

## ЛЕДОТЕХНИКА

УДК [629.7.07+624.14+621.585+551.467] (98) DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-4-407-426

### ЛЕДОТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ И РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ В АРКТИКЕ

*Н.В. КУБЫШКИН<sup>1</sup>\*, И.В. БУЗИН<sup>2</sup>, Н.В. ГОЛОВИН<sup>2</sup>, Ю.П. ГУДОШНИКОВ<sup>2</sup>,  
Г.А. ЗАМАРИН<sup>2</sup>, А.А. СКУТИН<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> — ООО «Арктик Шельф Консалтинг», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> — ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
Санкт-Петербург, Россия

\*kuba@arctic-shelf.com

### ASPECTS OF ICE ENGINEERING FOR THE AIMS OF CONSTRUCTION OF THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE AND RECONNAISSANCE DRILLING IN THE ARCTIC

*N.V. KUBYSHKIN<sup>1</sup>\*, I.V. BUZIN<sup>2</sup>, N.V. GOLOVIN<sup>2</sup>, YU.P. GUDOSHNIKOV<sup>2</sup>,  
G.A. ZAMARIN<sup>2</sup>, A.A. SKUTIN<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> — Arctic Shelf Consulting LLC, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> — State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic Research Institute,  
St. Petersburg, Russia

\*kuba@arctic-shelf.com

Received November, 2, 2018

Accepted December, 3, 2018

*Keywords:* artificial ice islands, drifting ice, fast ice, ice berths, ice landing strips, ice roads, ice technology.

#### Summary

Starting from the mid 2000-s the increase of sustained development of the Russian Arctic is observed, in many cases the technologies using the ice cover as an infrastructure element and the ice as the construction materials are used. In the present time the different approaches of use of natural and artificial ice for applied tasks on the Arctic offshore exist. For example, the clearance of the upper surface of ice from snow and ridges is used for the purposes of the vessel unloading on the fast ice or constructing the airstrips on the drifting ice cover. In case of insufficient thickness of the level ice

**Citation:** *Kubyshekin N.V., Buzin I.V., Golovin N.V., Gudoshnikov Yu.P., Zamarin G.A., Skutin A.A.* Aspects of ice engineering for the aims of construction of the transport infrastructure and reconnaissance drilling in the Arctic. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2018, 64, 4: 407–426. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2018-64-4-407-426

the latter is increased by the means of preliminary freezing (natural on the bottom side of ice and artificial by pouring the fresh or saline water on the upper surface). By constructing the artificial ice islands the ice body is made by spraying the sea water with the partial freezing of the water drops in the air and further freezing of the 2-phase elements (i.e. ice crystals in the liquid film) on the surface of the ice cover. The problem of cracks in the ice cover is solved by different means according to the proper task. When it is possible, the cracks are “healed”— i.e. are filled with the snow and ice gravel and then frozen. In case of impossibility of use of such method (for example — presence of tidal cracks or relatively high air temperature) the cracks are overlapped with the help of different covers made of different materials and of different sizes. The promising trend of ice technology is involving the reinforced or composite ice, having the increased strength, into the ice engineering practice. By unloading the cargo ships on the fast ice the ice strength is decreased locally for the purpose of easy berthing of the vessel with safekeeping the original strength of the surrounding ice for the aims of the vessel unloading. This problem is solved by creating the system of notches in the ice cover according to the vessel dimensions. The specialized hydrometeorological support on every stage of the ice engineering operation is an essential element of the ice engineering activities on the ice cover of lakes, rivers and seas.

*Поступила 2 ноября 2018 г.*

*Принята к печати 3 декабря 2018 г.*

*Ключевые слова:* дрейфующий лед, искусственные ледяные острова, ледовые аэродромы, ледовые дороги, ледовые причалы, ледотехника, припай.

Рассматриваются направления ледотехники, связанные с использованием ледяного покрова природных водоемов как несущей площадки для создания транспортной инфраструктуры (ледовые причалы, аэродромы, искусственные ледяные острова и т.п.). Обсуждаются общие вопросы организации и проведения инженерно-технических работ на льду и некоторые частные проблемы, связанные с решением отдельных конкретных задач. Особое внимание уделено специальному гидрометеорологическому обеспечению операций как неотъемлемой части ледотехнических работ.

## ВВЕДЕНИЕ

Использование ледяного покрова водоемов в практических целях имеет многовековую историю. На Севере и в Сибири по льду форсируют водные преграды, прокладывая в холодный период автозимники. Самые яркие исторические примеры ледовых переправ — железнодорожная переправа по байкальскому льду в начале прошлого века и легендарная «Дорога жизни» по льду Ладожского озера в период ленинградской блокады. В Арктике в XX в. морской лед начали использовать для разгрузки судов на необорудованный берег, а также для создания взлетно-посадочных полос для авиации. Ледяной покров, традиционно рассматривавшийся как препятствие для морского транспорта, в суровых арктических условиях оказался хорошим подспорьем для приема грузов в труднодоступных прибрежных районах.

Разгрузка морских судов через припай оказалась значительно эффективнее рейдовых грузовых операций безледного периода, а при хорошем уровне предварительной подготовки припайного льда сроки обработки грузов соответствуют нормам оборудованных портов. Выгрузка на припайный лед представляет собой по сути зимний вариант рейдовой выгрузки на необорудованный берег, если она не связана со строительством ледового причала как гидротехнического сооружения. Единичные морские перевозки грузов с разгрузкой на припай начали осуществляться с 1962 г. (Новая Земля). После этого география подобных операций в Арктике постоянно расширялась (Новая Земля, Земля Франца-Иосифа, архипелаг Седова,

Печорская губа, о. Белый, Амдерминское побережье и др.). Наиболее широко практика выгрузок на припай применялась при проведении так называемых «Ямальских операций» (с 1976 г. до середины 90-х гг.). Зимне-весенний завоз грузов в район мыса Харасавэй (западный берег полуострова Ямал) принял в этот период регулярный характер [1]. Харасавэй как место регулярных выгрузок на припай отмечен в Лоции западной части Карского моря [2]. Советский опыт проведения операций с разгрузкой судов через припайный лед обобщен в Методических рекомендациях [3].

С 30-х гг. прошлого века существует практика использования морского льда в качестве площадок для временного базирования (вынужденный лагерь «челюскинцев», отечественные и зарубежные научные дрейфующие станции, современные туристические базы). Функционирование таких баз сопровождается обустройством полос и площадок для посадки самолетов и вертолетов.

Использование льда в качестве строительного материала позволяет находить интересные технические решения ряда проблем в хозяйственном направлении. Искусственное намораживание льда поверх естественного ледяного покрова позволяет увеличить его несущую способность до требуемых значений при перемещении тяжелых грузов. Известны примеры строительства ледовых гидротехнических сооружений. В частности, обозначение ледового причала на Мысе Шмидта можно и сейчас найти на навигационной карте. Ежегодно возводится знаменитая ледовая дамба в Хатанге для защиты судов от весеннего ледохода. Искусственные ледяные острова оказались хорошей альтернативой буровым платформам при разведочном бурении шельфовых месторождений углеводородов.

Независимо от решаемой общей задачи (создание ледовой базы, обустройство переправы, сооружение ледяного гидротехнического объекта и т.п.), организаторы ледотехнических работ осуществляют примерно сходный по общему составу комплекс мероприятий, а именно:

- сбор и анализ предварительной информации по метеорологическому, гидрологическому, ледовому режиму района, гидрографическим особенностям; сюда же можно отнести выбор конкретного участка планируемых работ (или ледяного поля в случае работ на дрейфующем льду) по данным ИСЗ, ледовых разведок или наземной рекогносцировки;

- инженерно-технические работы на льду;
- специальное гидрометеорологическое обеспечение операции.

