

Инновационный подход к дальнейшему развитию инфраструктурных объектов в Арктике и Арктической зоне



В. Н. Половинкин,
д. т. н., профессор,
научный руководитель предприятия
vnpolo@yandex.ru

ФГУП «Крыловский государственный научный центр», Санкт-Петербург



Ю. А. Симонов,
к. т. н., гл. специалист
по морской технике
5_otd@ksrc.ru

Рассмотрены перспективы интенсификации развития Арктики и Арктической зоны благодаря применению различных объектов, строящихся на плавучих основаниях и доставляемых в Арктику в полностью готовом виде. Проанализированы в общем виде проблемы этих плавсредств, связанные с арктическими условиями, пути их решения с использованием уникальной экспериментальной базы ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и накопленного опыта научных исследований.

Ключевые слова: плавучие объекты, экспериментальная база, интенсификация развития Арктики, ледовые условия.

Необходимость интенсификации освоения Арктики и Арктической зоны в настоящее время стала очевидной. Сюда все более перемещаются центры добычи углеводородов и полезных ископаемых. Что касается нефти и природного газа, Обская губа развивается как крупный источник их добычи. Возможным направлением может стать отгрузка нефти из района р. Енисей, где имеются богатые месторождения. Хорошие перспективы имеют месторождения нефти в районе Хатангского залива. Возник и развивается угольный центр добычи на Таймыре. Открыты новые месторождения ценных металлов в Арктической зоне — в Ванькиной губе на побережье Северного Ледовитого океана добывается олово, на Новой Земле разворачивается освоение месторождения полиметаллических руд, непрерывно осваиваются новые месторождения золота, урана, вольфрама, никеля и др.

Одновременно возрастает роль и необходимость присутствия в Арктике военного контингента, пограничников, росгвардии. Соответственно, возникает потребность в энергии, жилье и многих других компонентах инфраструктуры.

При этом давно известно, сколь велики трудности и затраты на строительство любых объектов в арктических районах. Здесь целый букет отрицательных факторов — чрезвычайно короткий (2-3 мес.) летний

сезон, зимний сезон связан с низкими (до $-50...-60^{\circ}\text{C}$) температурами, метелями, снежными заносами, полярной ночью. Кроме того, велика оторванность от баз снабжения, невозможность ритмичной доставки материалов и оборудования, отсутствие на местах рабочей силы. В результате создание производственных и инфраструктурных объектов оказывается весьма долговременным и высоко затратным. Все это является серьезным сдерживающим фактором интенсивного развития арктических регионов. Вместе с тем имеются и известны способы достижения значительно большей эффективности освоения труднодоступных районов. Еще в советское время судостроители предложили для ряда районов арктического побережья не строить электростанции на берегу, а построить их на плавучем основании в европейской части Союза и прибуксировать на место установки. Было построено 8 газотурбинных плавэлектростанций типа «Северное сияние» (рис. 1), которые были рассредоточены по побережью Северного Ледовитого океана в местах, где требовалась электроэнергия. Конечно, это не решило одну сопутствующую проблему — завоз топлива для электростанций.

В настоящее время завершившейся постройкой плавучей атомной электростанции «Академик Ломоносов» продемонстрирована возможность решения и этой проблемы. Установка ее у причалов п. Певек



Рис. 1. Плавучая электростанция «Северное сияние»

(рис. 2) и подключение к имеющимся сетям электро-снабжения позволит не только снабжать электричеством этот район, энергозаместив Чаунскую ТЭС, но и заменить отслужившую свой срок службы наземную Билибинскую атомную электростанцию. И при этом станет возможным до предела снизить потребность Певека в углеводородном топливе.

Следующим удачным примером применения плавучего сооружения стала совместная идея ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и ФГБУ «ААНИИ» заменить дрейфующие станции на льдинах на ледостойкую искусственную платформу, приспособленную для многократного осуществления ледовых экспедиций в результате ввода ее в дрейф и самостоятельного выхода из дрейфа (рис. 3).

