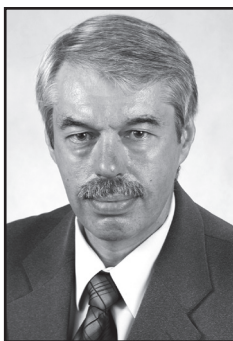




О вероятности заклинивания судов при сжатии



Евгений АППОЛОНОВ
Evgeny M. APPOLONOV

Кирилл САЗОНОВ
Cyril Ev.SAZONOV



Елизавета БОКАТОВА
Elizaveta A. BOKATOVA

Апполонов Евгений Михайлович — доктор технических наук, заместитель директора ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова.
Сазонов Кирилл Евгеньевич — доктор технических наук, начальник лаборатории морской ледотехники и гидротехники ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова.
Бокатова Елизавета Антоновна — инженер ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова (г. Санкт-Петербург).

Ученые ведущего кораблестроительного НИИ исследуют возможности свести к минимуму риски получить повреждения корпуса крупнотоннажных арктических судов при их нахождении в зоне ледовых сжатий. Расчеты вариантов проводки грузовых кораблей двумя ледоколами с учетом существующих судовых параметров и условий плавания в замерзающих морях. Целесообразность оптимизации проектирования транспортных систем для судоходства во льдах.

Ключевые слова: морские транспортные системы, замерзающие моря, ледовые сжатия, ледоколы, крупнотоннажные суда, вероятность заклинивания во льдах, расчеты проводки ледоколами, методы оценки.

Ледовые сжатия, возникающие в замерзающих морях вследствие неравномерности дрейфа льда, относятся к наиболее опасным для судоходства гидрометеорологическим явлениям. Неоднократно такие сжатия становились причиной получения судами серьезных повреждений корпуса, а в некоторых случаях и их гибели. Современная наука о ледовой прочности судов позволяет свести к минимуму вероятность получения ими существенных повреждений корпуса при нахождении в зоне ледовых сжатий [1]. Однако полностью снять эту проблему до сих пор не удастся и она остается одним из основных препятствий для плавания в замерзающих морях [2].

Попадание в зону сжатий одиночного судна или каравана судов резко снижает скорость их движения. Снижение скорости, а тем более заклинивание корабельного корпуса во льдах намного увеличивают время рейса. Между тем, в транспортных системах, предназначенных для вывоза углеводородного сырья из районов добычи на Крайнем Севере и Дальнем Востоке, а также транзита грузов через Северный Ледовитый океан, как раз крайне важно соблюдать предусмотренный график. По-

этому изучение вероятности заклинивания судов в сжатых льдах имеет приоритетное значение при подготовке проектов создания морских транспортных систем.

КРУПНОТОННАЖНЫЕ СУДА

Наибольший интерес представляет оценка вероятности заклинивания при сжатиях крупнотоннажных судов ледового плавания, поскольку именно они должны составлять основу создаваемых транспортных систем. Предполагаемое широкое использование крупнотоннажных судов требует решения целого ряда технических проблем [3,4], среди которых выделяется обеспечение возможности их движения в условиях сжатия льда [5].

Результаты расчетов показывают, что ледовые сжатия существенно увеличивают параметры ледового сопротивления ныне существующих судов [6]. Увеличение главных размерений и особенно рост протяженности цилиндрической вставки, характерные для крупнотоннажных конструкций, приводят к еще большему возрастанию дополнительного сопротивления, связанного с воздействием льда. Суда теряют возможность двигаться уже при минимальном уровне сжатия интенсивностью в 0,5–1 балл. Этот вывод относится к случаю самостоятельного движения или движения за одним ледоколом, ширина которого меньше ширины проводимого судна.

ПРОВОДКА ДВУМЯ ЛЕДОКОЛАМИ

В числе перспективных способов проводки крупнотоннажных судов во льдах — проводка двумя ледоколами [7]. В данной работе предпринята попытка оценить вероятность заклинивания ведомого корабля именно в этом случае.