Перечисленные мероприятия различаются наполнением и подходами в зависимости от общей задачи.

### **РАЗГРУЗКА СУДОВ НА НЕОБОРУДОВАННЫЙ ПРИПАЙ**

Под разгрузкой судов на необорудованный припай подразумевается комплекс грузовых и транспортных операций, выполняемый в ходе рейдовой выгрузки морских судов в ледовый сезон с перевалкой грузов через лед берегового припая [4]. При этом обходятся без строительства каких-либо гидротехнических сооружений (в том числе временных), а инженерно-технические мероприятия (расчистка снега и торосов по маршрутам транспортировки грузов по льду, намораживание искусственного льда и пр.) являются частью транспортной операции.

При разгрузке морских судов через береговой припай должны быть обеспечены следующие условия [3, 5]:

1) толщина льда должна обеспечивать возможность транспортировки завозимых грузов;

2) сроки грузовой операции должны укладываться во временной период, начинающийся с достижением льда требуемой толщины и заканчивающийся развитием разрушенности льда до значения 2 балла;

3) ширина припая требуемой толщины должна достигать навигационных глубин (при этом следует учитывать, что ледокол, как правило, имеет осадку большую, чем грузовые суда, а для атомных ледоколов должен быть выдержан дополнительный запас глубины, необходимый для обеспечения работы атомной энергетической установки);

4) в соответствии с Методическими рекомендациями [3] определяется тип припая; рассмотрены 5 типов, каждый из которых характеризуется своей степенью устойчивости в зависимости от физико-географических условий (течения, волнение моря, глубина, открытость или защищенность акватории, наличие островов и т.д.).

При небольших объемах грузов, малой протяженности плеча их транспортировки от борта судна до береговой линии и незначительной торосистости возможно проведение грузовой операции без предварительной подготовки: судно подводится ледоколом максимально близко к берегу, прибывшие с судном гидрологи оперативно выполняют промеры и обследование льда, после чего грузы опускаются на лед и с помощью гусеничной техники (транспортеров, тракторов с санями) доставляются на берег. Обычно такие операции проводятся в период наибольшей толщины и грузоподъемности льда.

Если объемы грузов, перевозимых в ходе ледовой навигации, достигают десятков и даже сотен тысяч фрахтовых единиц, необходимо обеспечить одновременную или последовательную разгрузку нескольких судов. Это требует увеличения общей продолжительности грузовой операции. Поскольку вслед за периодом максимальной толщины льда начинается его ослабление и таяние, увеличение продолжительности происходит за счет более раннего начала работ,



Рис. 1. Разгрузка т/х «Виктор Ткачев» на припай о. Земля Александры в 2015 г.

Fig. 1. Deployment of the vessel “Viktor Tkachev” on the fast ice near Alexandra Land isle, 2015

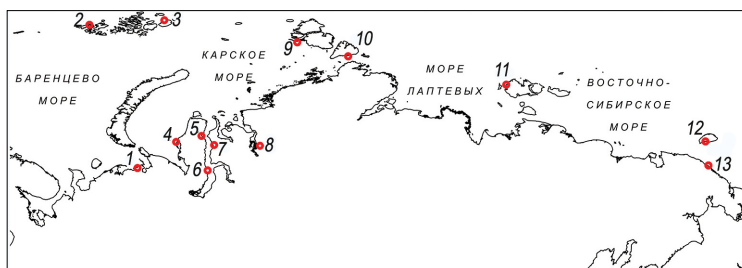


Рис. 2. География морских грузовых операций с использованием припая в Российской Арктике в XXI в.

Fig. 2. Location of marine operations with deployment on the fast ice in Russian Arctic in XXI century

когда ледяной покров не достиг своего максимального развития. Недостаток толщины льда компенсируется большей прочностью зимнего льда по сравнению с весенним, но лишь частично, поскольку именно толщина является основным определяющим параметром несущей способности ледяного покрова. В этом случае становится актуальным вопрос искусственного усиления природного льда, которое может достигаться разными способами (подробнее этот вопрос будет рассмотрен ниже). Ледовая навигация с большим объемом грузоперевозок и большим количеством судов требует тщательного предварительного планирования и подготовки снежно-ледяной поверхности. Еще в 70-х гг. прошлого века объем ежегодных грузоперевозок к западному побережью п-ова Ямал, выполняемых в течение ледовой навигации, превышал 100 тыс. т. Максимальное количество судов, разгруженных в одном пункте в ходе одной ледовой навигации, составило 13 единиц (март–июнь 2015 г., о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа, рис. 1). Современный охват арктического побережья России морскими операциями с разгрузкой судов на припай показан на рис. 2. На рисунке цифрами обозначены: 1 — Варандей (2002); 2 — о. Земля Александры (2006, 2007, 2015–2018); 3 — о. Грэм-Белл (2014, 2017); 4 — Харасавэй (2007–2009); 5 — Сабетта (2011–2015); 6 — Мыс Каменный (2015–2018); 7 — Салмановское (Утреннее) месторождение (2017, 2018); 8 — Таналау (2018); 9 — о. Голомянный (2015, 2016); 10 — о. Большевик (2011–2014); 11 — о. Котельный (2014–2016); 12 — о. Врангеля (2015); 13 — Мыс Шмидта (2015). В скобках приведены года проведения морских операций.

### ЛЕДОВЫЕ АЭРОДРОМЫ

Использование ледяного покрова для посадок воздушных судов позволяет обеспечивать долговременное функционирование баз в Центральном бассейне Северного Ледовитого океана (СЛО). Большинство таких баз работало по научным или военным программам. В последние годы с сокращением площади ледяного покрова СЛО и общим уменьшением толщин льда в Арктике базирование научных групп на дрейфующих льдах практически прекращено. Накопленный опыт применяется в организации и обеспечении единственной в настоящее время сезонной туристической дрейфующей станции Барнео, ежегодно разворачиваемой в приполюсном районе. Ледовый аэродром станции обеспечивает прием самолетов с туристическими группами и снабжением, а также вертолетные экскурсии к географической точке Северного полюса. Однако не исключено, что в будущем, с наступлением очередной фазы похолодания или по другим причинам, роль

аэродромов на ледяном покрове вновь возрастет, что требует сохранения практических навыков обустройства посадочных полос на льду и развития новых технологий в данном направлении.

При организации взлетно-посадочных полос (ВПП) на морском льду установлены следующие требования:

1) толщина льда должна обеспечивать возможность посадки и стоянки воздушного судна (с учетом снижения прочности льда в летний период);

2) размеры ледяного поля и состояние его поверхности должны обеспечивать возможность подготовки полосы длиной, достаточной для данного типа самолета;

3) необходимо учитывать фактор живучести ВПП, который различается в разных арктических районах для различных форм дрейфующего льда.

Существующие инструкции позволяют выбирать места и осуществлять посадку некоторых типов самолетов на ледяные поля без их предварительной подготовки. В частности, таким образом работали авиационные «прыгающие» экспедиции, собравшие большие объемы данных по характеристикам дрейфующего льда и гидрологии арктических морей. В отличие от посадок небольших научных групп, транспортные и пассажирские рейсы самолетов на дрейфующие базы требуют тщательной подготовки, обработки и содержания ледовых ВПП.

### ЛЕДЯНЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Строительство ледяных гидротехнических сооружений (ледовых причалов, искусственных ледяных островов) требует разработки проектной документации и проведения инженерных изысканий. Состав изысканий определяется соответствующими нормативными документами [6–8]. Для ледяных гидротехнических сооружений должны быть рассчитаны все виды нагрузок, а для сооружений гравитационного типа также важна информация по донным грунтам для определения сцепления с грунтом. За редким исключением, ледяные гидротехнические сооружения устраиваются в зоне припайных льдов. Для искусственных ледяных сооружений можно определить следующий состав критериев:

1) продолжительность ледового сезона должна быть не менее 7 месяцев [6], либо сумма градусодней мороза должна быть более 2000 градусо<sup>в</sup>×суток;

2) сооружения гравитационного типа лимитируются глубинами; СП 58.13330.2012 [6] ограничивает зону строительства сооружений глубиной 7 м, руководство [8] — глубиной 12 м; плавучие искусственные ледяные острова глубинами не лимитированы.

Наиболее перспективным направлением ледяного гидротехнического строительства в наше время является строительство искусственных ледяных островов на арктическом шельфе. Ледяные острова являются дешевой альтернативой плавучим буровым платформам при выполнении разведочного бурения в районах с продолжительным существованием ледяного покрова. Начиная с 70-х гг. XX в., на арктическом побережье Аляски и в Канадской Арктике было реализовано и реализуется в настоящее время большое количество проектов по созданию искусственных ледяных островов, совершенствуются технологии намораживания больших объемов льда за относительно короткое время [9]. Аналогичные наработки существуют и в нашей стране, однако их практическое воплощение пока ожидает своего часа. Ниже будут рассмотрены основные подходы, применяемые при создании искусственных ледяных объектов в Арктике.

## **ПОДГОТОВКА И ПЛАНИРОВАНИЕ ЛЕДОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ**

Предварительная информация по природным условиям района проведения операции, связанной с ледотехническими работами, должна обеспечить необходимыми данными все этапы подготовительного планирования работ. В общем виде для всех типов операций по предварительным данным определяются либо уточняются:

- предельные и оптимальные сроки проведения операции;
- природно-климатические условия выполнения работ;
- места базирования и их обустройство;
- тип и особенности конструкции временных объектов, состав ледотехнических работ, необходимость искусственного усиления природного льда и его защиты от таяния;
- перечень материальных и технических ресурсов, количество и квалификация задействуемых работников;
- логистические вопросы;
- природоохранные вопросы;
- необходимость получения разрешений, согласований на проведение работ.

Предварительная информация по районам планируемых работ, связанных с использованием природных льдов, собирается из всех доступных источников. Для прибрежных работ используются архивы наблюдений ближайших полярных гидрометеорологических станций и гидрологических постов (толщины льда в течение ледового сезона, сроки основных ледовых фаз, гидрологический режим, метеосостояния). Сведения по глубинам и береговой линии берутся с навигационных и топографических карт, лоций. Для удаленных от берега открытых акваторий необходимая информация может быть почерпнута из архивов данных морских экспедиций, ледовых авиаразведок, ледовых карт и спутниковых снимков, а также литературных источников (атласов, монографий, статей).

К этапу сбора предварительной информации можно отнести и мониторинг метеорологических и ледовых условий по району планируемой операции, который начинается заблаговременно с наступлением ледового сезона. В течение десятилетий основным способом получения оперативной информации по ледовой обстановке обширных пространственных акваторий служили авиационные ледовые разведки. В настоящее время регулярные ледовые авиаразведки сменил спутниковый мониторинг земной поверхности. Спутниковые снимки различного пространственного разрешения и волновых диапазонов позволяют отслеживать развитие ледовых процессов и с их учетом корректировать планы по мобилизации и началу полевых работ. Спутниковые снимки среднего и низкого разрешения дают информацию по развитию ледовых условий в районе планируемых работ. Снимки высокого разрешения позволяют с высокой степенью детализации оценить ледовую обстановку непосредственно в месте проведения работ, выделить зоны ровного и торосистого льда, определить положение торосистых гряд и барьеров, что дает возможность предварительно наметить участки, площадки и маршруты непосредственно для проведения ледотехнических работ. Снимки радиолокационного диапазона, не зависящие от облачности, позволяют получить необходимую информацию в любой требуемый момент времени.

Составление долгосрочного прогноза развития ледовых процессов в районе планируемой операции производится на основе существующей информации по ледовому режиму района, данным ближайших гидрометеорологических

станций и спутниковых наблюдений. Долгосрочный прогноз используется при предварительном планировании навигации, определении ее оптимальных сроков. Как правило, предварительный прогноз составляется в декабре–январе. В последующие месяцы по необходимости выпускаются уточненные прогнозы.

### СПЕЦИАЛЬНОЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛЕДОТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

Ледотехнические операции на ледяном покрове природных водоемов должны сопровождаться специальными гидрометеорологическими наблюдениями, предваряющими любые технические работы на льду и продолжающимися до их полного завершения. Успешность и безопасность любого проекта на ледяном покрове природных водоемов во многом зависит от качества и уровня гидрометеорологического обеспечения. Специальное гидрометеорологическое обеспечение осуществляется ледовыми специалистами (гидрологами) и прогнозистами оперативных штабов или прогнозистических центров.

Часть мероприятий, составляющих гидрометобеспечение, уже описана выше: мониторинг метеорологических и ледовых условий, анализ спутниковых снимков, составление долгосрочных прогнозов. Ниже приводятся основные задачи специального гидрометобеспечения, выполняемые в составе ледотехнических работ, в том числе непосредственно на месте проведения операции.

Ледовая разведка выполняется силами научно-оперативной группы сразу после прибытия ее в район операции. В зависимости от сложности ледовой обстановки разведка выполняется с использованием вертолета либо в ходе рекогносцировочного объезда на снегоходах. В ходе разведки картируется ледовая обстановка, выбираются участки льда, пригодные для организации рабочих ледовых площадок, предварительно намечаются маршруты ледовых дорог. По результатам ледовой разведки дается заключение о принципиальной возможности проведения операции, местах расположения объектов ледовой инфраструктуры и т.п.

Промеры толщины льда на площадках и по маршрутам дорог с необходимой дискретностью позволяют получить исходную информацию для расчета грузоподъемности льда. По результатам промеров научно-оперативная группа готовит рекомендации и инструкции для береговой механизации по инженерной подготовке и оборудованию ледовых дорог и грузовых площадок.

Для определения грузоподъемности ледяного покрова существует большое количество расчетных методик. В наиболее общем виде грузоподъемность льда определяется через его толщину:

$$P = Ah^2, \quad (1)$$

где  $P$  — грузоподъемность льда;  $h$  — толщина льда;  $A$  — коэффициент, зависящий от физико-механических характеристик льда, условий нагружения и др.

В РД 31.31.52-89 [8], РД 31.41.21-90 [10], а также других инструкциях, посвященных разгрузкам судов через припай [3, 11], для расчета грузоподъемности льда предлагается известная формула Казанского–Шульмана:

$$P = (B/N)h^2KS, \quad (2)$$

где  $P$  выражается в т,  $h$  — в м;  $B$  — коэффициент, равный 100 для колесных грузов, 125 — для гусеничных грузов массой до 18 т, 115 — для гусеничных грузов массой больше 18 т;



$N$  — коэффициент запаса прочности и учета трещин (при  $N = 1$  получаем предельную грузоподъемность ровного ненарушенного льда без запаса прочности; при наличии сквозных трещин принимается  $N = 2$ );

$K$  — температурный коэффициент  $K = (100 + T)/100$ , где  $T$  — средняя температура воздуха за прошедшие 3 суток, взятая со знаком плюс (при продолжительной положительной температуре воздуха  $K = 1 - 0,05n$ , где  $n$  — число суток с момента появления воды на льду);

$S$  — коэффициент учета солености ( $S = 1$  соответствует пресному льду;  $S = 0,7$  для устьевых участков рек в Арктике;  $S = 0,3$  для свежееобразовавшегося морского льда).

