

УДК 627.042:629.5.021

# Новые экспериментальные возможности Крыловского государственного научного центра по изучению ледовых воздействий на объекты морской техники

**В. И. Денисов,****К. Е. Сазонов**<sup>1</sup>, доктор технических наук,**О. Я. Тимофеев**, доктор технических наук

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

*Рассмотрены экспериментальные возможности нового ледового бассейна Крыловского государственного научного центра. Приведены основные технические характеристики нового бассейна, описаны применяемые модели льда. Дана характеристика основных видов модельных испытаний.*

**Ключевые слова:** ледовый опытовый бассейн, ледовые условия, ледовые модельные испытания, моделированный лед.

## Введение

Создание в 1955 г. первого в мире ледового бассейна в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте в Ленинграде открыло новую страницу в развитии морской ледотехники [1]. Проведение ледового модельного эксперимента позволило получать информацию об уровне глобальной ледовой нагрузки, действующей на ледоколы, суда ледового плавания и морские инженерные сооружения, проводить экспериментальную проверку правильности принятых при проектировании технических решений. Это открыло возможность развития теоретических и расчетных методов оценки ледового воздействия на объекты морской техники, основываясь на экспериментальных данных.

В настоящее время практически все страны, создающие морскую технику, предназначенную для работы в Арктике и замерзающих морях, проводят испытания проектируемых судов и сооружений в ведущих ледовых бассейнах мира. Одним из них был старый ледовый бассейн Крыловского государственного научного центра (КГНЦ), созданный в 1985 г. В нем испытывалось большинство создаваемых для использования в стране ледостойких сооружений и морских транспортных средств. К концу 30-летнего срока эксплуатации старый ледовый бассейн КГНЦ морально и физически устарел и стал плохо приспособлен для решения современных

ледотехнических задач. Поэтому в рамках выполнения государственной программы «Развитие гражданской морской техники» в КГНЦ был построен и введен в эксплуатацию новый ледовый бассейн. Внешний вид здания и самого ледового бассейна приведены на рис. 1 и 2.

## Основные характеристики нового ледового бассейна

Главная цель создания нового ледового бассейна — существенное увеличение его экспериментальных возможностей при сохранении ранее накопленного опыта в области проведения модельных исследований. Достижение этой цели было возможно лишь при решении целого ряда задач:

- выбор главных размерений чаши бассейна, определение специальных требований к его конструкции;
- создание удобных многофункциональных буксировочной и вспомогательной тележек;
- выбор эффективного холодильного оборудования, систем растепления и водоподготовки.

Рассмотрим эти задачи более подробно. Главные размерения чаши бассейна задают его основные размеры. От этих размеров зависят выбор наиболее экономичного способа приготовления ледяного покрова, оценка потребной мощности холодильного комплекса и многое другое. Специалисты ледового бассейна КГНЦ выполнили обоснование выбора размерений чаши нового бассейна [2]. Оно базировалось на анализе различных типов модельных

<sup>1</sup> e-mail: kipsaz@rambler.ru.

испытаний, выполняемых в настоящее время. Было показано, что буксировочные испытания моделей современных крупнотоннажных судов являются определяющими при назначении длины чаши бассейна. Анализ показал, что для надежного проведения таких испытаний необходимо иметь длину чаши не менее 80 м. В конце чаши бассейна расположен слип для сброса отработанного льда.

При определении ширины ледового бассейна исходят из требования отсутствия влияния стенок бассейна на результаты модельных испытаний, проводимых в сплошных льдах. В указанной работе был выполнен анализ результатов циркуляционных испытаний моделей в сплошных льдах. Он показал, что для качественного выполнения таких опытов необходима ширина бассейна не менее 30 м. Выполнить это условие в новом ледовом бассейне не представляется возможным, поэтому ширина была принята равной 10 м, что удовлетворяет требованию отсутствия влияния стенок.