Рассмотрим подробнее механику движения крупнотоннажного судна по каналу, проложенному во льдах двумя ледоколами (рис. 1). При прокладке широкого канала ледоколы двигаются уступом, для того чтобы снизить суммарные энергетические затраты. При движении ледоколов уступом второй осуществляет скол и сдвигку относительно больших фрагментов ледяного покрова в образованный первым ледоколом канал. При выполнении такой операции номер второй испытывает меньшее сопротивление льда движению, чем его

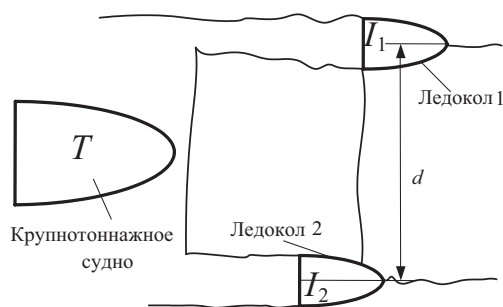


Рис. 1. Проводка крупнотоннажного судна двумя ледоколами.

предшественник. В результате за этими спаренными ледоколами образуется канал, заполненный крупнобитым льдом (характерный размер льдин 20–100 м), ширина H_c которого может быть оценена по следующей формуле:

$$H_c = d + \frac{B_1 + B_2}{2}, \quad (1)$$

где d — расстояние между диаметрными плоскостями ледоколов; B_1, B_2 — ширина первого и второго ледоколов соответственно.

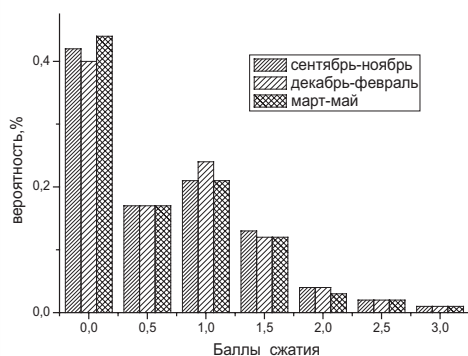
По пробитому ими каналу движется крупнотоннажное судно, разрушая и раздвигая своим корпусом крупнобитый лед. Очевидно, что для того, чтобы это движение было максимально эффективным, необходимо придерживаться следующего требования:

$$B_s < B_1 + B_2, \quad (2)$$

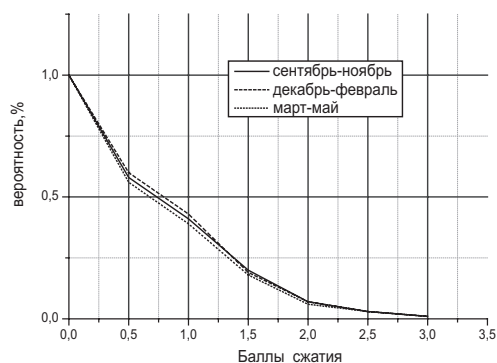
где B_s — ширина проводимого крупнотоннажного судна.

При невыполнении требования (2) крупнотоннажное судно не сможет беспрепятственно раздвигать разрушаемый его корпусом крупнобитый лед, обломки больших льдин при воздействии на них упрутся в кромки неразрушенного прочного ледяного поля. При этом возникнут условия, близкие случаю движения крупнотоннажного судна в сплошных льдах за одним ледоколом, ширина которого меньше ширины ведомого объекта. Другими словами, крупнотоннажное судно будет вынуждено доламывать своими бортами неразрушенные ледоколами участки ледяного поля. Поэтому при проведении дальнейшего анализа будем предполагать, что условие (2) всегда выполняется.





а)



б)

Рис. 2. Гистограмма и функция вероятности распределения ледовых сжатий (а – гистограмма, б – функция распределения).

При движении крупнотоннажного судна в канале, проложенном двумя ледоколами, оно испытывает сопротивление, связанное с разрушением и раздвиганием крупнобитого льда. Величину этого сопротивления можно рассчитать по методике, изложенной в работе [8]. Расчеты показывают, что подобное сопротивление существенно ниже, чем сопротивление, испытываемое крупнотоннажным судном в аналогичных ледовых условиях при самостоятельном плавании или движении в канале за одним ледоколом.

ЛЕДОВЫЕ СЖАТИЯ

Выше уже отмечалось, что ледовые сжатия оказывают значительное влияние на судоходство в замерзающих морях. Многолетние исследования столь серьезного природного феномена позволили выявить основные его черты и закономерности, что дало возможность разработать методики прогнозирования этого явления [2]. С помощью оказавшихся достаточно надежными методик были рассчитаны вероятности возникновения сжатий различной интенсивности (балльности) [9].