Для ледовых аэродромов в наставлениях НАС ГА-86 [12] приводятся формулы для расчетной толщины льда  $h_p$  (см) для заданной массы воздушного судна  $G$  (т):

а) для пресноводного льда:

при средней температуре воздуха ниже  $-10$  °С: для воздушных судов на колесном шасси  $h_p = 16G^{1/2}$ , для воздушных судов на лыжном шасси  $h_p = 12G^{1/2}$ ;

при средней температуре воздуха от  $-10$  °С до  $0$ °С: для воздушных судов на колесном шасси  $h_p = 22G^{1/2}$ , для воздушных судов на лыжном шасси  $h_p = 17G^{1/2}$ ;

б) для морского льда:

$$h_p = K(20G^{1/2} - 0,25G),$$

где  $K$  — коэффициент, учитывающий период года и возраст льда (для зимы  $K = 1$ , для лета и многолетнего льда  $K = 1$ , для лета и однолетнего льда  $K = 2$ ).

Легко заметить, что все приведенные выше расчетные формулы являются различными модификациями выражения (1), преобразованного в соответствии со спецификой каждого вида работ. Для ледовых переправ через пресноводные водоемы в дорожных нормах ОДН 218.010-98 [13] предлагается следующий вариант зависимости (1):

$$h_p = 11n_u P^{1/2}, \quad (3)$$

где  $n_u$  — коэффициент интенсивности движения ( $n_u = 1$  при интенсивности менее 500 автомобилей/сут.,  $n_u = 1,1$  от 500 до 2000 авт./сут.,  $n_u = 1,25$  при интенсивности движения более 2000 автомобилей/сут.).

Расчет грузоподъемности льда заданной толщины (или обратная задача — определение требуемой толщины льда для заданной грузоподъемности) имеет первостепенное значение для принятия решения о выходе техники и людей на лед. Попутно рассчитываются время безопасной стоянки грузов на льду, безопасные скорость и интервал движения по льду, увеличение грузоподъемности льда за счет распределения грузов по большей площади. Расчетные формулы для этих параметров приведены во многих источниках [3, 8, 10, 11].

Постоянная работа людей и техники на льду требует постоянного обеспечения краткосрочными метеопрогнозами. Отличие специальных метеопрогнозов от обычных прогнозов для населения заключается в строго оговоренных наборе прогнозируемых элементов и детализации по времени. Для повышения качества и оправданности прогнозов силами научно-оперативной группы выполняется комплекс стандартных метеонаблюдений, результаты которых оперативно передаются в прогностический центр.

В период эксплуатации ледовых площадок и дорог гидрологи научно-оперативной группы осуществляют повторные промеры толщины льда, отбирают

керны для определения строения льда, выполняют мониторинг состояния ледяного покрова, обследуют и контролируют трещины.

Рекомендуется в ходе полевых работ периодически определять комплекс физико-механических свойств льда (температура, соленость, плотность льда, предел прочности при изгибе). В приливных морях следует рассчитывать величину приливов, в первую очередь для установления периодов сизигийных (максимальных по амплитуде) приливов, во время которых «оживляются» и расширяются приливные трещины. Для контроля непериодических колебаний уровня (сгонно-нагонные колебания, сейши) проводятся инструментальные наблюдения.

Обеспечение безопасности работ на льду основывается на данных мониторинга состояния ледяного покрова, который является частью специального гидрометобеспечения. В современной ледотехнической практике мониторинг состояния ледяного покрова реализуется преимущественно по общим характеристикам льда в контрольных точках (толщина льда, строение льда, температура льда, прочность льда при изгибе). В отдельных случаях осуществляются наблюдения за деформациями льда: геодезическими методами измеряется прогиб льда в точке, выбранной на нагружаемой площадке. Недостатком такого подхода является отсутствие контроля за развитием пластических деформаций льда за пределами выбранных контрольных участков. Хорошо известно, что именно пластичность льда является основной причиной неконтролируемого снижения его несущей способности. В практике ледотехнических работ этот недостаток частично устраняется соблюдением большого запаса прочности при расчете рабочих значений грузоподъемности льда. Однако в последнее время перед гидрологами все чаще ставится задача транспортировки по льду тяжелых грузов на пределе грузоподъемности ледовых дорог. Качественный промер толщины льда и расчет предельной грузоподъемности позволяют выполнять такие операции без эксцессов, но определение состояния ледовых дорог после предельного нагружения в целях их дальнейшей эксплуатации возможно только визуальным осмотром состояния ледяной поверхности опытным гидрологом, т.е. на уровне экспертной оценки.

Объективный мониторинг ледовых деформаций требует разработки и внедрения систем инструментальных наблюдений на всем протяжении ледовых дорог. Такие наблюдения могут быть выполнены с помощью сейсмодатчиков или преобразователей на основе оптоволокон. В 2019 г. планируется проведение серии экспериментов с оптоволоконными измерителями деформации льда с контрольной регистрацией прогиба льда геодезическим методом и попутными определениями физико-механических характеристик льда в условиях реальной грузовой операции в одном из пунктов арктического побережья.

#### **ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА ЛЬДУ**

Опыт работ коллектива авторов по обеспечению выгрузки судов на лед показывает, что в течение последнего десятка лет с расширением этого направления имеет место тенденция снижения компетенции подразделений береговой механизации грузополучателей в части выполнения инженерно-технических работ на льду (особенно на морском). Все чаще к таким работам приходится подключаться гидрологам, которые по роду своей деятельности обладают наиболее полным представлением о возможностях нагружения льда в процессе работ и ограничениях, связанных с безопасностью на льду. Береговая механизация при этом ограничивается

предоставлением техники в распоряжение гидрологов. Объективно эта тенденция обусловлена разрушением структуры заказа, организации и распределения работ по морским припайным операциям между ведомствами, существовавшей в СССР (ее описание можно найти в Методических рекомендациях [3]) и естественным уходом руководителей механизации, имевших опыт работ того времени. В текущих условиях гидрологам необходимо иметь представление об особенностях выполнения инженерно-технических мероприятий в составе ледотехнических работ.

Не вдаваясь в детали предварительного планирования или проектирования для различных задач, обозначим общие подходы к выполнению инженерно-технических работ и методы их реализации. Общая схема организации и проведения инженерно-технических работ на ледяном покрове природных водоемов предусматривает следующие мероприятия:

- подготовка снежно-ледяной поверхности;
- укрепление или наращивание льда;
- поддержание и обслуживание ледяных объектов и инфраструктуры.

Подготовка снежно-ледяной поверхности осуществляется путем полной расчистки льда от снега и торосов либо уплотнением снежного покрова. Выбор способа обработки снежно-ледяной поверхности определяется мероприятиями последующего усиления льда и условиями эксплуатации ледяного объекта.

Полная расчистка льда от снега и торосов необходима в тех случаях, когда по льду предполагается движение колесного транспорта. Также полная расчистка требуется при искусственном намораживании льда сверху. Опыт эксплуатации ледовых дорог показывает, что пренебрежение требованием полной расчистки льда может привести к застреванию техники и сбою всей операции, что является критичным в условиях ограниченной несущей способности ледяного покрова.

Размеры расчищаемых участков зависят от решаемой задачи. Площадная расчистка применяется для постановки судов под разгрузку, а также для организации строительных площадок. Строительные площадки расчищаются под размер будущего сооружения плюс 5–10 м с каждой стороны [8]. Размеры площадок под постановку судов для разгрузки на лед должны обеспечивать возможность разгрузки каждого трюма, ширина площадки от борта судна до края площадки должна обеспечивать возможность свободного маневрирования транспорта в процессе подъезда под загрузку и отъезда груженой техники от борта. Длина расчищаемой площадки определяется на основании размеров судна, планируемого для постановки в припай. При разгрузке судна с обоих бортов необходимо предусмотреть расчищенный участок впереди по носу судна для подъезда-отъезда техники к каждому борту. Если планируется принимать на площадку более одного судна в течение ледовой навигации, следует предусмотреть возможность продвижения места стоянки каждого последующего судна вперед по площадке с учетом всех вышеперечисленных требований.

