

THEORETICAL FOUNDATIONS OF FREEING SHIPS FROM HEAVY ICE CONDITIONS

A. A. Ershov, A. M. Boiarinov, A. A. Gakkel

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The topic of the study is to prevent damage to the ships hulls when sailing in polar waters in severe ice conditions, which is a dangerous situation that threatens environmental pollution and possible death of the vessel, its passengers and crew. It is noted that the intensive development of ice navigation in the development of the Arctic regions of the Russian Federation and other polar waters requires the development and improvement of methods for freeing ships trapped in heavy ice. Navigation of vessels in severe ice conditions is accompanied by significant difficulties and dangers for the vessel, its passengers and crew. This situation can be significantly aggravated if, at a certain stage of navigation in ice conditions, heavy ice begins to move, leading to compression of the ice channel in which the vessel is located. At the same time, the risk of the vessel hull destruction, the creation of water leakage and the possible death of the vessel, its passengers and crew increases, as well as environmental pollution occurs. The theoretical foundations of freeing a vessel from severe ice conditions, based on the principles of rocking and pushing, as well as cutting ice, clamping the vessel, which have proven their effectiveness in other fields of science and technology, are discussed in the paper. The use of the vessel theory apparatus and the experience of ice-breaking assistance make it possible to substantiate the possibility of effective application of methods of rocking, pushing and chopping ice to release ships caught in severe ice conditions. The theoretical possibility of using combinations of the operation of the ballast system, cargo booms and cranes, special actions of the crew trapped in the ice of the vessel, as well as its interaction with icebreakers and other vessels for cutting the clamping ice, rocking and pushing, increasing the efficiency of freeing the vessel from severe ice conditions, is shown. The materials of the paper can be used to develop practical recommendations for freeing ships from heavy ice conditions independently and using icebreakers and other vessels.

Keywords: ice navigation, severe ice conditions, vessel release, ballast system, icebreaker use, practical recommendations, special actions of the crew.

For citation:

Ershov, Andrey A., Aleksandr M. Boiarinov, and Alexey A. Gakkel. "Theoretical foundations of freeing ships from heavy ice conditions." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.2 (2023): 200–214. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-200-214.

УДК 655.62.052.4

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЫСВОБОЖДЕНИЯ СУДОВ ИЗ ТЯЖЕЛЫХ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ

А. А. Ершов, А. М. Бояринов, А. А. Гаккель

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Темой исследования является предотвращение повреждения корпусов судов при плавании в полярных водах в тяжелых ледовых условиях, представляющее собой опасную ситуацию, которая грозит экологическими загрязнениями и возможной гибелью судна, его пассажиров и экипажа. Отмечается, что интенсивное развитие ледового плавания при освоении арктических регионов Российской Федерации и других полярных вод требует разработки и совершенствования методов освобождения судов, зажатых в тяжелых льдах. Плавание судов в тяжелых ледовых условиях сопровождается значительными трудностями и опасностями для судна, его пассажиров и экипажа. Такая ситуация может значительно усугубляться в том случае, если на определенном этапе плавания в ледовых условиях начинается подвизка тяжелых льдов, приводящая к сжатию ледового канала, в котором находится судно. При этом

возрастает опасность разрушения корпуса судна, создания водотечности и возможной гибели судна, его пассажиров и экипажа, а также происходит загрязнение окружающей среды. В статье рассматриваются теоретические основы высвобождения судна из тяжелых ледовых условий, основанные на принципах раскачивания и толкания, а также рубки льда, зажимающего судна, которые доказали свою эффективность в других областях науки и техники. Использование аппарата теории судна и опыта ледовых проводок позволили обосновать возможность эффективного применения методов раскачивания, толкания и рубки льда для высвобождения судов, оказавшихся в тяжелых ледовых условиях. Показана теоретическая возможность использования комбинаций работы балластной системы, грузовых стрел и кранов, специальных действий экипажа зажатого во льду судна, а также его взаимодействия с ледоколами и другими судами для рубки зажимающего льда, раскачивания и толкания, увеличивающих эффективность высвобождения судна из тяжелых ледовых условий. Материалы статьи могут быть использованы для разработки практических рекомендаций по высвобождению судов из тяжелых ледовых условий самостоятельно, а также с использованием ледоколов и других судов.

Ключевые слова: ледовое плавание, тяжелые ледовые условия, высвобождение судна, балластная система, использование ледоколов, практические рекомендации, специальные действия экипажа

Для цитирования:

Ершов А. А. Теоретические основы высвобождения судов из тяжелых ледовых условий / А. А. Ершов, А. М. Бояринов, А. А. Гаккель // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 2. — С. 200–214. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-2-200-214.

Введение (Introduction)

Высвобождение судна, зажатого в тяжелых ледовых условиях, может рассматриваться как самостоятельный выход судна из ледового плена или освобождение его с использованием ледоколов или других судов. В настоящее время наиболее распространенным вариантом освобождения судна, зажатого в тяжелых льдах, является его окалывание (околка) с использованием ледокола. В других областях науки и техники (например, в столярном или слесарном деле) для освобождения зажатых деталей, элементов конструкций или механизмов используется их раскручивание (раскачивание) на небольшие углы для снижения трения и / или толкание (например, удары молотком или киянкой с торцевой части детали), которые приводят к высвобождению зажатой детали или конструкции (рис. 1).

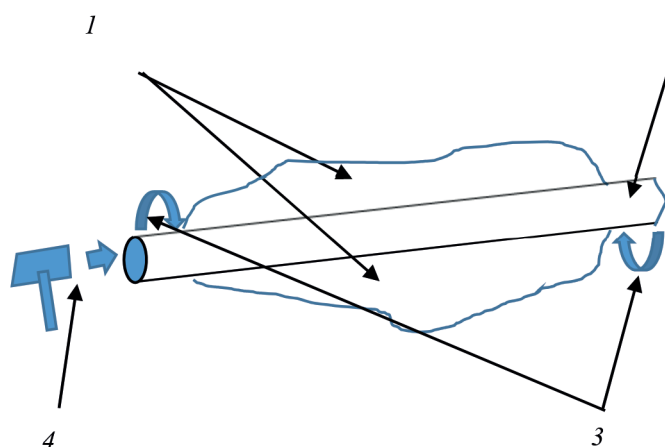


Рис. 1. Раскачивание и толкание зажатой в каркасе детали или конструкции для ее высвобождения:

- 1 — каркас, зажимающий деталь или конструкцию;
- 2 — деталь или конструкция, зажатая в каркасе;
- 3 — раскручивание (раскачивание) детали или конструкции для высвобождения из каркаса;
- 4 — толкание (выталкивание) детали или конструкции для высвобождения из каркаса

Если раскачивание и выталкивание зажатой детали не приводят к необходимой цели, то в различных областях техники используется разрушение каркаса, зажимающего деталь. Разрушение

зажимающего каркаса может происходить *жестким способом* — непосредственной рубкой удерживающей конструкции. Рубка с целью разрушения удерживающего каркаса *наиболее эффективна*, если происходит с использованием ударов, направленных перпендикулярно зажатой детали (рис. 2).

