

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF USING BALLAST PUMPING TO PREVENT DAMAGE TO THE SHIP'S HULL IN ICE CONDITIONS

A. A. Ershov, P. I. Petukhov

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

The subject of the study is ice navigation, which is always accompanied by significant difficulties and dangers for the ship, its passengers and crew. The most dangerous situation that occurs if at a certain stage of navigation in ice conditions, the ice begins to move, leading to compression of the ice channel, where the ship is located, is considered. In this case, the pressure forces from the ice floes compressing the channel are applied to the vessel hull. These forces, which clamp the ship in the conditions of the ice channel, hinder its movement, contribute to the destruction of the ship hull, create a vacuum and lead to the possible death of the ship, its passengers and crew. The use of ballast pumping to prevent clamping the vessel when the ice channel is compressed by boatmasters navigating in ice conditions is investigated. It is noted that the ballast pumping allows you to deal with the "clamping" of the hull by ice to carry out movement in conditions of the ice channel compression. The advantage of its application is the independence of this procedure from other measures related to the vessel movement and the release from the ice captivity, i. e. to the vessel operation. It can be carried out together with the work of the ship's propulsion system, establishment of ice anchors, washing the hull, etc. Other advantages can be found in ballast transfer operations that can prevent damage to the ship's hull in the conditions of the ice channel compression. At present, the lack of a scientifically based assessment of the efficiency of ballast pumping does not allow us to determine the possibilities and advantages of these measures for a wider range of tasks in order to ensure the safety and security of ship movement in the ice conditions, especially when the ice channel is compressed. The application of a scientifically based analysis and evaluation of the ballast pumping efficiency in the ice navigation conditions is proposed in the paper. This will expand the list of vessels types that may be offered to use this method to avoid damages and their dangerous consequences when navigating in the ice conditions.

Keywords: ice navigation, compression of the ice channel, use of ballast pumping, prevention of ship damage.

For citation:

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.

УДК 655.62.052.4

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕКАЧКИ БАЛЛАСТА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ КОРПУСА СУДНА В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ

А. А. Ершов, П. И. Петухов

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

Темой исследования является ледовое плавание, всегда сопровождающееся значительными трудностями и опасностями для судна, его пассажиров и экипажа. Рассматривается наиболее опасная ситуация, возникающая в том случае, если на определенном этапе плавания в ледовых условиях начинается подвижка льда, приводящая к сжатию ледового канала, в котором находится судно. В этом случае на корпус судна оказываются силы давления со стороны льдин, сжимающих канал. Эти силы, зажимающие судно в условиях ледового канала, препятствуют его движению, способствуют разрушению корпуса судна, созданию водотечности и приводят к возможной гибели судна, его пассажиров и экипажа. Исследовано использование перекачки балласта для предотвращения зажима судна при сжатии ледового канала су-

доводителями, осуществляющими плавание в ледовых условиях. Отмечается, что перекачка балласта позволяет бороться с «зажимом» корпуса льдами для осуществления движения в условиях сжатия ледового канала. Преимуществом ее применения является то, что данная процедура не зависит от других мероприятий, связанных с движением и высвобождением судна из ледового плена, т. е. она может осуществляться вместе с работой двигательного комплекса судна, заведением ледовых якорей, обмывом корпуса и др. Для мероприятий по перекачке балласта могут быть найдены также другие преимущества, которые могут предотвратить повреждение корпуса судна в условиях сжатия ледового канала. В настоящее время отсутствие научно обоснованной оценки эффективности перекачки балласта не позволяют определить возможности и преимущества этих мероприятий для решения более широкого круга задач с целью обеспечения безопасности и обеспечения движения судна в ледовых условиях, особенно при сжатии ледового канала. В работе предлагается применение научно-обоснованного анализа и оценки эффективности перекачки балласта в условиях ледового плавания. Это позволит расширить перечень типов судов, которым может быть предложено использовать данный способ во избежание повреждений и их опасных последствий при плавании в ледовых условиях.