Вполне естественно, что на такой платформе создаются комфортабельные условия не только для жизни, но и для проведения широкого круга ис-

следований. Платформа должна быть построена на Адмиралтейских верфях к 2020 г. Но уже сейчас рассматривается совместное предложение ФГУП «Крыловский государственный научный центр», НИЦ «Курчатовский институт», ФГБУ «ААНИИ» и ПАО «ЦКБ «Айсберг» о создании нового поколения более многофункциональных дрейфующих платформ с компактной атомной энергетической установкой. Это позволит избежать необходимости в больших запасах углеводородного топлива, какие требуются на строящейся платформе, и вместо этого принять больше полезных грузов.

Хорошее начало положено в крупнейшем газовом проекте ПАО «Новатэк» по освоению газовых месторождений на Гыданском полуострове. Предложено исходить из концепции размещения заводов по производству СПГ на плавучих основаниях со строительством этих комплексов в Кольском заливе в полностью



Рис. 2. Плавучий энергоблок (ПАТЭС) «Академик Ломоносов»

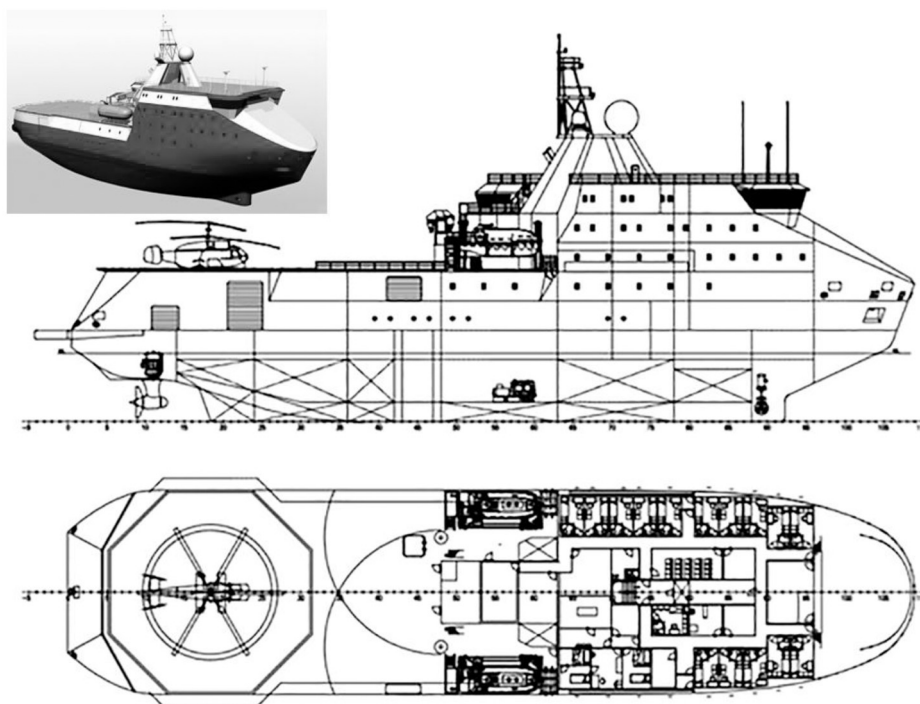


Рис. 3. Общее расположение дрейфующей научно-исследовательской платформы

готовом виде, их доставки в Обскую губу на место установки и последующей эксплуатации комплекса.

Плавучий комплекс по производству СПГ может служить хорошим примером для создания любых других промышленных производств на плавучих основаниях, и, в частности, решаемых при этом задач:

- Плавучий комплекс, будем называть его «завод», изготовленный в благоприятных климатических условиях, доставляется на место водным путем, там или остается в плавучем состоянии, или устанавливается на грунт; выбор варианта постановки, облик сооружения определяются географическими условиями (закрытая акватория или открытая),

глубинами в месте установки, возможными воздействиями со стороны льда, ветра, волнения, течения.

- Плавзавод может формироваться в виде одного комплексного объекта или состоять из ряда отдельных компонентов, например, технологического, энергетического, склада (хранилища) готового продукта, жилого и других, связанных между собой переходными мостиками; выбор здесь будет связан как с габаритными размерениями плавзавода, так и размерами акватории.
- Плавучее основание, на котором будет размещаться то или иное оборудование может изготавли-