Может применяться также менее эффективный и надежный вариант — последовательное «срезание» и уменьшение толщины удерживающей конструкции, происходящее параллельно зажатой детали для уменьшения прочности зажимающего каркаса. В результате через определенный период времени зажимающий каркас должен разрушиться и освободить зажатую деталь.

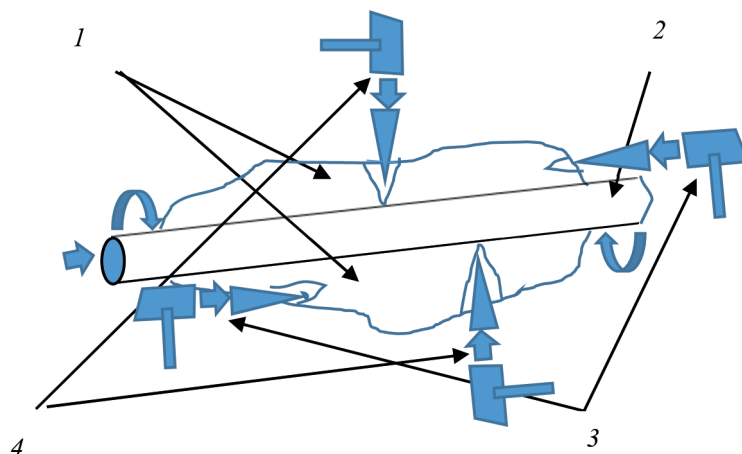


Рис. 2. Рубка или срезание зажимающего каркаса для его разрушения и высвобождения зажатой детали:

- 1 — зажимающий деталь или конструкцию каркас; 2 — зажатая в каркасе деталь или конструкция;
3 — срезание (уменьшение толщины) зажимающей деталь каркаса (менее эффективный вариант);
4 — рубка зажимающей деталь каркаса (более эффективный вариант)

Среди способов, используемых для освобождения судов, зажатых тяжелыми льдами, в настоящее время применяется тот, который является наименее эффективным: *окалывание (околка) судна при помощи ледокола* (рис. 3), аналогичный срезанию зажимающего каркаса (льда). Во избежание повреждений и сохранения целостности судов околка ледоколом чаще всего проводится вдоль корпуса окалываемого судна, что приводит к постепенному уменьшению слоя зажимающего льда и, соответственно, к его разрушению и высвобождению зажатого судна. Как отмечалось ранее, этот способ не является эффективным, но активно используется в судоходстве.

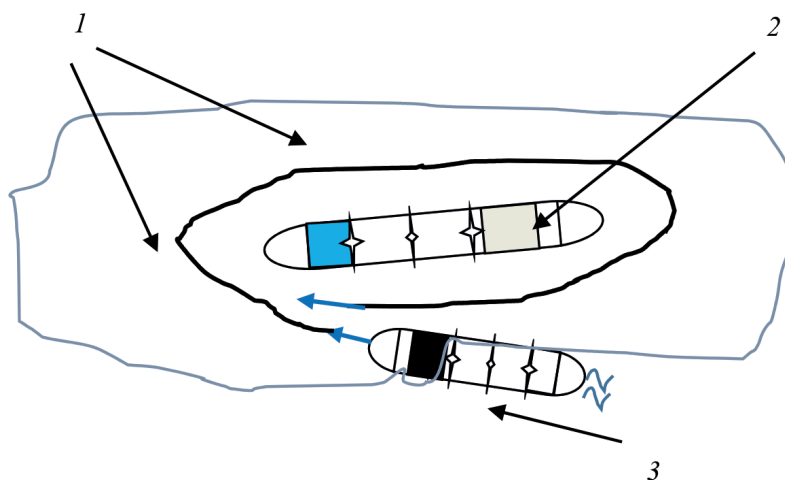


Рис. 3. Окалка (окалывание) судна, зажатого в тяжелых льдах с использованием ледокола:

- 1 — зажимающие судно тяжелые льды; 2 — судно, зажатое в тяжелых льдах;
3 — ледокол, окалывающий судно, зажатое в тяжелых льдах

Для освобождения судов, зажатыми тяжелыми льдами, в настоящее время в основном применяется окалывание (околка) корпуса зажатого судна с использованием ледокола (рис. 3). Раскачивание и толкание зажатого судна и рубка льда как способы, доказывающие свою эффективность в других областях техники при освобождении судов в тяжелых льдах, практически не используются. Это снижает эффективность высвобождения судов, зажатых в тяжелых ледовых условиях ввиду отсутствия теоретических обоснований и практических рекомендаций по использованию новых способов высвобождения судов из тяжелых льдов.

В 2017 г. вступил в действие «Международный полярный кодекс», имеющий обязательный статус для всех судов, осуществляющих плавание в полярных водах, который предусматривает наличие на судах обязательных рекомендаций в случае чрезвычайной ситуации [1]–[4]. Наличие подобных рекомендаций является обязательным условием эксплуатации судна в полярных водах. Для повышения эффективности высвобождения судна в условиях тяжелого ледового плавания используются системы пневмообмыва корпуса, устанавливаемые в основном на ледоколах и других специализированных судах, а также устанавливаются особые режимы работы двигательно-движительного комплекса, заведение ледовых якорей и другие мероприятия, к которым относятся: перекачка водяного балласта судна, выполнение различных видов маневрирования судна в ледовых условиях и др.

Особенности маневрирования судна в ледовых условиях рассматривались в работе [5]. Перекачка балласта для предотвращения застраивания судна при сжатии ледового канала используется судами, осуществляющими плавание в ледовых условиях [6]–[8]. Это мероприятие позволяет бороться с «зажимом» корпуса льдами для осуществления движения в условиях сжатия ледового канала. В указанных ранее работах отмечалось, что основным преимуществом применения перекачки балласта является независимость этих процедур от других мероприятий, связанных с движением судна и их высвобождением из ледового плена, т. е. она может осуществляться вместе с особыми режимами работы двигательно-движительного комплекса судна, заведением ледовых якорей и т. п. Также отмечалось, что перекачка балласта может быть эффективной для предотвращения повреждения корпусов судов любых типов, осуществляющих ледовое плавание как самостоятельно, так и в составе ледового каравана. Мероприятия по перекачке балласта имеют также и другие преимущества, которые могут предотвратить повреждение корпуса судна и способствовать высвобождению судна в условиях сжатия ледового канала [9], [10].

