

Средства прокладки судоходных каналов во льдах



Кирилл САЗОНОВ
Cyril E. SAZONOV

Алексей ДОБРОДЕЕВ
Alexey A. DOBRODEEV



Сазонов Кирилл Евгеньевич – доктор технических наук, начальник лаборатории ледотехники ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия.

Добродеев Алексей Алексеевич – исполняющий обязанности начальника сектора исследований ледотехники ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург, Россия.

Одним из основных видов работ для ледокольной техники является проводка транспортных судов в тяжелых ледовых условиях. Использование ледоколов – сложных и дорогостоящих инженерных сооружений не всегда экономически оправдано, особенно на внутренних водных путях и при каботажном плавании. Поиск эффективного решения проблемы продления навигации заключается в том числе и в разработке специализированных ледоразрушающих устройств, позволяющих с наименьшими затратами прокладывать ледяные каналы. Публикуемая статья посвящена оценке применения различных средств разрушения льда в составе существующих ледокольных и буксирных судов. Представлено описание разработанных сотрудниками Крыловского государственного научного центра в Петербурге толкаемого и буксируемого средств создания широкого судоходного канала во льдах.

Ключевые слова: судоходство, внутренние водные пути, каботажное плавание, лед, ледоразрушающее устройство, толкаемое средство, буксируемое средство, ледокол, широкий канал во льдах.

Для обеспечения судоходства во льдах обычно используется канал, проложенный ледоразрушающим средством, чаще всего ледоколом. Применение ледоколов – сложных и дорогостоящих инженерных сооружений не всегда экономически оправдано. В наибольшей степени это касается внутренних водных путей и каботажного плавания. Там часто возникает ситуация, когда необходимо совершить одиночную транспортную операцию или осуществлять перевозки относительно малых партий груза с помощью судов на короткие расстояния. Кроме того, в рассматриваемых условиях лимитирующим фактором нередко является мелководье. Как правило, для выполнения таких операций используются обычные буксиры, имеющие ледовые усиления корпуса.

1.

Потребность в более эффективном решении проблемы продления навигации на внутренних водных путях и при каботажном плавании поставило задачу создания специализированных ледоразрушающих устройств, позволяющих с наимень-



Рис. 1. Ледокольная приставка, ведомая буксиром-толкачем.

Рис. 1. Ice-breaking attachment with push tug boat.

шими затратами прокладывать судоходные каналы во льдах. Дополнительным условием при разработке подобных устройств остается требование максимально привлекать находящийся в своей территориальной зоне парк буксиров и других специализированных судов.

Одним из возможных решений проблемы считается применение ледокольных приставок. Таковой называется самоходное ледоразрушающее устройство, размещаемое на носу буксирующего его судна. Оно само не обладает необходимыми ледокольными свойствами. Первые ледокольные приставки стали появляться еще в конце XIX века. Немецкий инженер Э. Ведерман из Фленсбурга предложил судоводителям и судовладельцам «патентованное ледоразрушающее и оберегающее устройство», которое получило известность как «ведермановский ледовый башмак».

Приставка представляла собой мелко-сидящий, плоскодонный, самоходный понтон, овальный его корпус имел подъем к носовой части. В кормовой части был сделан вырез, в который мог входить нос, толкающего приставку ледокола. Такие приставки применялись на Балтийском море. Увеличение количества ледоколов и судов ледового плавания, принадлежавших прибалтийским странам, произошедшее в конце XIX — начале XX веков, на довольно длительный период остановило

дальнейшее развитие ледокольных приставок¹.

Интерес к ледокольным приставкам в СССР возродился в 1970 году, когда инженер Московского речного пароходства Г. Я. Сербул предложил свою конструкцию ледокольной приставки. На понтоне со скошенным носом он установил резец. Подводная часть приставки имела специальные конструкции, предназначенные для отвода притопленного приставкой льда под кромки ледяного канала [1]. В дальнейшем ледокольное устройство Г. Я. Сербула было усовершенствовано специалистами Горьковского института инженеров водного транспорта, которые создали ледокольно-ледоочистительную приставку, рассчитанную для условий Енисея, а также судов Волжского объединенного речного пароходства. На рис. 1 и 2 приведены варианты конструкций с буксирами-толкачами. Такие приставки используются до сих пор.

Интересное продолжение идея ледокольных толкаемых приставок получила в работах сотрудников Горьковского политехнического института (ныне Нижегородский политехнический университет им. Р. А. Алексеева). В качестве приставки они использовали самоходную платфор-

См., например, Павел Веселов. ...Забывтое старое. // Техника молодежи. – 1993. - № 8. – сс.37-39. – Прим.ред.

