

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1143-1151

THE FRACTURE MECHANISM FOR ICE BLOCKS BY PROPELLER JET FROM INCLINED AZIPOD IN THE ARCTIC REGION

A. A. Andreev

PAO SCF, St. Petersburg, Russian Federation

The article presents the results of full-scale tests of the constructive capabilities of the — «Azipod» type propulsion units for the development of the main methods of breaking ice in the theory. The study of the capabilities of these engines is carried out in many foreign countries, primarily in Finland and Canada, but in these developments, the emphasis has been shifted to studying the influence of the turbulent boundary layer and its exchange between the jet and the surrounding fluid. At the boundary between the jet and the stationary liquid, a viscosity field is formed, as a result of which vortices are generated. These vortices inhibit the movement of the jet, contributing to an increase in its mass. Propellers produce a flow that has a certain force, the advantage of wash is to reduce the concentration of ice and widen channel for other vessels. The author identifies the propeller jet forces in breaking of the ice sheet and proposes to use the core of the jet, directing it directly to the ice cover. The observations were carried out on the tanker Timofey Guzhenko (PJSC Sovcomflot), equipped with an «Azipod» while passing through the ice. To assess the “hull - ice” interaction, an ice load monitoring system on the ship hull was used. As a result of theoretical studies and empirical observations, the author proposed six ways of breaking ice with a jet from an «Azipod»: breaking the ice with the help of jet power; the destruction of ice under the action of a bending moment; breaking ice due to pressure arising in the inter-haul space; breaking ice when driving at critical speeds (resonant); thermal and shock effect on ice massif. It was concluded that the potential capabilities of azimuth devices for breaking ice are practically not used in navigation, which reduces the efficiency of operation of double-acting vessels when sailing in the Arctic.

Keywords: navigation in the Arctic, «Azipod», methods for breaking ice, swimming in ice.

For citation:

Andreev, Alexander A. “The fracture mechanism for ice blocks by propeller jet from inclined azipod in the Arctic region.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.6 (2018): 1143–1151. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1143-1151.

УДК 656.61.052

СПОСОБЫ РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНОГО МАССИВА С ПОМОЩЬЮ НАКЛОННЫХ АЗИПОДОВ ПРИ ПЛАВАНИИ В АРКТИКЕ

А. А. Андреев

ПАО «Совкомфлот», Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье представлены результаты натурных испытаний конструктивных возможностей двигателей типа «Azipod» по отработке основных, выделенных в теории, способов взлома льда. Исследование возможностей данных двигателей проводится во многих зарубежных странах, прежде всего, в Финляндии и Канаде, однако в этих разработках основное внимание сосредоточено на изучении влияния пограничного турбулентного слоя и его обмен между струей и окружающей жидкостью. На границе между струей и неподвижной жидкостью образуется поле вязкости, вследствие чего зарождаются вихри, которые замедляют движение струи, способствуя увеличению ее массы. Увлекая в движение жидкость и куски льда, они тем самым очищают канал или корпус какого-либо объекта. В связи с этим в исследовании предлагается использовать ядро струи, направляя его непосредственно на ледовый покров. Наблюдения проведены на танкере «Тимофей Гуженко» (ПАО «Совкомфлот»), оборудованном наклонной системой Azipod при прохождении через льды Арктического побережья. Для оценки взаимодействия «корпус – лед» использована система мониторинга нагрузки льда на корпус судна. В результате проведенных теоретических исследований и эмпирических наблюдений предлагается шесть способов разрушения льда струей от Azipod: взлом льда при помощи реактивной силы струи; разрушение льда под действием изгибающего момента; взлом льда за счет давления, возникающего в межледовом пространстве; взлом льда при движении

с критическими скоростями (резонансный); термический взлом и ударное воздействие на массив льда. Сделан вывод о том, что потенциальные возможности азимутальных устройств по взлому льда практически не используются в судовождении, что снижает эффективность эксплуатации судов двойного действия при плавании в Арктике.

Ключевые слова: судовождение в Арктике, Azipod, способы разрушения льда, плавание во льдах.

Для цитирования:

Андреев А. А. Способы разрушения ледяного массива с помощью наклонных азиподов при плавании в Арктике / А. А. Андреев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 6. — С. 1143–1151. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1143-1151.