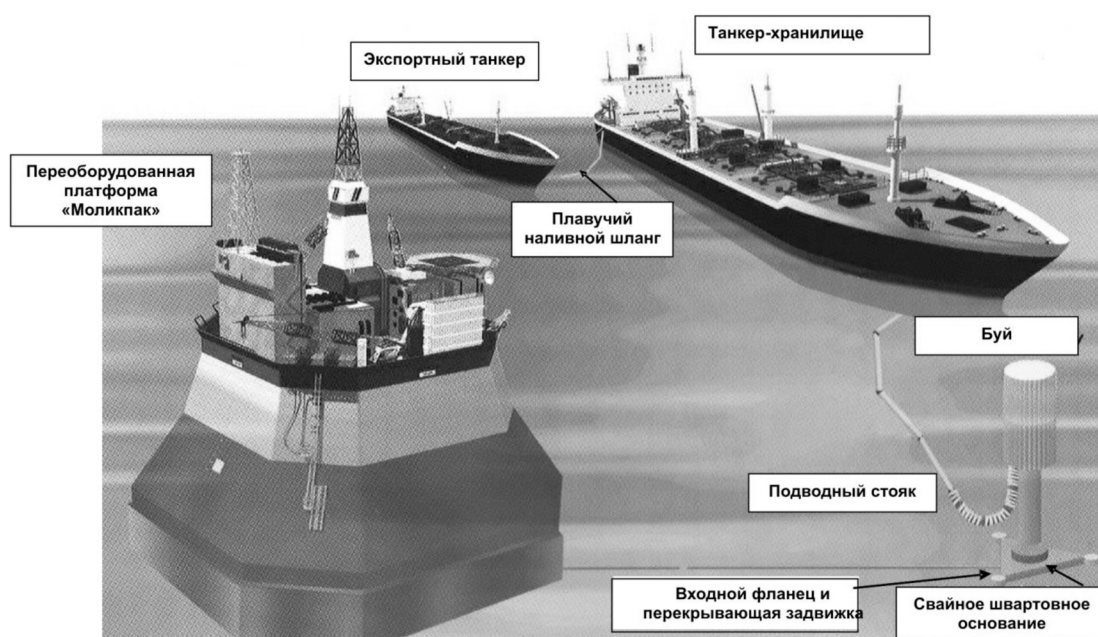


Рис. 4. Нефтедобывающий комплекс «Витязь»



Рис. 5. Плавучее нефтехранилище ПНХ «Умба» компании РПК «Норд» на рейде Кольского залива (Мурманск)

ваться или стальным, или железобетонным. Для арктических условий большинство преимуществ обеспечивает изготовление плавучего основания из железобетона.

По существу, плавучими комплексными объектами оказались все морские нефтегазовые сооружения, расположившиеся на Севере, на Сахалине, на Каспии. Все они, или, по крайней мере основные их компоненты, изготавливались на судостроительных предприятиях (АО «ПО «Севмаш», ПАО «Выборгский судостроительный завод», Астраханские заводы, Дальневосточные заводы), затем буксировались на место установки в море, и там немедленно начинались работы по бурению скважин и добыче нефти или газа. На первом из этих реализованном проекте «Сахалин-2» была также апробирована система, состоящая из отдельных компонентов — добычной платформы и отдельно стоящего плавучего нефтяного хранилища. Комплекс получил название «Витязь» (рис. 4).

Еще одним видом плавучих объектов, устанавливаемых стационарно, являются перегрузочные комплексы. Крыловский центр всегда обоснованно считал, что суда, предназначенные для круглогодичного экспорта сырья из различных районов Арктики и вынужденно имеющие повышенную металлоемкость корпуса и значительную энерговооруженность, экономически целесообразно использовать только в пределах Арктического бассейна. За его пределами необходимо иметь плавучие хранилища экспортируемого сырья, которое доставляется туда арктическими судами, а далее на экспорт вывозится традиционными неледовыми судами. В частности, для этого предназначаются плавучие нефтяные хранилища в Кольском заливе (рис. 5). Подобные плавучие хранилища потребуются и для перевалки сжиженного природного газа.

