

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДОВОЙ ХОДКОСТИ ЛЕДОКОЛА «САНКТ-ПЕТЕРБУРГ» В КАРСКОМ МОРЕ

Е.М. Апполонов, докт. техн. наук, **В.А. Беляшов**, канд. техн. наук, **К.Е. Сазонов**, докт. техн. наук (ФГУП «ЦНИИ им. академика А.Н. Крылова», e-mail: krylov@krylov.spb.ru), **Д.С. Скрябин** (ФГУП «Росморпорт»), **Е.В. Игошин** (ОАО «Балтийский завод»).

В 2008-2009 гг. ОАО «Балтийский завод» по заказу ФГУП «Росморпорт» построил и сдал в эксплуатацию два ледокола пр. 21900 «Москва» (рис. 1) и «Санкт-Петербург». Ледоколы предназначены для эксплуатации в неарктических морях России (Балтийском море и др.) и имеют ледовый класс Российского морского регистра судоходства (РМРС) Icebreaker 6. Ледоколы оборудованы двумя винторулевыми колонками (ВРК) производства финской компании Steerprop мощностью по 8 МВт.



Рис. 1. Ледокол «Москва» пр. 21900

В зимнюю навигацию 2009—2010 гг. ледоколы успешно обеспечивали морские транспортные операции в Балтийском море. Однако необходимо было осуществить натурную проверку соответствия показателей их ледовой ходкости спецификационным требованиям, в соответствии с которыми предельная ледопроездимость ледокола в сплошном ровном льду при осадке 8 м и скорости 3 уз должна составлять не менее 1 м. При этом прочность льда на изгиб должна быть не менее 500 кПа.

По заданию ОАО «Балтийский завод» в 2009 г. специалисты ФГУП «ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова», имеющие многолетний опыт проведения натуральных испытаний судов для изучения их ледовых качеств, разработали программу испытаний ледокола, которая получила одобрение в РМРС. В соответствии с этой программой головной организацией в области определения ледовых качеств ледокола было выбрано ФГУП «ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова», а специалисты ГУ «ААНИИ» выполняли гидрометеорологическое обеспечение экспериментального рейса, выбор полигонов для проведения испытаний, а также измерение толщины льда.

В соответствии с программой при определении показателей ледовой ходкости ледокола измеряются скорость его движения, частота вращения движителей и/или гребных валов, мощность энергетической установки, расходуемая при движении, и толщина преодолеваемого льда. Одним из важных моментов является проведение режимов движения ледокола в одном и том же ледяном поле при различном уровне потребляемой мощности. Такие измерения позволяют с помощью специального пересчета экспериментальных данных

получить информацию о толщине льда, которую смог бы преодолевать ледокол при потреблении полной мощности при условии сохранения постоянной скорости движения. Полученные в ходе замеров первичные данные подлежат обработке путем внесения в них поправок, устраняющих различие между требуемыми программой испытаний параметрами ледяного покрова и реально измеренными в ходе проведения натурального эксперимента значениями. После корректировки экспериментальных данных может быть построена кривая ледопроеходимости, по которой определяется предельная ледопроежимость ледокола. Ниже приводится краткое описание процедуры обработки результатов.

При изучении маневренных качеств ледокола измеряются те же характеристики, что и при изучении ледовой ходкости. Кроме того, регистрируется угол перекладки органов управления и с помощью спутниковой навигационной системы ведется запись траектории движения ледокола при выполнении циркуляции. Эти данные также корректируются для устранения расхождений между требуемыми и измеренными характеристиками ледяного покрова.

Для проведения натуральных испытаний ФГУП «Росморпорт» был проведен исследовательский рейс ледокола «Санкт-Петербург» в Карское море в период с 3 по 8 июля 2010 г. Во время рейса на ледоколе находилась испытательная группа в составе 14 чел., в которой были 7 представителей ФГУП «ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова», специалист ГУ «ДАНИИ», наблюдающий от ЗАО «ЦНИИМФ», представитель РМРС, два представителя ОАО «Балтийский завод» и два представителя ФГУП «Росморпорт», обеспечивавших безопасность работ и осуществлявших общее руководство судном в рейсе и при проведении испытаний.