Введение (Introduction)

Развитие Северного морского пути и шельфа арктических морей требует использования технологий, способных успешно преодолеть арктические льды. Одной из таких технологий является устройство Azipod, установленное под наклоном к оси, и разработанный на ее основе принцип движения DAT (Dabble Acting Theory) с использованием от одного до нескольких Azipods¹. Данные технологии демонстрируют и подтверждают свое преимущество по сравнению с обычным двигателем как в Арктике, так и в других районах плавания [1], [2]. В данной статье на основе многолетних наблюдений и опыта эксплуатации судов усиленного ледового класса и судов, оборудованных системой Azipod, выполнен анализ работы струи от устройства Azipod этой системы при ее воздействии на лед.

При разработке проектов судов, предназначенных для работы во льдах, принято описывать ледяной покров с помощью географических и физических характеристик, которые позволяют составить достаточно целостное представление о среде, с которой взаимодействует корпус судна. Под географическими характеристиками понимается морфология ледяного покрова, а под физическими характеристиками — физико-механические характеристики льда. Морские льды имеют сложное морфологическое строение, их толщина, разреженность, торосистость и другие характеристики подвержены существенной пространственно-временной изменчивости. Различия морфологических характеристик ледяного покрова связаны с действием ряда гидрометеорологических факторов и дрейфа льда [3].

Дрейф льда вызывает деформации, приводящие к образованию трещин, а также возникновению торосов и разводий. Непроходимым считается лед, находящийся в состоянии сильного сжатия под действием гидрометеорологических условий. Движение обычного ледокола при сильном сжатии практически невозможно и как минимум нецелесообразно, но при движении судна кормой, если оно оснащено системой Azipod, значительно уменьшается эффект сжатия за счет обмыва корпуса струей от винта.

Форма корпуса и мощность машины являются наиболее важными факторами для ледопроеходимости. Также следует учитывать коэффициент трения корпуса о лед, который оказывает существенное влияние на ходкость судна. При движении кормой наиболее важным фактором является угол атаки струей льда. Успех работы транспортного судна, в отличие от ледокола, значительно зависит от энерговооруженности судна, т. е. отношения мощности к водоизмещению. Изменение предельной ледопроеходимости ледоколов в различные периоды навигации является следствием изменения физико-механических характеристик льда.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В результате проведения многочисленных эмпирических наблюдений было выявлено, что для успешного ледового плавания предпочтительным является строительство судов, сочетающих все рассмотренные далее процессы и способы форсирования льда.

¹ Azipod — запатентованное устройство и метод движения компании «ABB». Хельсинки, 2005.

Процесс разрушения морского льда. Разнообразие методов разрушения морского льда обусловлено различными видами деформирования ледяного покрова, такими как смятие, дробление, изгиб, срез со сдвигом, изгибно-гравитационное и термическое. Разрушение начинается с развития микротрещин за счет разрыва связей между отдельными кристаллами льда с постепенным переходом в наблюдаемые визуально трещины, переходящие в сдвиговые разломы с последующим образованием майн. Причинами локальных разрушающих напряжений во льдах могут являться следующие факторы:

- термические напряжения, образующие систему трещин;
- подъем уровня воды в результате увеличения давления за счет переноса потока воды;
- изгибные деформации ледяных полей, обусловленных гравитационными волнами за счет

создания искусственной зыби поворотом Azipods из стороны в сторону.

Как показали исследования, выполненные в работе [4], динамика разрушения льда не отличается от механики деформирования и разрушения иных сред, и сплоченный консолидированный ледяной покров может быть представлен как связно-сыпучая среда. Так, в издании [5], в частности, отмечается, что, как правило, динамика и механика разрушения льда анализируются с использованием теорий упругости, вязкости и пластичности. В ряде зарубежных стран: Финляндии, Канаде, Норвегии и других, проводились многочисленные бассейновые испытания возможностей устройств Azipods по разрушению льда [6]–[8]. Так, Дж. М. Ферьеры, Б. Вейчем и А. Акинтурком было установлено, что успешность взлома льда зависит, прежде всего, от скорости гребного винта и его мощности [6]. М. А. Амином, Б. Колбурном, Б. Вейчем был проведен и описан лабораторный эксперимент по воздействию струи от Azipod на поведение льда и определена динамика процесса [7]. Теоретические исследования показывают, что динамическое взаимодействие водяного потока и сплоченного льда имеют схожие особенности, проявляющиеся в подобии форм деформирования и разрушения льда: при относительно малой скорости движения лед более похож на пластическое тело, но с увеличением скорости его хрупкость возрастает.