Рис. 2. Ледокольная приставка с буксиром-толкачем.

Fig. 2. Ice-breaking attachment with push tug boat.



Рис. 3. Опытный образец ледокольной приставки на воздушной подушке.

Fig. 3. Prototype of air-cushion ice-breaking attachment.



му на воздушной подушке. Такая платформа может разрушать довольно толстый лед при движении с относительно малой скоростью. Опытный образец (рис. 3) был испытан на Горьковском водохранилище и показал свою эффективность [1].

2.

В настоящее время ФГУП «Крыловский государственный научный центр» в рамках федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники на 2009–2016 годы» разработана концепция нового многокорпусного ледокола, способного осуществлять безопасную проводку крупнотоннажных судов в ледовых условиях [2, 3]. Подготовлены предложения по созданию толкаемых и буксируемых устройств, которые позволяют существенно увеличить ширину канала, прокладываемого во льдах.

Необходимость в подобных устройствах обусловлена тем, что ледокольная приставка Г. Я. Сербула не может обеспечить широкого канала во льдах.

Новая толкаемая ледокольная приставка состоит из трех корпусов, имеющих наклонные форштевни и разваленные борта (рис. 4). Эти корпуса скомпонованы в виде одного головного и двух боковых, при этом они жестко связаны между собой рамной конструкцией, которая снабжена устройством для плотного ее контактирования с буксиром-толкачем. Каждый из трех корпусов на уровне

действующей ватерлинии имеет форму, близкую к треугольной, и обрубленную плоскую корму. Благодаря таким обводам упрощается технология производства, а также снижается металлоемкость конструкций.

Боковые корпуса расположены со смещением вниз по потоку от головного корпуса на расстояние не менее 0,1 ширины головного корпуса по миделю. Это способствует улучшению прохождения обломков битого льда между корпусами ледокола, что приводит к снижению ледового сопротивления состава в битых льдах и, следовательно, к снижению потребляемой буксировщиком мощности. Боковые корпуса имеют одинаковую ширину, а их одинаковое расположение по обе стороны от головного корпуса позволяет повысить устойчивость всего состава на курсе, что также положительным образом сказывается на снижении ледового сопротивления буксирующего судна.

Наибольшая ширина создаваемого ледоколом канала обеспечивается размещением боковых корпусов по обе стороны от головного с отстоянием их диаметральных плоскостей от диаметральной плоскости ледокольного судна на расстоянии не менее чем l , определяемом из соотношения:

$$l \geq \frac{B_c + B_b}{2} + 5, \text{ м,}$$

где B_c и B_b – ширина соответственно головного и бокового корпуса по миделю,

при этом устройство для сцепления приставки с буксиром, расположенное на рамной конструкции, выступает на величину не менее 3 м за линию, проходящую через ахтерштевни бортовых корпусов. Такое расположение корпусов обеспечивает свободное прохождение с наименьшим сопротивлением обломков битого льда и соответственно снижение сопротивления буксирующего судна. Такая компоновка помогает осуществлять прокладку широкого канала для прохождения судов.

Положительный эффект от описанного расположения корпусов ледокольной приставки и буксира достигается за счет изменения характера разрушения ледяного покрова боковыми корпусами. Они будут разрушать лед, скалывая и направляя значительные его обломки в канал, прокладываемый головным корпусом. Это приводит к снижению ледового сопротивления состава «приставка-буксир» в целом [4].

Как результат предлагаемая толкаемая ледокольная приставка для разрушения ледового покрова обеспечивает создание широкого ледяного канала, безопасную проводку крупнотоннажных судов во льдах, преимущественно на внутренних водных путях и при каботажном плавании, а также положительно влияет на снижение затрат мощности при движении во льдах и прокладке канала ледоколом.

Кроме толкаемой приставки в ФГУП «Крыловский государственный научный центр» разработана также концепция буксируемого устройства для разрушения ледового поля (заявка на патент, регистрационный № 2012120875). Буксируемое средство предполагается использовать в сочетании с традиционным ледоколом.

Корпус устройства для разрушения ледового покрова, как и у толкаемой приставки, состоит из трех корпусов. Это обеспечивает увеличение ширины прокладываемого судоходного канала не менее чем на 10 метров по сравнению с однокорпусным ледоколом. Эффективность использования такой приставки обуславливается снижением ее ледового сопротивления.