Ключевые слова: ледовое плавание, сжатие ледового канала, использование перекачки балласта, предотвращение повреждения судна.

Для цитирования:

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.

Введение (Introduction)

Ледовое плавание всегда сопровождается значительными трудностями и опасностями для судна, его пассажиров и экипажа. Наиболее опасная ситуация возникает в том случае, если на определенном этапе плавания в ледовых условиях начинается подвижка льда, приводящая к сжатию ледового канала, в котором находится судно. В данном случае на корпус судна оказывают действие силы сжатия $P_{сж}$ со стороны льдин, сжимающих канал. Эти силы, зажимающие судно в условиях ледового канала, препятствуют его движению, способствуют разрушению корпуса судна, созданию водотечности и приводят к возможной гибели судна, его пассажиров и экипажа. Во избежание возможных опасностей ледового плавания используется система пневмообмыва корпуса (при наличии), выполняется особая работа двигательного комплекса, а в наиболее тяжелых случаях применяется оковка зажатого судна ледоколом, использование ледовых якорей и другие мероприятия, в том числе перекачка водяного балласта судна.

В 2017 г. вступил в действие «Международный полярный кодекс», обязательный для всех судов, осуществляющих плавание в полярных водах, который предусматривает наличие на судах обязательных рекомендаций по «аварийной передаче жидкостей» в случае чрезвычайных ситуаций^{1,2,3,4}. Наличие таких рекомендаций является обязательным условием эксплуатации судна в полярных водах.

Навигационные риски при буксировке в стесненных навигационных условиях рассмотрены в публикациях [1], [2]. Использование перекачки балласта для предотвращения зажимания судна при сжатии ледового канала используется судами, осуществляющими плавание в ледовых условиях [3], [4]. Это мероприятие позволяет бороться с «зажимом» корпуса льдами для осуществления движения в условиях сжатия ледового канала. Преимуществом применения перекачки балласта является независимость этих процедур от других мероприятий, связанных с движением

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: 01.03.2021).

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. СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2017. — 824 с.

судна и высвобождением его из ледового плена, т. е. данная процедура может осуществляться вместе с работой двигательного-двигательного комплекса судна, использованием ледовых якорей и т. п. Мероприятия по перекачке балласта имеют также другие преимущества, которые могут предотвратить повреждение корпуса судна в условиях сжатия ледового канала [5]–[12].

В настоящее время отсутствие научно обоснованной оценки эффективности перекачки балласта для предотвращения аварий судов в ледовых условиях не позволяет определить особенности и преимущества данных мероприятий для решения более широкого круга задач обеспечения безопасности и эффективности ледового плавания. Отсутствие подобного анализа не дает возможности конкретизировать типы судов, которые могут эффективно использовать перекачку балласта для обеспечения безопасности движения судна в ледовых условиях, особенно при сжатии ледового канала. Решению данных проблем посвящена настоящая статья.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Наибольшую опасность для судна при сжатии ледового канала представляют силы, действующие на корпус со стороны льда, так как они могут приводить к сжатию корпуса, разрушению обшивки, появлению водотечности и даже к гибели судна. Схема сил, действующих на корпус судна, приведена на рис. 1.

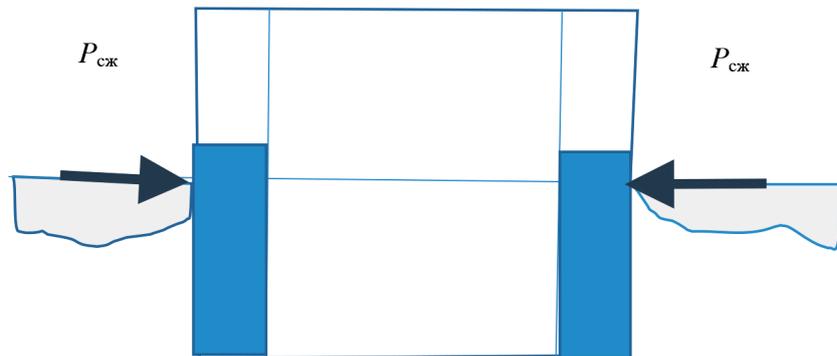


Рис. 1. Схема действия сил на корпус судна при сжатии льда
($P_{сж}$ — силы сжатия льда, кН)