По предложению специалистов ГУ «ААНИИ» испытания проводились в южной или центральной частях Карского моря.

В процессе проведения натуральных ледовых испытаний была выполнена следующая программа, представленная в табл. 1, где указаны установочные значения мощности двигателей. Реальные значения мощности, потребляемой электродвигателями ВРК, измерялись в процессе испытаний и не всегда соответствовали установочным.

Таблица 1

Программа ледовых испытаний	
№ режима	Вид испытаний
1	Толстый лед разрушенностью 1–2 балла, торосистость 2 балла. Прямолинейное движение передним ходом. Мощность 100%
2	Лед средней толщины разрушенностью 1–2 балла, торосистость около 1 балла. Прямолинейное движение задним ходом. Мощность 100%
3	Однолетние тонкие и средние льды разрушенностью 2 балла. Прямолинейное движение задним ходом. Мощность 30, 50, 70 и 100%
4	Однолетние тонкие и средние льды разрушенностью 2 балла. Циркуляция задним ходом. Угол перекладки ВРК 15, 30 и 45°. Мощность 100%
5	Однолетние тонкие и средние льды разрушенностью 2 балла. Циркуляция передним ходом. Угол перекладки ВРК 15, 30 и 45°. Мощность 100%
6	Однолетний лед средней толщины разрушенностью 2–3 балла. Прямолинейное движение передним ходом. Мощность 40, 60, 80 и 100%
7	Однолетний лед разрушенностью 2–3 балла. Разворот маневром «звезда». Мощность переменная

При проведении каждого испытания регистрировались следующие параметры:

- скорость движения ледокола, определяемая с помощью спутниковой системы GPS по штатным приборам, а также с помощью переносной системы GPS;
- мощность, потребляемая каждым из электродвигателей вала ВРК. Измерения выполнялись специалистами ФГУП «ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова» путем

торсиографирования промежуточного вала ВРК и одновременно по штатным приборам судна;

- частота вращения гребных валов ВРК. Измерения выполнялись специалистами ФГУП «ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова» по датчикам оборотов при торсиографировании валов и по штатным приборам судна.

После серии испытательных режимов специалист ГУ «ААНИИ» спустился на лед для измерения его толщины. Прочностные свойства льда определяли специалисты ФГУП «ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова» путем измерения температуры выбуренного из ледяного покрова керна и последующего расчета в соответствии с методикой [1].

Испытания в сплошных ровных льдах при движении ледокола «Санкт-Петербург» на режимах движения передним ходом проводились в южной части Карского моря. В июле ледяной покров здесь характеризуется большой степенью разрушенности. Практически все ледяные поля имели на своей поверхности снежицы. Некоторые поля имели большое количество сквозных промоин и при движении ледокола разрушались не изгибом, а за счет образования трещин между промоинами. Для определения характеристик ледовой ходкости выбирались ледяные поля без сквозных промоин, при этом допустимым считалось проводить испытания в полях с торосистостью до 1-2 баллов.

Одно из испытаний ледокола при движении передним ходом проводилось в однолетнем толстом поле разрушенностью 1-2 балла, то-росистость поля составляла 2 балла, местами 2-3 балла. В этих условиях наблюдалось разрушение ледяного покрова изгибом, и ледокол шел с использованием полной мощности. Толщина льда на этом участке определялась с учетом его торосистости. В соответствии с рекомендациями, изложенными в работе [2], она составила 1,6 м. Толщина снежного покрова достигала 20 см.