Установленная на танкере «Тимофей Гуженко» система мониторинга нагрузки льда на корпус позволила провести натурные испытания при плавании во льдах Арктики и детально исследовать эволюцию динамических событий в процессе взаимодействия корпуса и льда, а также выявить их влияние на структуру ледяного покрова.

Поведение льда под нагрузкой. Наблюдения за ледяным покровом показали, что он находится под постоянным воздействием внешних факторов, генерирующих напряжения. Наиболее существенное влияние оказывают ветра, течения и колебания уровня моря [9]. Силы потока струи вызывают подвижку льда при одновременном воздействии указанных выше факторов, приводя к разрушению льда на большей площади по сравнению с обычным ледоколом.

Расчет прочности льда и сил, необходимых для ее преодоления, всегда зависит от эмпирических коэффициентов, вводимых исследователями на основании полученных экспериментальных данных для конкретного образца льда и определенного места исследования. Разрушение льда начинается с появления радиальных трещин, первоначально возникающих на нижней поверхности льда непосредственно под грузом. Когда растягивающие напряжения достигают предельного значения, образуются концентрические круговые трещины, по которым происходит обламывание образовавшихся секторов [10], но и после этого несущая способность ледяного покрова не становится нулевой, если не произойдет сдвиг обломков льда. Ледяной покров теряет несущую способность в том случае, когда под действием струи обломки льда расходятся, переворачиваются или тонут (втягиваются под лед).

В результате теоретических исследований и эмпирических наблюдений были выделены шесть способов разрушения льда струей от Azipod.

Способ 1. Взлом льда при помощи реактивной силы струи.

Маневрирование углом наклона азипода позволяет генерировать струи, воздействующие на лед снизу, не прилагая к нему значительных силовых усилий, подобных тем, которые необходимы

ледоколу для взлома льда. Рассматриваемый способ заключается в том, что разрушение льда происходит под действием собственной реактивной силы струи равной тяги винта на швартовых (рис. 1). Эта сила всегда больше усилия ледокола за счет отсутствия сил трения, т. е. номинальной мощности, на расстоянии, равном шести диаметрам винта [11]. Реактивная сила струи является непосредственным фактором, создающим деформацию сдвига, при которой лед обладает наименьшей прочностью.

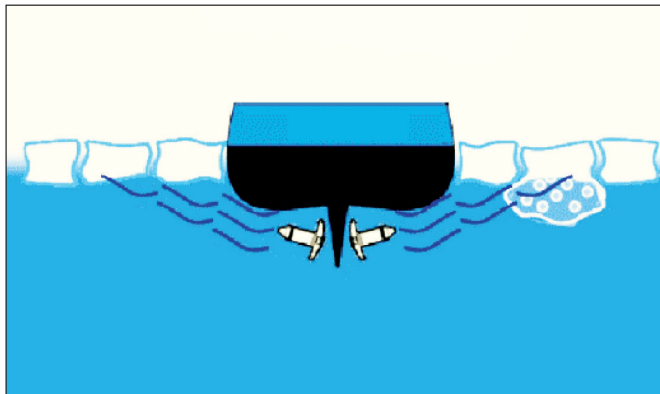


Рис. 1. Взлом льда при помощи реактивной силы струи

Способ 2. Разрушение льда под действием изгибающего момента.

Оценка влияния колебаний уровня моря на разлом неподвижного льда показывает, что наклон поверхности моря вдали от берегов обычно бывает небольшим и не может разломать льдину за счет изгиба. Вблизи берегов вероятность взлома льда зависит лишь от его деформации на изгиб в результате изменения уровня, так как оказываемое водой напряжение при этом несоизмеримо больше прочности льда. Поэтому, если наклон уровня создает изгиб льда, превышающий его предельное значение при пластическом изломе (10^3 – 10^4 Па) [9], то лед будет ломаться. Этим объясняются трещины во льду, тянущиеся вдоль береговой полосы. Так, в работе [12] автор справедливо отмечает, что при определении прочности сплошного ледяного покрова и больших ледяных полей, плавающих на поверхности моря, целесообразно рассматривать их как плиты на упругом основании. Деформация такой плиты зависит от характера приложения нагрузки и от времени ее действия.