Известно, что ледовое сопротивление ледокола пропорционально его ширине в некоторой степени B^k , где показатель степени $k > 1$ [4]. Поэтому увеличение

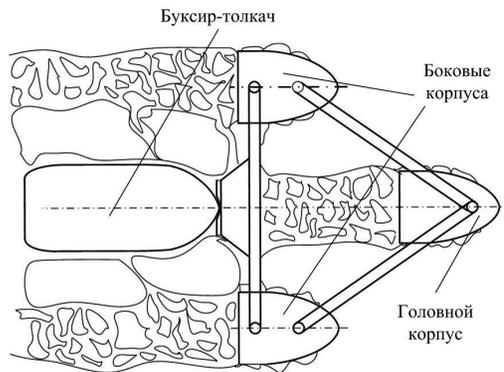


Рис. 4. Разработанная Крыловским центром ледокольная приставка.

Pic.4. Ice-breaking attachment designed by Krylovsky research center.

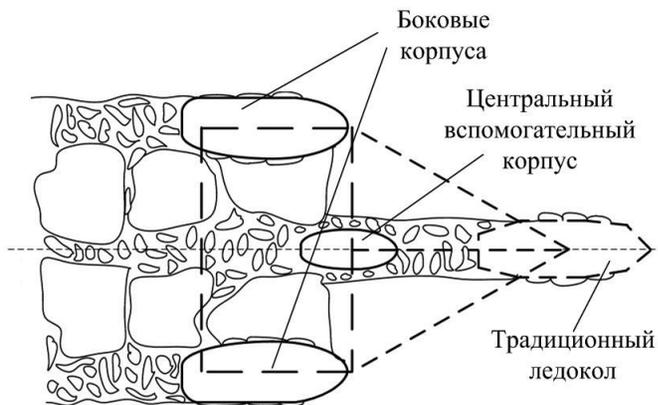
ширины однокорпусного ледокола приводит к существенному возрастанию его ледового сопротивления и, как следствие, большим затратам мощности N на движение во льдах, т. к. $N \sim R_l^3$. В предлагаемом решении разрушение ледяного покрова будут осуществлять четыре корпуса: буксирующего судна и трех буксируемых устройств. Из математических соотношений следует, что $B_t^k + 2(B_n)^k < (B_t^k + 2B_n)^k$, поэтому сопротивление буксируемого устройства будет меньше, чем сопротивление ледокола с такой же шириной, как у буксируемого устройства.

Боковые корпуса устройства расположены симметрично относительно его диаметральной плоскости. Наличие центрального ледокольного корпуса создает дополнительную прочность конструкции буксируемого устройства при движении во льдах. Эффект всей конструкции заключается в том, что боковые корпуса разрушают лед, скалывая его значительные куски в канал, проложенный буксирующим судном. Теоретические и экспериментальные исследования [3,4] показывают, что в этом случае ледовое сопротивление корпуса составляет примерно 0,6 от полного ледового сопротивления одиночного корпуса. При этом в случае обеспечения минимального расстояния между бортами буксирующего судна и буксируемого устройства не менее 7 м достигается свободный пропуск битого льда между корпусами и исключается возможность буксировки ледяных нагромо-



Рис. 5. Разработанное буксируемое устройство для разрушения ледового покрова.

Pic.5. Towed ice-breaking craft, designed by Krylovsky research center (lettering from up to down: lateral hulls, central auxiliary hull, traditional-type ice-breaker).



ждений предлагаемым буксируемым устройством.

В итоге устройство снижает ледовое сопротивление проводимого судна, а также затраты мощности ледокола при движении во льдах и прокладке широкого судоходного канала.

3.

С целью экспериментальной проверки работоспособности и эффективности предложенных технических решений для одного из них — буксируемого устройства для разрушения ледового покрова — была изготовлена и испытана в ледовом опытовом бассейне Крыловского научного центра модель в масштабе 1:30.

В процессе модельных экспериментов производились измерения силы сопротивления льда, действующей на каждый из двух боковых корпусов устройства (рис. 6). Предложение об использовании центрального вспомогательного корпуса возникло уже после анализа результатов испытаний, а также оценки прочности всей конструкции. Поэтому в ходе испытаний

моделирование центрального корпуса не производилось, но при этом можно с уверенностью сказать, что его вклад в ледовое сопротивление всей конструкции будет незначителен, поскольку он располагается позади ледокола, осуществляющего буксировку, и не участвует в разрушении льда, к тому же имеет небольшую по сравнению с остальными корпусами ширину.

Испытания шли в сплошном ровном льду различной толщины, которая в натуральных условиях соответствует значениям 0,9, 1,5 и 2,1 метра, а также в торосистой гряде. В результате получены зависимости ледового сопротивления буксируемого устройства от скорости движения. Ширина формируемого канала позади буксируемого устройства в пересчете на натурные условия составила порядка 55 метров. Стоит отметить, что при этом ширина ледокола типа «Москва», взятого для сравнительного анализа, составляет всего 28 метров. Основной вклад в создание широкого канала вносят именно боковые корпуса буксируемого устройства.