Перекачка балласта обеспечивает крен корпуса судна, создавая дополнительное давление на лед, способствует его разрушению, что препятствует развитию и снижает действие сил сжатия льда ($P_{сж}$). Кроме того, перекачка балласта в условиях сжатия ледового канала имеет и другие положительные свойства, которые требуют анализа и оценки с точки зрения их эффективности, безопасности и практической применимости для различных типов судов, осуществляющих ледовое плавание. Далее необходимо проанализировать каждое преимущество перекачки балласта отдельно.

1. Оценка эффективности перекачки балласта в условиях сжатия ледового канала с точки зрения создания дополнительного давления на лед с целью его разрушения и снижения опасности повреждения корпуса судна.

Схема сил и моментов, действующих на судно и лед при перекачке балласта и появлении крена, приведена на рис. 2. В соответствии с данной схемой уравнение моментов будет иметь следующий вид:

$$Ph \sin \theta = p_6 (y_{62} - y_{61}) \cos \theta - p_l B \cos \theta, \quad (1)$$

где θ — угол крена судна, град; B — ширина судна, м.

Остальные обозначения, используемые формуле (1), приведены на рис. 2. После преобразования уравнения (1) примут вид

$$p_l = \frac{p_6 (y_{62} - y_{61}) - P_h \cdot \operatorname{tg} \theta}{B}. \quad (2)$$

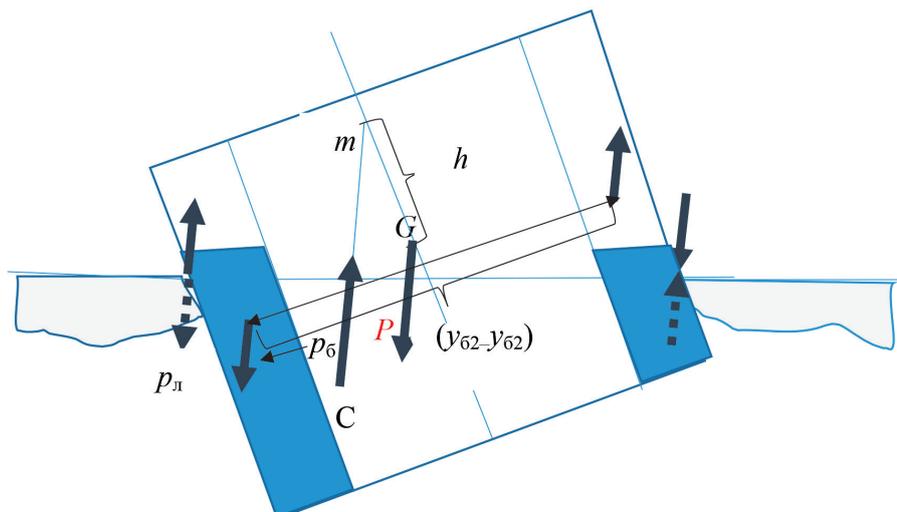


Рис. 2. Схема действия сил на корпус судна и лед при перекачке балласта:

P — весовое водоизмещение судна, кН; p_6 — вес перекачанного балласта, кН;
 p_n — сила давления корпуса на лед вследствие накренения 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

Условные обозначения:

сплошными стрелками показаны силы, действующие на судно,
 пунктирными — на лед

Пример расчета силы давления корпуса судна на лед (в тоннах) по формуле (2) для судна водоизмещением $\Delta = 50000$ т, $h = 1$ м, $(y_{62} - y_{61}) = 30$ м, $B = 40$ м и массы перекачанного балласта 500 т дан на рис. 3. Анализ результатов расчета показывает значительную эффективность перекачки балласта для разрушения льда, сжимающего судно, так как максимальное давление корпуса на лед возникает в самом начале перекачки балласта (при малых углах крена), делая максимально эффективным любое, даже самое малое накренение судна при перекачке балласта для разрушения льда, сжимающего корпус судна.