Исключительно важным фактором в пользу плавучих сооружений любого типа является возможность их демобилизации с места установки, например, после выработки добываемого сырья или необходимости

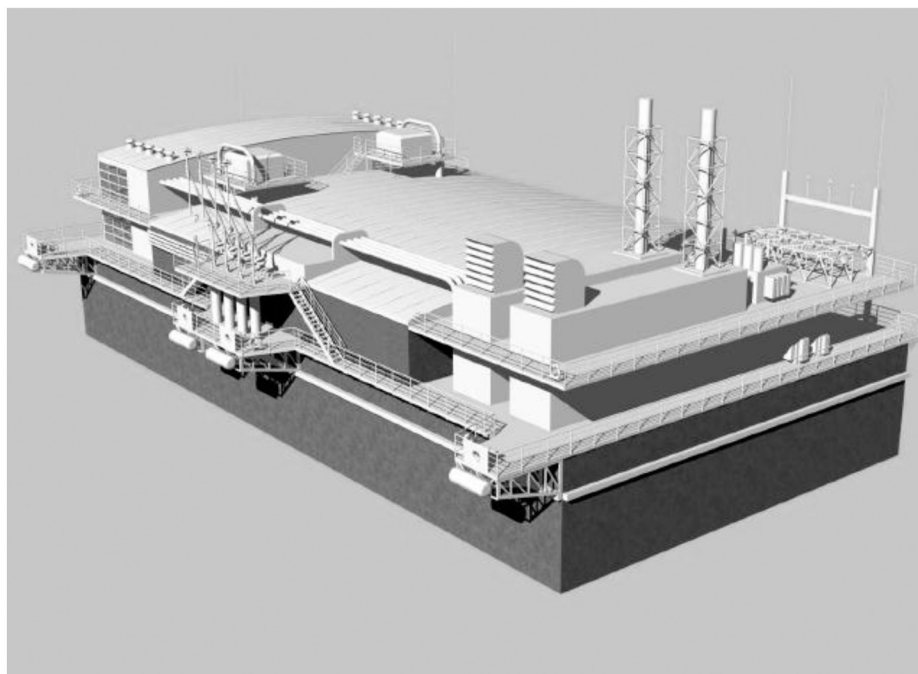
Таблица 1

Перечень выполненных проработок плавучих технических средств различного назначения

№ п/п	Наименование типа проработанного плавсредства	Основная характеристика
1	Плавучая атомная электростанция	Электрическая мощность — 6 МВт. Тепловая мощность — 12 Гкал/ч
2	Проект плавучей газотурбинной электростанции, оборудованной хранилищем сжиженного природного газа	Суммарная мощность ГТЭ — 12 МВт
3	Дизельная электростанция на плавучем основании	Суммарная мощность ДГ — 20-30 МВт
4	Плавучий отель «360»	Число номеров — 360. Пассажировместимость — 720 чел.
5	Плавучая казарма (плавучее общежитие, плавучая гостиница)	В проектом варианте «Казарма» — 400-500 чел.
6	Плавучий госпиталь	Количество пациентов — до 500 чел.
7	Плавучая база жизнеобеспечения	Мощность — до 20 МВт
8	Плавучая база снабжения	Площадь кладовых, в том числе охлаждаемых — 1330 м ²
9	Плавучая ремонтная мастерская	Площадь производственных помещений — 3700 м ²
10	Плавучий ангар колесной техники, с вертолетными площадками	Колесная техника в режиме эксплуатации — 36 ед. Вертолетная техника — 2 ед.
11	Плавучие вертолетные площадки	Типы принимаемых судов: вертолеты МИ-28, Ка-52, МИ-8
12	Бункеровщик топливом и ГСМ	Грузоподъемность — 3400 т
13	Несамостоятельная станция утилизации отходов	Грузоподъемность — 1500 т



а



б

Рис. 6. Плавающие электростанции: а — плавающая атомная электростанция;
б — проект плавающей газотурбинной электростанции,
оборудованной хранилищем сжиженного природного газа

перемещения в другое место. Мобильность плавучих объектов особенно ценна тем, что позволяет сохранить особо ранимую природную сушу Севера.

Крыловским центром совместно с АО «ЦКБ «Монолит» наработан целый ряд актуальных сегодня плавучих объектов, который может служить основой для разработки и реализации конкретных проектов (табл. 1).

Наиболее востребованными в настоящее время являются плавающие электростанции, одни из них могут работать на ядерном топливе, другие, возможно, на сжиженном природном газе (рис. 6).

В качестве примера плавучего объекта для силовых или иных ведомств может послужить разработка

плавучей погранзаставы (рис. 7). По-прежнему актуально для Арктики создание традиционных плавучих причалов, плавучих доков.

