изменять траекторию своего движения в сплошном льду толщиной свыше 0,3-0,4 м и закалываться в кромку канала ледоколы сохраняют при скоростях движения более 10-12 км/ч. Поэтому повороты с радиусом менее 500-1000 м, в зависимости от толщины льда, рациональнее выполнять набегам, после отхода назад на 200-300 м, переключку рулей необходимо осуществлять в конце ледового канала, а при толщине льда свыше 1,0 м непосредственно у его «тупика».

Несколько уменьшает радиус циркуляции ледокола в сплошном льду включение в работу ПОУ с противоположного повороту борта.

Заключение

Инерционные характеристики ледокола проекта 1191 обеспечивают его безопасное маневрирование на проводках и околках транспортных судов во всём спектре «рабочих» толщин льда.

Наличие «ложкообразной» носовой оконечности ухудшило курсовую устойчивость во льдах, требуя для удержания судна больших углов и частоты перекладки рулей.

Наличие протяжённой цилиндрической вставки (более 40% расчётной длины) ухудшило поворотливость судна.

В сплошных льдах толще средних ледокол имеет неудовлетворительную способность к «закалыванию» в кромку канала.

Эффективный оборот ледокола циркуляцией рекомендован только в разреженных битых льдах и сплошных льдах толщиной не более половинного уровня его ледопроеходимости.

В предельных и запредельных сплошных льдах и сильносплочённых битых льдах оборот выполним только последовательными поступательно-возвратными манёврами судна при соответствующих режимах работы движительно-рулевого комплекса и ПОУ.

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. Серийные речные суда. Пассажирские суда; сухогрузные теплоходы и танкеры; толкачи, буксиры; баржи; прочие суда. Т. 8, ЦБНТИ Минречфлота. – М.: Транспорт, 1987. – 230 с.
3. Инженерный центр судостроения. Буксир-ледокол «Невская Застава». URL: <https://old.ship-project.ru/ru/pages/296/531/>
4. 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.
5. 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>
6. 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>
7. 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>
8. Главное управление РМРС. Письмо № 314-2.2-2728 от 08.02.2012 о признании компетентности ФБОУ ВО «ВГАВТ».
9. Ледовый паспорт ледокола проекта 1191. – Отчёт по теме НИР. Тронин В.А. – Горький, ГИИВТ, 1986. – 32 с.
10. Теоретические основы обеспечения безопасности судовождения на внутренних водных путях: монография / А.Н. Клементьев, И.К. Кузмичёв, В.А. Лобанов [и др.]; под ред. И.К. Кузмичёва. – Нижний Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – 124 с. – ISBN 978-5901722-73-2. – Текст: непосредственный.
11. Ионов Б.П., Грамузов Е.М. Ледовая ходкость судов. 2 издание, исправленное. – СПб.: Судостроение, 2014. – 504 с., ил.
12. 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.

13. Quan Zhou, Heather Peng, Wei Qiu. Numerical investigations of ship-ice interaction and maneuvering performance in level ice. *Cold Regions Science and Technology*, Volume 122, February 2016, Pages 36-49.

References

1. Lobanov, V. A. (2023). Ledovyy pasport rechnogo ledokola: hodkost'. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, (76), 219-228. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi76.390>
2. Serijnye rechnye suda. Passazhirskie suda; suhogruzyne teplohody i tankery; tolkachi, buksiry; barzhi; prochie suda. T. 8, CBNTI Minrechflota. – M.: Transport, 1987. – 230 s.
3. Inzhenernyj centr sudostroeniya. Buksir-ledokol «Nevskaya Zastava». URL: <https://old.ship-project.ru/ru/pages/296/531/>
4. Spravochnik po serijnym rechnym sudam. Passazhirskie suda; suhogruzyne teplohody i tankery; tolkachi, buksiry; barzhi; prochie suda. T. 7, CBNTI Minrechflota. – M.: Transport, 1981. – 232 s.
5. 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>
6. 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>
7. Drejband 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>
8. Glavnoe upravlenie RMRS. Pis'mo № 314-2.2-2728 ot 08.02.2012 o priznanii kompetentnosti FBOU VO «VGAVT».
9. Ledovyy pasport ledokola proekta 1191. – Otchyot po teme NIR. Tronin V.A. – Gor'kij, GIIVT, 1986. – 32 s.
10. 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. – Nizhnij Novgorod: Izd-vo FGBOU VO «VGUVT», 2020. – 124 s. – ISBN 978-5901722-73-2. – Tekst: neposredstvennyj.
11. Ionov B.P., Gramuzov E.M. Ledovaya hodkost' sudov. 2 izdanie, ispravlennoe. – SPb.: Sudostroenie, 2014. – 504 p. – Tekst: neposredstvennyj.
12. Tronin V.A. Povyshenie bezopasnosti i effektivnosti ledovogo plavaniya sudov na vnutrennih vodnyh putyakh: dissertaciya na soiskanie uchyonoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk: special'nost' 05.22.16 – Sudovozhdenie / Gor'kij, 1990. – 414 s.
13. Quan Zhou, Heather Peng, Wei Qiu. Numerical investigations of ship-ice interaction and maneuvering performance in level ice. *Cold Regions Science and Technology*, Volume 122, February 2016, Pages 36-49.

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

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, 603950, Russia, Nizhny Novgorod, Nesterova 5

Статья поступила в редакцию 02.10.2023; опубликована онлайн 20.03.2024.
Received 02.10.2023; published online 20.03.2024