Существенным недостатком перекачки балласта для высвобождения судна из тяжелых льдов является длительность процедур, которые могут занимать часы, необходимые для их осуществления. Это явно не соответствует принципам раскачивания судна, которые доказали свою эффективность в других областях техники. Как отмечалось ранее, в настоящее время в качестве основного метода освобождения судна в тяжелых льдах используется околка ледоколом, что аналогично малоэффективному срезанию зажимающего каркаса, удерживающего судно. Более эффективные методы: раскачивание и толкание зажатого льдом судна и рубка льда, доказавшие свою эффективность в других областях техники, в ледовых условиях плавания практически не используются.

В настоящее время отсутствие единых теоретических подходов к высвобождению судов в тяжелых условиях ледового плавания не позволяет использовать достижения в других областях науки и техники. Отсутствие необходимой теоретической базы не позволяет развивать существующие методы эксплуатации судов в тяжелых льдах, что может отрицательно сказаться на выполнении поставленных Российской Федерацией задач по развитию и освоению арктических регионов. Настоящая статья посвящена теоретическим основам освобождения судов, зажатых в тяжелых льдах, направленным на обоснование использования новых способов, доказавших свою эффективность в других областях техники.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Как отмечалось ранее, методы высвобождения судна в тяжелых ледовых условиях, доказавшие эффективность также в других областях науки и техники, являются раскачивание и толкание зажатого льдом судна, а также рубка льда, зажимающего судно. Кроме того, могут применяться

комбинации этих методов. В настоящее время на флоте эти методы практически не применяются в силу отсутствия теоретических положений их применения на судах в ледовых условиях и, как следствие, практических рекомендаций по их использованию. К менее эффективным относится окалывание (околка) зажатого судна, применяемая в настоящее время в ледовых условиях с использованием ледокола.

Теоретические основы обеспечения раскачивания судна, зажатого в тяжелых ледовых условиях, предполагают выполнение следующих мероприятий: обеспечение самостоятельного раскачивания судна, зажатого в тяжелых льдах, обеспечение раскачивания с использованием других судов и ледоколов.

1. Обеспечение самостоятельного раскачивания судна, зажатого в тяжелых льдах.

Перекачка балласта. Перекачка балласта как метод, предотвращающий разрушающее воздействие на корпус и способствующий его освобождению из тяжелых льдов, рассмотрен в работе [5].

К преимуществам данного метода относится одновременное кренящее воздействие массы перекачиваемого балласта и дополнительное появление свободных поверхностей при перекачке балласта, снижающее остойчивость зажатого судна, приводящее к увеличению его крена при самостоятельном раскачивании. В соответствии с положениями [5] уравнение моментов при перекачке балласта, зажатого льдом судна, будет иметь следующий вид:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{p_6(y_{62} - y_{61}) - p_{\text{л}}B}{Ph}, \quad (1)$$

где θ — угол крена судна, град;

B — ширина судна, м;

P — весовое водоизмещение судна, кН;

p_6 — вес перекачанного балласта, кН;

$p_{\text{л}}$ — сила давления корпуса на лед вследствие накрена судна после перекачки балласта, кН;

h — метацентрическая высота, м;

$(y_{62} - y_{61})$ — расстояние между центрами тяжести перекачанного балласта на правом и левом борту судна, м.

Согласно выражению (1), уменьшение метацентрической высоты судна при перекачке балласта за счет появления дополнительных свободных поверхностей увеличивает угол крена, способствует самостоятельному раскачиванию судна и высвобождению его из ледового плена. Перекачка балласта может рассматриваться как дополнительная сопутствующая процедура при выполнении других более эффективных мероприятий по раскачке судна.

Существенным недостатком раскачивания судна для высвобождения из ледового плена является длительность процедуры перекачки балласта.

Подъем – постановка груза на палубу. Раскачивание судна путем подъема и постановки груза может происходить при использовании судовых грузовых стрел или кранов. Преимуществом данного метода самостоятельного раскачивания, зажатого в тяжелых льдах судна, является то, что при раскачивании судна подъемом и опусканием грузов своими грузовыми кранами или стрелами начальный крен судна достигается быстро за счет изменения поперечной метацентрической высоты (h). Величина начального крена, возникающего при подъеме грузов с использованием судовых стрел или кранов, может быть определена в виде

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\sum_{i=1}^n p_{\text{г}i} y_{\text{г}i}}{Ph_1}, \quad (2)$$

где n — количество поднимаемых грузов, шт.;

$p_{\text{г}i}$ — вес поднимаемого i -го груза;

$y_{\text{г}i}$ — отстояние i -го груза от диаметральной плоскости судна (ДП), м;

h_1 — новое значение метацентрической высоты судна в момент подъема груза, м.

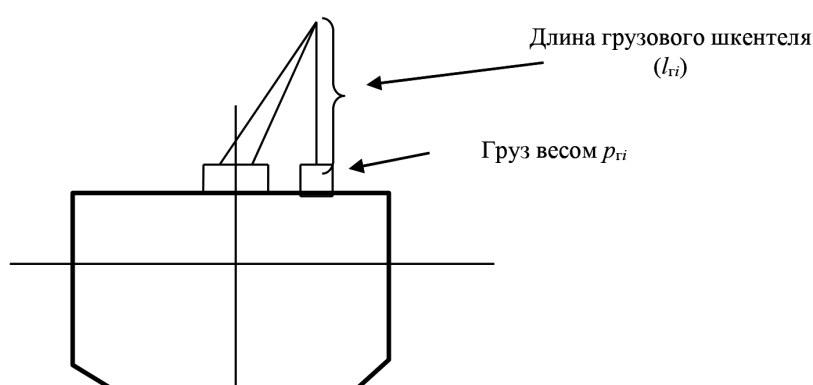
Величина h_1 в уравнении (2) определяется следующим образом:

$$h_1 = h - \frac{\sum_{i=1}^n p_{\Gamma i} l_{\Gamma i}}{P} \quad (3)$$

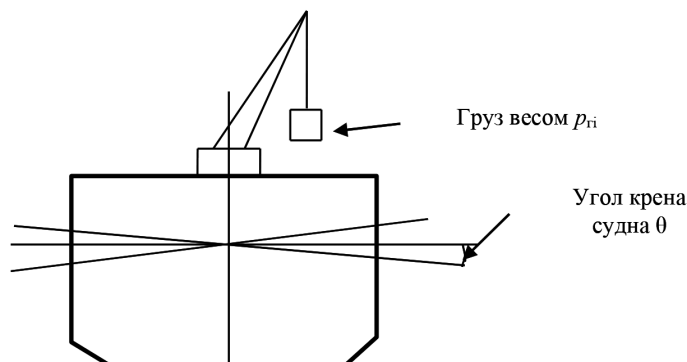
где h — начальная метацентрическая высота судна до подъема груза своими кранами или стрелами;
 $l_{\Gamma i}$ — длина шкентеля i -го судового крана или судовой стрелы, на которой осуществляется подъем груза для создания колебаний судна (рис. 4).