Размещение тех или иных плавучих объектов в арктических условиях влечет за собой при их создании необходимость решения разнообразных проектно-исследовательских задач с участием Крыловского центра, обладающего уникальной экспериментальной базой. Арктические условия по совокупности включают в себя, как правило, такие природные факторы как наличие льда в течение длительного зимнего периода, вместе с тем в летнее время большие пространства чистой воды с достаточно серьезным ветроволновым воздействием. В осенне-зимнее время



Технические характеристики

Длина, м	65-70
Ширина, м	15-16
Водоизмещение, т	около 2000
Персонал, чел.	15-20
Энерговооруженность, МВт	1

Рис. 7. Арктическая плавучая пограничная застава

серьезной проблемой является обледенение. К особо неприятным природным факторам относятся также низкие температуры воздуха (до -60°C), метели со снежными заносами, а также длительная полярная ночь и туманы.

Наиболее серьезные проблемы приходится решать применительно к объектам, которые доставляются на места установки в плавучем состоянии и затем устанавливаются на грунт, и при этом там, где присутствует дрейфующий лед. Именно эти условия были характерны для уже построенной нефтедобывающей платформы «Приразломная» (рис. 8.).

Рассмотрим последовательно возникшие необычные проблемные вопросы и их решение, в частности, Крыловским центром.

Одной из первых наиболее важных задач является определение воздействия льда на неподвижно расположенный объект. До этого изучалось, главным образом, воздействие движущегося объекта на лед (ледоколы, суда ледового плавания). В этом случае особенностью воздействия на лед было разрушение ровного ледяного поля наиболее оптимальным путем его изгиба носовой оконечностью корпуса. Более мощные ледовые образования (торосы) могли разбиваться в режиме набега на них корпусом. Кроме того, ледокольные суда при своем движении могли отыскивать наиболее слабые места во льду.

Неподвижно расположенный объект всегда должен рассчитываться на максимально возможные нагрузки ото льда и даже на чрезвычайно редко встречающиеся.



Рис. 8. Нефтедобывающая морская ледостойкая стационарная платформа «Приразломная»

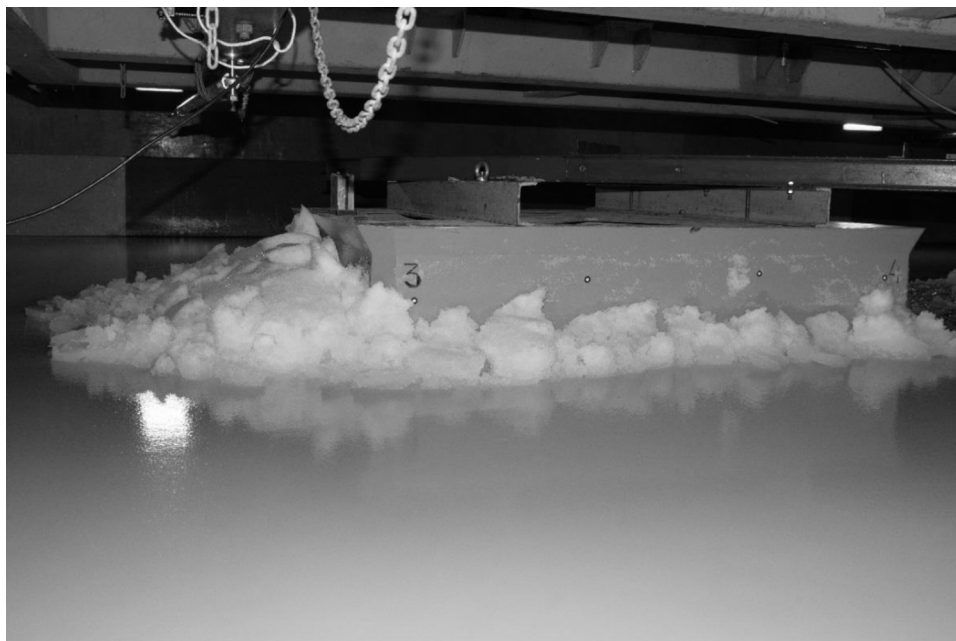


Рис. 9. Образование ледяного нагромождения возле платформы «Приразломная» при проведении модельных испытаний

При этом не всегда можно обеспечить режим разрушения надвигающегося льда наиболее оптимальным образом изгибом. В случае прямостенного корпуса сооружения или отдельных его участков разрушение льда будет происходить его сжатием.

