

## Некоторые вопросы создания морских транспортных систем для вывоза углеводородов из Арктики

Ю. Д. Дехтярук<sup>1</sup>, А. А. Добродеев<sup>2</sup>,  
К. Е. Сазонов<sup>3</sup>, доктор технических наук

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

*Рассмотрены принципиальные вопросы создания морских транспортных систем для вывоза углеводородов из районов Крайнего Севера. Проанализированы трудности, возникающие при использовании в составе морских транспортных систем крупнотоннажных судов ледового плавания. Описаны инновационные подходы к созданию новых транспортных средств, позволяющих формировать широкие каналы в ледяном покрове для безопасной и эффективной проводки крупнотоннажных судов.*

**Ключевые слова:** морская транспортная система, крупнотоннажное судно ледового плавания, тактика ледового плавания, многокорпусный ледокол.

### Введение

Одной из важнейших задач, возникающих при освоении месторождений нефти и газа на шельфе арктических морей, а также на прибрежных территориях, является создание эффективной морской транспортной системы, способной обеспечить бесперебойный круглогодичный вывоз добытых углеводородов. Экономические расчеты показывают [1], что инвестиционные затраты на такую систему могут составлять до 50% общих затрат (рис. 1). Это обстоятельство обуславливает повышенное внимание всех заинтересованных сторон к тщательному рассмотрению всех проблемных вопросов, связанных с функционированием морских транспортных систем (МТС). В табл. 1 приведено распределение капитальных затрат на суда для перевозки сжиженного природного газа. Оценка стоимости судов для перевозки сжиженного газа выполнена с учетом необходимого ледового класса судна в районе его эксплуатации.

Важной особенностью перспективных МТС для Арктического региона является подтвержденная многочисленными экономическими расчетами необходимость использования крупнотоннажных судов, ширина которых существенно превышает ширину любого из существующих в настоящее время

ледоколов. Опыт эксплуатации подобных судов в арктических морях весьма ограничен (рейсы танкера «Манхэттен» в Канадской Арктике и работа атомного лихтеровоза «Севморпуть» в России), что делает практически невозможным получение достоверных данных об особенностях использования крупнотоннажных судов в МТС, функционирующих в ледовых условиях.

В рамках одной статьи невозможно осветить все возникающие проблемы, поэтому ниже основное внимание уделено тем аспектам, которыми в наибольшей степени занимаются специалисты ФГУП «Крыловский научный центр».

### Особенности морских арктических транспортных систем

В отличие от обычных МТС арктическая транспортная система имеет ряд специфических особенностей, которые необходимо учитывать при разработке и обосновании соответствующих проектов [2].

1. Сложная структура МТС, в составе которой используются разнородные технические средства. В связи с этим важны учет «организационного фактора» и оптимизация взаимодействия технических средств МТС.

Морские транспортные системы для обеспечения перевозок жидких углеводородов в условиях Арктики в общем случае включают в себя следующие структурные элементы:

<sup>1</sup> e-mail: chemodanov@krylov.sp.ru.

<sup>2</sup> e-mail: 54lab@krylov.sp.ru.

<sup>3</sup> e-mail: 54lab@krylov.sp.ru.

- береговой резервуарный парк (БРП) и насосные станции: хранение жидких углеводородов (ЖУВ), компенсационные объемы на случай задержек в прибытии крупнотоннажного судна ледового плавания (КСЛП);
- подводный трубопровод: транспорт нефти от БРП к отгрузочному терминалу;
- отгрузочное устройство (терминал): регулярная круглогодичная отгрузка ЖУВ в КСЛП;
- терминальные суда (ледокол или дежурное судно): обеспечение безопасности отгрузочного терминала или морской стационарной платформы и КСЛП, безопасность и эвакуация персонала терминала в аварийных условиях;
- КСЛП с ледовыми подкреплениями корпуса: перевозки ЖУВ от места отгрузки до пункта назначения (перевалочная база или экспортный порт);
- линейные ледоколы: проводка КСЛП в ледовой обстановке;
- перевалочная база (ПБ): перевалка ЖУВ с КСЛП в линейные танкеры;
- вспомогательные суда и буксиры на ПБ: обеспечение маневрирования КСЛП в акватории ПБ, а также операций швартовки и загрузки танкеров;
- линейные танкеры (ЛТ): морские перевозки ЖУВ по чистой воде на участке ПБ — порт назначения. В конкретных МТС могут отсутствовать отдельные структурные элементы. В частности, при вывозе нефти с морских добывающих платформ в составе МТС нет морских нефтепроводов, а отгрузочное устройство и нефтехранилище размещаются на платформе.