Недостатками подъема — постановки груза на палубу как метода самостоятельного раскачивания, зажатого в тяжелых льдах судна, является то, что этот способ недоступен для судов, у которых конструктивно отсутствуют грузовые стрелы или краны для подъема и опускания груза. Проблема в данном случае может быть решена путем установки временных кранов или автомобилей с кранами.

а)



б)



в)

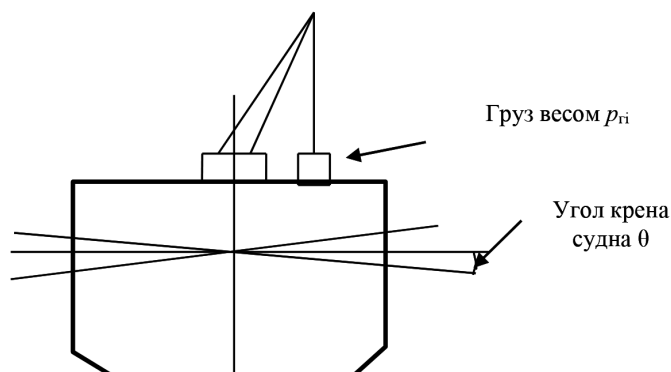


Рис. 4. Раскачивание судна подъемом и постановкой груза судовой грузовой стрелой (краном):

- а* — выбор груза для подъема и постановки на палубу;
б — подъем груза своей грузовой стрелой (грузовым краном);
в — постановка груза своей грузовой стрелой (грузовым краном)

Подъем – перенос груза. Раскачивание судна путем подъема и переноса грузов может происходить при использовании судовых грузовых стрел или кранов (рис. 5).

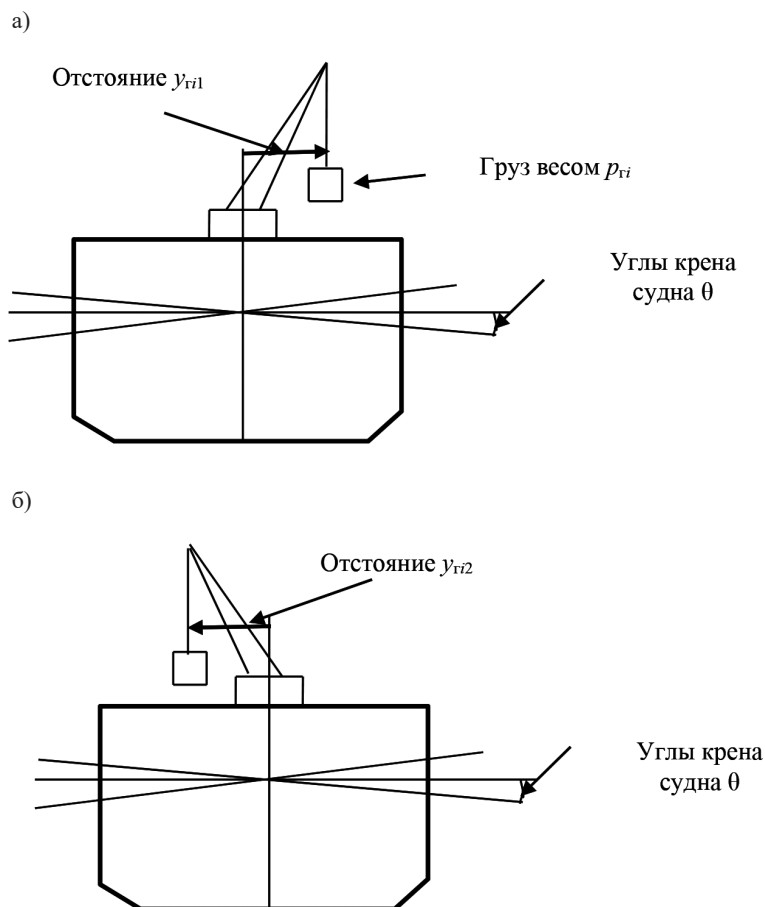


Рис. 5. Раскачивание судна подъемом и переносом груза судовой грузовой стрелой (краном):

- а* — подъем груза своей грузовой стрелой (грузовым краном);
б — перенос груза своей грузовой стрелой (грузовым краном)

Преимуществом подъема – переноса груза как метода самостоятельного раскачивания, зажатого в тяжелых льдах судна, является то, что при раскачивании судна подъемом и переносе грузов своими грузовыми кранами или стрелами начальный крен судна достигается быстро за счет изменения поперечной метацентрической высоты h и создания кренящего момента при переносе груза. Величина начального крена, возникающего при подъеме и переносе груза с использованием судовых кранов, может быть определена в виде

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\sum_{i=1}^n p_{Гi} (y_{Гi2} - y_{Гi1})}{Ph_1}, \quad (4)$$

где $y_{Гi1}$ — отстояние i -го груза от диаметральной плоскости судна (ДП) до переноса, м;
 $y_{Гi2}$ — отстояние i -го груза от диаметральной плоскости судна (ДП) после переноса, м;
 h_1 — новое значение метацентрической высоты судна в момент подъема грузов, м.

Примечание. Величина h_1 в уравнении (4), определяемая в соответствии с формулой (3).

Недостатком подъема — переноса груза как метода самостоятельного раскачивания, зажатого в тяжелых льдах судна, является то, что данный способ недоступен для судов, у которых конструктивно отсутствуют грузовые стрелы или краны для подъема и опускания груза. Эта проблема может быть решена путем установки на судах временных кранов или автомобилей с кранами и использования их для решения данной задачи.

Совместная перекачка балласта и подъем – перенос грузов. Преимуществом данного метода самостоятельного раскачивания, зажатого в тяжелых льдах судна, является создание дополнительных свободных поверхностей при перекачке балласта, приводящее к снижению остойчивости судна, выполняемое совместно с подъемом и переносом груза судовыми кранами или стрелами, и, соответственно, к уменьшению начальной метацентрической высоты (h_1), а также к увеличению крена при раскачивании зажатого льдами судна в соответствии с выражениями (1)–(4).

Недостаток совместной перекачки балласта и подъема — переноса грузов как метода самостоятельного раскачивания, зажатого в тяжелых льдах судна, состоит в том, что перекачка балласта и подъем — перенос грузов происходят с разной скоростью, что затрудняет выполнение процесса оптимизации данных процессов для создания максимального крена при раскачивании судна.