Исследование ходкости ледокола на переднем ходу выполнялось в ровном дрейфующем однолетнем льду средней толщины, разрушенностью 2-3 балла. Режимы движения ледокола задавались путем ступенчатого изменения потребляемой двигателями мощности. Причем первые два значения установочной мощности соответствовали толщине льда 80-90 см (мощность 30 и 50%). Последующие режимы по мощности (70 и 100%) реализовывались при толщине льда 60—70 см. Толщина снежного покрова на этом полигоне изменялась от 5 до 10 см.

На ледяных полях, в которых проводились испытания ледокола, снежный покров был уплотненным и мокрым, поэтому в соответствии с ранее применявшейся практикой [3] было принято решение считать толщину снежного покрова, эквивалентной толщине льда.

Учет влияния разрушенности ледяного покрова на показатели ледовой ходкости ледокола осуществлялся в соответствии с рекомендациями работы [2], по которым измеренная при натуральных испытаниях скорость движения ледокола была уменьшена на 10—30% в зависимости от толщины и разрушенности преодолеваемого ледяного покрова.

По результатам замеров прочность льда на изгиб составляла около 250 кПа. Известно, что изгибная прочность льда оказывает не очень большое влияние на ледовое сопротивление. В соответствии с методикой [4] при уменьшении предела прочности льда на изгиб с 500 до 250 кПа ледовое сопротивление уменьшится лишь на 10—15%. С использованием этой величины была введена поправка в значения приведенной толщины льда. По полученным данным была построена кривая ледопроеходимости (рис. 2), с помощью которой была определена предельная ледопроеходимость ледокола, составляющая при скорости 3 уз около 1,6 м, что превышает требования спецификации.

Движение ледокола кормой вперед осуществлялось в двух различных ледяных полях. Один из режимов был выполнен в однолетнем льду средней толщины, разрушенностью 1-2 балла, торосистостью 1 балл и движении ледокола при потребляемой мощности 100% (рис. 3).

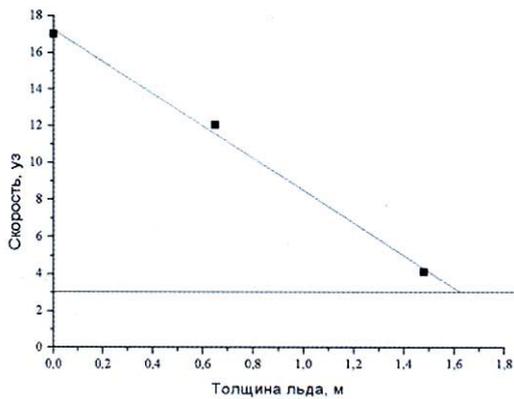


Рис. 2. Кривая ледопроеходимости ледокола «Санкт-Петербург» в сплошных ровных льдах. Мощность 100%

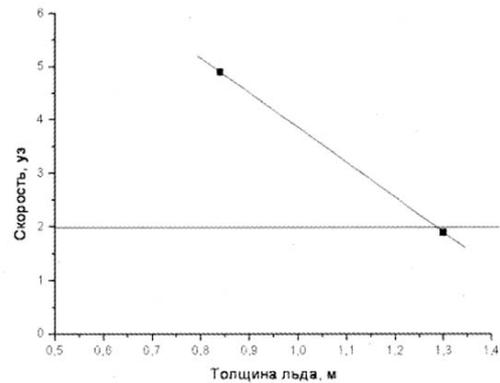


Рис. 4. Кривая ледопроеходимости ледокола «Санкт-Петербург» в сплошных ровных льдах при движении задним ходом. Мощность 100%

Остальные режимы были выполнены в однолетнем тонком и среднем льду разрушенностью 2 балла. Движение ледокола осуществлялось при ступенчатом изменении потребляемой мощности (30, 50, 70 и 100%).