Таблица 1. Капитальные затраты на суда для перевозки сжиженного газа, млн руб.

Вместимость судна, тыс. м <sup>3</sup>	Ледовый класс		
	Ice2	Arc4	Arc5
80	3520	4350	5100
150	6100	7400	8500
200	7500	9050	10 300

2. Значительный расчетный период планирования. Жизненный цикл транспортной системы может превышать 25 лет, при этом эксплуатационный период обычно составляет около 22 лет (что совпадает с расчетной продолжительностью эксплуатации КСЛП), а этап создания технических средств — 2—3 года. Вследствие большого периода планирования возникает неопределенность в исходных данных, поскольку для столь значительного промежутка времени возможна только их ориентировочная оценка.

3. Многокритериальность задачи. При оптимизации технических и организационных решений по МТС наряду с количественными (экономическими) показателями необходимо учитывать качественные (неформализуемые) факторы.

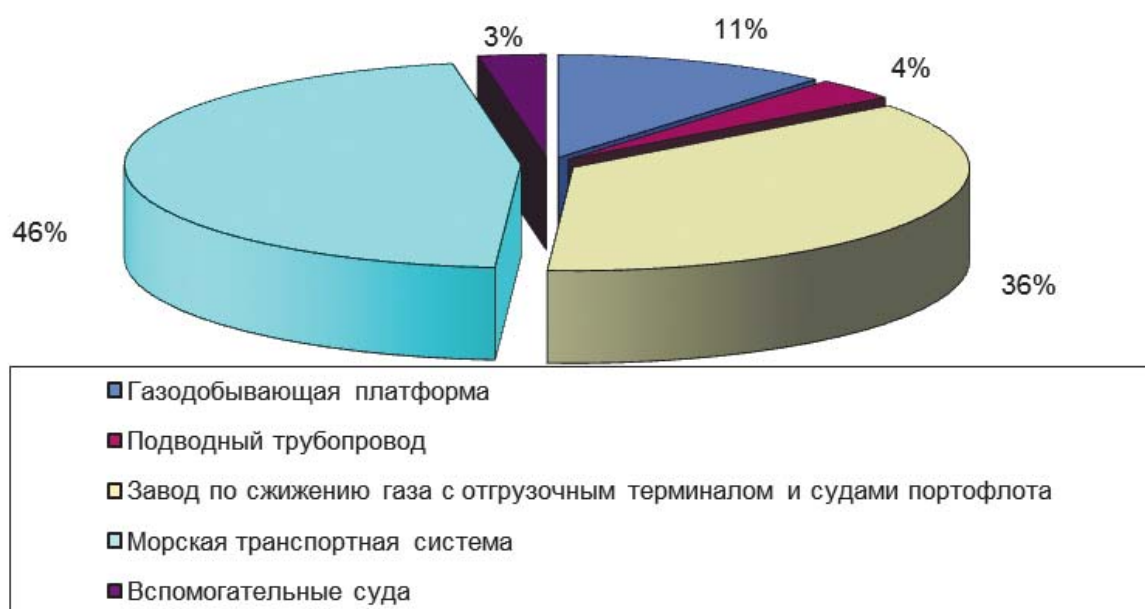


Рис. 1. Распределение инвестиций по объектам обустройства арктического месторождения