Перемещение части экипажа с борта на борт (по команде) совместно с перекачкой балласта и подъемом – переносом груза. В качестве оперативных мероприятий по высвобождению судна, зажатого тяжелыми льдами, может применяться перемещение части экипажа с борта на борт (одновременно по команде совместно с подъемом — переносом грузов). Эти мероприятия могут быть особенно эффективными для относительно узких судов с большими экипажами: военных кораблей, учебных судов, включая парусные учебные суда, при проходе Северного морского пути или в иных ледовых условиях. Угол крена судна в этом случае может быть рассчитан по формуле

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\sum_{j=1}^m p_{эj} (y_{эj2} - y_{эj1})}{Ph_2}, \quad (5)$$

где m — количество членов экипажа, принимающих участие в перемещении с борта на борт, чел.;

$y_{эj1}$ — отстояние j -го члена экипажа от ДП судна до перемещения, м;

$y_{эj2}$ — отстояние j -го члена экипажа от ДП судна после перемещения, м;

h_2 — новое значение метацентрической высоты судна в момент перемещения членов экипажа, м.

Величина h_2 в уравнении (5) определяется следующим образом:

$$h_2 = h_1 - \frac{\sum_{j=1}^m p_{эj} (z_{эj2} - z_{эj1})}{P}, \quad (6)$$

где $z_{эj2}$ — аппликата центра тяжести части экипажа в месте перемещения с борта на борт (палуба судна), м;

$z_{эj1}$ — аппликата центра тяжести части экипажа в месте проживания (кубрики, каюты членов команды судна), м.

Примечание. Начальная поперечная метацентрическая высота h_1 , определяемая в соответствии с формулой (3).

Преимуществом перемещения части экипажа с борта на борт (по команде) совместно с перекачкой балласта и подъемом–переносом груза является то, что при проведении эффективной координации действий экипажа с использованием учений и тренировок для раскачивания судна путем подъема — переноса груза и перемещения людей углы крена в выражениях (4) и (5) должны суммироваться, что повышает эффективность раскачивания судна.

Недостатки перемещения части экипажа с борта на борт (по команде) совместно с перекачкой балласта и подъемом — переносом груза состоят в том, что в ледовых условиях при подъеме–переносе грузов и перемещении части экипажа с борта на борт должны *соблюдаться особые меры техники безопасности*, что требует предварительной координации действий путем проведения учений и тренировок.

2. Обеспечение раскачивания с использованием других судов и ледоколов.

Плавное раскачивание судна давлением с использованием ледокола. В дополнение к окалыванию судна (см. рис. 3) ледокол может участвовать в раскачивании судна путем плавного давления на корпус зажатого судна за счет работы двигательно-движительного комплекса ледокола (рис. 6 и 7).

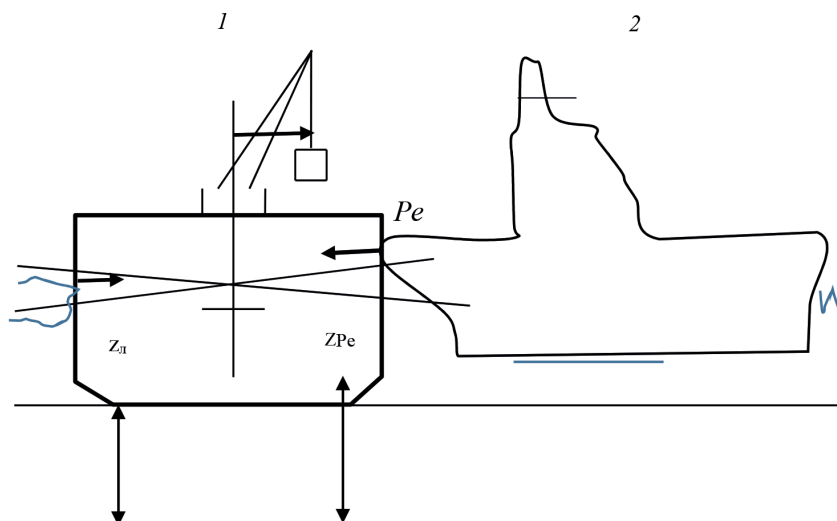


Рис. 6. Раскачивание судна плавным давлением ледокола с подъемом груза судовой грузовой стрелой (краном):

1 — подъем груза своей грузовой стрелой;
2 — плавное давление на борт судна во льду за счет работы движительно-рулевого комплекса ледокола

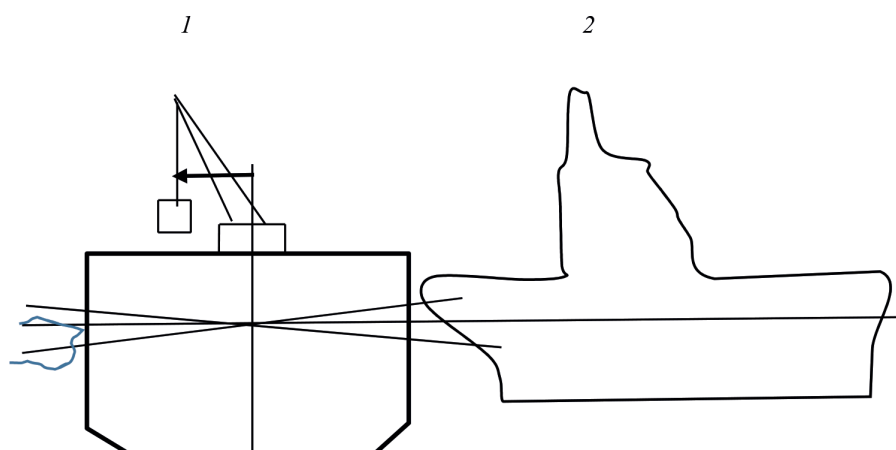


Рис. 7. Раскачивание судна плавным давлением ледокола и переносом груза судовой грузовой стрелой (краном):

1 — перенос груза своей грузовой стрелой (грузовым краном);
2 — прекращение плавного давления ледокола в борт судна во льду, отход ледокола от борта судна

Сущность плавного давления ледокола при раскачивании зажатого льдом судна заключается в следующем. Ледокол подходит носом к борту зажатого льдом судна и упирается в бортовой кранец или место расположения усиленного шпангоута, предназначенного для установки буксира при швартовке судна. Далее ледокол начинает работать своим движительно-рулевым комплексом (ДРК), плавно наращивая упор в сторону борта зажатого льдом судна. Под действием работы ДРК ледокола судно получает крен в сторону противоположного от установки ледокола борта. Затем ледокол прекращает работу ДРК и отходит от борта судна. Судно под действием восстанавливающего момента выравнивается и / или наклоняется (раскачивается) в сторону ледокола. Происходит раскачивание зажатого льдом судна, которое способствует его освобождению от зажимающего льда (см. рис. 7). После этого процесс раскачивания может повторяться. Угол крена, зажатого льдом судна при плавном давлении ледокола при раскачивании может быть определен в виде

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{Pe(z_{Pe} - z_{\text{л}})}{Ph_1}, \quad (7)$$

где Pe — тяга винтов ледоколов при плавном давлении на борт судна, кН;

z_{Pe} — аппликата точки приложения тяги винта ледокола на борту судна, м;

$z_{\text{л}}$ — аппликата точки приложения зажимающего льда на борту судна, м.

