

9. **Ксенофонтова Т.К., Цуй Юй.** Выбор оптимального угла охвата подземной железобетонной трубы при ее опоре на фундамент // Природообустройство. – 2013. – № 1 – С. 47-50.

10. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. Введен 20 мая 2011 г. – М.: 2011. – 162 с.

11. **Ксенофонтов К.А., Ксенофонтова Т.К.** Определение коэффициентов реактивного сопротивления грунта для подземных труб по опытным данным // Расчет конструкций мелиоративных сооружений. – М.: 1990. – С. 77-84.

12. **Городецкий А.С., Барабаш М.С., Сидоров В.Н.** Компьютерное моделирование в задачах строительной механики: учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 338 с.

10. SP 22.13330.2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83*. Vveden 20.05.2011. – M.: 2011. – 162 s.

11. **Ksenofontova K.A., Ksenofontova T.K.** Opredelenie koeffitsientov reaktivnogo soprotivleniya grunta dlya podzemnyh trub po opytным dannym // Sb.: Raschet konstruksij meliorativnyh sooruzhenij. – M.: 1990. – S. 77-84.

12. **Gorodetskij A.S., Barabash M.S., Sidorov V.N.** Komp'yuternoe modelirovanie v zadachah stroitelnoj mehaniki: uchebnoe posobie. – M.: Izd-vo ASV, 2016. – 338 s.

Критерии авторства

Ксенофонтова Т.К. выполнила теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись, имеет на статью авторское право и несёт ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию: 04.02.2021 г.

Одобрена после рецензирования

Принята к публикации

Criteria of authorship

Ksenofontova T.K. carried out theoretical studies, on the basis of which she generalized and wrote the article. Ksenofontova T.K. has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office: 04.02.2021

Approved after reviewing

Accepted for publication

Оригинальная статья

УДК 502/504:627.83:532.533.5

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-37-53

УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА РОССИЙСКОМ АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ

СОЛОМАТИН СЕРГЕЙ ВИКТОРОВИЧ [✉], инженер, аспирант
solomatin.s.v@gmail.com

КОЗЛОВ ДМИТРИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ, д-р техн. наук, профессор
kozlovdv@mail.ru

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия

Реализация экономических проектов в Арктической зоне требует рационального и эколого-сбалансированного подхода в рамках модели устойчивого природопользования. С целью минимизации негативных последствий для окружающей среды принято рассматривать варианты и сравнивать альтернативные конструктивные решения, определяющие впоследствии показатели воздействия и пути управления экологическими аспектами хозяйственной деятельности. На основании результатов натурных исследований, проведенных в заливе Шаранов Шар в Карском море, выявлены характерные особенности ледовой обстановки, учет которых не предусмотрен действующими нормативными документами, но необходим для разработки проектной

документации на гидротехнические сооружения (ГТС) при соблюдении принципов устойчивого развития. Ледовые нагрузки на ГТС должны определяться на основе исходных данных о характере ледовой обстановки в районе строительства сооружения для периода времени с наибольшими ледовыми воздействиями. Предложена методика определения ледовых нагрузок, учитывающая особенности устойчивого ледового припая. Выполнен сравнительный анализ вариантов гидротехнических сооружений для строительства в заливе Шаратов Шар, являющимся редким примером акватории, где морской лед образует устойчивый ледовый припай на протяжении всего периода максимальной прочности льда, что дало возможность оптимизировать проектные решения конструкций ГТС. Проведен анализ достаточности требований действующей нормативной базы для выполнения инженерных изысканий и расчета ледовой нагрузки, с последующим сравнительным анализом результатов инженерно-технических расчетов. Обоснована возможность строительства гравитационного ГТС в условиях залива Шаратов Шар, что существенно снизит его воздействие на окружающую среду в сравнении с альтернативными вариантами, подходящими для условий рассматриваемого залива. С помощью программного комплекса PLAXIS2D выполнено численное моделирование напряженно-деформированного состояния системы «лед-сооружение-основание» на максимальную нагрузку для каждой из фаз ледового периода с учетом нелинейных свойств грунтов основания. Стратегия развития проекта гравитационного ГТС на мелководье арктического морского шельфа определена с помощью элементов SWOT-анализа. Гравитационная конструкция ГТС имеет очевидные экологические преимущества, выражающиеся в минимальных по отношению к другим вариантам конструкций показателях воздействия.

Ключевые слова: ледовая нагрузка, залив Шаратов Шар, вязкопластические свойства льда, устойчивый ледовый припай, экологические преимущества

Формат цитирования: Соломатин С.В., Козлов Д.В. Учет особенностей ледовых условий для повышения экологической эффективности проектов гидротехнического строительства на российском арктическом шельфе // Природообустройство. – 2021. – № 1. – С. 37-53. DOI: 10.26897/1997-6011/2021-1-37-53.

© Соломатин С.В., Козлов Д.В., 2021

Original article

REFLECTION OF THE PECULIARITIES OF ICE CONDITIONS TO IMPROVE THE ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF OFFSHORE CONSTRUCTION PROJECTS ON THE RUSSIAN ARCTIC SHELF

SOLOMATIN SERGEYVICTOROVICH[✉], engineer, post graduate student
solomatins.v@gmail.com

KOZLOV DMITRY VYACHESLAVOVICH, doctor of technical sciences, professor
kozlovdv@mail.ru

National research Moscow state university of civil engineering; 129337, Moscow, Yaroslavskoeshosse, 26, Russia

The implementation of economic projects in the Arctic zone requires a rational and environmentally-balanced approach within the framework of the sustainable nature management model. In order to minimize the negative consequences for the environment, it is customary to consider options and compare alternative design solutions that determine the impact indicators and ways to manage the environmental aspects of economic activity. Based on the results of field studies conducted in the Sharapov Shar Gulfin the Kara Sea, the characteristic features of the ice situation were identified, which are not covered in the current regulatory documents, but are necessary for the development of design documentation for hydraulic structures in compliance with the principles of sustainable development. Ice loads on a hydraulic structure should be determined on the basis of the ice situation in the structure construction area

for the time period with the greatest ice impacts. The method for determining ice loads taking into account the features of stable fast ice is presented. The comparative analysis of hydraulic structures for construction in Sharapov Shar Gulf has been performed, the Gulf is a rare example of an area where sea ice forms stable ice fast ice throughout the entire period of maximum ice strength, which makes it possible to optimize design solutions. An analysis of the adequacy of the current RF regulatory requirements for performing engineering surveys and calculating the ice load was carried out, followed by the comparative analysis of the calculation results. The possibility of designing a gravity offshore hydraulic structure in the conditions of the Sharapov Shar Gulf has been substantiated, which significantly reduces the impact on the environment in comparison with alternative options suitable for the conditions of the Gulf. The PLAXIS2D software package is used to perform numerical simulation of the stress-strain state of the "ice-structure-base" system for the maximum load for each of the phases of the ice period, taking into account the nonlinear properties of the base soils. The development strategy of the project of a gravity hydraulic structure in the shallow waters of the Arctic sea shelf is determined using the elements of SWOT analysis. The gravity design of a hydraulic structure has obvious environmental advantages, which are expressed in minimal impact indicators in relation to other design options.

Keywords: ice load, Sharapov Shar Gulf, creeping properties of ice, stable shore fast ice, environmental benefits

Format of citation: Solomatin S.V., Kozlov D.V. Taking into account the peculiarities of ice conditions to improve the environmental efficiency of hydro technical construction projects on the Russian Arctic shelf // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 1. – С. 37-53. DOI: 10.26897/1997-6011/2021-1-37-53.

Введение. «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» [1], утвержденная указом президента в октябре 2020 года, констатирует, что «Арктическая зона обеспечивает добычу более 80 процентов горючего природного газа и 17 процентов нефти (включая газовый конденсат) в Российской Федерации», а «континентальный шельф РФ в Арктике, по оценкам экспертов, содержит более 85,1 трлн куб. метров горючего природного газа, 17,3 млрд тонн нефти (включая газовый конденсат) и является стратегическим резервом развития минерально-сырьевой базы страны». Одновременно в Стратегии дается прогноз, согласно которому «вероятность наступления в результате антропогенного воздействия и климатических изменений в Арктической зоне событий, имеющих неблагоприятные экологические последствия, создаст глобальные риски для хозяйственной системы, окружающей среды и безопасности РФ и мира в целом» [1].