Глубина чаши на 80% длины была принята равной 2 м. Это позволяет эффективно реализовать визуализацию процессов взаимодействия подводных частей моделей со льдом. Для обеспечения визуализации один из бортов бассейна был оснащен иллюминаторами для наблюдения сбоку, а в днище бассейна были также установлены иллюминаторы для наблюдения снизу (рис. 3). Необходимость визуализации изучаемых процессов предъявляет определенные требования к конструкции чаши: она должна располагаться на колоннах, а со стороны борта с иллюминаторами должен быть удобный проход. Выбранная глубина позволяет эффективно использовать фальшдно при выполнении различных экспериментов с морскими инженерными сооружениями. На последних 20% длины чаши ее глубина увеличивается до 4 м. Это сделано для возможности



Рис. 1. Здание нового ледового бассейна КГНЦ

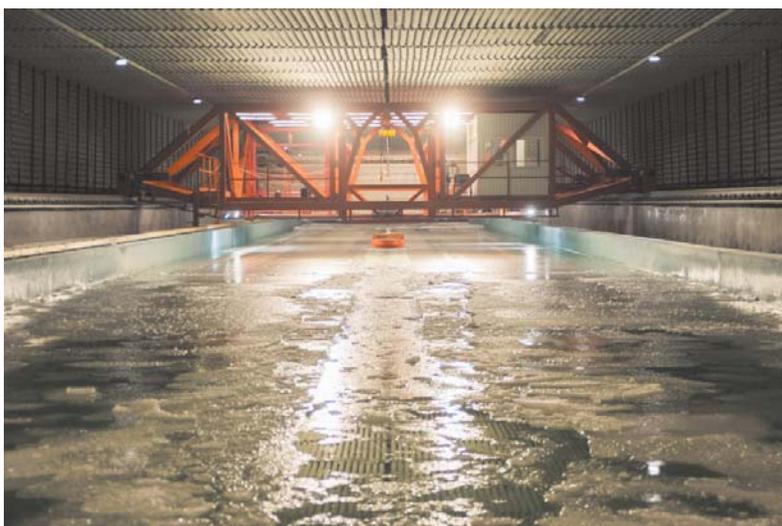


Рис. 2. Ледовый бассейн КГНЦ

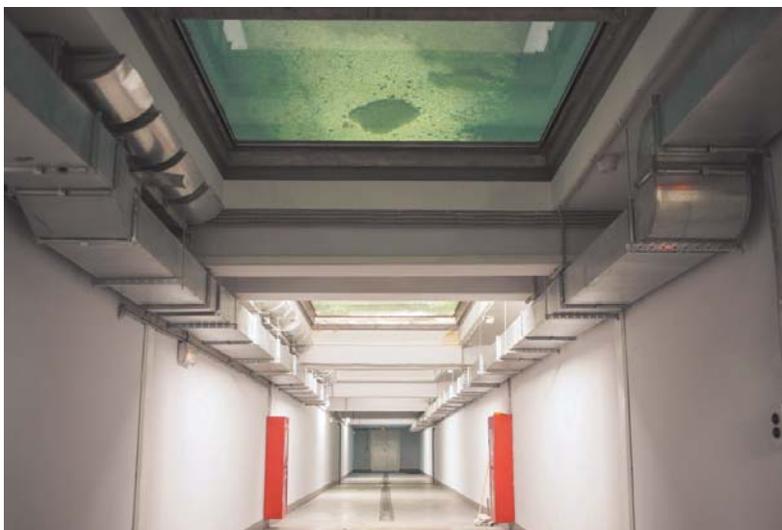


Рис. 3. Иллюминаторы, вмонтированные в днище ледового бассейна КГНЦ

Таблица 1. Основные характеристики старого и нового ледовых бассейнов КГНЦ

Характеристика	Старый бассейн	Новый бассейн
Длина ледового бассейна с доковой частью, м	50	100
Длина ледяного поля, м	35	80
Ширина бассейна, м	6	10
Глубина, м (в скобках указана глубина последних 20% длины бассейна)	2 (3)	2 (4)
Диапазон толщины намораживаемого льда, мм	10—100	10—130
Скорость буксировочной тележки, м/с	0,005—1	0,005—1,5
Среднее время, затрачиваемое на приготовление одного поля, сут	2	1—2