Несмотря на постоянное развитие теоретических методов определения воздействия льда на сооружение, наиболее достоверный результат дают все же модельные испытания во льду.

Для движущихся технических средств было достаточно в ледовом бассейне создать неподвижное ледовое поле, и затем двигать это средство по ледовому полю. Для неподвижно стоящего сооружения в ледовом бассейне необходимо смоделировать надвигание

ледового поля на сооружение. Для гравитационного сооружения, устанавливаемого на грунт, необходимо определить максимальную ледовую нагрузку, при которой сооружение не могло бы сдвинуться от ее воздействия (рис. 9).

Надвигание ледового поля, кроме того, позволяет определить высоту образующегося у стенки сооружения нагромождения льда в процессе дрейфа льда в сторону сооружения. Эта величина важна для определения высоты корпуса сооружения, не позволяющей попасть льду на палубу. Нагромождение льда может происходить и в нижней части в направлении дна, и в этом случае лед может разрушить предусмотренную подводную защиту сооружения от сдвига.

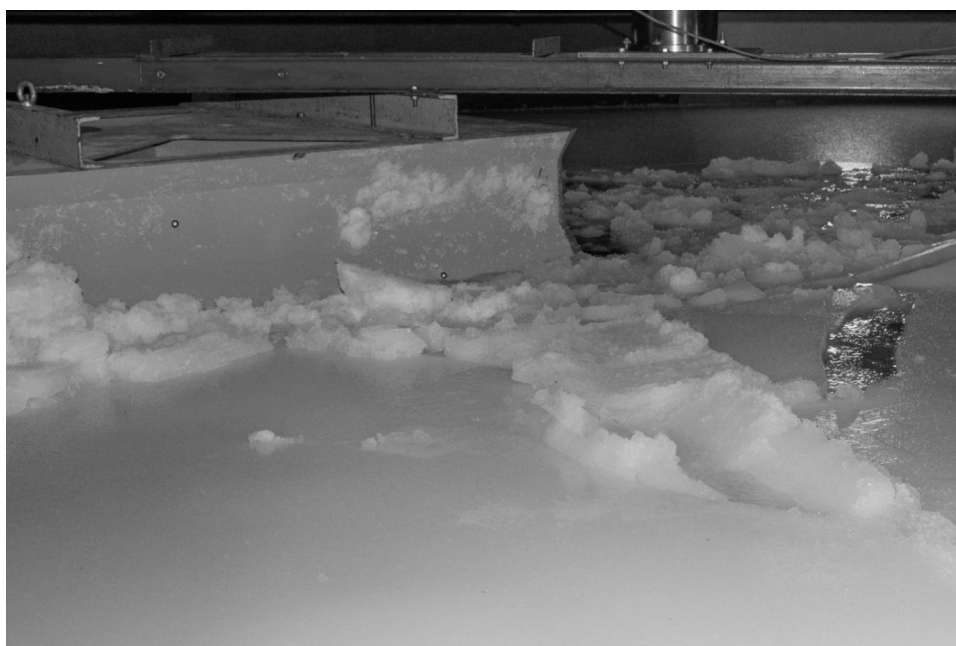


Рис. 10. Взаимодействие опорного основания платформы с торосом и образование канала позади сооружения

Значительные результаты были получены при исследовании взаимодействия сооружений с ледовыми торосами. Если в случае эксплуатации движущихся объектов главной характеристикой торосов была их видимая высота, называемая парусом, то в случае сооружений с глубокой посадкой необходимо было торосы описать «в полный рост», как состоящие из надводной части, далее вниз подводного консолидированного слоя и еще ниже неконсолидированного слоя. Соответственно, и нагрузка от тороса должна определяться с учетом этих трех частей.

В случае надвигания ледового поля на сооружение важным оказалось учесть возникающие вибрационные воздействия. Их природа состоит в постепенном нарастании нагрузки на сооружение и внезапным разрушением ледового поля после достижения им предельной прочности (рис. 10). Учет этого фактора важен с точки зрения динамической устойчивости сооружения на грунте.

Еще один важный результат позволяет получить моделирование надвигания льда на сооружение — это параметры канала чистой воды, образующиеся за сооружением. Этот фактор важен для режимов подходов к сооружению транспортных или вспомогательных судов. С учетом важности перечисленных моментов эксплуатации во льдах различных стационарных сооружений было принято решение о строительстве в Крыловском центре нового ледового бассейна, который стал лидером подобных объектов в мире.