Поэтому реализация любых экономических проектов в Арктической зоне требует рационального, эколого-сбалансированного подхода в рамках модели устойчивого природопользования. А при обосновании технической возможности освоения новых нефтегазовых месторождений в труднодоступных районах шельфа особое место должно

отводиться экологическим аспектам принимаемых инженерно-технических решений. Все равно какая, а тем более масштабная, деятельность по освоению необжитых территорий и акваторий Арктического региона создает дополнительные экологические нагрузки на окружающую среду, наиболее значимыми из которых являются нагрузки на атмосферный воздух, водную среду, морское дно и биоту. Преследуя цели минимизации негативных последствий для окружающей природной среды, принято рассматривать варианты и сравнивать альтернативные конструктивные решения, определяющие в последствие показатели воздействия и пути управления экологическими аспектами хозяйственной деятельности.

Материалы и методы. Для устойчивого развития характерно оптимальное сочетание экономического, социального и экологического эффекта, что достигается выбором эффективных проектных решений, всесторонней оценкой потребности проекта в материальных и энергетических ресурсах, выбора стратегии организации строительства и места размещения объекта. Только таким образом возможно учесть основные экологические аспекты деятельности и управлять экологическими нагрузками. Все разрабатываемые проектные и технологические решения должны содержать экологическую компоненту и соизмеряться с эффектом воздействия

на экологические системы или их отдельные, наиболее чувствительные составляющие.

Промышленное освоение Арктики предполагает, в первую очередь, интенсивную эксплуатацию углеводородных ресурсов на крупнейших месторождениях нефти и газа на российском шельфе.

Круzenshternское газоконденсатное месторождение на полуострове Ямал относится к числу наиболее крупных и перспективных месторождений углеводородов на севере Западной Сибири [2], и при его освоении на основе подходов устойчивого развития ставится задача поиска оптимального сочетания показателей социально-экономического и экологического воздействия от реализации планируемой хозяйственной деятельности.

Участок, для которого в данной статье описывается поиск и обоснование наиболее эффективного инженерно-технического решения объектов инженерного обустройства, расположен в западной, прибрежной части полуострова Ямал, на стыке Арктической тундры и мелководной части шельфа Карского моря в заливе Шарапов Шар (рис. 1).

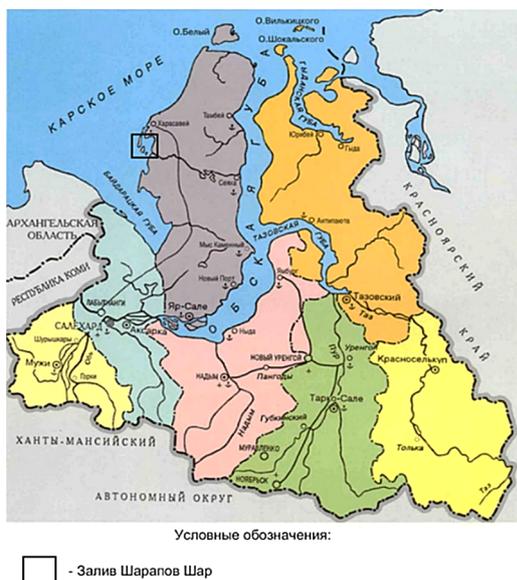


Рис. 1. Расположение залива Шарапов Шар [2]

Fig. 1. Location of the Sharapov Shar Gulf [2]

Территория полуострова Ямал и прибрежно-мелководной зоны шельфа Карского моря характеризуются суровыми природно-климатическими условиями, сложной геокриологической обстановкой и требуют применения адекватных этим условиям научно-технических решений для проектирования,

строительства и эксплуатации морских объектов инфраструктуры обустройства месторождений углеводородного сырья.

В августе 2013 года, под угрозой применения санкций со стороны пограничной охраны, пределы моря покинул принадлежащий Гринпису ледокол ArcticSunrise, намеревавшийся выразить «мирный ненасильственный протест» против освоения Арктики российской компанией «Роснефть» и американской ExxonMobil [3]. В сентябре 2014 года под угрозой применения санкций со стороны США совместное бурение «Роснефти» и «ExxonMobil» было прекращено [4].

Также показателем необходимости повышенного внимания к экологическим аспектам при принятии решений об освоении морских нефтегазовых месторождений служит объявление в России 2017 года – «Годом экологии», среди целей которого, безусловно, особое значение имело привлечение внимания к проблемным вопросам, связанным с экологическими последствиями разведки и освоения месторождений нефти и газа на шельфе арктических морей.

Приведенная выше информация свидетельствует о сложном и весьма неблагоприятном сочетании природно-климатических, экологических и социально-экономических условий рассматриваемого района, что в 2020 году было усугублено экологической катастрофой с разливом нефтепродуктов в Норильске и выносом загрязняющих веществ в Карское море.

Таким образом, повестка мировых энергетических компаний все более активно разворачивается в сторону реализации принципов устойчивого развития, что, в свою очередь, подразумевает поиск экологически обоснованных инженерно-технических и конструктивных решений, направленных на минимизацию негативного воздействия на природную среду. При реализации инвестиционных инфраструктурных проектов, и, в частности, при строительстве гидротехнических сооружений (ГТС), снижение экологической нагрузки играет главенствующую роль при выборе концепции сооружения, определении графика реализации проекта и прочих связанных с ущербом для окружающей среды процессах. Проектирование и строительство ГТС в Арктических морях является процессом, особенно чувствительным к оптимизации показателей воздействия на окружающую среду, т.к. данная деятельность, как и эксплуатация ГТС, воздействует на широкий спектр характеристик природных экосистем, включая особо

охраняемые виды флоры и фауны и среду их обитания. Воздействие указанной деятельности имеет как кратковременные, так и длительные последствия и должно быть оценено и максимально учтено на стадии предпроектных и проектных работ.

Обустройство Крузенштернского месторождения в Карском море предполагает, в том числе, строительство ГТС на акватории залива Шарапов Шар. Исходя из анализа исторического опыта последних десятилетий, в таблице 1 приведены обобщенные сведения об основных типах гидротехнических сооружений, строительство которых является возможным на морском мелководье.

Учитывая малые глубины залива Шарапов Шар, кессон с грунтовым ядром не является эффективным решением ГТС ввиду сложности такой конструкции и высокой ресурсоемкости. Дальнейшее рассмотрение целесообразно вести по двум другим возможным вариантам: искусственный остров и ГТС заводской готовности, с выбором оптимального с точки зрения экологических требований и экономической эффективности решения.

Искусственный остров является тем типом сооружения, который рассматривается ПАО «Газпром» в качестве выбранного строительного решения [10]. Искусственные острова возводились в 1980-90-е годы преимущественно на шельфе моря Бофорта (Tarsuit, Karluk, Mars и др.). В условиях малых глубин применялись намывные острова, возводимые как с защитой откосов, так и без нее. Для намывных искусственных островов характерна низкая стоимость строительства, выполняемого преимущественно из местных материалов. Намывные острова из-за конструктивно малых углов откосов имеют значительные площади и, как следствие, требуют для возведения больших объемов грунта. В качестве примера ре-

ализованного проекта в условиях аналогичных изучаемым, можно рассмотреть искусственный остров Immerk (рис. 2), построенный в канадском секторе моря Бофорта в 1973 году. Остров был возведен на глубинах до 3 метров и имел радиус по площади основания 130 м (рис. 2).

Тип морского ГТС, помимо глубин и его функционального назначения, определяется уровнем внешних воздействий, и в первую очередь – ледовых. Согласно СП 38.13330.2018 [11] ледовые нагрузки на гидротехнические сооружения должны определяться на основе исходных данных о характере ледовой обстановки в районе сооружения для периода времени с наибольшими ледовыми воздействиями.