Дополнительным положительным фактором является появление свободных поверхностей при перекачке водяного балласта, которое уменьшает значение метацентрической высоты судна h и увеличивает значение силы давления корпуса судна на лед, рассчитанной по формуле (2). Значения сил давления на лед с учетом его малой площади в пристеночной области корпуса судна являются достаточными для его разрушения даже при больших значениях толщины.

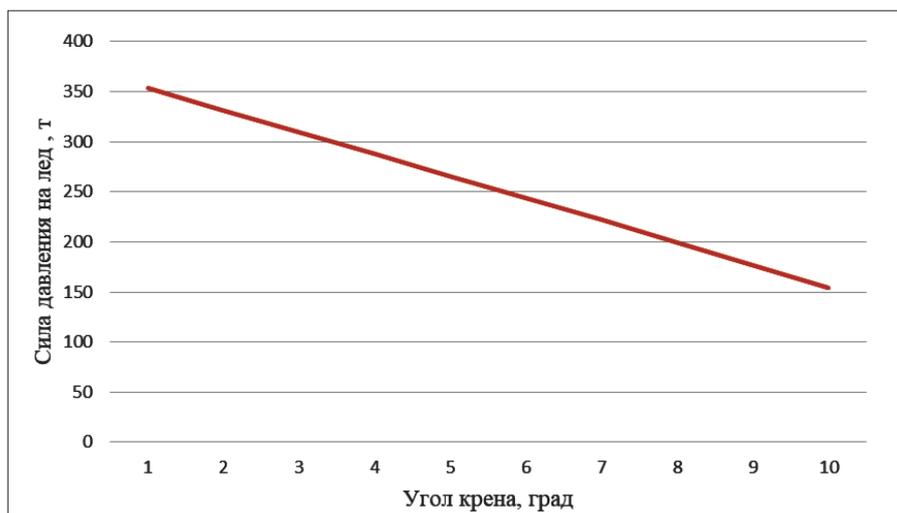


Рис. 3. Расчет силы давления корпуса судна на лед при перекачке балласта

2. Оценка эффективности перекачки балласта в условиях сжатия ледового канала с точки зрения сохранения прочности корпуса судна.

При сжатии ледового канала наибольшее давление льда может находиться в любой точке корпуса судна по высоте борта. При перекачке балласта и появлении крена судно может перемещать точку наибольшего давления льда в точку, расположенную в наиболее прочной части корпуса судна, в пределах так называемого ледового пояса корпуса судна (см. рис. 1 и 2). Таким образом, перекачка балласта может быть эффективной для судов различных типов, имеющих ледовый пояс.

3. Оценка эффективности перекачки балласта в условиях ледового канала с точки зрения уменьшения воздействия силы сжатия льда на корпус судна.

При сжатии ледового канала наибольшее сжатие льда $P_{сж}$ может действовать практически перпендикулярно обшивке корпуса судна (см. рис. 1), что является наиболее опасным для прочности и приводя к разрушению корпуса, появлению водотечности и возможной гибели судна. При перекачке балласта и появлении крена судно может «переводить» силу сжатия в скользящее действие, уменьшающее опасное воздействие силы сжатия $P_{сж}$ на корпус судна (см. рис. 3). Дополнительно скольжение льда может быть увеличено применением пневмообмыва корпуса (при его наличии на судне), вхождением части корпуса в воду при крене, увеличивающем скольжение (на пониженном борту), а также дополнительным выливом воды и / или масел на повышенный борт судна для уменьшения трения, а также другими мероприятиями.

Расчеты показали, что применение подачи жидкости и масел в место взаимодействия корпуса судна и льда вместе с балластировкой судна позволяет на 40–50 % снизить силу сжатия $P_{сж}$ и, следовательно, опасность разрушения корпуса при плавании в ледовых условиях.