Исключительно важным при создании гравитационных сооружений стало изучение размывов грунта вокруг днища корпуса и под ним для исключения сдвигов или перекоса сооружений. Исследования причин размыва позволяют определить параметры системы защиты корпуса от размыва. Благодаря имеющейся в Крыловском центре экспериментальной базе оказалось возможным исследовать влияние придонных течений на размыв, влияние работы гребных винтов судов, подходящих к сооружению. На основании этих исследований разрабатываются требования к защите от размыва тех или иных сооружений.

Несмотря на то, что в арктических условиях определяющими, конечно, являются ледовые воздействия на сооружения, тем не менее, необходимо знать и учитывать то влияние, которое оказывают на них ветер, волнение, течения. Эти три фактора могут воздействовать одновременно, но до последнего времени в Крыловском центре приходилось исследовать их влияние большей частью по отдельности. В аэродинамической трубе, благодаря обдуву верхнего строения сооружения, можно оптимизировать расположение на верхней палубе отдельных его компонентов, в частности, факела, вертолетной площадки, дымовой трубы. В мореходном бассейне при моделировании волнения определяется положение волноотбойного козырька, предотвращающего забрызгивание верхней палубы. Моделирование течения, особенно в разрезе по глубине было затруднено. Новые возможности одновременного моделирования трех указанных влияний на сооружение открывает уникальный оффшорный

бассейн, строительство которого подходит к концу в Крыловском центре.

Неотъемлемой частью работ, проводимых Крыловским центром, являются натурные испытания создаваемых объектов. Если технические средства создаются для движения по чистой воде, то экспериментальные данные необходимо подтвердить полученной скоростью хода. При эксплуатации во льдах ледоколов и судов модельные испытания должны подтвердиться в натурных условиях полученной величиной ледопроеходимости. Во многих случаях на головных образцах ледоколов и судов нашими специалистами устанавливается система тензометрирования, чтобы оценить правильность принятых прочностных характеристик корпусов. На устанавливаемых неподвижно плавучих объектах также необходимо тензометрирование их корпусов, что очень важно для проектирования новых сооружений.

Создание плавучих и гравитационных сооружений для эксплуатации в Арктике повело за собой развитие новых направлений исследований, теоретических разработок, а также создание новых экспериментальных возможностей, успешно осуществляемых Крыловским центром благодаря высокой квалификации ученых и специалистов.

Список использованных источников

1. В. А. Волков. Плавучие инфраструктурные технические средства — ключ к успешному и высокоэффективному развитию горной промышленности в российской Арктике//Второй национальный горнопромышленный форум. 2015. С. 197-205.
2. В. С. Никитин, В. Н. Половинкин, Ю. А. Симонов, В. А. Волков, А. П. Илюшкин, В. В. Рыжков. Возможности судостроения в создании инфраструктуры в Арктическом регионе//Арктика: экология и экономика. 2017. № 1 (25). С. 102-118.
3. Ю. А. Симонов, О. И. Супруненко. Российские разработки для освоения углеводородных ресурсов арктического шельфа//Бурение и нефть. 2017. № 6. С. 18-21.
4. А. П. Шадрин, Н. П. Шадрин, А. П. Шадрина, В. С. Игнатьев, В. А. Иванов. Развитие плавучих атомных энергоисточников — одно из направлений повышения эффективности Северного морского пути//Арктика: экология и экономика. 2014. № 2 (14). С. 50-57.

Innovative approach to the further development of infrastructure facilities in the Arctic and the Arctic zone

V. N. Polovinkin, doctor of technical sciences, professor, supervisor of the enterprise.

Yu. A. Simonov, PhD, ch. marine engineering specialist.

(Krylov state research centre, St. Petersburg)

In the article authors consider the prospects for the intensification of the development of the Arctic and the Arctic zone due to the use of various objects built on floating structures and delivered to the Arctic as the end product.

Authors analyzed in general the problems of these boats associated with the Arctic conditions and also their solutions which use the unique experimental facilities of the Krylov state research centre and the best practices of scientific research.

Keywords: floating objects, experimental facilities, intensification of the Arctic development, ice conditions.