В соответствии с СП 38.13330.2018 следует различать следующие виды воздействия льда на ГТС: нагрузки на сооружения от полей ровного льда, включая сценарии подхода дрейфующего поля льда к сооружению (или ледохода) и подвижки поля ровного льда при вмерзании в него сооружения; локальное давление ледовых образований; нагрузки на сооружения от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении; нагрузки от льда, примерзшего к сооружению, при изменении уровня воды; нагрузки на сооружения от заторных и зажорных масс льда; нагрузки от движущегося тороса; нагрузки от движущегося айсберга.

В состав исходных данных о ледовой обстановке для расчета ледовых нагрузок согласно СП 38.13330.2018 входят: толщина льда; прочностные характеристики льда; характеристики геометрических размеров и форм рельефа ледяного покрова; перепады температур, необходимые при расчете нагрузки от температурного расширения; максимальная и минимальная скорости подхода льда к сооружению; температура воздуха, необходимая для расчета прочности льда; скорость ветра и прочее.

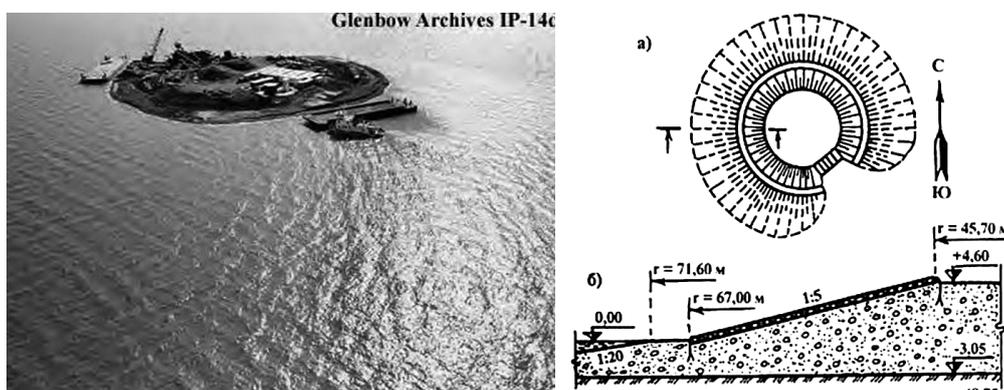


Рис. 2. Остров Immerk

Fig. 2. Island Immerk

Таблица 1

Table 1

Сравнительный анализ характеристик ГТС на малых глубинах [5-9]

Comparative analysis of HTS (hydro technical structures) on shallow depths [5-9]

Область сравнения <i>Comparison area</i>	Наименование сооружения / <i>Name of the structure</i>								Исследуемый тип ГТС <i>Researched type of HTS</i>
	"TARSUIT"	"SSDC"	"MOLIKPAQ"	"CIDS"	"CANMAR"	"ACG"			
Тип конструкции <i>Type of structure</i>	Оконтуренный остров <i>Contoured island</i>	Баржанамате <i>Barge on mat</i>	Кессон с грунтовыми ядрами <i>Caisson with ground core</i>	Кессон <i>Caisson</i>	Баржанамате <i>Barge on mat</i>	Кессон <i>Caisson</i>	Кессон <i>Caisson</i>	Баржа на естественном основании <i>Barge on the natural base</i>	
Страна-разработчик <i>Country-developer</i>	Канада <i>Canada</i>	Канада <i>Canada</i>	Япония <i>Japan</i>	Япония <i>Japan</i>	Канада <i>Canada</i>	Япония <i>Japan</i>	Финляндия <i>Finland</i>	Россия <i>Russia</i>	
Место возведения <i>Place of construction</i>	Море Бофорга, Канада <i>The Beaufort sea, Canada</i>	Море Бофорга, Канада <i>The Beaufort sea, Canada</i>	Море Бофорга, Канада <i>The Beaufort sea, Canada</i>	Море Бофорга, Канада <i>The Beaufort sea, Canada</i>	Море Бофорга, Канада <i>The Beaufort sea, Canada</i>	Море Бофорга, Канада <i>The Beaufort sea, Canada</i>	Море Бофорга, Канада <i>The Beaufort sea, Canada</i>	Карское море, залив Шаратов Шар <i>The Kara sea, the Sharapov Shar Gulf</i>	
Глубина моря, м <i>Seadepth, m</i>	23	18÷32	15÷40	12÷16	9÷23	12÷16	до 16 <i>Up to 16</i>	до 3 <i>Up to 3</i>	
Металл, т <i>Metal, t</i>	8300	29000	33000	7000	30000	30000	20000	4220	
Бетон, м ³ <i>Concrete, m³</i>	-	4800	-	14000	-	-	-	2000	
Основные ограничения (рассматриваются как недостатки)	Необходимость отсыпки грунтовыми бермы <i>The need to dump the soil berm</i>	Необходимость строительства защитного ледового пояса для выполнения работ в суровых ледовых условиях <i>The need to build a protective ice belt to perform work under severe ice conditions</i>	Необходимость устройства песчаной засыпки ядра платформы <i>The need for arrangement of the platform core sand filling</i>	Установка с минимальной глубины моря 12 м, невозможность возведения платформ на слабых грунтах <i>Installation from the minimal sea depth 12 m, the impossibility of erection of the platform on soft soils</i>	Необходимость создания специального матового матового мата <i>The need for special mat</i>	Невозможность установки на слабых грунтах <i>The necessity of construction on soft soils</i>	Невозможность установки на слабых грунтах <i>The necessity of construction on soft soils</i>	Низкая сопротивляемость ледовой нагрузке <i>Low resistance to ice load</i>	

При этом, натурные исследования, проведенные в заливе Шарапов Шар, выявили особенности ледовой обстановки, учет которых не предусмотрен СП 38.13330.2018, nonetheless необходим для разработки проектной документации ГТС при соблюдении принципов устойчивого развития, а именно:

1. Анализ спутниковых данных о ледовой обстановке и маршрутная съемка в заливе Шарапов Шар показали, что ледовые условия акватории характеризуются наличием устойчивого припая. С целью оценки особенностей работы льда при взаимодействии с ГТС в условиях устойчивого припая была разработана специальная программа ледовых изысканий, основанная на точных измерениях характеристик динамики льда, а также параметров, необходимых для анализа работы льда в зоне распространения вязких деформаций вокруг рассматриваемого ГТС.

2. Припай не подвержен торошению в течение всего периода максимальной прочности льда. Обнаруженные торосы и стамухи состояли из льдин максимальной толщиной около 150 мм, что говорит об образовании торосов на ранних стадиях становления припая.

3. Максимальная зафиксированная в период проведения полевых работ (в феврале-мае 2011 года) скорость подвижки припайного льда в районе проектируемого ГТС составила 2,5 мм/ч, что дало основание для детальной проработки возможности учета вязкопластических деформаций при проектировании ГТС [12].

4. Подвижки ледового припая в заливе формировались всем комплексом факторов: течением, ветром и температурными деформациями, без какой-либо из доминирующих причин. Все перечисленные факторы оказывали сопоставимое воздействие на припай.

5. Ключевой особенностью ледовых условий залива Шарапов Шар, определяющей возможность учета вязкопластической работы льда при проектировании ГТС, стала «закрытость акватории» залива грядой островов «Шараповы Кошки». Гряда островов является сдерживающим фактором для возникновения отрыва припая в период становления и таяния льда, обеспечивающим устойчивость припая до момента начала его термического разрушения на отдельные льдины, предотвращая тем самым пиковые значения ледовой нагрузки.

Уникальность изученных условий залива Шарапов Шар, с точки зрения проектирования ГТС, заключается в том, что очень

редко условия взаимодействия льда и ГТС настолько ограничены и четко определены, что можно с уверенностью предположить, что взаимодействие произойдет только вязкопластической фазе. В большинстве случаев будет достаточно доступной движущей силы для необходимого рассмотрения хрупкого механизма разрушения, и нельзя ограничиваться только рассмотрением вязкопластического взаимодействия. В зоне припайного льда залива Шарапов Шар можно установить надежные пределы ожидаемых скоростей подвижек льда высокой прочности в течение всего расчетного срока службы конструкции ГТС.