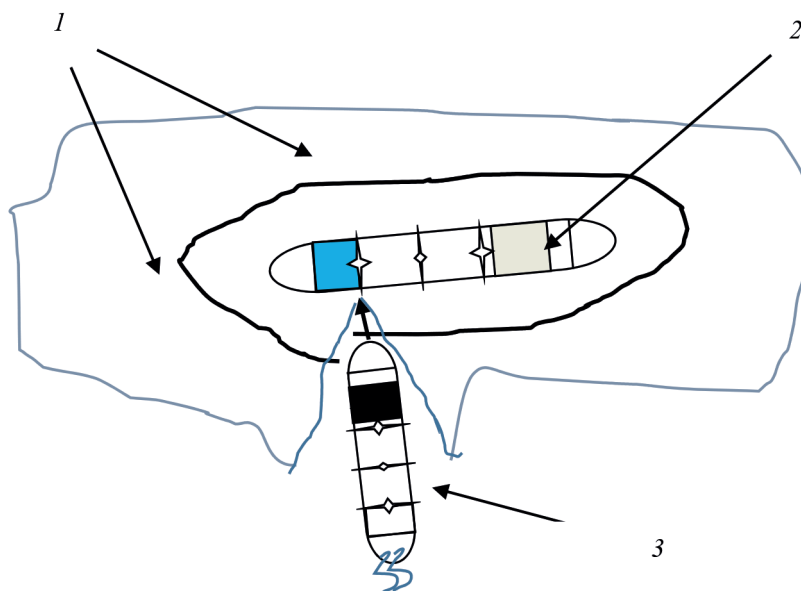


Рис. 8. Рубка льда, зажимающего судно, с использованием ледокола перед плавным и динамическим раскачиванием:

1 — зажимающие судно тяжелые льды; 2 — судно, зажатое в тяжелых льдах;
3 — ледокол рубящий лед перед плавным или динамическим раскачиванием

Преимуществом плавного раскачивания судна давлением с использованием ледокола является то, что раскачивание подразумевает предварительную рубку льда, зажимающего корпус судна, что способствует его эффективному разрушению и освобождению зажатого льдом судна (рис. 8). Раскачивание судна плавным давлением ледокола на борт судна может производиться вместе с созданием *дополнительных свободных поверхностей* при перекачке балласта и подъемом–переносом груза судовыми кранами или стрелами, что приводит к дополнительному увеличению крена при раскачивании зажатого льдами судна в соответствии с выражениями (1)–(4), (7).

Недостатком плавного раскачивания судна давлением с использованием ледокола является то, что эта процедура, во избежание повреждения борта раскачиваемого судна, должна проводиться в местах усиленных шпангоутов и / или с использованием специальной кранцевой защиты корпуса судна.

Ударное (динамическое) раскачивание судна давлением с использованием ледокола. Сущность работы ледокола при ударном (динамическом) раскачивании зажатого льдом судна заключается в следующем. Ледокол подходит носом к борту зажатого льдом судна и останавливается на определенном расстоянии от борта, напротив нахождения бортового кранца или места расположения усиленного шпангоута, предназначенного для установки буксира при швартовке судна. Далее ледокол начинает работать своим ДРК, плавно наращивая упор и скорость в сторону борта зажатого льдом судна. При подходе к борту зажатого льдом судна ледокол оказывает на него динамическое кренящее воздействие. Под воздействием ледокола судно получает динамический крен в сторону, противоположную расположению ледокола борта. Ледокол прекращает работу ДРК и отходит от борта судна. Судно под действием восстанавливающего момента выравнивается и / или накреняется в сторону ледокола. Происходит раскачивание зажатого льдом судна, способствующее

его освобождению от зажимающего льда. После этого процесс динамического раскачивания может повторяться. Ударное динамическое раскачивание имеет те же основные преимущества и недостатки, что и плавное давление ледокола на корпус зажимающего судна.

Преимущества при ударном (динамическом) раскачивании судна давлением с использованием ледокола заключаются в том, что при ударном раскачивании угол крена зажатого льдом судна, в соответствии с выражением (7), может увеличиваться до двух раз. Вибрация, передаваемая на корпус зажатого льдами судна, при динамических ударах ледокола способствует появлению вибрации на его корпусе и в конструкциях, что способствует освобождению зажатого судна, его движительно-рулевого комплекса и других конструкций от намерзшего льда. В результате динамического вибрационного воздействия ледокола появляется возможность эффективного использования ДРК зажатого судна для его скорейшего высвобождения из тяжелых ледовых условий.

Недостатком при ударном (динамическом) раскачивании судна давлением с использованием ледокола является то, что при динамическом раскачивании особую роль приобретает осторожность работы ледокола и предотвращение возможного повреждения корпуса зажатого судна. Это может быть достигнуто использованием специальных и дополнительных кранцев на носу ледокола и на борту судна, ограничения «разгона» и нацеливания ударов ледокола в определенные усиленные части корпуса судна при помощи заведения удерживающих тросов на носу ледокола.

Анализ, проведенный для других комбинаций взаимодействия судов при высвобождении судна из тяжелых ледовых условий, показывает эффективность совместного раскачивания ледоколами и другими судами, расположенными с одного и двух бортов, с кормы и борта, с носа, кормы и бортов судна, зажатого во льдах, а также совместного раскачивания другими судами совместно с подъемом и переносом груза, перекачкой балласта, а также создания дополнительных свободных поверхностей при статическом и динамическом воздействии раскачивающих судов.

Для обеспечения толкания судна, зажатого в тяжелых ледовых условиях, выполняется ударное (динамическое) давление с использованием ледокола, аналогичное так называемой проводке ледоколом транспортного судна «на усах». В этом случае транспортное судно становится носом в специальный кранцевый вырез на корме ледокола и крепится через якорные клюзы «за усы» таким образом, что ледокол и транспортное судно представляют собой практически единый сочлененный корпус из двух судов. При дальнейшем движении в случае зажатия в тяжелых льдах корпуса ледокола он получает динамическое воздействие — «толчок» со стороны закрепленного на корме («на усах») судна, что позволяет преодолеть застревание ледокола во льдах и продолжить движение сцепки ледокола и закрепленного «на усах» транспортного судна. Как показывает научный анализ и опыт движения судов «на усах» в ледовых условиях, статическое и динамическое толкание с использованием ледокола и / или других судов значительно увеличивает возможность вывода судна из тяжелых ледовых условий.

Преимуществом ударного (динамического) толкания вмерзшего в лед судна с использованием ледокола является вибрация, передаваемая на корпус зажатого льдами судна, которая при динамических толкающих ударах ледокола способствует появлению вибрации на его корпусе и судовых конструкциях. Это приводит к освобождению зажатого корпуса судна, его ДРК и других конструкций от намерзшего и зажимающего льда. В результате динамического вибрационного воздействия ледокола появляется возможность освобождения и эффективного использования ДРК зажатого судна для его скорейшего высвобождения судна из тяжелых ледовых условий.