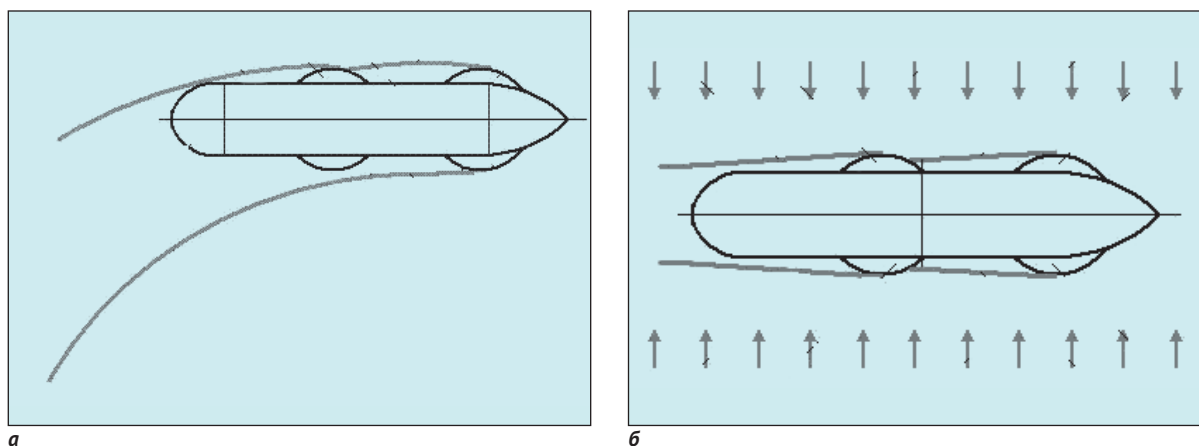


Рис. 2. Схема функционирования миделевых римеров при циркуляции судна во льдах при действии ледовых сжатий

4. Неравномерность перевозок по годам планируемого периода. Прогнозируемая динамика годовой добычи характеризуется изменением объема добычи (перевозок) в эксплуатационном периоде.

МТС проектируется как развивающаяся система, обеспечивающая плановые перевозки в эксплуатационном периоде. Различают этапы наращивания, стабильности и спада перевозок. На первом этапе требуется увеличивать провозную способность МТС, приводить ее в соответствие с уровнем добычи за счет строительства и ввода в эксплуатацию новых судов и при необходимости технических средств. На заключительном этапе из-за падения уровня добычи и объемов перевозок провозная способность МТС становится избыточной, что приводит к снижению ее эффективности. Лишние суда в последние годы существования МТС должны выводиться из эксплуатации. В целом необходима минимизация избыточной провозоспособности МТС с целью эффективного использования транспортного потенциала судов и технических средств.

5. Сезонные изменения условий перевозок. Изменение ледовой и гидрометеорологической обстановки на значительном участке маршрута обуславливает избыток провозоспособности в летний период и ее дефицит в зимнее время. Возможна оптимизация вывоза ЖУВ с учетом возможности их накопления в БРП и последующего вывоза в более благоприятных условиях перевозок.

6. Организация МТС на базе собственных или фрахтуемых судов.

7. Отсутствие опыта регулярных круглогодичных морских перевозок в арктических условиях требует в процессе технико-экономических обоснований оценивать технические и экономические риски.

8. Распределение грузопотока по рынкам сбыта. При перевозках ЖУВ одновременно по нескольким направлениям на каждом направлении возможно использование судов различных дедеветных групп, при этом допускается использование части или всех судов на всех линиях перевозок одновременно.

9. Требования к ритмичности поставок (соблюдению расписания).

Перечисленные особенности арктической МТС позволяют характеризовать ее как очень сложную структуру, для исследования которой необходимо не только применять методы системного анализа, но и скрупулезно изучать каждую составляющую арктической МТС. Ниже подробно рассмотрены проблемы, возникающие при рассмотрении движения КСЛП в ледовых условиях. По нашему мнению, это одна из важнейших составляющих МТС, особенности функционирования которой существенным образом влияют на состав и структуру арктической МТС.

### Основная трудность — крупнотоннажные суда

Название этой части статьи не следует понимать буквально: трудности при создании КСЛП не больше, чем при создании любого неарктического судна тех же водоизмещения и назначения. На наш взгляд, основные трудности возникают при систематической круглогодичной эксплуатации таких судов в ледовых условиях. Их рассмотрению посвящены работы [3—5]. Там показано, что применявшаяся ранее тактика плавания транспортных судов в ледовых условиях не может быть в полной мере использована для обеспечения надежной эксплуатации КСЛП во льдах. Основная причина связана с тем, что ширина корпуса существующих ледоколов существенно меньше ширины перспективных судов ледового плавания.