Результаты и обсуждение. Для расчета ледовой нагрузки на ГТС необходимо определить распределение характеристик, влияющих на нагрузку в течение всего ледового периода, а также выделить возможные сценарии ледового воздействия на сооружение. За расчетную нагрузку принимается максимальная из определенных. В таблице 2 приведены характеристики ледовой обстановки для условий залива Шарапов Шар, распределенные по выделенным в ходе исследований фазам ледового режима.

В ходе исследований взаимодействия ГТС и ледового поля были выделены три основные фазы ледового режима:

- фаза 1 «Образование льда и формирование припая»;
- фаза 2 «Устойчивый припай»;
- фаза 3 «Взлом припая».

Для выделенных фаз рассмотрим следующие характерные сценарии ледового воздействия:

- в фазу 1: воздействие при дрейфе молодого льда, а также при подвижках тонкого припайного льда;
- в фазу 2: воздействие при обтекании ГТС толстым льдом, формирующим устойчивый припай;
- в фазу 3: воздействие на ГТС при подвижках льда малой прочности, наступающих после взлома припая.

При этом исключим из рассмотрения воздействие торосов и воздействие льда в динамической постановке.

Таким образом, в условиях залива Шарапов Шар необходимо рассматривать следующие ледовые нагрузки на ГТС от:

- подвижек тонкого льда (ниласа и молодого льда) до образования устойчивого припая;
- устойчивого припая (нагрузку, создаваемую в результате деформаций льда,

вызванных течением, ветром и изменением температуры);

- дрейфа льда после перехода среднесуточной температуры воздуха к положительным значениям, при которой происходит снижение толщины и прочности льда, с последующим разрушением припая (нагрузка при дрейфе льда после разрушения припая).

Возможность практической реализации расчета ледовой нагрузки с учетом описанных выше особенностей устойчивого припая требует закрепления в нормативных документах новых методических подходов. На основании рассматриваемых этапов развития ледовой обстановки в таблице 3 выполнен анализ достаточности нормативных требований, полученный на основании изучения ледовых условий залива Шараров Шар и расчета ледовой нагрузки.

Расчеты ледовой нагрузки для исследуемого типа гравитационного ГТС в условиях устойчивого припая были проведены по предлагаемой методике, а для сравнительного анализа – по СП 38.133330.2018 и ISO 19906 [14]. Сооружение рассматривается на базе морской баржи, имеющей следующие геометрические параметры: длина – 76.200 м, ширина – 24.384 м, высота – 6.100 м, водоизмещение – 2678 т. Параметры усиления баржи приняты по аналогии с ГТС SSDC фирмы CANMAR (Канада): укрепление корпуса

стальными конструкциями для восприятия ледовых нагрузок – 1000 т, увеличение высоты надводного борта – 600 т, бетонирование ребер для противодействия ледовым нагрузкам – 2000 т. Результаты расчета максимальной нагрузки для каждой из фаз ледового периода приведены в таблице 4.

На рисунке 3 представлена схема развития ледовой нагрузки в условиях устойчивого припая для исследуемого типа ГТС с учетом представленных в статье методических подходов.

Блок-схема предлагаемой методики для расчета ледовой нагрузки в условиях устойчивого припая приведена на рисунке 4.

С целью проверки устойчивости сооружения на сдвиг было выполнено численное моделирование напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «лед-сооружение-основание» на максимальную нагрузку для каждой из фаз с учетом нелинейных свойств грунтов основания. Расчеты НДС выполнялись методом конечных элементов (МКЭ) с помощью программного комплекса PLAXIS2D, апробированного при расчетном обосновании большого числа гидротехнических сооружений. Работа грунта описывалась идеальной упругопластической моделью Мора-Кулона. Для моделирования напряженного состояния грунта использовались тетраэдровидные конечные элементы.

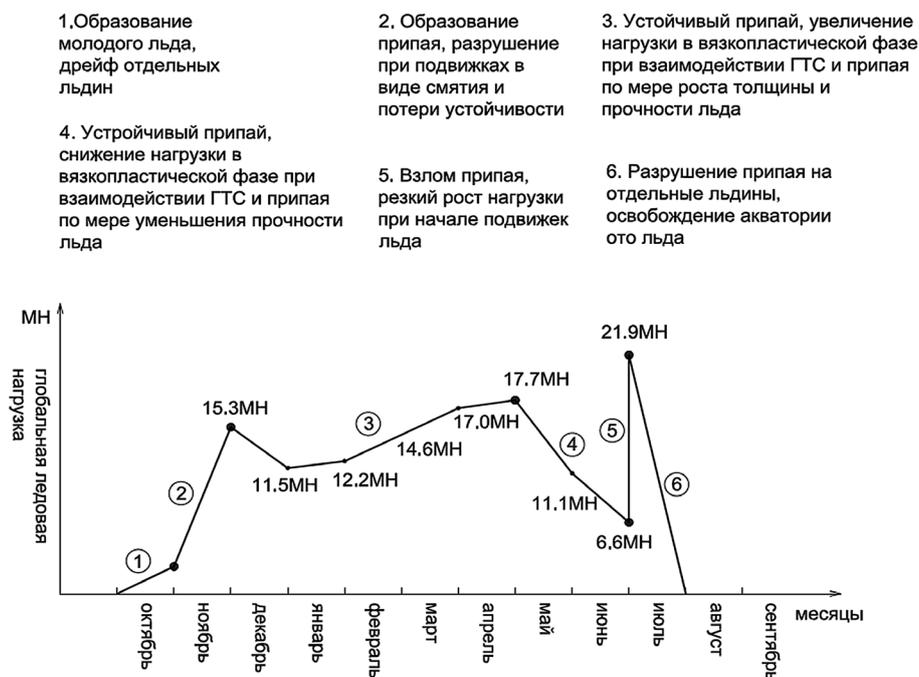


Рис. 3. Схема развития ледовой нагрузки (МН) для условий припая по характерным этапам развития ледовой обстановки в акватории

Fig. 3. Scheme of development of ice load (MN) for the conditions of fast shore ice according to the characteristic stages of development of ice situation in the water area

Таблица 2

**Характеристики ледовой обстановки (параметры ледового режима)
для расчета ледовой нагрузки на ГТС в заливе Шарапов Шар**

Table 2

**Characteristics of the ice situation (parameters of ice regime) for calculation
of ice load on HTS in the Sharapov Shar Gulf**

	Сентябрь <i>September</i>	Октябрь <i>October</i>	Ноябрь <i>November</i>	Декабрь <i>December</i>	Январь <i>January</i>	Февраль <i>February</i>	Март <i>March</i>	Апрель <i>April</i>	Май <i>May</i>	Июнь <i>June</i>	Июль <i>July</i>	Август <i>August</i>	
Фаза ледового режима <i>Phase of ice regime</i>	–	Фаза 1 <i>Phase 1</i>		Фаза 2 <i>Phase 2</i>						Фаза 3 <i>Phase 3</i>			
Состояние льда (на основе анализа спутниковых данных) <i>Ice condition (based on satellite data analysis)</i>	–	Образование льда <i>Formation of ice</i>	Образование припая <i>Formation of fast shore ice</i>	Устойчивый припай <i>Stable fast shore ice</i>						Дрейф льдин разрушенного припая <i>Drifting floes of destroyed fast shoe ice</i>			
Темп. воздуха для расчета прочности льда (ГМС Марресале), °С <i>Air temperature for calculation of ice strength (HMS MarreSale), °C</i>	–			–	–22	–32	–28	–28	–28	–25	–14	–8	+5
Среднегодовое сплоченность льда, % <i>Average long-term compacting of ice, %</i>	–	10	60	90	100	100	100	100	100	100	100	50	–
Толщина льда для условий суровых зим, см <i>Thickness of ice for the conditions of severe winters</i>	–	10	20	80	100	120	140	160	170	180	100	–	
Средняя температура льда, 2011 г. (измерения Соломатина С.В.) <i>Average temperature of ice 2011 (Solomatina S.V. measurements)</i>	–	н/д <i>n/a</i>	н/д <i>n/a</i>	н/д <i>n/a</i>	н/д <i>n/a</i>	н/д <i>n/a</i>	–4.1	–3.3	–2.5	н/д <i>n/a</i>	н/д <i>n/a</i>	–	
Средняя соленость льда, 2011 г. (измерения Соломатина С.В.), ‰ <i>Average ice salinity 2011, (Solomatina S.V. measurements), ‰</i>	–	н/д <i>n/a</i>	н/д <i>n/a</i>	н/д <i>n/a</i>	н/д <i>n/a</i>	н/д <i>n/a</i>	н/д <i>n/a</i>	4.3	4.2	н/д <i>n/a</i>	н/д <i>n/a</i>	–	
Прочность льда (нормативная), МПа <i>Icestrength (standard)</i>	–	–	2.50 МПа	2.87 МПа	2.73 МПа	2.73 МПа	2.73 МПа	2.62 МПа	1.92 МПа	1.20 МПа	0.7 МПа	–	