Размеры расчищаемых линейных объектов — ВПП и ледовых дорог — определяются на основании следующих положений. Ширина и длина ВПП должны быть не меньше значений, установленных для каждого типа воздушного судна, осуществляющего посадки на дрейфующие льды. Размеры полос определялись руководствами по эксплуатации аэродромов гражданской авиации. В разные годы это были Наставления по аэродромной службе в гражданской авиации СССР (последняя редакция — НАС ГА-86 [12]), затем сменившее их Руководство по эксплуатации

гражданских аэродромов РЭГА РФ-94 [14]. В настоящее время действующим документом являются Федеральные авиационные правила «Требования, предъявляемые к аэродромам, предназначенным для взлета, посадки, руления и стоянки гражданских воздушных судов» [15]. Примечательно, что с переходом от НАС ГА-86 к РЭГА РФ-94 и далее к Федеральным авиационным правилам подробность проработки требований и указаний к обустройству ледовых аэродромов снижается, а в современных правилах ледовые аэродромы не упоминаются вовсе. Если обратиться к инструкциям прошлых лет, можно встретить четкие указания по размерам ВПП, обустраиваемых на дрейфующих льдах для разных типов воздушных судов, включая вертолеты, а также с учетом использования колесного или лыжного шасси.

Размеры ледовых дорог определяются расстоянием между точками, которые эти дороги соединяют. Для ледовых переправ через реки такими точками являются выезды со льда на противоположные берега. Для ледовых дорог, обустраиваемых при разгрузке судов через припай, длина должна стремиться к значению кратчайшего расстояния между грузовой ледовой площадкой и берегом. При этом длина может увеличиваться при необходимости обходов сложных ледовых участков. Ширина ледовых дорог должна обеспечивать возможность проезда транспорта и разнесения полос встречного движения на расстояние не менее 100 м [10, 13]. Вопрос о том, следует ли расчищать одну широкую ледовую дорогу, на которой можно организовать разнесенное встречное движение, или обустраивать неширокие дороги с односторонним движением, решается ледотехниками в зависимости от имеющихся технических мощностей и сроков, в которые должна быть подготовлена дорога. Узкие дороги требуют меньшего количества техники и сроков расчистки, но сильнее заносятся снегом, что требует постоянных усилий по поддержанию их в расчищенном состоянии.

Первичная расчистка снежно-ледяной поверхности осуществляется гусеничными бульдозерами. На припайном льду эффективно работают средние бульдозеры массой 16–20 т. Они справляются с глубоким снегом и торосами, способны работать на морском льду толщиной от 70 см. На дрейфующих льдах используются легкие бульдозеры (ДТ-75 и аналогичные). При первичной расчистке важно, чтобы снимаемая с поверхности льда снежно-ледяная масса не накапливалась по краям расчищаемого участка, а распределялась как можно более равномерно в стороны от краев (колесная дорожно-строительная техника не способна обеспечивать такую расчистку). Перераспределение снега на ледяном покрове неизбежно вызывает его деформацию из-за нарушения гидростатического равновесия. На расчищенных участках уменьшается сила тяжести при прежней силе плавучести, в то время как пригруженные дополнительным снегом края участка притапливаются под его тяжестью. Это приводит к образованию трещин вдоль границ расчищенного льда. При равномерном распределении снятой снежно-ледяной массы эти трещины быстро «залечиваются» и не доставляют проблем при дальнейшей эксплуатации ледяного объекта. При нагромождении больших снежных отвалов лед под ними проседает настолько, что сквозь образовавшиеся трещины и проломы на поверхность выступает вода. Образуется снежно-водная каша, которая не вымерзает под большими навалами снега даже при сильных морозах. Приближение к таким притапленным границам расчищенного участка может привести к застреванию или даже провалу техники, а дальнейшая их бульдозерная обработка с целью исправления ситуации невозможна. Поэтому крайне важно грамотно спланировать и выполнить первичную расчистку, если ледовый объект предполагается эксплуатировать продолжительное время.

После бульдозерной обработки торосистых участков поверхность льда часто имеет мелкие неровности и осколки льда, каждый из которых может оказаться очагом образования снежного заструга или сугроба даже при слабой поземке. Для окончательной очистки и выравнивания поверхности по дороге прогоняют грейдер или любую другую машину с поворотным отвалом.

Для поддержания дорог и площадок в расчищенном состоянии наиболее эффективны шнекороторные агрегаты с регулируемым направлением выброса снега. Шнекороторная техника быстро очищает лед от снежных заносов, не формируя при этом снежных валов, а распределяя снег равномерно за пределами расчищенных участков. Обычно шнекоротор (при стандартной настройке оборудования) оставляет на льду тонкий слой снега (до 5 см). Такой снег рекомендуется укатывать буксируемой гладилкой (иначе — волокушей) для создания плотной поверхности, защищающей лед от механических воздействий и повышающей его отражательную способность. Чаще всего укатывание тонкого слоя снега используют при подготовке ВПП на дрейфующих льдах и при дорожных работах.

Важной составляющей ледотехнических работ является обработка трещин во льду. Трещины различного происхождения практически всегда присутствуют в ледяном покрове природных водоемов. На припае постоянно присутствуют вдольбереговые приливные трещины, разделяющие примерзшую к берегу часть припая и ту его часть, которая находится на плаву и совершает вертикальные перемещения при изменениях уровня водоема. При сильных перепадах температур образуются термические трещины. Трещины образуются при подвижках льда, под воздействием волн зыби. Разломы полей дрейфующего льда возможны при изменениях направления дрейфа из-за неравномерности скорости дрейфа. Трещины образуются при техногенном воздействии: от работы ледокола, при заколке судна, при частом и сильном нагружении льда и т.п.

Большие трещины шириной несколько метров могут привести к прекращению работ или существенному изменению схемы и графика всей операции. Сравнительно неширокие трещины заделываются или перекрываются настилами. Залечивание трещин в основном применяется на ледовых ВПП и на ледовых переправах общего пользования с высокой интенсивностью движения по причине строгих требований к ровности поверхности. На припайных ледовых дорогах, обустраиваемых для разгрузки судов, чаще используется перекрытие трещин настилами и переездами, особенно в весенний период, когда морозы уже не такие сильные и продолжительные. Большая часть трещин, образующихся в припайных льдах, имеет приливное происхождение. Залечивание таких трещин не имеет смысла, поскольку приливные трещины, являющиеся естественными элементами припая, тут же образуются вновь.

На припайных ледовых дорогах настилами перекрываются все трещины шириной, превышающей 5 см [16]. Необходимость перекрытия более узких трещин определяется специалистами-гидрологами. При перекрытии небольших по ширине трещин необходимо, чтобы перекрытие опиралось на лед по обоим краям трещины не менее, чем на 1 м. Для трещин шириной от 20 см до 1 м настил-перекрытие должен опираться на края трещины не менее, чем на 4 м в каждую из сторон. В качестве основы таких перекрытий используются бревна, толстый брус или стальные трубы. Важно, чтобы элементы основы были цельными по всей длине. Поверх основы сооружается деревянный или металлический настил, по которому будет двигаться

техника. Трещины шириной более метра требуют создания специальных мостовых или понтонных конструкций.