Рассмотрим подробнее возможные тактические приемы плавания КСЛП в ледовых условиях.

*Самостоятельное плавание КСЛП во льдах.* В этом случае крупнотоннажное судно выполняет движение во льдах самостоятельно без помощи ледокола. Такой сценарий использования КСЛП часто рассматривается в качестве основного при проработке МТС для вывоза углеводородов из полярных регионов. Этот сценарий имеет следующие недостатки:

- необходимость создания судов с категорией ледовых подкреплений корпуса не менее класса Arc7, так как в соответствии с правилами Российского морского регистра судоходства [6] только такие суда имеют возможность работать набегами при движении во льдах;
- необходимость установки на суда энергетической установки повышенной мощности для создания достаточной тяги движительного комплекса, обеспечивающей заданные параметры ледопроеходимости (например, для Карского моря — не менее 1,5 м);
- повышенная вероятность получения повреждений корпуса, связанная с невозможностью эффективного уклонения от опасных ледовых образований [3] из-за плохих характеристик ледовой управляемости крупнотоннажных судов, особенно с развитой цилиндрической вставкой [7] (оснащение таких судов винторулевыми колонками несколько улучшает их показатели ледовой управляемости, но незначительно);
- существенная потеря скорости движения вплоть до полной остановки при попадании в зону действия ледовых сжатий даже относительно небольшой интенсивности.

При разработке МТС, ориентированных на одиночные плавания КСЛП, часто большие надежды возлагают на использование судов двойного действия (DAS). Хорошо известно, что при движении судов во льдах кормой вперед наблюдается некоторое снижение ледового сопротивления. Этот эффект объясняется омывающим действием струй гребных винтов, очищающим подводную поверхность корпуса судна от притопленных льдин. Теоретические расчеты показывают, что в этом случае можно ожидать снижения ледового сопротивления в 1,6—1,8 раза [8]. Этот вывод относится в первую очередь к ледоколам, длина корпуса которых относительно мала. Для КСЛП эффективность движения кормой вперед не столь очевидна. Гидродинамические расчеты [9, 10] показывают, что энергии струй движителей не хватает для существенной очистки корпуса крупнотоннажного судна, поэтому эффективность движения задним ходом снижается. Этот вывод подтверждают и данные модельного эксперимента [11].

Для обеспечения возможности безопасного и эффективного одиночного плавания КСЛП во льдах необходима разработка новых форм корпуса. Это направление исследований является перспективным. Результатом работ, выполненных во ФГУП «Крыловский государственный научный центр», стал патент на форму корпуса КСЛП [12]. Основная идея этой разработки заключается в предложении устанавливать на крупнотоннажных судах дополнительно к носовым римерам\* (как это было сделано на арктическом танкере «Манхэттен») миделевые. Их



Рис. 3. Движение модели крупнотоннажного судна по каналу, проложенному ледоколом

наличие позволяет существенно улучшить показатели ледовой управляемости судна, а также снизить отрицательное воздействие ледовых сжатий на цилиндрическую вставку. Принцип работы миделевых римеров показан на рис. 2.

Другим направлением, повышающим безопасность и эффективность одиночного плавания КСЛП, является разработка систем мониторинга состояния судна под воздействием ледовой среды [13, 14].

*Плавание под проводкой одного ледокола.* Это традиционный способ проводки судов во льдах. Применительно к КСЛП он неэффективен. Крупнотоннажному судну при движении за ледоколом приходится доламывать не разрушенные кромки канала. Причем разрушение ледяного покрова происходит участками борта, расположенными в районе перехода носового заострения к цилиндрической вставке (рис. 3). Эти участки корпуса характеризуются неоптимальными с точки зрения разрушения льда углами развала шпангоутов, поэтому КСЛП приходится преодолевать значительное ледовое сопротивление. Величина этого сопротивления зависит от соотношения между шириной судна и шириной канала, проложенного ледоколом. Кроме того, ледокол не может осуществлять буксировку КСЛП на «усах», как это часто делается при проводке обычных судов в тяжелых ледовых условиях [15].