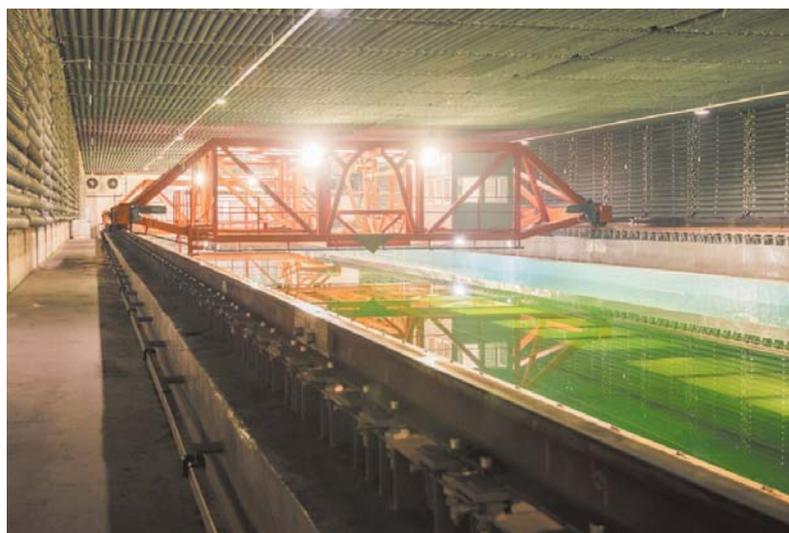


Рис. 4. Буксировочная тележка ледового бассейна КГНЦ

проведения экспериментов с моделями, оснащенными якорной системой удержания.

Основные характеристики нового ледового бассейна представлены в табл. 1 (для сравнения приведены также характеристики старого бассейна).

Буксировочная тележка является основным экспериментальным оборудованием в ледовом опытном бассейне (рис. 4). С ее помощью осуществляются буксировка моделей судов и морских инженерных сооружений в различных ледовых условиях, сопровождение движения самоходных моделей, экспериментальные исследования по фрезерованию льда гребными винтами и многое другое. Буксировочная тележка должна нести различное динамометрическое оборудование, буксировать имитатор дна, на ней находятся системы сбора и первичной обработки экспериментальной информации, системы освещения фото- и видеосъемки. Управление движением тележки, а также движением самоходных моделей и вращением гребных винтов производится из кабины.

Буксировочная тележка оснащена подвижной рамой, которая может передвигаться в вертикальном направлении, осуществляя одновременное перемещение измерительного динамометра и имитатора дна. Кроме того, на тележке установлена подвижная каретка, позволяющая проводить испытания моделей судов с заданным углом дрейфа и заданной угловой скоростью.

При проектировании к буксировочной тележке предъявлялись довольно серьезные требования. Ее скорость должна была варьироваться в диапазоне от 0,01 до 1,5 м/с, причем этот диапазон должен обеспечиваться одним типом электрического привода. Также было необходимо обеспечить возможность плавной регулировки скорости движения тележки. Электропитание должно было осуществляться по троллеям. Конструкция тележки обладает достаточной жесткостью для обеспечения качества динамических измерений. Ее собственная частота колебаний лежит в пределах 6—8 кГц, а масса составляет 40 т.