Инструкция по залечиванию трещин на ВПП ледовых аэродромов приведена в НАС ГА-86 [12]. Сухие несквозные трещины с шириной раскрытия по верху заливают подледной водой, выпущенной наверх через пробуренные в трещине отверстия. Сквозные трещины шириной до 30 см заделывают с помощью досок или бревен, которые крепятся проволокой или веревками за вмороженные по краям трещины анкеры. Затем трещина засыпается ледяным щебнем, трамбуется и заливается водой. Трещины шириной до 3 м заделывают ледяными блоками («кабанами»), выпиленными изо льда в стороне от летного поля. Размер блока соответствует ширине трещины. Под трещину, поперек ее направления, заводятся длинные бревна. Затем в трещину опускают ледяные блоки. Поверх трещины и блоков устанавливают еще бревна, также поперек трещины, располагая их над подледными бревнами. Верхние и нижние бревна стягиваются тросом. Оставшиеся зазоры забивают ледяным щебнем и снегом и заливают водой. После смерзания всей конструкции верхние бревна снимаются.

### **ИСКУССТВЕННОЕ УСИЛЕНИЕ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА**

Для повышения несущей способности ледяного покрова используют намораживание и армирование льда. Простейший способ намораживания — ускорение естественного нарастания льда снизу за счет расчистки ледяного покрова от снега. Наросший снизу лед достаточно прочен. Такой метод чаще всего используется при морских грузовых операциях на припае, когда площадки и ледовые дороги готовятся заблаговременно, до прихода судов. Метод требует продолжительного времени: за месяц расчищенный лед прирастает на 10–20 см, в зависимости от температуры воздуха и притока тепла из воды (на приглубых побережьях).

Для более интенсивного наращивания льда используется послойное намораживание сверху. Данный метод также требует предварительной полной очистки ледяной поверхности от снега. Намораживание осуществляется участками — картами намораживания. По краям карты намораживания устраивается опалубка из досок или в виде снежных валиков, предварительно подмороженных водой. Намораживание осуществляется наливом слоев воды толщиной от нескольких миллиметров до 10 см с продолжительными перерывами, необходимыми для замерзания воды и охлаждения образовавшегося слоя льда. При использовании соленой морской воды рекомендуется применять тонкослойное намораживание (толщина слоя около 1,5 мм) с созданием небольшого наклона намораживаемой поверхности, который обеспечивает сток рассола в процессе замерзания воды. Более подробные инструкции по послойному намораживанию приведены в РД 31.31.52-89 [8]. При температуре воздуха ниже  $-15^{\circ}\text{C}$  метод послойного намораживания позволяет получить прирост льда до 10 см/сут. Следует учитывать, что прочность намороженного сверху льда существенно ниже прочности льда естественного нарастания (до двух раз).

Свои особенности имеет процесс намораживания льда для строительства ледяных островов. В РД 31.31.52-89 для строительства ледяных объектов рассмотрены несколько методов: послойное намораживание, блочное строительство, дождевание, объемное намораживание. Зарубежный опыт создания искусственных ледяных островов показывает, что наилучший эффект дает намораживание льда методом дождевания — распыление воды факелом на большую высоту, в процессе которого

отдельные капли воды частично замерзают в воздухе. Капли в ледяной оболочке, падая на твердую поверхность, разрушаются, освобождая находящуюся внутри жидкую фазу. В результате формируется фирновый массив из осколков ледяных оболочек и прослоек жидкой фазы. Дальнейшее смерзание массива определяется температурой и степенью минерализации образовавшегося брызгового льда. Данный метод имеет большое преимущество перед остальными в скорости создания больших масс намороженного льда и принят в качестве основного метода создания искусственных ледяных островов в международном стандарте ISO 19906 (в России пока не принят и находится в стадии первой редакции проекта документа). Факельное распыление эффективно при низких температурах воздуха и слабом ветре [17].

### **АРМИРОВАНИЕ ЛЬДА И СОЗДАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЛЕДЯНОЙ МАТРИЦЕЙ**

Армирование льда применяется вместе с намораживанием сверху для повышения грузоподъемности ледяного покрова. Простейшее армирование производится ледяным щебнем, распределенным по поверхности льда и заливаемым водой. Это дает двойной эффект — ускорения замерзания нового слоя и повышения прочности намороженного льда.

Наставление [12] предлагает армировать тонкий ледяной покров хворостом, стальной проволокой или тросом. Арматура выкладывается на поверхности льда в виде сетки и заливается водой.

Для организации переправы тяжелой техники через р. Ангару использовалась арматура из двух слоев досок, замороженных в пористый фирновый лед, с последующим послойным намораживанием более плотного и прочного льда [18].

Большие перспективы имеет направление создания ледяных композитных материалов (ЛКМ) и их применения для усиления прочности ледяного покрова. Эксперименты с ЛКМ проводятся достаточно давно как у нас в стране, так и за рубежом [19]. Еще в середине XX в. при строительстве в холодных регионах начали применять различные виды льдобетона — льда с добавлением песка или гравия. В ледовой лаборатории ААНИИ проводились эксперименты с определением механических характеристик льдопласта — льда с добавлением различного количества древесных волокон. Было определено оптимальное количество добавляемых к замораживаемой воде волокон (5–7 %) для повышения прочности композита в несколько раз по сравнению с чистым льдом. Также отмечено уменьшение деформации и ползучести льдопласта по сравнению с чистым льдом.

Изучение свойств ЛКМ с различными добавками (стекловолокно, песок, глина, монтмориллонит, воднорастворимые полимеры и др.) было достаточно популярным направлением ледотехники в прошлом веке, продолжается и в наши дни. Хорошие результаты показывают лабораторные эксперименты с образцами пресноводного льда, армированными полимерными волокнами [20]. Сравнительные испытания на изгиб армированных и обычных образцов показали, что хотя повышения прочности ледяной матрицы не происходит — образец растрескивается при тех же нагрузках, как и обычный ледяной образец, — тем не менее армированные образцы не разрушались полностью даже при двукратном повышении нагрузки благодаря полимерным волокнам. Внедрение полимерных ЛКМ в практику строительства ледовых дорог позволит более безопасно и уверенно перемещать по льду грузы на пределе прочности ледяного покрова.

Следует учитывать, что льдокомпози́ты повышенной прочности на ледяном покрове природных водоемов применяются не сами по себе, но должны намораживаться на подложку природного льда. Для успешного их применения необходимо решить по меньшей мере три проблемы. Первая проблема заключается в часто наблюдаемом расслоении базового и намороженного слоев льда, обнаруженная при создании моделируемого льда с заданными свойствами в ледовых бассейнах [21]. Вторая проблема также проявилась при искусственном намораживании льда поверх льда естественного намерзания: в весенний период в природном льде под слоем искусственной наморозки быстрее развиваются деструктивные процессы внутреннего таяния по сравнению с окружающим льдом, не затронутым намораживанием, что значительно ослабляет ледяной объект (Сабетта, 2013 г., о. Земля Александры, 2016 г.). Третья проблема возникает при использовании ЛКМ с органическими добавками: необходимо разрабатывать методы быстрой и эффективной уборки намороженного композита с поверхности естественного ледяного покрова после завершения операции до начала таяния, поскольку скопления органического материала на поверхности или в толще воды после таяния ледяного покрова могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Вышеуказанные проблемы нуждаются в проработке параллельно с развитием технологий искусственного упрочнения льда.