Таблица 3

Достаточность нормативных требований для инженерных изысканий и определения ледовой нагрузки в условиях устойчивого припая по характерным этапам развития ледовой обстановки в акватории

Table 3

The adequacy of regulatory requirements for engineering research and the determination of ice load in conditions of stable fast shore ice on the characteristic stages of the development of the ice situation in the water area

Этапы	Нормативные требования к инженерным изысканиям	Нормативные требования для расчета ледовой нагрузки
Этап 1	Нормативные требования к инженерным изысканиям и для определения ледовой нагрузки от отдельных льдин имеются в полном объеме	
Этап 2	Требования к инженерным изысканиям должны быть дополнены рекомендациями по проведению постоянного высокоточного мониторинга подвижек льда дистанционными буями, начиная с момента начала образования ледового припая. Обязательным фактором являются параметры льда, при которых припай переходит в устойчивое состояние (этап развития 3)	Требования к определению ледовой нагрузки от тонкого льда с учетом потери устойчивости в нормативной базе отсутствуют
Этапы 3 и 4	Требования к инженерным изысканиям должны быть дополнены рекомендациями по проведению постоянного мониторинга подвижек льда при помощи геодезического оборудования высокой точности (DGPS или аналогичного). Для получения достаточной для инженерных целей точности определения динамики устойчивого ледового припая рекомендуется постоянное наблюдение в нескольких точках, позволяющее сделать выводы о причинах, вызывающих деформацию припая	Для определения ледовой нагрузки рекомендуется расширить в СП 38.13330.2018 границы нормативных значений коэффициента k_v . Коэффициент рекомендуется принимать на основании результатов опытов по сжатию образцов льда в вязкопластической фазе при соответствии скоростей деформации и температур образцов льда условиям исследуемой акватории. В частности, для условий залива Шарапов Шар в апреле (максимальная нагрузка от устойчивого припая) рекомендуется принять коэффициент $k_v = 0.055$. К сведению, СП 38.13330.2018 допускает принимать коэффициент k_v в пределах 0.1-1.0
Этап 5	Инженерные изыскания на этом этапе должны дополнительно устанавливать соответствие гидрометеорологических и ледовых параметров моменту взлома припая	Для расчета ледовой нагрузки после взлома припая, в нормативных требованиях рекомендуется введение коэффициента, учитывающего степень температурного разрушения льда и соответствующих структурных изменений (переход большей части солей в жидкую фазу, состояние таяния). Для условий залива Шарапов Шар рекомендуется принять значение рассматриваемого коэффициента равным 0.1 [13]. Условия опыта, на основании которого в предлагаемой методике рекомендуется принять коэффициент равным 0.1 для прочности льда в июле, соответствуют условиям залива Шарапов Шар в части толщины льда, и, как следствие, обоснованным является переход от снижения усилий при сжатии льда трехосным скважинным домкратом к снижению R_c (прочности льда на одноосное сжатие)
Этап 6	Нормативные требования к инженерным изысканиям и для определения ледовой нагрузки от отдельных льдин имеются в нормативных документах в полном объеме	

При проведении расчетов моделировались следующие основные этапы:

- загрузка расчетного массива собственным весом ГТС и определение его начального (исходного) напряженно-деформированного состояния;
- моделирование погружения ГТС;
- приложение ледовых нагрузок.

Результаты расчетов показали, что:

- При расчете по методикам СП 38.13330.2018 и ISO 19906 под дном баржи возникает значительная зона развития необратимых пластических деформаций, происходит разрушение грунта и расчет останавливается. Условие первого предельного состояния не выполняется;

• Максимальные значения общих перемещений при приложении ледовой нагрузки 21.83 МН (фаза III, предлагаемая методика) составили 0,062 м, что удовлетворяет критериям обеспечения функциональных возможностей рассматриваемого ГТС. Несущая способность грунтов основания проверена программным комплексом автоматически в соответствии с критериями

прочности, заложенными в грунтовой модели (в случае, если нагрузка на основание превышает несущую способность основания, программа автоматически показывает неограниченные пластические деформации, которые приводят к возникновению ошибок, остановке расчета и невозможности выдачи результатов). Условие первого предельного состояния выполняется.

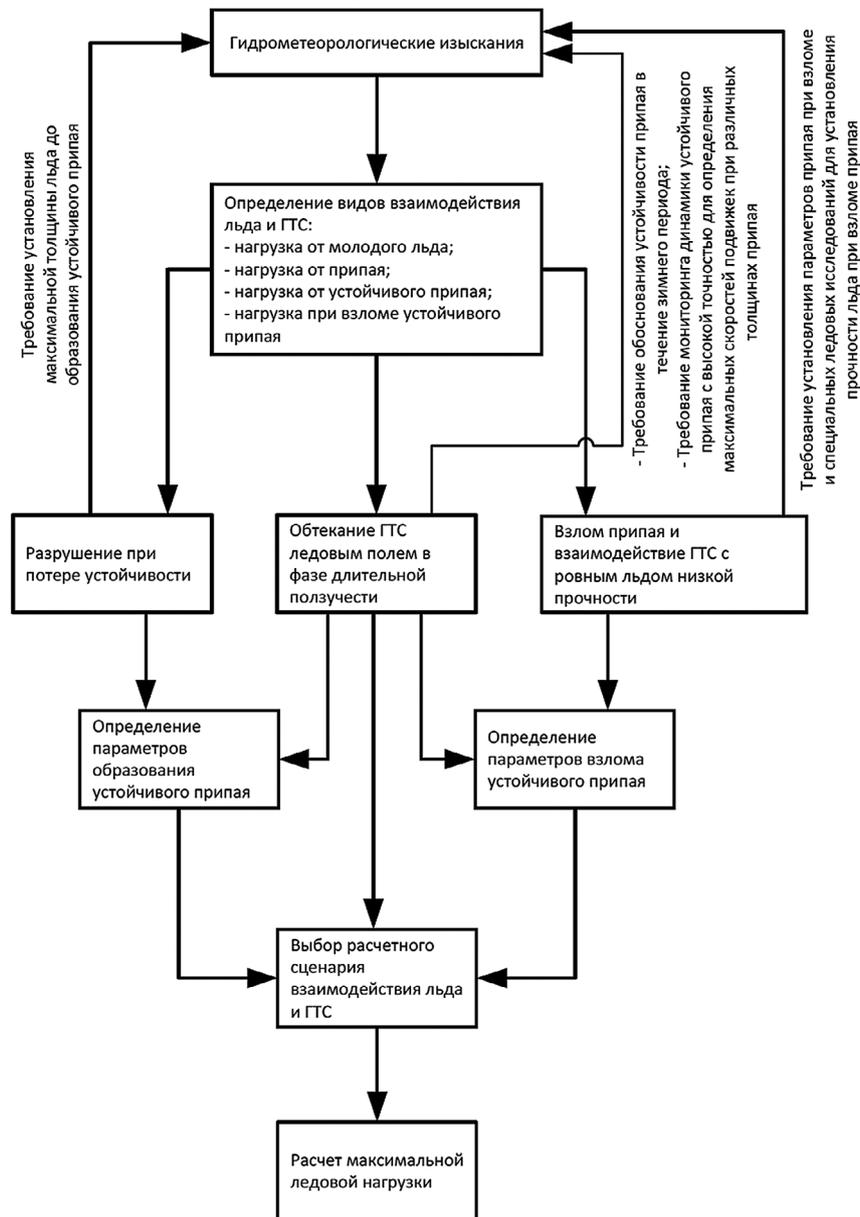


Рис. 4. Блок-схема методики расчета ледовой нагрузки в условиях устойчивого припая

Fig. 4. Block-scheme of the method of calculating ice load under the conditions of stable fast shore ice

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что при условии учета рассмотренных особенностей фаз ледового периода и переходов между ними в заливе Шарапов Шар достигается снижение

расчетной ледовой нагрузки до уровня, позволяющего применить конструкцию гравитационного ГТС вместо типичного решения для мелководных зон замерзающих морей – строительство искусственного острова.