Различают *статическую нагрузку*, т. е. неизменную во времени, и *динамическую нагрузку*, т. е. переменную во времени. Равновесие льда достигается благодаря силам тяжести и упругости. Проведенные в публикации [13] исследования на станции «Северный полюс-38» позволили сделать вывод о том, что при движении потока воды с большой скоростью уровень воды повышается за счет напора воды, и происходит изгиб ледяного покрова. Величина требуемого уровня повышения воды может быть рассчитана с высокой долей достоверности. Входящие параметры модели зависят от физико-механических характеристик льда и его толщины. В результате движения воды равновесие нарушается, и лед начинает самопроизвольно разрушаться под действием изгибающего момента (рис. 2).

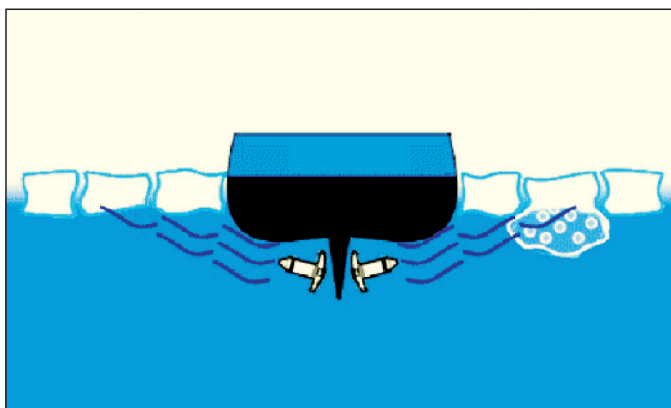


Рис. 2. Разрушение льда под действием изгибающего момента

Способ 3. *Взлом льда за счет давления, возникающего в межледовом пространстве.*

Разрушение ледяного массива может происходить за счет воды, проникающей через щели и трещины в ледяном покрове, в результате чего создается высокое давление в межледовом пространстве (рис. 3). Одновременно с этим инициируется *эффект кавитации*, проявляющийся в виде пузырьков воздуха, отбрасываемых лопастью винта с потоком. Этих усилий бывает достаточно для разрушения льда.

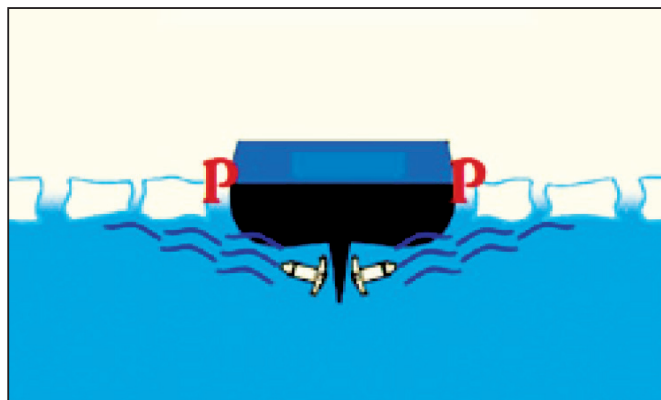


Рис. 3. Взлом льда за счет давления, возникающего в межледовом пространстве

Как известно, поверхности элементов конструкций, находящихся в контакте с жидкостью, давление которой является переменным, подвержены кавитационной эрозии [4], [14]. В частности, разрушение металла корпуса судна происходит в результате схлопывания кавитационных пузырьков, образующихся в результате импульсного давления. Фундаментальным для понимания разрушительного влияния кавитации является уяснение особенностей воздействия на тело отдельного пузырька. Несмотря на большое количество исследований этой проблемы, ряд важных вопросов до сих пор остается неизученным. В частности, отмечается, что давление образуется «за счет ударного воздействия на тело высокоскоростной струи жидкости, образующейся на поверхности пузырька при его схлопывании около тела. В процессе схлопывания пузырька струя становится все более выраженной, довольно быстро пересекает полость пузырька и бьет по телу либо непосредственно, если пузырек примыкает к телу, либо по поверхности прослойки жидкости между пузырьком и телом, если пузырек отстоит от тела на небольшое расстояние» [15, с. 156].

Решая задачу измерения характеристик ледяного покрова в работе [16], авторы обосновали изменение напряженного состояния упругого тела при нагрузке и определили, что удар струи с плоским концом приводит к увеличению напряжения по направлению оси симметрии струи с увеличением значения максимума через определенное время на расстоянии, примерно равном $0,75R$ от поверхности тела. При удалении от места приложения силы величина максимальных напряжений в теле падает, а зона, где они достигаются, оставаясь на оси симметрии, продвигается вглубь тела. Следовательно, при приложении нагрузки, соответствующей воздействию струи с плоским концом («жидкого молотка»), в теле возникают две наиболее напряженные зоны, в которых уровень максимальных по времени значений интенсивности напряжений будет значительно выше, чем вне этих зон. Первая (очень узкая) зона находится в окрестности центра круговой области нагружения, а вторая, значительно больших размеров — внутри тела в области оси симметрии, на удалении от поверхности тела примерно на $0,75$ радиуса струи.