Рис. 3. Торосистые образования при движении кормой на режиме № 5

На парциальных режимах ледокол двигался задним ходом при использовании неполной мощности. Поэтому полученные результаты были пересчитаны для получения расчетного значения толщины льда, которую бы смог преодолеть ледокол, потребляя полную мощность и двигаясь с той же скоростью. Пересчет осуществлялся с помощью скейлингового соотношения между толщиной преодолеваемого ледоколом льда и его мощностью [5]:

$$h_{11} / h_{12} = (N_1 / N_2)^{4/9},$$

где h_{11} , h_{12} — толщины ровного льда, преодолеваемого ледоколом при потреблении мощности N_1 , и N_2 соответственно.

По полученным данным была построена кривая ледопроеходимости (рис. 4), с помощью которой были оценены спецификационные показатели ледокола при движении задним ходом: при скорости 2 уз ледокол может преодолевать ледяной покров с приведенной толщиной около 1,3 м, что превышает спецификационное требование.

Наблюдения за работой ледокола «Санкт-Петербург» на переходе в Карском море показали, что ледокол при движении носом и кормой вперед и использовании 70—100% мощности успешно справляется с различными торосистыми образованиями в дрейфующих льдах, глубина килля которых не превышает осадку ледокола. При движении кормой вперед через торос наблюдалось постоянное взаимодействие гребных винтов со льдом, сопровождающееся уменьшением частоты вращения, а в ряде случаев и уровня потребляемой двигателями мощности.

В ходе выполнения натурных испытаний изучались и маневренные качества ледокола при движении в дрейфующих ровных льдах носом и кормой вперед.

Циркуляция при движении ледокола кормой вперед была выполнена в однолетних тонких и средних льдах разрушенностью 2 балла. Этот маневр выполнялся при трех значениях угла перекадки ВРК: 15, 30 и 45°, причем обе колонки перекадывались на один и тот же угол. Циркуляция носом выполнялась в двух различных полях дрейфующего льда: в первом (однолетний средний лед разрушенностью 2 балла) были выполнены режимы движения судна при перекадке ВРК на 15° и 30°; во втором — угол перекадки ВРК составил 45°.

На рис. 5 показаны траектории движения ледокола при выполнении циркуляции кормой и носом вперед. Траектории были измерены с помощью системы GPS, установленной на мостике ледокола.

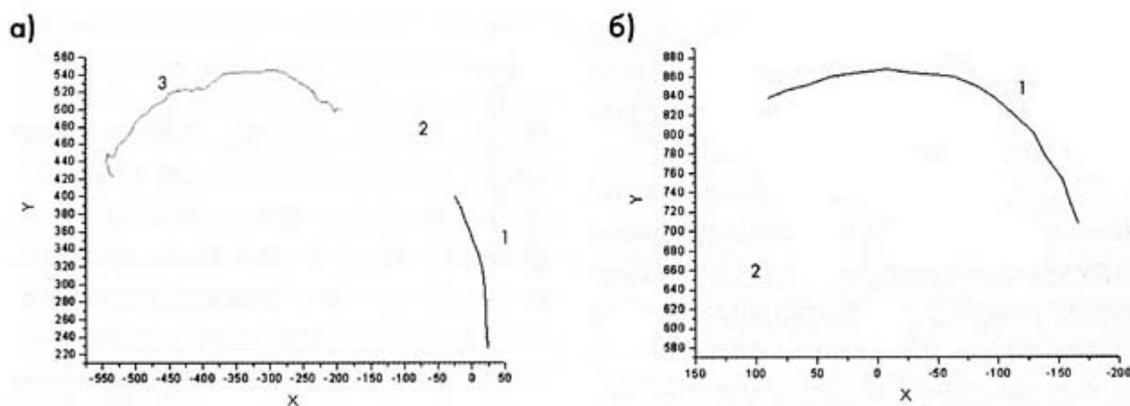


Рис. 5. Траектория движения ледокола на циркуляции кормой (а) и носом (б) вперед:
а) 1 — 15°; 2 — 30°; 3 — 45°; б) 1 — 15°; 2 — 30°

По измеренным траекториям, с помощью методики МКОБ (ИТТС), приведенной в работе [6], были определены радиусы циркуляции ледокола. Результаты испытаний представлены также в табл. 2.