Недостатком ударного (динамического) толкания вмерзшего в лед судна с использованием ледокола является то, что при осуществлении ударного (динамического) толкания необходима специальная кранцевая защита, предотвращающая повреждения корпусов судов. При неработающем и вмерзшем в лед ДРК транспортного судна толкающие динамические удары могут привести к поломке лопастей гребных винтов других конструкций, входящих в состав ДРК судна.

Преимущества совместного раскачивания и толкания судна, зажатого в тяжелых ледовых условиях, показывает анализ, проведенный для указанных ранее и других комбинаций статического

и динамического взаимодействия ледоколов и других судов при высвобождении судна из тяжелых ледовых условий, демонстрирующий значительную эффективность совместного раскачивания и толкания ледоколами и другими судами зажатого в тяжелых льдах судна. Наиболее эффективные схемы взаимодействия ледоколов и зажатого в тяжелых льдах судна приведены на рис. 9 и 10. Дополнительные, а также рассмотренные ранее мероприятия по самостоятельному раскачиванию зажатого во льдах судна способны значительно увеличить возможность высвобождения судна из тяжелых льдов.

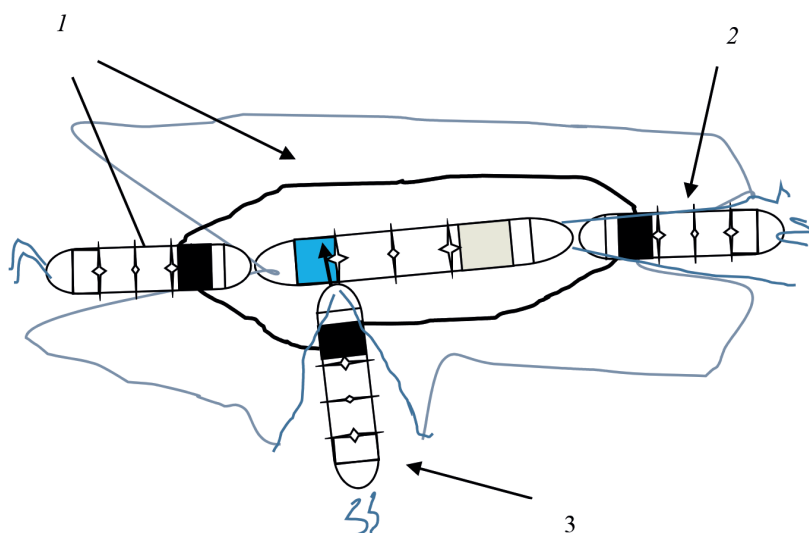


Рис. 9. Комбинация рубки льда, прокладывания канала, раскачивания и толкания зажатого во льдах судна, с использованием ледоколов и другого судна:

- 1 — судно, толкающее зажатое в тяжелых льдах судно на выход по проложенному каналу;
- 2 — ледокол, прокладывающий канал в тяжелых льдах для вывода застрявшего судна;
- 3 — ледокол, рубящий лед и раскачивающий зажатое судно

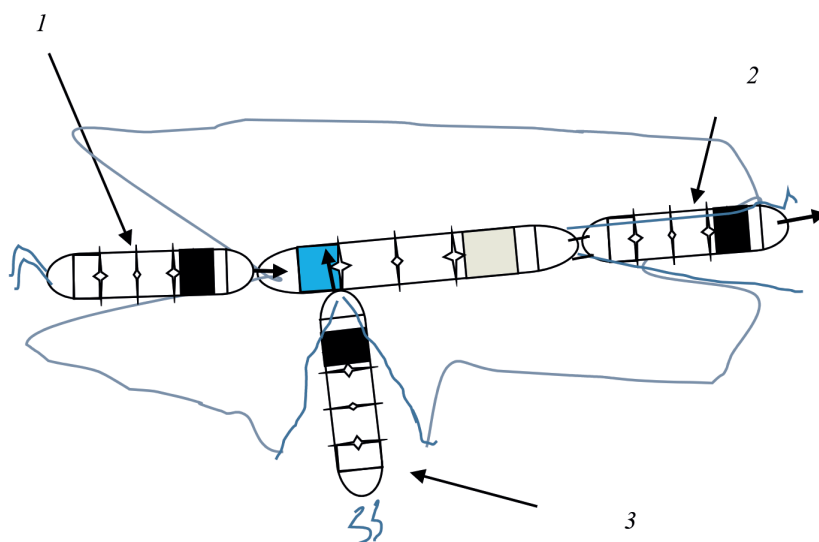


Рис. 10. Комбинация рубки льда, прокладывания канала, раскачивания, взятия «на усы» для вывода и толкания зажатого во льдах судна, с использованием ледоколов по проложенному каналу:

- 1 — судно, толкающее зажатое в тяжелых льдах судно на выход по проложенному каналу;
- 2 — ледокол, прокладывающий канал в тяжелых льдах, разворачивается и берет «на усы» для вывода застрявшего судна по проложенному каналу;
- 3 — ледокол, рубящий лед и раскачивающий зажатое судно

Недостатками методов раскачивания и толкания судов для высвобождения из тяжелых льдов является необходимость специальной кранцевой защиты, предотвращающей повреждения корпусов ледоколов и судов при данного рода воздействиях, что свидетельствует о том, что нужно совершенствовать методы и практические рекомендации для экипажей по высвобождению судов из тяжелых ледовых условий.

Результаты (Results)

В исследовании приведены теоретические основы, которые могут использоваться для создания новых и развития существующих методов высвобождения судов из тяжелых ледовых условий. Показана возможность использования для высвобождения судов из ледового плена методов рубки льда, раскачивания и толкания зажатого в тяжелых льдах судна, которые доказали свою эффективность в других областях науки и техники. Использование аппарата теории судна и опыта ледовых проводок позволило обосновать возможность эффективного применения методов раскачивания, толкания и рубки льда для высвобождения судов, оказавшихся в тяжелых ледовых условиях. Показана возможность использования комбинаций работы балластной системы, грузовых стрел и кранов, специальных действий экипажа, зажатого во льду судна, а также взаимодействия с ледоколами и другими судами для рубки зажимающего льда, раскачивания и толкания, увеличивающих эффективность высвобождения судна из тяжелых ледовых условий. Полученные результаты научного анализа позволили определить преимущества и недостатки различных методов раскачивания, толкания и рубки льда, что позволяет разработать практические мероприятия, которые могут быть использованы экипажами судов и ледоколов для высвобождения судов из тяжелых ледовых условий.

Материалы настоящей статьи могут быть использованы при разработке новых научно-обоснованных практических мероприятий по выводу оказавшихся в ледовых условиях судов, а также создании новых устройств и видов кранцевой защиты для совершенствования методов высвобождения судов из тяжелых льдов.