Способ 4. *Взлом льда при движении с критическими скоростями (резонансный).*

Резонансный способ разрушения льда формируется с помощью движения азипода, генерирующего изгибные и гравитационные волны в системе *лед – вода*. Физическая картина разрушения льда при резонансном способе заключается в том, что при движении нагрузки по льду

снизу в виде потока воды в результате вращения Azipod с периодом 12 с в ледяном покрове и воде возникает система изгибных и гравитационных волн. Моделируя разрушения ледяных заторов методом динамического воздействия, автор в работе [17] рассчитал, что при определенной, близкой к фазовой скорости изгибных колебаний ледяного покрова и гравитационных волн воде, наступает резонанс. Амплитуда колебаний ледяного покрова резко возрастает, и лед начинает разрушаться (рис. 4).

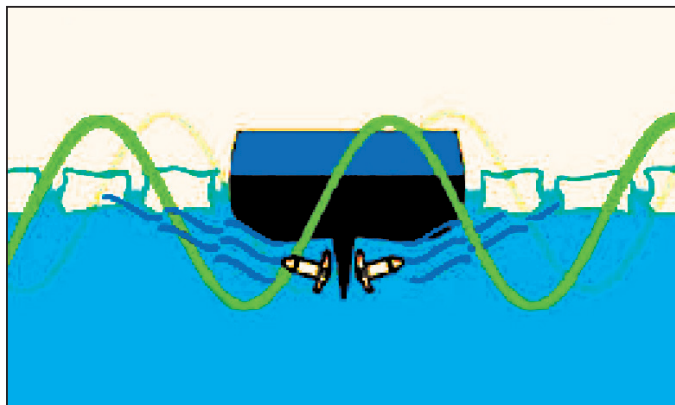


Рис. 4. Взлом льда при движении с критическими скоростями

Скорости движения нагрузки при разрушении льда были названы *критическими*, или *резонансными*, а сам метод получил название *резонансно-изгибно-гравитационного*.

Способ 5. Термический.

Анализ показал, что изменение температуры воздуха в течение годового цикла приводит к изменению физико-механических характеристик льда, которое, в свою очередь, обуславливает изменение скорости движения ледокола в сплошном льду. При этом понижение средней температуры воздуха сопровождается увеличением числовых значений всех исследуемых физико-механических характеристик льда. В результате попадания больших объемов воды на поверхность льда за счет свободного пространства между судном и краем льда можно добиться полного покрытия поля льда водой в радиусе 50 м, после чего лед начинает разрушаться. Разрушение льда происходит за счет термических напряжений, образующих систему трещин во льду за счет разности температур наружного воздуха и, соответственно, льда и воды, покрывающей лед (рис. 5).

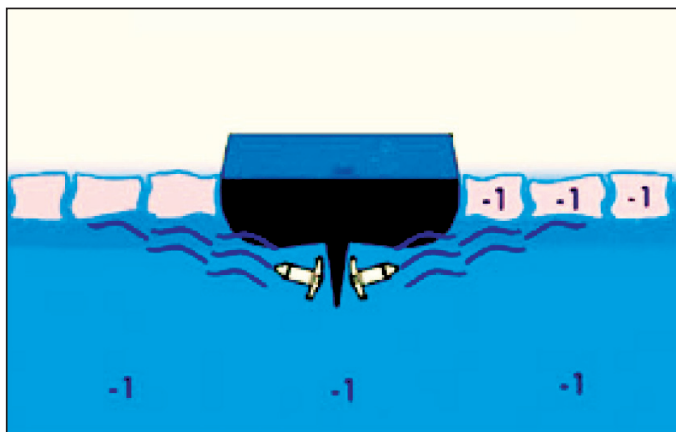


Рис. 5. Термический способ разрушения льда

Способ 6. Ударное воздействие.