Вспомогательная тележка выполняет следующие функции: приготовление и уборку ледяного покрова, измерения физико-механических свойств льда в любой точке бассейна, приготовление торосистых и других ледяных образований, участие по необходимости в проведении экспериментальных исследований (рис. 5). Для приготовления ледяного покрова вспомогательная тележка оборудована форсунками для распыления струй воды и системой подачи воды. Уборка ледяного покрова после испытаний производится с помощью двух бульдозеров, установленных спереди и сзади тележки. Для определения физико-механических свойств льда на тележке смонтировано необходимое оборудование. Оно может перемещаться по ширине тележки, обеспечивая возможность измерений в любой точке бассейна. При приготовлении различных ледяных

образований используются бульдозеры и специальное навесное оборудование.

Скорость тележки варьируется в диапазоне от 0,1 до 1 м/с, также имеется возможность ее плавной регулировки. Электропитание тележки осуществляется по троллеям. Управляет тележкой оператор из ее кабины. Масса тележки — примерно 20 т. Конструкция вспомогательной тележки защищена патентом [3].

В ледовом бассейне имеется возможность приготовить моделированный ледяной покров по двум методикам. В соответствии с первой (русской) методикой в воду вносятся ядра кристаллизации, а затем ледяной покров растет так же, как в естественных условиях. При этой технологии получается столбчатый лед с повышенной прочностью на смятие. Приготовление такого льда требует довольно больших энергозатрат, так как холодильный комплекс должен работать с максимальной мощностью в течение всего времени приготовления льда.

Второй способ, предложенный финскими специалистами, позволяет существенно снизить суммарные энергозатраты: в холодную атмосферу бассейна распыляются струи воды, дробящиеся затем на отдельные капли (рис. 6). В полете капли частично замерзают и оседают на поверхность воды. При этом ледяной покров растет, как снег, снизу вверх.

Для реализации второго способа намораживания моделированного ледяного покрова в конструкции бассейна было реализовано новое техническое решение, защищенное патентом Российской Федерации [4]. Оно заключается в создании параллельно ледовому бассейну узкого канала для забора воды. Ледовый бассейн и канал представляют собой сообщающиеся сосуды. Это решение позволило отказаться от ненадежной системы гибких шлангов, наматываемых и разматываемых со специального барабана в процессе приготовления моделированного льда.



Рис. 5. Вспомогательная тележка ледового бассейна КГНЦ

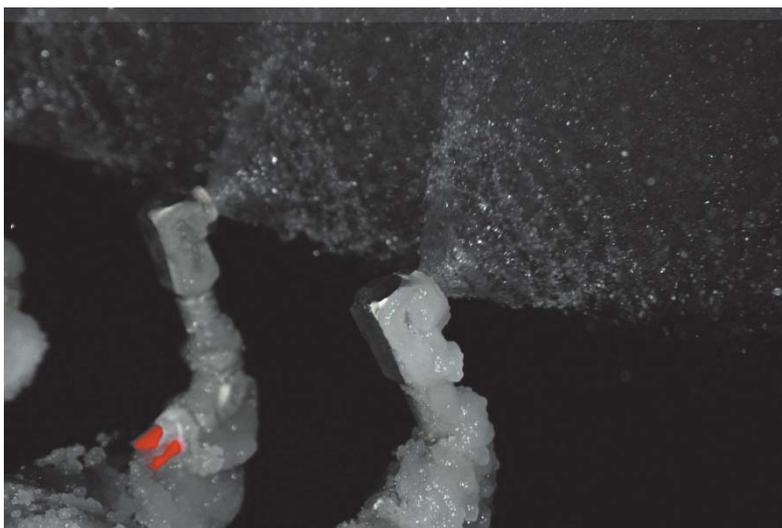


Рис. 6. Распыление воды форсунками при приготовлении моделированного ледяного поля

Основная трудность, возникающая при реализации второго способа намораживания льда, — необходимость эффективного отвода выделяющейся теплоты фазового перехода «вода — лед». Именно это требование является основным при выборе типа и параметров холодильной установки нового ледового бассейна.

Сотрудники института вместе со специалистами по холодильной технике выполнили анализ современных холодильных систем, которые можно было бы использовать в ледовом бассейне. Наиболее подходящей по целому ряду параметров признана установка, работающая на фреоне. В ней используются фреоны, не разрушающие озоновый слой атмосферы.