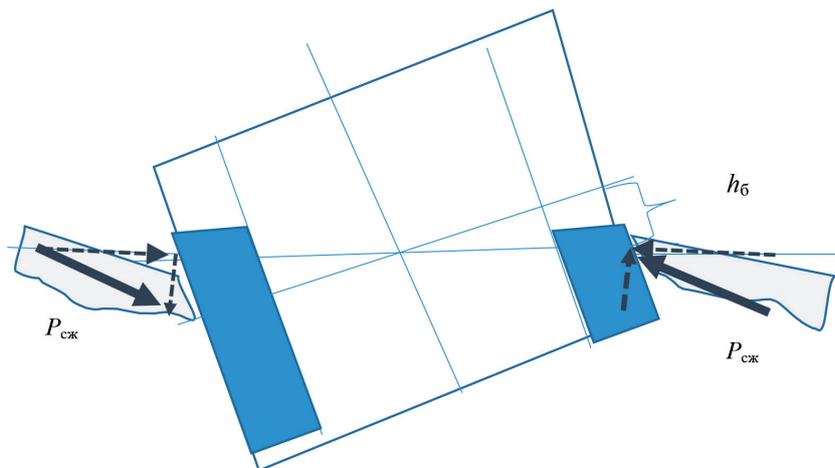


Рис. 4. Перевод силы сжатия льда $P_{сж}$ в скользящее действие при перекачке балласта, накренивании судна и извлечении части борта h_g из воды

4. Оценка эффективности перекачки балласта в условиях сжатия ледового канала с точки зрения оценки повреждений корпуса, извлечения поврежденной части корпуса из воды и предотвращения затопления судна.

При сжатии ледового канала повреждение корпуса может находиться в любой точке по высоте борта судна. При перекачке балласта и появлении крена судно может перемещать имеющиеся повреждения корпуса из-под воды в надводную часть борта судна. Этот прием может быть использован для оценки возможных повреждений и извлечения поврежденной части корпуса из воды для предотвращения поступления воды внутрь судна. Одновременно с предотвращением поступления забортной воды через повреждения удастся предотвратить экологическое загрязнение за счет уменьшения утечки из поврежденной части корпуса судна [4]. Для оценки высоты борта судна, извлеченного из воды с целью оценки повреждений и перемещения их в надводную часть корпуса при балластировке, может быть использована следующая зависимость:

$$h_6 = \frac{B}{2} \operatorname{tg} \theta, \quad (3)$$

где h_6 — высота борта, извлекаемая из воды при накренивании судна после перекачки балласта, м.

Пример расчета h_6 от угла крена по формуле (3) для расчетного судна приведен на рис. 5.

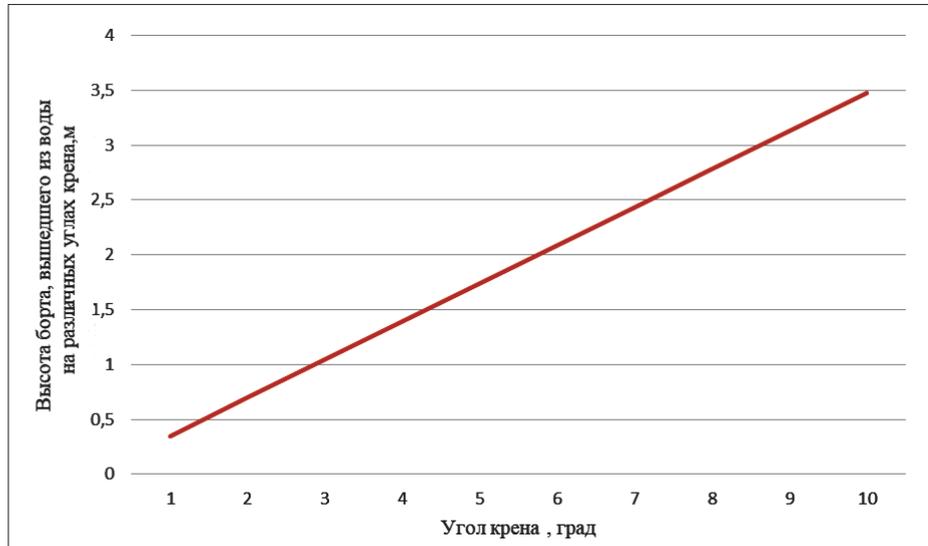


Рис. 5. Расчет высоты борта, вышедшего из воды при накренивании судна в процессе перекачке балласта