Таблица 4

Результаты расчеты ледовой нагрузки по фазам

Table 4

Results of ice load calculations by phases

Фаза ледового периода <i>Phase of ice period</i>	Фаза I октябрь – ноябрь <i>Phase I October – November</i>	Фаза II декабрь – июнь <i>Phase II December – June</i>	Фаза III Июль <i>Phase III July</i>
Нормативный документ / состояние льда <i>Regulatory document / ice condition</i>	Образование льда, установление припая <i>Formation of ice, determination of fast shore ice</i>	Устойчивый припай <i>Stable fast shore ice</i>	Нагрузка после взлома припая <i>load after breaking of fast shore ice</i>
	15.24 МН <i>MN</i>	319.20 МН <i>MN</i>	53.34 МН <i>MN</i>
СП 38.13330.2018 <i>SP 38.13330.2018</i>	15.24 МН <i>MN</i>	31.92 МН / МН (при условии обоснования не превышения максимальной скорости относительной деформации льда перед ГТС в 10^{-7} сек ⁻¹) <i>(under the condition of justification of exceeding the maximum speed of relative deformation ice before the GTS 10^{-7} sec⁻¹)</i>	53.34 МН <i>MN</i>
ISO 19906	34.58 МН <i>MN</i>	176.83 МН <i>MN</i>	106.67 МН <i>MN</i>
Предлагаемая методика <i>Proposed method</i>	15.24 МН <i>MN</i>	17.70 МН <i>MN</i>	21.83 МН <i>MN</i>

Обоснованное снижение расчетной ледовой нагрузки на сооружение позволяет применить ГТС на основе усиленной конструкции морской баржи, устанавливаемого как гравитационное, без защитного пояса, подготовки постели и свайного основания. Преимущества такой конструкции ГТС вытекают из приведенного в таблице 5 сравнения для двух альтернативных вариантов. При сопоставлении параметров и физических характеристик двух концепций становятся очевидными и экологические преимущества применения обоснованного с точки зрения устойчивости к ледовым нагрузкам гравитационного ГТС.

Предварительное исследование сильных и уязвимых сторон возможных проектных решений ГТС для условий мелководной зоны замерзающих морей, с определением стратегических направлений по двум основным вариантам (ГТС гравитационного типа заводского изготовления и искусственный остров) было выполнено на основе элементов SWOT-анализа (табл. 6). Такого рода планирование поможет дать старт одному из проектных решений и обозначить возможный путь его реализации. Факторы,

рассмотренные при анализе, многообразны. Таблица SWOT-анализа позволяет структурировать все собранные ранее сведения в четырех квадратах, в которых в четкой последовательности перечислены данные о сильных и слабых сторонах, потенциальных угрозах и возможностях. Все эти квадраты в SWOT-анализе имеют тактические действия, направленные на повышение конкурентных качеств и эффективности проектного решения (гравитационного ГТС), а также снижение угроз извне.

Сильные стороны и возможности SWOT-анализа проекта гравитационного ГТС на мелководье Арктического морского шельфа в условиях ледового припая определяют стратегию развития данного проекта. Очевидно, что действие «Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года», повышение инвестиционной привлекательности Арктической экономической зоны и растущие требования к экономической и экологической эффективности проектов ГТС в условиях одновременного и сбалансированного действия моделей устойчивого природопользования

и устойчивого развития отвечает интересам продолжения работ по освоению нефтегазовых месторождений на шельфе с возведением необходимых эффективных ГТС. Этому также способствует авторитет, наличие опыта и определенных ресурсов у российских нефтегазодобывающих компаний (застройщиков) и генпроектировщиков. Сильными сторонами проекта гравитационного ГТС является также низкая экологическая нагрузка сооружения

на площадку строительства (мелководную зону шельфа), высокий уровень заводской готовности изделия, а также лучшее соответствие такого ГТС в целом принципам устойчивого развития. Существенно усиливают позиции в пользу гравитационного ГТС низкая капиталоемкость и высокая экономическая эффективность проектов монтажа и демонтажа (ликвидации) такого сооружения в сравнении с искусственным островом, также как и возможность повторного использования.

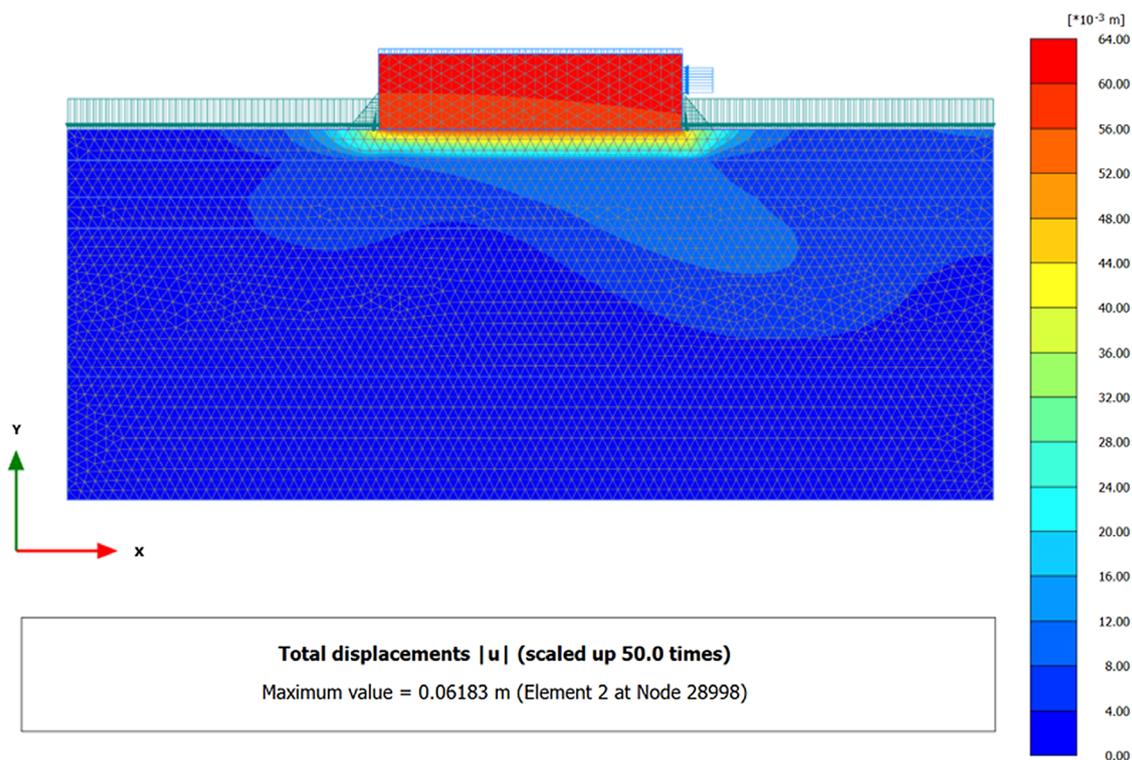


Рис. 5. Общие перемещения на этапе приложения ледовой нагрузки 10.82 МН, рассчитанной по предлагаемой методике

Fig. 5. General movements during the 10.82 MN ice load application phase, calculated according to the proposed methodology

При этом серьезным ограничением стратегического развития проекта гравитационного ГТС на мелководье морского шельфа в Арктической зоне является комбинация имеющихся угроз и слабых сторон (или недостатков) проекта такого сооружения. Наличие антропогенных воздействий и климатических изменений в Арктической зоне, приводящих к событиям, имеющим неблагоприятные экономические и экологические последствия, современная ситуация в стране, характеризующаяся спадом экономической активности в условиях пандемии, нехваткой инвестиционного капитала и сокращением инвестиционных возможностей – все это тормозит развитие

таких проектов и сопровождается при этом нехваткой ресурсов поставщиков и подрядчиков и т.п. Определенной угрозой для реализации проекта гравитационного ГТС становится отсутствие международного и отечественного опыта в реализации подобных проектов в области гидротехнического строительства на мелководных акваториях шельфовой зоны в условиях припая, а также отсутствие нормативных положений и непринятие новых методических подходов для расчета ледовых нагрузок в условиях устойчивого припая ответственными регуляторами. Незаконченность исследовательских работ по строительству ГТС на мелководье морского шельфа в условиях ледового

припая, необходимость расширенного комплекса ледовых инженерных изысканий, риски обнаружения критических особенностей

ледового режима на шельфе, могут также ограничить возможности реализации проекта гравитационного ГТС.