На рис. 2 представлены гистограммы и графики функции распределения вероятности появления ледовых сжатий в диапазоне установленной балльности. Из этих данных следует, что суммарная протяженность пути плавания при наличии ледовых сжатий составляет 0,54–0,67 от протяженности пути в сплошных льдах.

Ледовые сжатия часто характеризуются скоростью смыкания кромок проложенного во льдах канала. Между балльностью

сжатия и скоростью смыкания кромок канала существует определенная связь (таблица 1), выявленная А. Т. Казаковым на основании обработки данных натурных экспериментов [10].

Все эти способы описания ледовых сжатий используются в дальнейшем для получения оценки вероятности заклинивания крупнотоннажных судов.

ПРОВОДКА ДВУМЯ ЛЕДОКОЛАМИ В УСЛОВИЯХ ЛЕДОВЫХ СЖАТИЙ

При проводке крупнотоннажного судна двумя ледоколами в условиях сжатия льда возможны три сценария взаимодействия проводимого судна с кромками закрывающегося ледяного канала: а) судно успевает целиком пройти по незакрывшемуся каналу; б) корпус судна на части своей длины взаимодействует с кромками канала; в) корпус судна по всей своей длине взаимодействует с кромками.

При реализации первого сценария судно беспрепятственно движется во льдах, при реализации последнего сценария, как показывают расчеты, движение крупнотоннажного судна при сжатиях невозможно.

При реализации второго сценария (рис. 3) возможны два варианта развития событий. В ходе частичного взаимодействия корабельных бортов с кромками закрывающегося канала начинает возрастать ледовое сопротивление судна, связанное с действием сжатий. Из-за этого снижается скорость движения судна, оно уже не может двигаться со скоростью головного ледокола, прокладывающего ка-

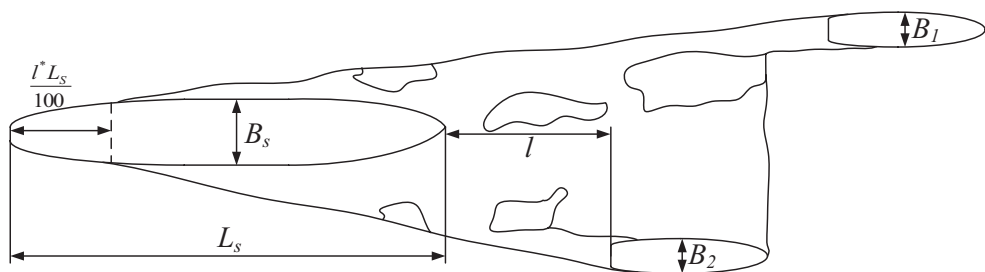


Рис. 3. Движение крупнотоннажного судна в канале за двумя ледоколами при частичном взаимодействии его бортов с кромками канала.

Таблица 1
Скорость закрытия канала
за ледоколом в зависимости от степени
сжатия ледяного покрова

Степень сжатия, баллы
0–1
1
1–2
1
2–3
3
Скорость закрытия канала, м/с
0,01–0,02
0,04–0,05
0,07–0,08
0,15–0,20
0,23–0,27
> 0,30

нал во льдах. Снижение скорости движения, в свою очередь, приводит к увеличению доли длины корпуса, взаимодействующего с кромками канала, а это опять же снова приводит к снижению маршрутной скорости. Тем не менее при некоторых условиях может возникнуть устойчивое положение равновесия, когда судно движется с некоторой постоянной скоростью при частичном взаимодействии его бортов с кромками канала. Алгоритм нахождения этой скорости описан в работе [11].

На основании выполненных расчетов в первом приближении допустимо считать, что если в начале движения в ситуации с кромками пробитого ледоколами канала взаимодействует 50% и более длины корпуса, то судно не способно двигаться в таких условиях. Процент длины корпуса судна l^* , который взаимодействует с кромками закрывающегося ледяного канала,

может быть рассчитан по следующей формуле:

$$l^* = \left[1 - \frac{(B_{I1} + B_{I2} - B_s)V_{I1}}{2V_p L_s} + \frac{l}{L_s} \right] \times 100\%, \quad (3)$$

где B_{I1}, B_{I2} – ширина первого и второго ледоколов соответственно; B_s, L_s – ширина и длина проводимого судна; V_{I1} – скорость первого ледокола; V_p – скорость закрытия кромок канала (таблица 1); l – дистанция между кормой второго ледокола и носом проводимого судна.