Винты судов, оборудованных системой Azipod, спроектированы с достаточной прочностью, чтобы разрушать лед своими лопастями, причем за счет вращения Azipods отпадает необходи-

мость реверсирования, и, соответственно, винт всегда вращается, что является основным фактором, препятствующим поломке лопастей [18], [19]. При вращении винт захватывает куски льда, отбрасывая их вместе с потоком воды. Эти куски летят со скоростью около 10 м/с и ударяясь о лед, разрушают монолитность ледяного поля (рис. 6).

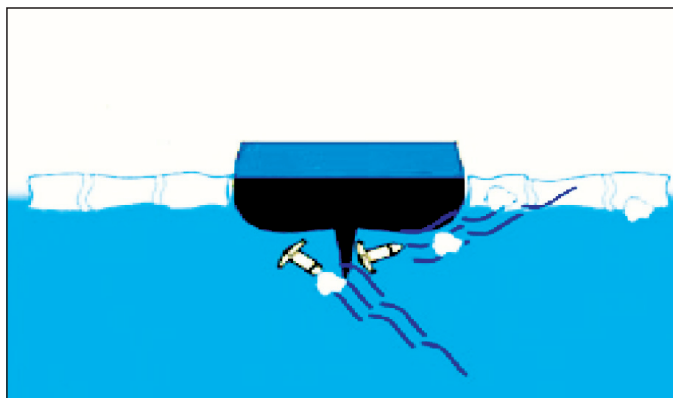


Рис. 6. Взлом льда посредством ударного воздействия

Наглядным доказательством этого эффекта служат многочисленные вмятины на корпусе танкера «Тимофей Гуженко» после двух лет эксплуатации, потребовавшие дополнительного укрепления корпуса в кормовой части, находящейся под прямым воздействием потока воды.

Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Проведенные испытания конструктивных возможностей установок конструктивного типа Azipod по взлому ледовых полей Арктики выходят далеко за рамки своего первоначального предназначения.

2. Натурные наблюдения, проведенные с использованием системы мониторинга нагрузки льда на корпус судна, позволяют обосновать целесообразность дальнейшего теоретического исследования вопроса научным сообществом.

3. Маневрирование углом наклона Azipod позволяет осуществлять взлом льда, генерируя и совмещая все основные виды напряжений, такие как реактивная сила струи, изгибающий момент, инициация давления в межледовом пространстве, термическое и ударное воздействия.

4. В результате работы устройствами Azipod при движении во льду образуются наклонные струи. Исследования и теоретические модели определяют их величину в пределах 30 м в сторону от корпуса. В результате воздействия ударной силы струи происходит разлом льда на значительном расстоянии, что приводит к увеличению ширины канала. При умелом маневрировании устройствами Azipod судоводитель может регулировать ширину канала, изменяя угол наклона Azipod. Открывшиеся возможности позволяют ледоколу, оборудованному наклонными устройствами Azipod, осуществлять проводку судов, прокладывая канал увеличенной ширины, что дает возможность отказаться от проводки крупнотоннажных судов двумя ледоколами.

5. Требуется разработка методики управления устройствами Azipod и создание тренажера для обучения судоводителей. Именно в этом случае, наряду с решением организационных вопросов плавания по трассам Северного морского пути [20], можно решить задачу круглогодичной навигации с минимальными затратами. Полноценное использование возможностей устройств Azipod позволяет значительно сократить потребности в ледокольных мощностях и сэкономить ограниченные финансовые ресурсы на их строительство без ущерба для хозяйственного освоения Арктики.