### **ИСКУССТВЕННОЕ ОСЛАБЛЕНИЕ ЛЬДА**

При подготовке ледяного покрова к транспортным операциям приходится решать задачи не только наращивания и укрепления льда, но и его ослабления. Хорошо известен и распространен метод ускорения таяния льда путем снижения альbedo снежно-ледяной поверхности искусственным зачернением участков ледяного покрова. Приведем пример более сложного выборочного ослабления льда в зимний период ради сохранения прочности ледовых грузовых площадок при заколке судов в припай, разработанный и внедренный в практику совсем недавно. При разгрузке судов на припайный лед возникает дилемма: толстый и прочный лед необходим для безопасной выгрузки тяжелых грузов на лед, но, в то же время такой лед затрудняет заколку судна на грузовую ледовую площадку. При толщине льда более 1 м большинство грузовых судов не может самостоятельно заколоться на всю длину корпуса с одной попытки. Обычно в таких случаях приходилось выполнять повторные заделки (потери времени и большая вероятность разрушения льда у борта) или разгружаться в более широком канале ледокола (невозможно разгружаться одновременно с обоих бортов). В последние годы при обустройстве грузовых ледовых площадок начали практиковать пропиливание льда под корпус судна. Первый такой эксперимент был успешно проведен в Обской губе в 2013 г. (Сабетта), затем пропиливание выполнялось и в других пунктах Арктического побережья. Для заделки судна на месте его будущей стоянки заранее готовится система из 3 или 5 пропилов. Центральный пропил делается по оси судна, крайние пропилы — по бортам с учетом ширины судна плюс толщина льда. Для лучшей заделки иногда делаются дополнительные пропилы между центральным и бортовыми. Пропилы делаются баровой пилой на 2/3 толщины льда, чтобы избежать выхода подледной воды и смерзания пропила. Использование пропилов требует высокой точности от работы ледокола по прокладке канала к площадке. Для этого на льду устанавливаются хорошо заметные ориентиры в створе центрального пропила (ночью используются огни). Канал должен быть прямым, чтобы судно при разгоне не сбрасывало на края



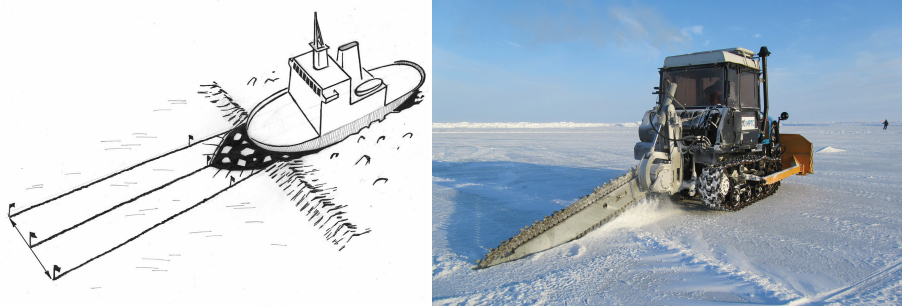


Рис. 3. Подготовка пропилов для заковки судна на грузовую площадку: общая схема расположения пропилов и подхода ледокола (слева); пропиливание льда (справа)

Fig. 3. Preparation of notches for berthing the vessel at the deployment site: the general scheme of notches and approaching of an icebreaker (left); preparation of the notches in the ice cover (right)

канала. При хорошей видимости и грамотно установленных ориентирах ледокол подходит штевнем к мористой оконечности центрального пропила с точностью до 1 м (рис. 3).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленной статье выполнен обзор текущего состояния различных мероприятий и операций с использованием ледяного покрова водоемов в качестве несущих, рабочих и строительных площадок. В обзоре использованы литературные источники, в том числе нормативные документы, регламентирующие работы на льду, а также обобщен практический опыт работ авторского коллектива в различных районах Арктики и Антарктиды (Баренцево, Печорское, Карское моря, Обско-Тазовский и Енисейский районы, море Росса, архипелаг Земля Франца-Иосифа, о. Котельный Новосибирских островов, о. Врангеля и др.).

В настоящее время развитие ледовых технологий в Российской Арктике находится на подъеме, что обусловлено сочетанием государственных и бизнес-запросов на освоение Арктического региона и большей его доступностью в условиях наблюдающихся климатических изменений. Особенно показателен рост количества операций по разгрузке морских судов на припайный лед: если до 2013 г. в ледовую навигацию выгрузка на припай осуществлялась в 1–2 пунктах, то начиная с 2014 г. грузы ежегодно доставляются таким способом в 3–7 пунктов арктического побережья. Активное развитие данного направления делает его наиболее перспективным для разработки и внедрения новых технологий практической ледотехники. Несколько снизилась актуальность организации взлетно-посадочных полос на дрейфующих льдах, но это скорее связано не с уменьшением интенсивности полетов, а с восстановлением и строительством аэродромов на арктических островах и планируемом изменении формата организации научных дрейфующих станций (переход от базирования на ледяных полях к использованию специального судна-платформы, дрейфующего во льдах [22]). Освоение морских месторождений углеводородов на арктическом шельфе неизбежно продвинет практику строительства искусственных ледяных островов для разведочного бурения в отечественной ледотехнике.

В условиях наблюдаемого расширения хозяйственной деятельности в Арктической зоне приходится констатировать, что техническое оснащение

ледотехнических работ мало изменилось со второй половины прошлого века. В отличие от ледовых спортивных объектов, где широко применяются специальные машины для подготовки и обслуживания льда, в Арктике все работы выполняются при помощи обычной дорожно-строительной техники. Практически отсутствуют разработки спецтехники для обработки ледяного покрова природных водоемов, безопасной и уверенной расчистки торосов, заделки трещин, намораживания льда.

Необходимо развитие и внедрение в практику технологий создания прочных и экологичных ЛКМ для повышения прочности льда. В частности, в рамках проекта РНФ № 18-13-00392 (2018–2020 гг.) планируется расширение экспериментов с ЛКМ, выполняемых в лабораториях, на натурные условия припайного льда при обеспечении разгрузки судов и транспортировки грузов по льду.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках темы ЦНТП 1.5.4.4. Разработка методов прогнозирования и обеспечения эффективности морских транспортных операций в арктических морях России и Антарктике и при финансовой поддержке РНФ (проект № 18-13-00392).

**Acknowledgments.** The study was performed in the framework of the Roshydromet Targeted Scientific and Technical Program, (TSTP, project 1.5.4.4.) and with the financial support of RSF (project № 18-13-00392).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чилингаров А.Н. Научно-оперативное гидрометеорологическое обеспечение зимне-весенних плаваний к п-ву Ямал. ВДНХ СССР. Павильон «Гидрометслужба СССР». Гидрометеоздат, 1979. 12 с.
2. Лоща западной части Карского моря (от островов Новая Земля и острова Вайгач до меридиана мыса Северо-Восточный, за исключением Обь-Енисейского района). МО СССР. Главное управление навигации и океанографии, 1992. 224 с.
3. Рекомендации по проведению грузовых операций в припайных льдах Арктики: Методические рекомендации. М.: В/О «Мортехинформреклама», 1986. 40 с.
4. Кубышкин Н.В., Гудошников Ю.П. Актуализация технологий перевалки грузов через припай // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 3 (105). С. 90–98.
5. Чилингаров А.Н. Методика определения эффективности зимних плаваний судов // Тр. ААНИИ. 1981. Т. 376. С. 129–133.
6. СП58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003. М., 2012. 34 с.
7. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. М., 2012. 112 с.

## REFERENCES

1. Chilingarov A.N. Nauchno-operativnoe gidrometeorologicheskoe obespechenie zimne-vesennikh plavanii k p-vu Yamal. VDNKh SSSR. Pavil'on "Gidrometsluzhba SSSR". Scientific and operative hydrometeorological support of winter-spring navigation to Yamal peninsula. The Exhibition of Achievements of National Economy of USSR. Exhibition hall "Hydrometeorological Service of USSR". Gidrometeoizdat, 1979: 12 p. [In Russian].
2. Lotsiaa zapadnoi chasti Karskogo moria (ot ostrovov Novaia Zemlia i ostrova Vaigach do meridiana mysa Severo-Vostochnyi, za isklucheniem Ob'-Eniseiskogo raiona). Sailing directions for the Western part of the Kara Sea (from Novaya Zemlya isles and Vaigatch isle to the meridian of North-Eastern Cape, with the exception of Ob-Enisey region). USSR Ministry of Defense, Main Administration of Navigation and Cartography, 1992: 224 p. [In Russian].
3. Rekomendatsii po provedeniiu gruzovykh operatsii v pripainykh l'dakh Arktiki: Metodicheskie rekomendatsii. Recommendations for executing the cargo operations on the fast ice of the Arctic: methodological recommendations. Moscow: "Mortechinformreklama", 1986: 40 p. [In Russian].
4. Kubyshekin N.V., Gudoshnikov Yu.P. Actualization of the technologies of cargo transshipment across fast ice. Problemy Arktiki i Antarktiki. Problems of Arctic and Antarctic. 2015, 3 (105): 90–98 [In Russian].