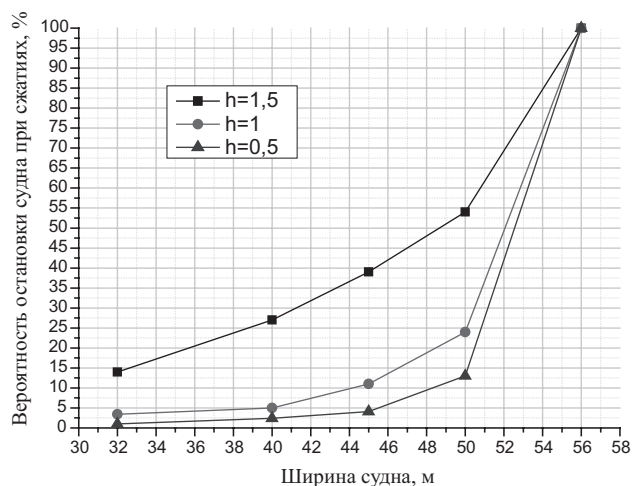
ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ЗАКЛИНИВАНИЯ

Величина l^* , рассчитанная по формуле (3), оказывается зависимой от балльности сжатия льда и толщины ледяного покрова, которые обуславливают характер движения каравана. В соответствии с таблицей 1 от балльности сжатия зависят скорость закрытия канала V_p и скорость движения первого ледокола V_{I1} , кроме этого, скорость движения последнего во многом определяет толщина льда.

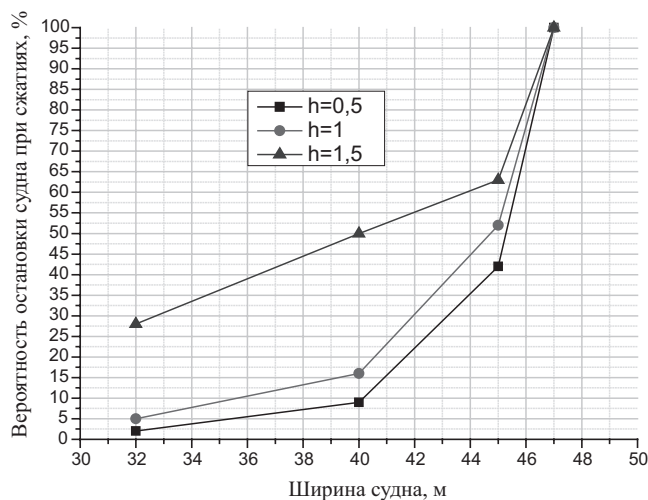
При реализации первого сценария движения каравана в сжатых льдах и задании начального приближения по скорости этого движения во втором предполагаемом сценарии скорость каравана определяется скоростью движения первого ледокола. Этот ледокол, прокладывающий канал в неразрушенном, первозданном ледяном покрове, берет на себя наибольшее сопротивление среды, поэтому скорость его движения и задает скорость движения всего каравана.

В нашем случае рассматривалась проводка крупнотоннажных судов двумя атом-





а)



б)

Рис. 4. Вероятность заклинивания крупнотоннажного судна в сжатых льдах: а) суммарная ширина двух ледоколов – 56 м; б) суммарная ширина двух ледоколов – 47 м.

ными ледоколами типа «Арктика» ($B_l = 28$ м) и ледоколом «Арктика» совместно с ледоколом типа «Иван Прончищев» ($B_l = 19$ м). И в том, и в другом вариантах головным был атомный ледокол типа «Арктика». Скорость его движения в сжатых льдах задавалась на основании натурных данных, приведенных в работе [2].

По формуле (3) были сделаны расчеты движения крупнотоннажных судов с различной шириной корпуса по ледяным каналам, проложенным двумя атомными ледоколами типа «Арктика» (суммарная ширина двух их корпусов – 56 м) и ледоколом типа «Арктика» совместно с ледо-

колом типа «Иван Прончищев» (суммарная ширина двух их корпусов – 47 м). По ходу расчетов учитывались условия (толщина льда и балльность сжатия), при которых половина корпуса проводимого судна взаимодействовала с кромками закрывающегося ледяного канала. На основании полученных результатов определялась степень сжатия льда в баллах, с которой связано выполнение указанного выше требования, для судов с различной шириной корпуса при постоянных значениях толщины льда. Итоговые данные сравнивались с функцией вероятности распределения ледовых сжатий

(рис. 2б). В конечном счете были получены оценки вероятности заклинивания крупнотоннажных судов в условиях ледового сжатия. Их значения приведены на рис. 4.