\* Ример — наделка на корпусе судна, увеличивающая его ширину.



Рис. 4. Движение модели крупнотоннажного судна параллельно каналу, проложенному танкером

В последние годы предпринимались попытки анализа возможных схем проводки КСЛП одним ледоколом [8]. Результаты исследований показали, что наиболее перспективной можно считать схему движения, при которой КСЛП движется параллельно каналу, проложенному ледоколом (рис. 4). При использовании этого способа снижение ледового сопротивления происходит за счет замены разрушения

ледяного покрова раздвижением некоторой его части на свободную поверхность канала. Можно считать, что КСЛП одним бортом разрушает ледяной покров, а другим, обращенным к каналу, раздвигает его. Тогда, если  $0,5B_s \leq B_p$ , где  $B_s, B_l$  — ширина судна и ледокола соответственно, при прохождении судна канал не смыкается. Этот процесс менее энергоемкий, чем разрушение льда, поэтому возможно некоторое снижение ледового сопротивления проводимого судна. Результаты расчетов и экспериментов в ледовом бассейне показывают, что в зависимости от расстояния до проложенного канала ледовое сопротивление КСЛП может быть снижено до 40%. К тому же при таком способе проводки один ледокол может оказать помощь КСЛП при попадании в зону не очень сильных сжатий [8].

Иногда рассматривается способ использования одного ледокола в качестве толкача. Он изредка применялся для судов, оборудованных кормовым подзором [15]. Однако его использование имеет ряд ограничений и скорее всего не может рассматриваться как основной способ проводки судов.

*Проводка судна двумя ледоколами.* В настоящее время это один из немногих тактических приемов, который гарантирует относительно безопасную и эффективную проводку КСЛП в ледовых условиях. Впервые этот способ стал применяться на Дальнем Востоке для проводки крупнотоннажных танкеров (рис. 5).



Рис. 5. Проводка танкера двумя ледоколами



Рис. 6. Модельные испытания нового многокорпусного ледокола в ровных льдах



Рис. 7. Канал в ровных льдах, создаваемый новым многокорпусным ледоколом

При таком способе проводки возможно получить ледяной канал любой заданной ширины. Движение проводимого судна при этом происходит в основном в крупнобитых льдах, которые образуются при сколе в канал, проложенный первым ледоколом, части ледяного покрова вторым ледоколом. Практическое применение этого способа проводки потребовало уточнения методики определения ледового сопротивления судна, движущегося в крупнобитых льдах. В [16] описана новая методика определения ледового сопротивления судна, базирующаяся на решении уравнений движения судна и раздвигаемых им льдин. Расчеты по этой методике показали, что при выполнении условия  $B_s \leq B_{11} + B_{12}$ , где  $B_{11}$ ,  $B_{12}$  — ширина первого и второго ледоколов, проводимое судно не будет иметь высокого ледового сопротивления [17]. К недостаткам этого способа можно отнести относительно высокую стоимость проводки из-за использования двух ледоколов. Кроме того, как показывают расчеты, при сильных ледовых сжатиях даже использование двух ледоколов не может защитить КСЛП от заклинивания во льдах [18].

### Перспективные разработки в области создания широких каналов для КСЛП

Ведущие специалисты в области морской ледотехники предпринимают попытки создать ледокольное средство, способное эффективно создавать широкий канал во льдах для безопасного движения КСЛП. Ряд предложений в этом направлении был сделан финскими специалистами из фирмы «Aker Arctic Technology Inc». Они предложили концепцию ледокола с асимметричным корпусом и несколькими винторулевыми колонками. По мнению авторов концепции, такой ледокол при косом (боковом) перемещении может прокладывать в относительно тонких льдах канал шириной 50 м. По-видимому, эта концепция не может быть использована для обеспечения мореплавания в арктических морях из-за

резкого возрастания ледового сопротивления ледокола при косом движении в толстых льдах.