Факторы воздействия на окружающую среду сравниваемых типов ГТС

Таблица 5

Table 5

Environmental impact factors for the compared types of HTS

Виды и особенности воздействия	Факторы воздействия на окружающую среду типов ГТС в течение жизненного цикла сооружения	
	Искусственный намывной остров	Гравитационное сооружение заводской готовности
Воздействие на подготовительном этапе строительства	Инженерно-геологические и экологические изыскания выполняются по площади основания искусственного острова. Большая площадь морского дна (80 и более%) подвергается воздействию при проведении инженерных изысканий в сравнении с ГТС заводской готовности аналогичной полезной площади. Инженерные изыскания также выполняются в местах выемки грунта для строительства искусственного острова	Инженерно-геологические изыскания выполняются на площади, равной полезной площади ГТС заводской готовности
Технология организации строительства	Намыв и отсыпка грунта наносят существенный ущерб окружающей среде (в значительных масштабах и на большой площади) в результате нарушения грунтов, слагающих морское дно. Существенный экологический ущерб наносит взмучивание придонного слоя воды. Площадь основания искусственного острова, построенного в аналогичных условиях, составляла бы около 53000 м ² , что на 80% больше площади основания гравитационного ГТС аналогичной полезной площади	Установка сооружения заводской готовности приводит к отторжению лишь части морского дна на площади, равной полезной площади сооружения
Использование средств механизации при строительстве	При строительстве искусственного островного сооружения используются крупные специализированные суда для перемещения грунта, создающие шумовое и вибрационное воздействие, взмучивание, а также выбросы в атмосферу от силовых установок	Воздействие ГТС полной заводской готовности выражается только в выбросах и шуме при буксировочных операциях. Прочие виды воздействия, характерные для строительства искусственного островного сооружения, отсутствуют
Продолжительность строительства (монтажа)	Время, необходимое для намыва искусственного островного сооружения рассматриваемого масштаба в среднем составляет от 3-х месяцев	Возведение ГТС заводской готовности представляет собой краткосрочную морскую операцию по установке ГТС в проектное положение (продолжительностью до ½ месяца)
Технология демонтажа (ликвидации сооружения)	Демонтаж искусственного островного сооружения наносит существенный ущерб окружающей среде, связанный с повторным отторжением дна, взмучиванием, механической и экологической нагрузками от работы строительной техники. При этом дополнительным фактором нагрузки является складирование использованного загрязненного грунта	Демонтаж ГТС выполняется дебалластированием с последующей буксировкой изделия для утилизации (переработки) в заводских условиях

При этом безусловный и повышенный интерес государства к созданию условий экономической и экологической безопасности в Арктической зоне России, а также появление новых экологически эффективных технологий, материалов и конструкций, видов оборудования в гидротехническом строительстве для Арктической зоны, с одновременным повышением интереса строителей и проектировщиков к передовому опыту

и новациям в морской гидротехнике, приведут к активным внутренним преобразованиям слабых сторон проекта гравитационного ГТС, а также соединению сильных сторон и угроз такому проекту, что в дальнейшем усилит позицию стратегического развития проекта в сторону принятия решения о строительстве таких сооружений на мелководьях Арктического шельфа в условиях ледового припая.

Таблица 6

SWOT-анализ применения гравитационного ГТС заводской готовности в условиях устойчивого припая и при современном характере внешних условий

Table 6

SWOT-analysis of the use of gravitational HTS of factory readiness in conditions of stable fast shore ice and with the current nature of external conditions

	ВОЗМОЖНОСТИ	УГРОЗЫ
ВНЕШНЯЯ СРЕДА	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повышение интереса государства к созданию условий национальной экономической и экологической безопасности. 2. Действие Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года (утверждена в октябре 2020 г.). 3. Повышение инвестиционной привлекательности Арктической экономической зоны, возможность привлечения инвесторов. 4. Появление новых экологически эффективных технологий, материалов и конструкций, видов оборудования в гидротехническом строительстве для Арктической зоны. 5. Одновременное и сбалансированное действие моделей устойчивого природопользования и устойчивого развития, в соответствии с которыми выполняются проектные и строительные работы по инженерно-техническому обустройству новых нефтегазовых месторождений. 6. Растущие требования к экономической и экологической эффективности проектов ГТС. 7. Российские нефтегазодобывающие компании и генпроектировщики являются лидерами отрасли в области проектирования и строительства ГТС при освоении новых нефтегазовых месторождений. Благодаря опыту проектировщиков возможно обеспечение многовариантности конструктивно-технических решений ГТС 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Антропогенные воздействия и климатические изменения в Арктической зоне, приводящие к событиям, имеющим неблагоприятные экологические последствия, и создающие риски для хозяйственной системы, окружающей среды и безопасности. 2. Спад экономической активности в стране и мире, связанный с общими для человечества угрозами. 3. Нехватка инвестиционного капитала и ресурсов поставщиков и подрядчиков для реализации новых проектов. 4. Отсутствие международного и отечественного опыта в реализации подобных проектов в области гидротехнического строительства на мелководных акваториях шельфовой зоны в условиях припая. 5. Отсутствие нормативов (нормативных положений), подгоняющих новые конструкторские решения и технологии под стандарт, в том числе для гидротехнического строительства в особых ледовых условиях на мелководье морского шельфа. 6. Непринятие новых методических подходов для расчета ледовых нагрузок в условиях устойчивого припая ответственными регуляторами
	ПРЕИМУЩЕСТВА	НЕДОСТАТКИ
ВНУТРЕННЯЯ СРЕДА	<ol style="list-style-type: none"> 1. Гравитационное ГТС оказывает наименьшую экологическую нагрузку на площадку строительства (мелководную зону шельфа) среди всех рассматриваемых вариантов сооружения. 2. Гравитационное ГТС имеет максимальную заводскую готовность изделия, что снижает количество дорогих морских операций. 3. Гравитационное ГТС лучшим образом соответствует принципам устойчивого развития среди рассматриваемых вариантов сооружения. 4. Низкая капиталоемкость и высокая экономическая эффективность проектов монтажа и демонтажа (ликвидации) гравитационного ГТС в сравнении с искусственным островом 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отсутствие и одновременная необходимость расширенного комплекса ледовых инженерных изысканий. 2. В ходе инженерных изысканий есть риск обнаружения особенностей ледового режима, приводящих к увеличению расчетной нагрузки сверх максимально допустимой для гравитационного ГТС рассматриваемого типа. 3. Меньший порог максимальной ледовой нагрузки, при которой выполняются условия устойчивости. 4. Незаконченность исследовательских работ по строительству ГТС на мелководье морского шельфа в условиях ледового припая

Выводы

С учетом вышеизложенного представляются весьма обоснованными следующие предварительные выводы, которые могут получить дальнейшее развитие в реальном проектировании и расчётном обосновании гидротехнических сооружений на мелководье заливов Карского моря и других окраинных морей Северного Ледовитого океана:

1. Рассмотренный подход к оценке ледовой нагрузки с учетом особенностей фаз ледового режима и переходных процессов

между ними позволил обосновать возможность использования гравитационного ГТС заводской готовности вместо искусственного островного сооружения как типового решения для аналогичных по глубине арктических морских районов. При этом использование действующих нормативных требований СП 38.13330.2018 для расчета ледовой нагрузки не позволяет обосновать применение гравитационного ГТС.