6. Данные проведенных исследований в практической плоскости использованы при разработке программы ледовых испытаний танкеров-газовозов, строящихся для проекта Ямал – СПГ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таровик О. В. Анализ результатов попутных исследований ходкости танкера «Капитан Готский» в мелководных льдах / О. В. Таровик // Тр. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2011. — № 63 (347). — С. 59–68.
2. Голиков В. В. Методологические основы управления судном с двумя поворотными колонками ази-под / В. В. Голиков // Судовождение. — 2013. — № 23. — С. 56–65.
3. Миронов Е. У. Современные методы ледовых исследований и изысканий на шельфе арктических морей / Е. У. Миронов, Ю. П. Гудошников, В. Н. Смирнов // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2015. — № 1 (103). — С. 57–68.
4. Аганин А. А. Реакция упругого полупространства на ударное воздействие струи / А. А. Аганин, Т. Ф. Халитова, Н. А. Хисматуллина // Филология и культура. — 2011. — № 2 (24). — С. 6–12.
5. Смирнов В. Н. Методическое пособие по изучению физико-механических характеристик ледяных образований как исходных данных для расчета ледовых нагрузок на берега, дно и морские сооружения / В. Н. Смирнов, А. И. Шушлебин, С. М. Ковалев, И. Б. Шейкин. — СПб.: ГНЦ РФ АНИИ, 2011. — 179 с.
6. Ferrieri J. M. Experimental study on ice management through the use of podded propeller wash / J. M. Ferrieri, B. Veitch, A. Akinturk // Third International Symposium on Marine propulsors smp'13, Launceston, Australia. — 2013. — Pp. 26–33.
7. Amin M. A. Experimental Investigation of propeller Wake Velocity Field for the Major Factors Affecting Propeller Wake Wash / M. A. Amin, B. Colbourne, B. Veitch // J. Mar. Sci. Eng. — 2018. — Vol. 6. — Is. 2. — Pp. 50; DOI: 10.3390/jmse6020050.
8. Taimuri G. H. Level Ice Clearing in Model and Full Scale Using Azimuthing Propulsion / G. H. Taimuri, P. Kujala, T. Leiviskä, P. Määtänen // OTC Arctic Technology Conference. — Offshore Technology Conference, 2018. DOI: 10.4043/29179-MS.
9. Доронин Ю. П. Морской лед / Ю. П. Доронин, Д. Е. Хейсин. — Л.: Гидрометеиздат, 1975. — 147 с.
10. Smirnov V. N. On dynamics, deformation mechanics and self-organization sea ice / V. N. Smirnov, I. B. Sheykin, A. E. Chmel // POAC '09: Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. — 2009. — Pp. 369–377.
11. Доронин Ю. П. Физика океана / Ю. П. Доронин. — СПб.: РГТУ, 2000. — 305 с.
12. Латухов С. В. Экологическая безопасность морских операций в западном регионе российской Арктики: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук / С. В. Латухов. — СПб., 1998. — 35 с.
13. Смирнов В. Н. Динамика процесса разлома дрейфующего ледяного поля станции «Северный полюс- 38» / В. Н. Смирнов, Л. В. Панов, В. Т. Соколов // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2013. — № 4 (98). — С. 26–34.
14. Шестоперов В. Ю. Сопротивление материалов кавитационной эрозии и критерии оценки их стойкости / В. Ю. Шестоперов // Современные проблемы науки и образования. — 2015. — № 1-1. — С. 316.
15. Нагучев Д. Ш. Разработка технологии создания технических средств освещения ледовой обстановки в параметрическом режиме / Д. Ш. Нагучев, В. Л. Сахаров, О. А. Савицкий // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2013. — № 9 (146). — С. 155–160.
16. Степанюк И. А. Метод измерений характеристик динамики ледяного покрова / И. А. Степанюк, В. Н. Смирнов. — СПб.: Гидрометеиздат, 2001. — 135 с.
17. Прокудин А. Н. Численное исследование нового способа разрушения ледяных заторов на реках динамическим воздействием / А. Н. Прокудин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. — 2012. — Т. 1. — № 9. — С. 41–48.
18. Ueland S. Control Strategies for Maneuvering in Ice Ridge and Multi Ice Regimes: Master thesis / S. Ueland, S. W. Slettebø. — Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for marin teknikk, 2010. — 104 p.
19. Практические рекомендации капитанов СКФ по управлению судами в ледовых условиях. — М.: Изд-во Паулсен, 2017. — С. 168.
20. Андреева М. Ю. Северный морской путь в политике экономического прорыва России: некоторые оценки и предпосылки / М. Ю. Андреева // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 2 (30). — С. 164–171. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-2-164-171.

REFERENCES

1. Tarovik, O. V. "Analiz rezultatov poputnyh issledovaniy hodkosti tankera «Kapitan Gotskij» v melkobityh ldah." *Trudy CNII im.akad. A. N.Krylova* 63(347) (2011): 59–68.