Таблица 2

Показатели поворотливости ледокола в сплошных дрейфующих льдах				
№ режима	Вид движения	Угол перекадки ВРК, град.	Приведенная толщина льда, м	Относительный радиус циркуляции
10	З/х	15	0,75	2,25
11	З/х	30		3,45
12	З/х	45		2,25
13	П/х	15	1,05	1,49
14	П/х	30		1,35
15	П/х	45	0,65	1,71*

* На этом режиме лед был сильно разрушен и ледокол не обламывал льдины, а в основном раздвигал их корпусом.

Регрессионный анализ результатов циркуляционных испытаний на заднем ходу показывает практическую независимость радиуса циркуляции от угла перекадки; среднее значение относительного радиуса составляет 2,61. Такое поведение весьма типично для судов, оборудованных ВРК (см. например, [7]).

Кроме циркуляционных испытаний была исследована возможность разворота ледокола способом «звезда» в дрейфующих льдах. В результате выявлено, что ледокол этим способом может развернуться на 180° в однолетних тонких и средних льдах, характерных для условий Балтийского моря, меньше чем за 3 мин.

Анализ результатов натуральных испытаний ледокола «Санкт-Петербург» в южной части Карского моря позволяет сделать следующие выводы.

1. Ледокол обладает хорошими показателями ледовой ходкости при движении передним ходом. Его ледопробитость существенно превышает спецификационное значение 1 м ровного льда при наличии снега при прочности его на изгиб 500 кПа. Во льду толщиной 0,8 м (характерная наибольшая толщина термического льда для Балтийского моря) ледокол способен двигаться со скоростью 10—11 уз.

2. По экспериментальным данным ледопробитость ледокола на заднем ходу составляет 1,3 м при скорости 2 уз в сплошном ровном льду прочностью на изгиб 500 кПа, что также существенно превышает спецификационное значение 1 м.

3. Ледокол обладает хорошими показателями ледовой маневренности и поворотливости во льдах. Во льдах толщиной до 1 м относительный радиус циркуляции ледокола на переднем ходу не превышает двух длин судна.

4. Показатели ледовой поворотливости на заднем ходу находятся в приемлемом диапазоне (2,5—3,5 длины корпуса). Ледокол может достаточно эффективно выполнять циркуляцию, двигаясь кормой вперед.

5. Натурные испытания показали возможность эффективного разворота ледокола способом «звезда» в однолетних тонких и средних льдах.

Литература

1. Гладков М. Г., Петров Г., Федоров Б. А. Схема расчета предела прочности льда // Труды ДАНИИ. 1983. Т. 379.
2. Бузюев А. Я. Влияние природных условий на судоходство в замерзающих морях. Л.: Гидрометеиздат, 1981.
3. Betyashov V. A., Sazonov K. E. et al. «Yury Topchev» and «Vladislav Strizhov» multipurpose ice-breaking vessels for Prirazlomnaya platform maintenance: field and model tests // Proc. of the 8th Int. Conf. and Exhibition on Performance of Ship and Structures in Ice, ICETECH'08, Banff, Alberta, Canada, 2008.
4. Alekseev J. N., Sazonov K. E. An Investigation into the Effects of Ice Cover Parameters upon Ship Resistance // Proc. Int. Conf. on Development and Commercial Utilisation of Tech. in Polar Regions, Polartech - 94, 22-25 March, 1994, Lulea, Sweden.
5. Сазонов К. Е. Скейлинговые соотношения в ледовой ходкости судов // Морской вестник. 2010. №3(35).
6. Сазонов К. Е. Ледовая управляемость судов. СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2006.
7. Беляшов В. А., Сазонов К. Е. Натурные ледовые испытания спасательных судов на Каспийском море // Доклады НТК «Крыловские чтения - 2009». СПб., 2009.