Недавно финские специалисты провели модельные испытания ледокола, оснащенного в корме двумя аутригерами. Они служат для расширения канала, созданного основным корпусом. Оценки показывают, что такая схема может быть эффективно использована лишь для незначительного расширения созданного канала, когда аутригеры двигаются по кромкам канала в зоне растрескивания льда, вызванного движением основного корпуса.

Новое возможное решение проблемы было предложено во ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Это ледокол принципиально нового архитектурного типа, который может создавать ледяной канал шириной более 50 м, причем при потреблении относительно небольшого уровня мощности [19]. Предлагаемой ледокол имеет три или четыре ледокольных корпуса, установленных на единой платформе. Особенностью корпусов является то, что они имеют относительно небольшие размеры и каждый из них сопоставим с корпусом среднего или малого ледокола. На каждом корпусе установлены движители, причем на головном и замыкающем корпусах это могут быть винторулевые колонки, а средние корпуса оборудованы традиционными гребными винтами.

Важной особенностью предлагаемого решения является взаимное расположение отдельных корпусов ледокола. Оно позволяет не только создавать широкий канал, но и снизить ледовое сопротивление. На предложенное техническое решение получено положительное решение по заявке на получение патента.

Данное новое техническое решение было сформулировано на основании анализа данных различных модельных экспериментов в ледовом опытовом бассейне, а также теоретических расчетов. Для его экспериментальной проверки в рамках выполнения

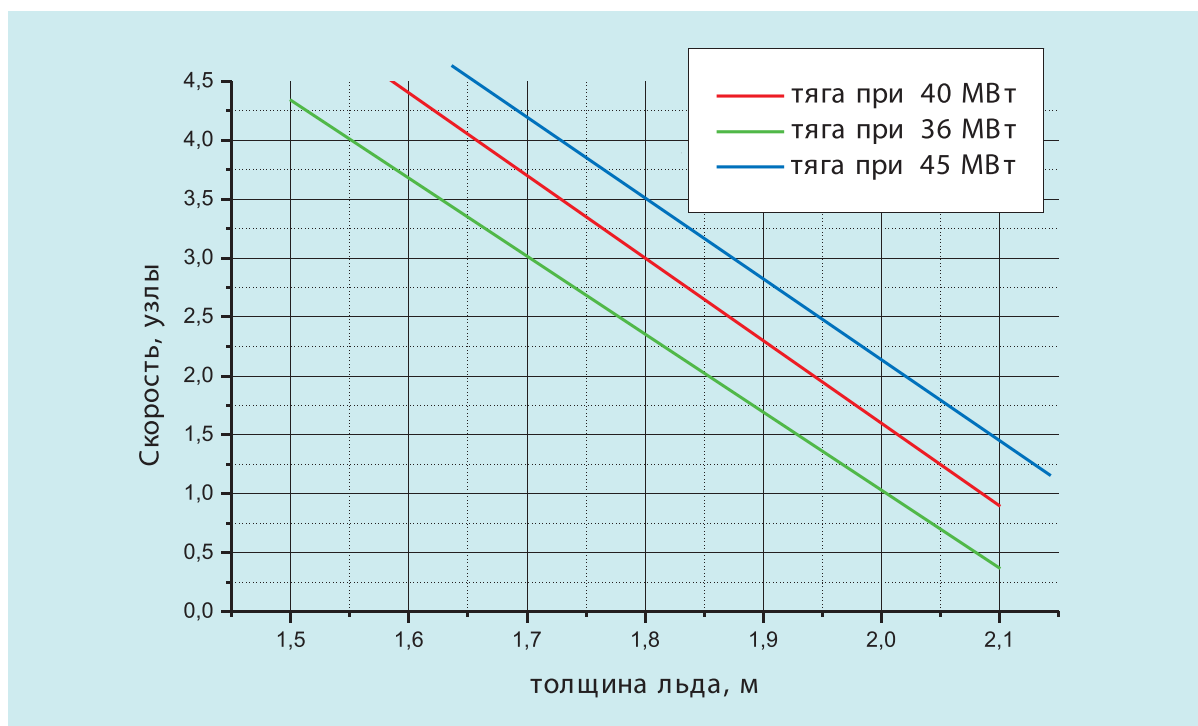


Рис. 8. Ледопроеходимость нового ледокола при различных уровнях мощности на гребных винтах

федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники на 2009—2016 годы» была изготовлена и испытана в ледовом бассейне модель нового ледокола в масштабе 1:30. В натурном масштабе суммарная ширина головного и средних корпусов составляет 39 м. Ниже приводятся некоторые результаты выполненных экспериментов.