Результаты расчета показывают возможность оперативной оценки характера повреждения, быстрого извлечения пробоев с целью предотвращения поступления забортной воды [5], [6], а также экологических загрязнений даже при значительных заглоблении повреждений корпуса судна, которые могут возникнуть при сжатии ледового канала, что свидетельствует о высокой эффективности использования перекачки балласта для этих целей даже при значительной толщине льда, в котором осуществляется плавание судна.

Результаты (Results)

Выполнена научно обоснованная оценка эффективности использования перекачки балласта для предотвращения повреждения корпуса и гибели судна в период ледового плавания. Показано, что использование перекачки балласта и создание крена судна в условиях сжатия ледового канала может оказывать разрушающее действие на лед в пристеночной области корпуса судна, предотвращая его сжатие и повреждение.

В работе показана эффективность любого, даже самого малого накренивания судна при перекачке балласта для разрушения льда, сжимающего корпус судна. Дополнительным положительным фактором является появление свободных поверхностей при перекачке водяного балласта, которое уменьшает значение метацентрической высоты судна h и увеличивает значение силы давления корпуса судна на лед (см. формулу (2)). Величины силы давления на лед, с учетом малой площади льда в пристеночной области корпуса судна, являются достаточными для его разрушения даже при больших значениях толщины.

Отмечается, что при перекачке балласта и появлении крена судно может перемещать точку наибольшего давления льда в точку, расположенную в наиболее прочной части корпуса судна в пределах так называемого *ледового пояса* корпуса судна (см. рис. 1 и 2). Таким образом, перекачка балласта может быть эффективной для судов различных типов, имеющих *ледовый пояс*.

В работе показано, что при сжатии ледового канала наибольшее давление льда, проявляющееся через $P_{сж}$, может действовать практически перпендикулярно обшивке корпуса судна (см. рис. 1), что является наиболее опасным для прочности и может приводить к разрушению корпуса, появлению

водотечности и возможной гибели судна. При перекачке балласта и появлении крена судно может «переводить» силу сжатия в скользящее действие, уменьшающее опасное воздействие силы сжатия $P_{сж}$ на корпус судна (см. рис. 3). Применение подачи жидкости и масел в место взаимодействия корпуса судна и льда вместе с балластировкой судна позволяет на 40–50 % снизить силу сжатия $P_{сж}$ и, следовательно, опасность разрушения корпуса при плавании в ледовых условиях.

В работе показана возможность оперативной оценки характера повреждения, быстрого извлечения пробоин из воды с целью предотвращения поступления воды, а также экологических загрязнений даже при значительных заглоблении повреждений на корпусе судна в условиях сжатия ледового канала. Это свидетельствует о высокой эффективности использования перекачки балласта для этих целей даже при значительной толщине льда, в котором осуществляется ледовое плавание судна.

Обсуждение (Discussion)

Использование перекачки балласта для предотвращения «застревания» судна при сжатии ледового канала используется судами, осуществляющим плавание в ледовых условиях. Эти мероприятия позволяют бороться с «зажимом» корпуса льдами для движения в условиях сжатия ледового канала. Преимуществом применения перекачки балласта является независимость этих процедур от других мероприятий, связанных с движением судна и высвобождением его из ледового плена, т. е. оно может осуществляться вместе с работой двигательного комплекса судна, использованием ледовых якорей и др. Мероприятия по перекачке балласта имеют также другие преимущества, которые позволяют предотвратить повреждение корпуса судна в условиях сжатия ледового канала. Научно обоснованный анализ эффективности использования перекачки балласта для предотвращения повреждения корпуса и гибели судна в ледовых условиях выполнен в настоящей статье.