Рис. 6. Проведение модельных испытаний буксируемого устройства в ледовом опытовом бассейне.

Pic.6. Model tests of towed attachment in ice test tank.



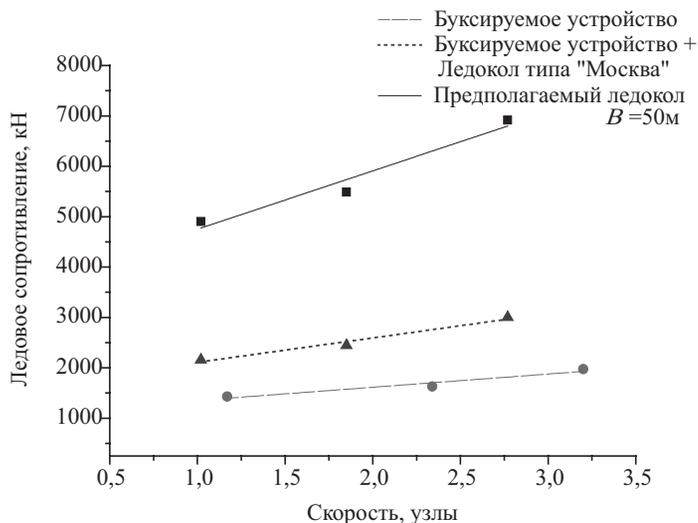


Рис. 7. Сравнение результатов модельных испытаний буксируемого устройства, дизель-электрического ледокола и предполагаемого ледокола с шириной корпуса 50 метров, равной ширине буксируемого устройства, во льдах толщиной 1,5 метра.

Рис. 7. Comparison of the results of model tests of a towed attachment, of an electric diesel icebreaker and of a designed icebreaker of 50 m hull beam (equal to the width of towed device) in ice of 1,5 m depth. Legend: vertical axis – ice resistance kN; horizontal axis – speed, knots; square-line – designed ice-breaker with 50 m width; triangle-line – towed device + ice-breaker of «Moskva» type; bubble-line – towed device.

Для анализа результатов ледового сопротивления буксируемого устройства было проведено их сравнение с ледовым сопротивлением арктического дизель-электрического ледокола, а также рассчитанными величинами к предполагаемому однокорпусному ледоколу с шириной 50 метров, равной ширине буксируемого устройства, для условий сплошного ровного льда толщиной 1,5 метра (рис. 7). Теоретически предполагаемый ледокол способен прокладывать канал той же ширины, что и буксируемое устройство.

В целом анализ экспериментальных данных показал, что эффективность буксируемого устройства достаточно велика. На рис. 7 представлено суммарное ледовое сопротивление ледокола при работе в составе с буксируемым устройством, которое в два раза ниже, чем на предполагаемом однокорпусном ледоколе, прокладывающем канал во льдах такой же ширины. К тому же стоит учесть, что ледокол типа «Москва» способен работать в осенне-зимний период в условиях Балтийского моря, используя всего лишь 50% своей мощности. Остаточную мощность можно использовать для буксировки разработанного устройства, повышая тем самым коэффициент полезного действия ледокола, а также создавая широкий канал для прохода крупнотоннажных судов.

ВЫВОДЫ

На основании выполненных исследований можно заключить, что предложены

новые и вполне перспективные средства для разрушения льда с целью прокладки надежного судоходного канала. К ним относятся толкаемая ледокольная приставка и буксируемое устройство, способные создавать ледяной канал шириной более 50 метров.

Названные средства могут обеспечить эффективность транспортной системы за счет малых энергетических затрат по сравнению с традиционными методами выполнения проводки крупнотоннажных судов. Результаты, представленные в статье, наглядно демонстрируют преимущества разработанных технических средств. В дальнейшем предполагается выполнение дополнительных исследований для уточнения возможностей использования толкаемой приставки и буксируемого устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зуев В. А. Средства продления навигации на внутренних водных путях. — Л.: Судостроение, 1986. — 208 с.
2. Пашин В. М., Апполонов Е. М., Сазонов К. Е. Новый ледокол для проводки крупнотоннажных судов. В чем преимущества? //Морской флот. — 2012. — № 1. — С.50—53.
3. Апполонов Е. М., Доброделев А. А., Клементьева Н. Ю., Сазонов К. Е., Тимофеев О. Я. Некоторые результаты экспериментальных исследований новых технических средств для создания в ледяном покрове широкого канала для безопасного прохода крупнотоннажных судов. //Вестник НГУ. Серия «Математика, механика, информатика». — 2012. — Т. 12. Вып. 4. — С.3—8.
4. Сазонов К. Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. — СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2010. — 274 с.