Анализ материалов исследования показывает, что вероятность заклинивания определяется тремя факторами: суммарной шириной прокладываемых каналов ледоколов, шириной проводимого судна и толщиной льда. Последний из перечисленных факторов начинает оказывать существенное влияние, начиная с толщины льда, превышающей 1 м. На основании графиков, представленных на рис. 4, можно сделать предварительное заключение о целесообразности использования крупнотоннажных судов с шириной корпуса 38–40 м. Именно такие значения ширины корпуса обеспечивают относительно малую вероятность заклинивания во льдах при проводке существующими ледоколами.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты имеют большое значение при обосновании эффективности выбираемых маршрутов для вывоза углеводородов из районов добычи по замерзающим морям. Приведенные данные доказывают, что технически и экономически целесообразна организация морской транспортной системы на базе арктических газозовозов грузоместимостью около 90 тыс. м³. Такая система могла бы достаточно надежно функционировать при морских пе-

ревозках как на Запад, так и в Азиатско-Тихоокеанский регион.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апполонов Е. М., Дидковский А. В., Кутейников М. А., Нестеров А. Б. Совершенствование методологии определения ледовых нагрузок // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. Вып. 25, СПб., 2002.
2. Опасные ледовые явления для судоходства в Арктике / Под ред. Е. У. Миронова. — СПб.: ААНИИ, 2010.
3. Сазонов К. Е. Танкер и ледокол: сложение сил // Мир транспорта. — 2007. — № 4.
4. Sazonov K. E. Navigation challenges for large-size ships in ice conditions / Ship and Offshore Structures, Vol. 3, No. 3, 2011, P.231–238.
5. Сазонов К. Е. Проводка крупнотоннажных судов ледоколами в условиях сжатия льда // Морской вестник. — 2006. — № 4.
6. Бицуля А. В., Сазонов К. Е. Разработка расчетных формул для определения минимальной мощности главных механизмов судов ледового плавания // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2007. — Вып. 34.
7. Добродеев А. А., Сазонов К. Е. Оценка возможности использования двух ледоколов для проводки крупнотоннажных судов // Мореходство и морские науки. — Южно-Сахалинск: СахГУ, 2011.
8. Сазонов К. Е., Добродеев А. А. Метод расчета ледового сопротивления судна при его движении в крупнобитых льдах и обломках ледяных полей // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2011. — Вып. 63.
9. Бузуев А. Я., Федяков В. Е. Вероятностная оценка повторяемости условий возникновения ветрового сжатия льда в зимний период // Труды ААНИИ. — 1979. — т. 364.
10. Сазонов К. Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. — СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2010.
11. Бокатова Е. А., Сазонов К. Е. Расчет скорости движения судна по ледяному каналу в условиях сжатия при частичном взаимодействии бортов с его кромками // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2012. — Вып. 66. ●

ON THE PROBABILITY OF STICKING OF VESSELS UNDER ICE PRESSURE

Appolonov, Evgeny M. – D.Sc. (Tech), vice director general of Academician A. N. Krylov Central research institute (Krylov shipbuilding research institute).

Sazonov, Cyril Ev. – D.Sc. (Tech), head of the laboratory of sea ice technology and hydraulic engineering of A. N. Krylov Central research institute.

Bokatova, Elizaveta A. – engineer of A. N. Krylov Central research institute (Saint-Petersburg).

The researchers of leading shipbuilding research institute study possibilities to minimize the risks of hull damage for large-capacity arctic vessels in areas of ice pressure. The authors propose calculations of variants of freight vessels' steering by two icebreakers taking into consideration ships' characteristics and navigation conditions for icing seas. They argue optimization of engineering of transport vehicles for ice navigation.

Key words: sea transport systems, icing seas, ice pressure, icebreakers, large-capacity vessel, probability of sticking in the ice, estimation of steering by icebreaker, assessment mode.

Координаты авторов (contact information): Апполонов Е. М. – appolonov@krylov.spb.ru, Сазонов К. Е., Бокатова Е. А. – 54lab@krylov.sp.ru.