2. Обеспечение возможности практической реализации предложенной методики

может быть достигнуто включением в действующие нормативные документы некоторых недостающих методических положений и требований, таких как: определение и критерии устойчивого ледового припая, требования к определению граничных условий смены фаз ледового режима в акватории и определению ледовой нагрузки при вязкопластическом деформировании и положительных температурах окружающей среды, а также к определению ледовой нагрузки от тонкого льда.

3. В условиях особой экологической чувствительности к антропогенным нагрузкам арктических экосистем (из-за низкой

способности к самовосстановлению, ограниченной продолжительности «сезонного окна» подготовительных работ и работ по обустройству, наличия представителей краснокнижных биологических видов и т.п.) даже незначительные преимущества более экологически обоснованного подхода к выбору типа ГТС имеют весьма существенное значение. Гравитационная конструкция ГТС имеет очевидные экологические преимущества, выражающиеся в минимальных по отношению к другим вариантам конструкций показателях воздействия, что позволяет сделать вывод о необходимости дальнейших исследований в данном направлении.

Библиографический список

1. Указ Президента Российской Федерации «О стратегии развития арктической зоны российской федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года». <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74710556/>

2. Инженерно-геокриологические исследования на Крузенштернском месторождении Карского моря (Шарапов Шар, п-ов Ямал), 2010. МГУ – геофизика, 2004-2020. <http://www.msu-geophysics.ru/>

3. **Кошкина А.** Бегство по спирали конфронтации. Дело «Гринпис». – Газета.Ru от 26.08.2013.

4. **Фадеева А.** Роснефти придётся искать нового партнёра для добычи нефти в Карском море. – «Ведомости» от 22.09.2014.

5. **Мирзоев Д.А.** Основы морского нефтегазопромыслового дела. – М.: Изд-во ООО День Серебра, 2009. – 288 с.

6. T.J.O. Sanderson, Ice Mechanics, Risk to Offshore Structures, London, 1988, 253 p.

7. **Вершинин С.А.** Воздействие льда на морские сооружения шельфа, водный транспорт», том 13. – М.: ВИНТИ, 1988. – 219 с.

8. **D.M. Masterson.** State of the art of ice bearing capacity and ice construction, Chevron Canada Resources, 2009, Vol 58, N3, Pp. 99-112.

9. **S.M. Vershinin, B. Yurova.** Bonnemaire, TECHNICAL NOTE “Estimation of Loads from Multiyear Ice on Fixed Structures”, 2010.

10. **Топорков А.** «Газпром» просит упростить ликвидацию искусственных островов для геологоразведки. – «Ведомости» от «24.08.2018.

11. СП 38.13330.2018 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). <http://docs.cntd.ru/document/553863434>

References

1. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federatsii "O strategii razvitiya arkticheskoy zony Rossijskoj Federatsii i obespechenii natsionalnoj bezopasnosti na period do 2035 goda". <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74710556/>

2. Inzhenerno-geokriologicheskie issledovaniya na Kruzenshternskom mestorozhdenii Karskogo moray (Sharapov Shar, p-ov Yamal), 2010. MGU – geofizika, 2004-2020. <http://www.msu-geophysics.ru/>

3. **Koshkina A.** Begstvo po spirali konfrontatsii. Delo "Grinpis". – Gazeta.Ru ot 26.08.2013.

4. **Fadeeva A.** Rosnefti pridetsya iskat novogo partnera dlya dobychi nefi v Karskom more. – "Vedomosti" ot 22.09.2014.

5. **Mirzoev D.A.** Osnovy morskogo neftegazopromyslovogo dela. – M.: Izd-vo OOO Den Serebra, 2009. – 288 s.

6. T.J.O. Sanderson, Ice Mechanics, Risk to Offshore Structures, London, 1988, 253 p.

7. **Vershinin S.A.** Vozdejstvie l'jda na morskije sooruzheniya shelfa, vodny transport, tom 13. – M.: VINITI, 1988. – 219 s.

8. **D.M. Masterson.** State of the art of ice bearing capacity and ice construction, Chevron Canada Resources, 2009, Vol 58, N3, Pp. 99-112.

9., **S.M. Vershinin, B. Yurova.** Bonnemaire, TECHNICAL NOTE “Estimation of Loads from Multiyear Ice on Fixed Structures”, 2010.

10. **Toporkov A.** "Gazprom" prosit uprostit likvidatsiyu iskusstvennyh ostrovov dlya geologorazvedki. – "Vedomosti" ot «24.08.2018.

11. SP 38.13330.2018 Nagruzki i vozdejstviya na gidrotehnicheskie sooruzheniya (volnyve, ledovye i ot sudov). <http://docs.cntd.ru/document/553863434>

12. Соломатин С.В. Учёт вязкопластических свойств льда для оптимизации проектных решений морских нефтегазопромысловых сооружений в заливе Шарапов Шар. // Гидротехническое строительство. – 2019. – № 11. – С. 16-21.

13. G. Timco. Proceedings of the 16th IAHR International Symposium on Ice, 2, Ice Strength During the Melt Season, pp. 187-193, 2002.

14. ISO/DIS19906 “Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore structures”. 2010. 466 с.

Критерии авторства

Соломатин С.В., Козлов Д.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Соломатин С.В., Козлов Д.В. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию: 20.01.2021 г.

Одобрена после рецензирования 16.02.2021 г.

Принята к публикации 19.02.2021 г.

12. Solomatin S.V. Uchet vyazkoplasticheskikh svoystv ljda dlya optimizatsii projektnykh reshenij morskikh neftegazopromyslovykh sooruzhenij v zalive Sharapov Shar // Gidrotehnicheskoe stroitelstvo. – 2019. – № 11. – S. 16-21.

13., G. Timco. Proceedings of the 16th IAHR International Symposium on Ice, 2, Ice Strength During the Melt Season, pp. 187-193, 2002.

14. ISO/DIS19906 “Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore structures”. 2010. 466 с.

Authorship criteria

Solomatin S.V., Kozlov D.V. performed theoretical studies, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript. Solomatin S.V., Kozlov D.V. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interest

The article was submitted to the editorial office 20.01.2021

Approved after review 16.02.2021

Accepted for publication 26.02.2021

Оригинальная статья

УДК 502/504:626.01:004.05

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-53-62

ПРОЧНОСТЬ МАЛОАРМИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С МЕЖБЛОЧНЫМИ СТРОИТЕЛЬНЫМИ ШВАМИ, УСИЛЕННЫХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОЙ БАЗАЛТОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРОЙ

РУБИН ОЛЕГ ДМИТРИЕВИЧ¹, д-р техн. наук, директор филиала

o.rubin@hydroproject.ru

eLIBRARYSPIN-код: 2720-6627

ЛИСИЧКИН СЕРГЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ², д-р техн. наук, главный научный сотрудник

eskte@mail.ru

ЗЮЗИНА ОКСАНА ВАЛЕРЬЕВНА², аспирант

zyuzinaov@vniig.ru

¹ Филиал АО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» им. С.Я. Жука» – «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»; 125080, Москва, Волоколамское ш, 2, Россия

² «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»; 195220, Санкт-Петербург, Гжатская, 21, Россия

Многие малоармированные железобетонные конструкции эксплуатируемых гидротехнических сооружений нуждаются в усилении. Традиционные методы усиления (железобетоном, металлоконструкциями и др.) имеют существенные недостатки. Начинает распространяться метод усиления системами внешнего армирования на основе углеродного волокна, который эффективен в тех случаях, когда имеется доступ к растянутой зоне усиливаемых конструкций. Авторами предлагается усиливать малоармированные железобетонные конструкции эксплуатируемых гидротехнических сооружений предварительно напряженной базальтокомпозитной арматурой, размещаемой