Обсуждение (Discussion)

Теоретическое обоснование возможности использования раскачивания, толкания и рубки льда, зажимающего судно как мероприятия, доказавшие свою эффективность в других областях техники, могут составлять основу мероприятий по высвобождению судов, зажатых в тяжелых ледовых условиях. В статье показана возможность использования комбинаций работы балластной системы, грузовых стрел и кранов, специальных действий экипажа, зажатого во льду судна, а также взаимодействия с ледоколами и другими судами для рубки зажимающего льда, раскачивания и толкания судов с целью высвобождения их из тяжелых ледовых условий. Показано, что использование процедуры раскачивания, толкания и рубки льда, зажимающего судно, статического и динамического воздействия ледоколов и другие мероприятия могут эффективно использоваться для освобождения судов в тяжелых ледовых условиях.

Преимуществом теоретически обоснованных методов рубки льда, его раскачивания и толкания является независимость этих действий от других мероприятий, связанных с высвобождением судна из ледового плена (перекачки балласта, подъема–переноса груза и т. п.) и возможность их осуществления совместно с работой двигательно-движительного комплекса судна, заведением ледовых якорей и др. Мероприятия по рубке льда, раскачиванию и толканию способны предотвратить повреждение корпуса судна в условиях сжатия ледового канала.

Выводы (Summary)

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Разработка теоретических основ высвобождения судна из тяжелых ледовых условий позволяет определять основные закономерности выхода судна из ледового плена, разрабатывать новые методы и практические мероприятия по освобождению судна, зажатого тяжелыми льдами.

2. Выявление основных закономерностей, связанных с рубкой зажимающего судно льда, раскачиванием и толканием зажатого льдами судна, позволило определить практические мероприятия, которые могут осуществляться непосредственно на зажатом во льду судне, а также в комбинации с воздействием на него ледоколов и других судов, оказывающих помощь по высвобождению судна из тяжелых ледовых условий, отметить их достоинства и недостатки.

3. Использование перекачки балласта для предотвращения повреждения корпуса при сжатии льда для высвобождения судна из ледового плена и предотвращения повреждения корпуса, а также другие теоретически обоснованные действия, связанные с раскачиванием и толканием зажатого судна, дают большие возможности для эффективного и безопасного высвобождения судов из тяжелых ледовых условий и совершенствования плавания судов в полярных водах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс). — СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2016. — 232 с.
2. Резолюция MSC.386(94) «Поправки к Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 года с поправками» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420376047> (дата обращения: 01.12.2022).
3. Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года (МК СОЛАС-74). (Консолидированный текст, измененный Протоколом 1988 года к ней, с поправками). — СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2021. — 1184 с.
4. Международная Конвенция по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененная протоколом 1978 г. к ней (МАРПОЛ-73/78). Кн. I, II. — СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2017. — 824 с.
5. Ершов А. А. Рекомендации по маневрированию судна в ледовых условиях / А. А. Ершов, С. Ю. Развозов, П. И. Петухов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 5 (39). — С. 20–29. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-20-29.
6. Ершов А. А. Оценка эффективности использования перекачки балласта для предотвращения повреждения корпуса судна в ледовых условиях / А. А. Ершов, П. И. Петухов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 3. — С. 316–324. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-316-324.
7. Ершов А. А. Рекомендации по спрямлению судна при аварии в ледовых условиях / А. А. Ершов, П. И. Петухов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 6 (40). — С. 34–42. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-34-42.
8. Ершов А. А. Рекомендации по действиям в чрезвычайных ситуациях в ледовых условиях плавания / А. А. Ершов, П. И. Петухов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 17–26. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-17-26.
9. Ершов А. А. Некоторые аварии и катастрофы отечественных и иностранных судов: монография / А. А. Ершов, В. И. Никольский. — СПб.: ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2013. — 196 с.
10. Gao G. X. Breaking the Ice: Navigation in the Arctic / G. X. Gao, L. Heng, T. Walter, P. Enge // Global Navigation Satellite Systems: Report of a Joint Workshop of the National Academy of Engineering and the Chinese Academy of Engineering. — National Academies Press, 2012. — Pp. 229–238.

REFERENCES

1. *International code for ships operating in polar waters (Polar code)*. London: International Maritime Organization, 2016.
2. Resolution MSC.386(94). Amendments to the international convention for the safety of life at sea, 1974, as amended. Web. 1 Dec. 2022. <<https://docs.cntd.ru/document/420376047>>.
3. *International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, (SOLAS-74). (Text modified by the Protocol of 1988 relating thereto, including Amendments)*. SPb.: AO «TsNIIMF», 2021.
4. *International Convention for Prevention of Pollution from Ships (MARPOL-73/78)*. SPb.: AO «TsNIIMF», 2017.
5. Ershov, Andrey Alexandrovich, Sergey Jrevich Razvozov, and Pavel Igorevich Petuhov. "Recommendation on maneuvering the vessel in ice conditions." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 5(39) (2016): 20–29. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-5-20-29.

6. Ershov, Andrey A., and Pavel I. Petukhov. "Evaluation of the efficiency of using ballast pumping to prevent damage to the ship's hull in ice conditions." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.3 (2021): 316–324. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-316-324.

7. Ershov, Andrey Alexandrovich, and Pavel Igorevich Petuhov. "Recommendations to straighten the ship in the accident in ice conditions." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 6(40) (2016): 34–42. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-34-42.

8. Ershov, Andrey A., and Pavel I. Petuhov. "Recommendations for emergency response in ice conditions of navigation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.1 (2017): 17–26. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-17-26.

9. Ershov, A.A., and V. I. Nikol'skii. *Nekotorye avarii i katastrofy otechestvennykh i inostrannykh sudov: monografiya*. SPb.: GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2013.

10. Gao, G. X., L. Heng, T. Walter, and P. Enge. "Breaking the Ice: Navigation in the Arctic." *Global Navigation Satellite Systems: Report of a Joint Workshop of the National Academy of Engineering and the Chinese Academy of Engineering*. National Academies Press, 2012: 229–238.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ершов Андрей Александрович —

доктор технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: ershov_63@mail.ru, kaf_mus@gumrf.ru

Бояринов Александр Михайлович —

кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: bojarinovam@gumrf.ru

Гаккель Алексей Алексеевич —

старший преподаватель
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: alienbaron@yandex.ru, kaf_mus@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ershov, Andrey A. —

Dr. of Technical Sciences, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation

e-mail: ershov_63@mail.ru, kaf_mus@gumrf.ru

Boiarinov, Aleksandr M. —

PhD, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation

e-mail: bojarinovam@gumrf.ru

Gakkel, Alexey A. —

Senior Lecturer
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation

e-mail: alienbaron@yandex.ru, kaf_mus@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 31 января 2023 г.

Received: January 31, 2023.