2. Golikov, V. V. "Metodologicheskie osnovy upravleniya sudnom s dvumya povorotnymi kolonkami azipod." *Sudovozhdenie* 23 (2013): 56–65.
3. Mironov, E. U., Ju. P. Gudoshnikov, and V. N. Smirnov. "Sovremennye metody ledovyh issledovaniy i izyskanij na shelfe arkticheskikh morej." *Problemy Arktiki i Antarktiki* 1(103) (2015): 57–68.
4. Aganin, A. A., T. F. Khalitva, and N.A. Khismatullina. "The response of the elastic semi-space to the impact of a jet." *Philology and Culture* 2(24) (2011): 6–12.
5. Smirnov, V. N., A. I. Shushlebin, S. M. Kovalev, and I. B. Shejkin. *Metodicheskoe posobie po izucheniju fiziko-mekhanicheskikh harakteristik ledjanyh obrazovanij kak ishodnyh dannyh dlja rascheta ledovyh nagruzok na berega, dno i morskije sooruzhenija*. SPb.: GNC RF AANII, 2011.
6. Ferrieri, Jenna M., Brian Veitch, and Ayhan Akinturk. "Experimental study on ice management through the use of podded propeller wash." *Third International Symposium on Marine propulsors smp'13, Launceston, Australia*. 2013. 26–33.
7. Amin, Md. Asif, Bruce Colbourne, and Brian Veitch. "Experimental Investigation of propeller Wake Velocity Field for the Major Factors Affecting Propeller Wake Wash." *J. Mar. Sci. Eng.* 6(2) (2018): 50. DOI: 10.3390/jmse6020050
8. Taimuri, Ghalib Humayun, Pentti Kujala, Topi Leiviskä, and Pirjo Määttänen. "Level Ice Clearing in Model and Full Scale Using Azimuthing Propulsion." *OTC Arctic Technology Conference*. Offshore Technology Conference, 2018. DOI: 10.4043/29179-MS.
9. Doronin, Ju. P., and D. E. Hejsin. *Morskoj led*. L.: Gidrometeoizdat, 1975.
10. Smirnov, Victor N., Igor B. Shejkin, and Alexander E. Chmel. "On Dynamics, Deformation Mechanics and Self-Organization Sea Ice." *Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions*. No. POAC09-45. 2009. 369–377.
11. Doronin, Ju. P. *Fizika okeana*. SPb: RGTU, 2000.
12. Latuhov, S. V. *Jekologicheskaja bezopasnost morskikh operacij v zapadnom regione rossijskoj Arktiki*. Abstract of Dr. diss. (Geographic Sciences). SPb., 1998.
13. Smirnov, V. N., L.V. Panov, and V.T. Sokolov. "Dinamika processa razloma drejfujushhego ledjanogo polja stancii "Severnyj poljus -38". *Problemy Arktiki i Antarktiki* 4(98) (2013): 26–34.
14. Shestoporov, V. Yu. "Resistance of materials of the cavitation erosion and criteria of the estimation of their firmness." *Modern problems of science and education* 1-1 (2015): 316.
15. Nagutchev, Daulet Shabanovitch, Vadim Leonidovitch Sakharov, and Oleg Anatolievitch Savitskiy. "Technology development of technical means of ice conditions monitoring in the parametric mode." *Izvestiya SFe-dU. Engineering sciences* 9(146) (2013): 155–160.
16. Stepanjuk, I. A., and V. N. Smirnov. *Metod izmerenij harakteristik dinamiki ledjanogo pokrova*. SPb.: Gidrometeoizdat, 2001.
17. Prokudin, Alexander N. "Numerical investigation of a new ice-jams removal method by means of dynamic impact." *Scholarly Notes of Komsomolsk-na-Amure State Technical University* 1.9 (2012): 41–48.
18. Ueland, Sindre, and Sverre Wendt Slettebø. *Control Strategies for Maneuvering in Ice Ridge and Multi Ice Regimes*. MS thesis. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for marin teknikk, 2010.
19. *Prakticheskie rekomendacii kapitanov SUF po upravleniju sudami v ledovyh uslovijah*. M.: Izd-vo Paulsen, 2017.
20. Andreeva, M. Ju. "Some aspects and assessment of NSR as a way of economic rising of Russia." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2(30) (2015): 164–171. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-2-164-171.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Андреев Александр Алексеевич —
Заслуженный работник морского транспорта,
Почетный полярник,
Советник Генерального директора
ПАО «Совкомфлот»
125047, Российская Федерация, Москва,
ул. Гашека, 6
e-mail: alexander.andreev@scf-group

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Andreev, Alexander A. —
Honoured Transport Worker of the Russian Federation,
Honorury polar exploer,
CEO's counselor
PAO SCF
6, Gasheka Str., Moscow, 125047,
Russian Federation
e-mail: alexander.andreev@scf-group.ru

Статья поступила в редакцию 6 декабря 2018 г.
Received: December 6, 2018.