Испытания модели нового ледокола включали буксировочные испытания в сплошных ровных льдах толщиной 0,9, 1,5 и 2,1 м (рис. 6), а также испытания в торосистой гряде. В ходе экспериментов измерялась сила сопротивления льда, действующая на каждый из корпусов ледокола. В результате были получены зависимости ледового сопротивления нового ледокола от скорости движения в ровных льдах постоянной толщины. Эти данные использовались для оценки предельной ледопроеходимости ледокола, под которой понимают максимальную толщину льда, преодолеваемую судном с минимальной устойчивой скоростью 1,5—2 узла при использовании полной мощности энергетической установки. Была измерена ширина канала за новым ледоколом. Она составила 54—57 м в пересчете на натурные условия (рис. 7).

Расчеты ледопроеходимости нового ледокола выполнялись для уровней мощности, потребляемых гребными винтами, в пределах от 35 до 45 МВт. Тяга движительного комплекса на швартовном режиме и при скорости движения ледокола 1,5—2 узла определялась по стандартной методике. Было установлено, что в зависимости от уровня потребляемой мощности ледопроеходимость нового ледокола составляет 1,8—2,1 м (рис. 8).

Экспериментальные данные по ледовому сопротивлению позволяют дать предварительную сравнительную оценку ледовых качеств нового ледокола:

- По достигнутому уровню ледопроеходимости (1,8—2,1 м при потребляемой движителями мощности 35—45 МВт) он сопоставим с самыми мощными в мире атомными ледоколами типа «Арктика». Однако при этом ширина канала, прокладываемого новым ледоколом в толстых льдах (54—57 м), превышает аналогичную величину для ледоколов типа «Арктика» (30—35 м) в 1,8 раза.
- Экспериментальные данные показывают, что эффективность нового ледокола повышается с уменьшением толщины льда, поэтому при работе в эксплуатационных условиях (толщина льда 1—1,5 м) потребляемая им мощность будет ниже, чем у двух ледоколов (атомного типа «Арктика» и дизель-электрического), прокладываемых во льдах канал той же ширины.
- Для сравнения были выполнены расчеты ледового сопротивления гипотетического варианта однокорпусного ледокола-лидера с шириной корпуса 50 м, который смог бы прокладывать такой же канал шириной 54—57 м. По результатам этих расчетов новый ледокол обладает в 2 раза меньшим сопротивлением во льдах толщиной 0,9 м и в 1,5 раза меньшим сопротивлением во льдах толщиной 1,5 и 2,1 м.

Эксперименты показали, что максимальная нагрузка при преодолении тороса определяется сопротивлением средних корпусов и сопоставима по величине с сопротивлением однокорпусного ледокола,

ширина корпуса которого равна суммарной ширине средних корпусов нового ледокола. При этом ширина канала, прокладываемого многокорпусным ледоколом в торосистых льдах, превышает 50 м.

### Заключение

Приведенный в статье анализ некоторых проблемных вопросов, возникающих при создании морских транспортных систем для вывоза углеводородов из районов Крайнего Севера, позволяет сделать следующие выводы.

В распределении инвестиций на обустройство месторождений нефти и газа, расположенных в Арктике, доля МТС может составлять до 50%.

МТС является объектом со сложной структурой, важнейшей ее частью являются крупнотоннажные суда ледового плавания и ледоколы, обеспечивающие возможность проводки судов в ледовых условиях.

Традиционная тактика ледового плавания, основанная на использовании лидирующего традиционного ледокола, прокладывающего канал во льдах, не может эффективно использоваться для обеспечения перевозок углеводородов современными крупнотоннажными судами. Для эффективной проводки КСЛП одним ледоколом необходима разработка новых тактических приемов плавания, например, движение КСЛП параллельно каналу, проложенному одним ледоколом.