Одной из важнейших систем нового ледового бассейна является система водоподготовки. Она обеспечивает идеальную чистоту воды, позволяющую осуществлять визуальные наблюдения за процессами, происходящими в подводной части корпусов моделей судов и морских инженерных сооружений. В систему водоподготовки входит современная система очистки воды на входе, а также объемные резервуары,



Рис. 7. Буксировочные испытания модели в новом ледовом бассейне



Рис. 8. Визуализация процессов взаимодействия гребных винтов со льдом

позволяющие хранить подготовленную для работы воду. Работа ледового бассейна осуществляется по замкнутому циклу, практически без подпитки водой извне.

### Экспериментальные возможности нового ледового бассейна

Основной целью создания нового ледового бассейна было существенное увеличение его экспериментальных возможностей при сохранении всего накопленного опыта в области проведения модельных исследований.

В новом бассейне планируется проводить следующие виды модельных испытаний:

- Определение ледового сопротивления ледоколов и судов ледового плавания и оптимизация формы их корпуса (рис. 7). В новом бассейне имеется возможность повысить производительность такого рода испытаний в 2—4 раза по сравнению со многими ледовыми бассейнами мира за счет более эффективного использования ширины ледяного

поля (проведения испытаний в параллельных каналах). Кроме того, разработана и проходит испытания технология намораживания одного моделированного ледяного поля с двумя различными толщинами льда.

- Исследования, обеспечивающие проектирование движителей ледоколов и судов ледового плавания. Включенные в конструкцию ледового бассейна средства визуализации позволяют воочию наблюдать процессы, происходящие при взаимодействии движителей со льдом (рис. 8). Также для нового ледового бассейна разработаны специальные экспериментальные установки, позволяющие изучать взаимодействие различных движителей со льдом, в том числе движителей перспективных типов, например, соосной пары обычного гребного винта и винто-рулевой колонки [5].
- Отработка тактических приемов плавания судов во льдах включая взаимодействие с ледоколами, ледовыми отгрузочными терминалами и т. п. Дополнительным преимуществом нового ледового бассейна является возможность активного использования в эксперименте вспомогательной тележки, служащей для засева и уборки использованного льда. Установленная в бассейне вспомогательная тележка допускает дооснащение измерительным оборудованием, что позволяет с ее помощью проводить широкий спектр нестандартных экспериментов. Это даст возможность проводить эксперименты одновременно с двумя моделями, исследуя движение крупнотоннажного судна по «узкому» каналу и параллельно по ледяному каналу, проложенному ледоколом [6].
- Исследование характеристик ледовой управляемости судов. Буксировочная тележка нового бассейна дополнительно оснащена кареткой, которая способна двигаться по заданному закону перпендикулярно оси бассейна. Кроме того, каретка

может сообщать модели заданную угловую скорость. Таким образом, появляется возможность измерять ледовые силы и моменты, действующие на криволинейно движущуюся модель. В настоящее время в мировой практике практически отсутствуют подобные экспериментальные результаты, а они крайне необходимы для создания и тестирования математических моделей произвольного движения судов во льдах [7].

- Определение глобальной ледовой нагрузки на морские инженерные сооружения, в том числе и с учетом влияния дна водоема, исследование и оптимизация элементов ледовой защиты инженерных сооружений от воздействия льда. Такие работы в настоящее время очень востребованы. В старом ледовом бассейне КГНЦ был выполнен большой объем экспериментальных исследований и накоплен уникальный опыт их выполнения [8]. В новом ледовом бассейне благодаря новой конструкции буксировочной тележки, оснащенной подъемными панелями и поворотными устройствами, резко снижены временные и энергетические затраты на подобные эксперименты. Изменение направления ориентации модели относительно направления дрейфа льда сейчас можно произвести за считанные минуты. В новом ледовом бассейне предусмотрена возможность различными способами имитировать дно водоема (подвижное и неподвижное), что также существенно расширяет экспериментальные возможности. Буксируемое подводное дно выполнено прозрачным, что увеличивает возможности визуализации протекающих процессов.