Выводы (Summary)

Использование перекачки балласта для предотвращения повреждения корпуса при сжатии льда для высвобождения судна из ледового плена предоставляет большие возможности для эффективного и безопасного функционирования судов различных типов в условиях ледового плавания. Научно обоснованный анализ эффективности использования перекачки балласта для предотвращения повреждения корпуса в условиях ледового плавания, выполненный в работе, позволяет рекомендовать данные мероприятия для всех типов судов ледового класса, осуществляющих плавание в полярных водах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Некрасов С. Н. Навигационные риски буксировки судна в стесненных навигационных условиях / С. Н. Некрасов, К. И. Ефимов, Д. В. Трененков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 6 (28). — С. 13–19.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Шурпак В. К. Полярный кодекс ИМО. Предварительный анализ первой части (Требования по безопасности) / В. К. Шурпак // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. — 2015. — № 38–39. — С. 8–17.

7. Работа ледокола при проводке каравана судов во льдах [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://flot.com/publications/books/shelf/specialcases/35.htm> (дата обращения: 01.03.2021).

8. Агеев А. Принцип работы ледокола: как он ломает лед [Электронный ресурс] / А. Агеев. — Режим доступа: <https://glavpaluba.ru/shipbuilding/1100-princip-raboty-ledokola> (дата обращения: 01.03.2021).

9. Шацбергер Э. М. Тактика плавания во льдах [Электронный ресурс] / Э. М. Шацбергер. — Режим доступа: <http://csef.ru/ru/politica-i-geopolitica/510/taktika-plavaniya-vo-ldah-prodolzhenie-8131> (дата обращения: 01.03.2021).

10. Плавание во льдах под проводкой ледокола [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://studopedia.su/1_41385_plavanie-vo-ldah-pod-provodkoy-ledokola.html (дата обращения: 01.03.2021).

11. Калинина Н. В. Влияние пневмо-омывающего устройства на ходкость ледоколов / Н. В. Калинина // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1–1. — С. 308.

12. 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. Nekrasov, S. N., K. I. Efimov, and D. V. Trenenkov. “Navigation risks towing in cramped navigational conditions.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 6(28) (2014): 13–19.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. Shurpyak, V.K. “Polyarnyi kodeks IMO. Predvaritel'nyi analiz pervoi chasti (Trebovaniya po bezopasnosti).” *Nauchno-tekhnicheskii sbornik Rossiiskogo morskogo registra sudokhodstva* 38–39 (2015): 8–17.

7. Rabota ledokola pri provodke karavana sudov vo l'dakh. Web. 1 March 2021 <<https://flot.com/publications/books/shelf/specialcases/35.htm>>.

8. Ageev, Aleksandr. Printsip raboty ledokola: kak on lomaet led. Web. 1 March 2021 <<https://glavpaluba.ru/shipbuilding/1100-princip-raboty-ledokola>>.

9. Shatsberger, E. M. Taktika plavaniya vo l'dakh. Web. 1 March 2021 <<http://csef.ru/ru/politica-i-geopolitica/510/taktika-plavaniya-vo-ldah-prodolzhenie-8131>>.

10. Plavanie vo l'dakh pod provodkoi ledokola. Web. 1 March 2021 <https://studopedia.su/1_41385_plavanie-vo-ldah-pod-provodkoy-ledokola.html>.

11. Kalinina, N.V. “Influence of pneumatic-washed device on icebreakers propulsion.” *Modern problems of science and education* 1–1 (2015): 308.

12. 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

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

Петухов Павел Игоревич — аспирант

Научный руководитель:

Ершов Андрей Александрович

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»

e-mail: sevarus89@gmail.com, kaf_mus@gumrf.ru

Petukhov, Pavel I. — Postgraduate

Supervisor: Ershov, Andrey A.

Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

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

Russian Federation

e-mail: sevarus89@gmail.com, kaf_mus@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 9 марта 2021 г.

Received: March 9 2021.