В настоящее время наиболее эффективна проводка КСЛП двумя ледоколами.

Для обеспечения бесперебойного и безопасного функционирования морской транспортной системы необходим поиск новых технических решений применительно как к КСЛП, так и к ледоколам и другим ледоразрушающим средствам.

### Литература

1. Дехтярук Ю. Д. Анализ инвестиционных затрат на обустройство морских месторождений углеводородов в Арктике // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2008. — Вып. 38 (322). — С. 133—139.
2. Дехтярук Ю. Д. Особенности и опыт разработки транспортно-экономических моделей морских перевозок жидких углеводородов // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2008. — Вып. 38 (322). — С. 125—132.
3. Апполонов Е. М., Нестеров А. Б., Сазонов К. Е. Обеспечение ледовых качеств крупнотоннажных арктических танкеров // Труды 6-й Международной конференции по судам и морским конструкциям в холодных регионах ICETECH'2000. — СПб., 2000. — С. 64—70.
4. Сазонов К. Е. Танкер и ледокол: сложение сил // Мир транспорта. — 2007. — № 4. — С. 50—59.
5. Sazonov K. E. Navigation challenges for large-size ships in ice conditions // Ship and Offshore Structures. — 2011. — Vol. 6, № 3. — P. 231—238.
6. Правила классификации и постройки морских судов. НД № 2-020101-056. — Т. 1. — СПб.: Рос. мор. регистр судоходства, 2010. — 501 с.
7. Сазонов К. Е. Ледовая управляемость судов. — СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2006. — 252 с.
8. Сазонов К. Е. Теоретические основы плавания судов во льдах. — СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2010. — 274 с.
9. Лобачев М. П., Сазонов К. Е. Исследование некоторых аспектов гидромеханики судов двойного действия // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2005. — Вып. 24 (308). — С. 89—98.
10. Лобачев М. П., Сазонов К. Е. Гидродинамические аспекты взаимодействия движителей со льдом // Мир транспорта. — 2009. — № 1. — С. 4—12.
11. Каневский Г. И., Немзер А. И., Пустошный А. В., Сазонов К. Е. Исследование пропульсивных, маневренных и ледовых качеств танкера двойного действия // Труды III Международной конференции по судостроению ISC'2002, 2002, секция В. — С. 229.
12. Орлов О. П., Пашин В. М., Сазонов К. Е., Тумашик А. П. Судно ледового плавания. Патент РФ №2304543. Опубликовано 20.08.2007. Бюл. № 23.
13. Апполонов Е. М., Нестеров А. Б., Тимофеев О. Я. Обеспечение ледовой прочности и безопасной эксплуатации судов в российских и замерзающих морях на основе комплексной системы формирования принципиальных инженерных решений // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2008. — Вып. 39 (323). — С. 69—89.
14. Апполонов Е. М., Сазонов К. Е., Тимофеев О. Я. Безопасность эксплуатации крупнотоннажных судов в арктической транспортной системе // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. — 2010. — № 1 (80). — С. 149—153.
15. Куликов Н. В., Сазонов К. Е. Буксировка судов во льдах. — СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2003. — 158 с.
16. Сазонов К. Е., Добродеев А. А. Метод расчета ледового сопротивления судна при его движении в крупнобитых льдах и обломках ледяных полей // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2011. — Вып. 63 (347). — С. 73—80.
17. Добродеев А. А., Сазонов К. Е. Оценка возможности использования двух ледоколов для проводки крупнотоннажных судов // Мореходство и морские науки: Избр. доклады III Сахалинской региональной НТК, Южно-Сахалинск, 2011. — С. 109—113.
18. Апполонов Е. М., Сазонов К. Е., Бокатова Е. А. Оценка вероятности заклинивания крупнотоннажных судов при сжатии // Мир транспорта. — 2012. — № 4. — С. 4—9.
19. Пашин В. М., Апполонов Е. М., Сазонов К. Е. Новый ледокол для проводки крупнотоннажных судов. В чем преимущества? // Мор. флот. — 2012. — № 1. — С. 50—53.