Большое внимание при проектировании бассейна было уделено возможности корректного моделирования взаимодействия со льдом заякоренных морских сооружений. Для этого в чаше бассейна создано специальное углубление для размещения и моделирования систем удержания, а также специальные подводные рамы для закрепления тросов и оборудования. Это необходимо для исследования объектов морской техники, предназначенных для эксплуатации на глубоководном арктическом шельфе, например для Штокмановского газоконденсатного месторождения [9].

- Исследования по управлению ледовой обстановкой для снижения ледовой нагрузки на морские инженерные сооружения с помощью ледоколов. Это новое направление в развитии морской ледотехники [10]. Для проведения этих исследований в новом бассейне предусмотрена возможность использования радиоуправляемых моделей, а также совместного использования в эксперименте буксировочной и вспомогательной тележек.
- Перспективные исследования в области морской ледотехники, в том числе исследования технических устройств специального назначения.

В новом бассейне моделируются и воспроизводятся следующие ледовые условия:

- сплошной ровный припайный и дрейфующий лед;

- мелко- и крупнобитый лед, обломки ледяных полей;
- торосистые гряды, одиночные торосы, поля восторошенного льда;
- имитация процессов сжатия льда;
- свежие и «старые» каналы, проложенные во льдах.

## Выводы

Новый ледовый бассейн ФГУП «Крыловский государственный научный центр» является наиболее передовой научно-исследовательской лабораторией в области морской ледотехники. Экспериментальные возможности этого бассейна позволяют выполнять разнообразные исследования для обеспечения проектирования новых образцов техники, потребность в которых возникает при освоении Арктики и замерзающих морей.

## Литература

1. Сазонов К. Е. Развитие морской ледотехники в России: история и современность // Арктика: экология и экономика. — 2013. — № 2 (10). — С. 92—103.
2. Апполонов Е. М., Лебедев И. Ю., Сазонов К. Е., Тумашик А. П. Оценка размеров чаши современного ледового бассейна // Тр. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2010. — Вып. 51 (335). — С. 19—28.
3. Денисов В. И. и др. Многофункциональная тележка ледового опытового бассейна. — Патент на изобретение RUS 2467910; 11.04.11.
4. Апполонов Е. М. и др. Ледовый опытовый бассейн. — Патент на изобретение RUS 2440271; 01.07.10.
5. Добродеев А. А., Сазонов К. Е. Экспериментальное исследование взаимодействия соосной пары гребных винтов со льдом // Тр. Крылов. гос. науч. центра. — 2013. — Вып. 73 (357). — С. 99—104.
6. Сазонов К. Е. Ледовая управляемость судов. — СПб.: ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 2006. — 252 с.
7. Дехтярук Ю. Д., Добродеев А. А., Сазонов К. Е. Некоторые вопросы создания морских транспортных систем для вывоза углеводородов из Арктики // Арктика: экология и экономика. — 2013. — № 2 (10). — С. 84—91.
8. Апполонов Е. М., Клементьева Н. Ю., Сазонов К. Е., Тимофеев О. Я. Современные экспериментальные методы определения ледовых воздействий на элементы инфраструктуры морского газодобывающего комплекса // Газ. промышленность. — 2011. — № 661. — С. 90—92.
9. Карулин Е. Б., Карулина М. М., Клементьева Н. Ю. и др. Модельные исследования взаимодействия со льдом платформ, предназначенных для Штокмановского ГКМ // Газ. промышленность. — 2007. — № 10. — С. 70—73.
10. Апполонов Е. М., Сазонов К. Е. Ледовый менеджмент: задачи и возможности // Газ. промышленность. — 2013. — № 2. — С. 70—72.