8. РД 31.31.52-89. Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации ледяных причальных сооружений. Л., 1989. 52 с.
9. Ice Island Study. Final Report. Prepared by C-CORE. Report No. R-05-014-241 v1.0, August 2005. 158 p.
10. РД 31.41.21-90. Сборник рабочих технологических документов на производство погрузо-разгрузочных работ, выполняемых при разгрузке судов в пунктах беспричалной обработки через лед берегового припая. М., 1990. 188 с.
11. Правила по технике безопасности при производстве наблюдений и работ на сети Госкомгидромета. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 220 с.
12. НАС ГА-86. Наставление по аэродромной службе в гражданской авиации СССР. М.: Воздушный транспорт, 1987. 290 с.
13. ОДН 218.010-98. Инструкция по проектированию, строительству и эксплуатации ледовых переправ. Отраслевые дорожные нормы. М., 1998. 50 с.
14. РЭГА РФ-94. Руководство по эксплуатации гражданских аэродромов Российской Федерации. М.: Воздушный транспорт, 1996. 292 с.
15. Федеральные авиационные правила «Требования, предъявляемые к аэродромам, предназначенным для взлета, посадки, руления и стоянки гражданских воздушных судов». М., 2015. 84 с.
16. *Песчанский И.С.* Ледоведение и ледотехника. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1967. 462 с.
17. *Сосновский А.В.* Закономерности формирования и использования искусственных фирново-ледяных массивов. Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2010. 41 с.
18. *Корчиц К.В., Новикова Л.Г., Кочеров В.Н.* Армированная ледовая переправа для сверхтяжелых автосамосвалов БЕЛАЗ-540 через р. Ангару в районе строительства Богучанской ГЭС // Ледотермические проблемы в северном гидротехническом строительстве и вопросы продления навигации «ЛЕД 87»: Материалы XI Всесоюзного научно-технического совещания (Архангельск, 25–27 июня 1987 г.). Л., 1989. С. 168–170.
19. *Песчанский И.С., Швайштейн З.И., Каган Г.Л., Назинцев Ю.Л.* Механические свойства упрочненного льда // Проблемы Арктики и Антарктики. 1964. № 16. С. 45–53.
20. *Черепанин Р.Н., Нужный Г.А., Разомасов Н.А., Гончарова Г.Ю., Бузник В.М.* Физико-механические свойства ледяных композиционных материалов, армированных волокнами Русар-С // Материаловедение. 2017. № 7. С. 38–44.
5. *Chilingarov A.N.* Methodology for determination of winter navigation in the ice cover. *Trudy AANI. Proc. AARI.* 1981, 376: 129–133. [In Russian].
6. *SP 58.13330.2012. Gidrotekhnicheskie sooruzheniia. Osnovnye polozeniia. Aktualizirovannaia redaktsiia SNIp 33-01-2003.* SP 58.13330.2012. Hydrotechnical structures. Main provisions. Updated release of SNIp 33-01-2003. Moscow, 2012: 34 p. [In Russian].
7. *SP 47.13330.2012. Inzhenernye izyskaniia dlia stroitel'stva. Osnovnye polozeniia. Aktualizirovannaia redaktsiia SNIp 11-02-96.* SP 47.13330.2012. Engineering surveys for the purposes of building. Main provisions. Updated release of SNIp 11-02-96. Moscow, 2012: 112 p. [In Russian].
8. *RD 31.31.52-89. Rekomendatsii po proektirovaniu, stroitel'stvu i ekspluatatsii ledianykh prichal'nykh sooruzhenii.* RD 31.31.52-89. Recommendations for design, construction and maintenance of berthing facilities made of ice. Leningrad: 1989: 52 p. [In Russian].
9. Ice Island Study. Final Report. Prepared by C-CORE. Report No. R-05-014-241 v1.0, August 2005: 158 p.
10. *RD 31.41.21-90. Sbornik rabochikh tekhnologicheskikh dokumentov na proizvodstvo pogruzo-razgruzochnykh rabot, vypolniaemykh pri razgruzke sudov v punktakh besprichal'noi obrabotki cherez led beregovogo pripaya.* RD 31.41.21-90. Digest of technological documentation for providing loading and unloading operations on the fast ice executed in areas without berthing facilities. Moscow, 1990: 188 p. [In Russian].
11. *Pravila po tekhnike bezopasnosti pri proizvodstve nabludenii i rabot na seti Goskomgidrometa.* Safety rules for performing the observations and work on the hydrometeorological stations of the network of GOSKOMGYDROMET. Leningrad: Gydrometeoizdat, 1983: 220 p. [In Russian].
12. *NAS GA-86. Nastavlenie po aerodromnoi sluzhbe v grazhdanskoi aviatsii SSSR.* NAS GA-86. Instructions for the airfield service in the civil aviation of USSR. Moscow: Air Transport, 1987: 290 p. [In Russian].
13. *ODN 218.010-98. Instruksiiia po proektirovaniu, stroitel'stvu i ekspluatatsii ledovykh pereprav. Otrasleyve dorozhnye normy.* ODN 218.010-98. Instruction for design, construction and maintenance of the crossings on the ice cover. Industrial specifications for construction of the roads. Moscow, 1998: 50 p. [In Russian].
14. *REGA RF-94. Rukovodstvo po ekspluatatsii grazhdanskikh aerodromov Rossiiskoi Federatsii.* REGA RF-94. Instructions for maintenance of civil airfields of Russian Federation. Moscow: Air Transport, 1996: 292 p. [In Russian].

21. Черепанов Н.В. Расслоение полей лабораторного льда при его искусственном намораживании в бассейне // Тр. ААНИИ. 1983. Т. 379. С. 111–115.
22. Корнилов Н.А., Кессель С.А., Лукин В.В., Меркулов А.А., Соколов В.Т. История организации и проведения исследований с дрейфующих льдов. СПб.: ААНИИ, 2017. 754 с.
15. *Federal'nye aviatsionnye pravila "Trebovaniia, pred"iavliaemye k aerodromam, prednaznachennym dlia vzleta, posadki, ruleniiia i stoiianki grazhdanskikh vozdushnykh sudov"*. Federal aviation rules "Requirements for airfields intended for plane takeoff, landing, taxiing and parking of the civil airplanes". Moscow, 2015: 84 p. [In Russian].
16. *Peschansky I.S. Ledovedenie i ledotekhnika*. Ice technology and ice engineering. Leningrad, Hydrometeorological Publishing House, 1967: 462 p. [In Russian].
17. *Sosnovsky A.V. Zakonomernosti formirovaniia i ispol'zovaniia iskusstvennykh firново-lediannykh massivov*. Regularities of formation and use of artificial firm-ice massifs. Synopsis of thesis for the Doctor's degree in Geography, Moscow, 2010: 41 p. [In Russian].
18. *Korchitz K.V., Novikova L.G., Kotcherov V.N.* Reinforced ice crossing for the ultra-heavy tip tracks BELAZ-540 across the Angara river in the area of construction of Boguchanskaya water-power plant. *Ledotermicheskie problem v severnom gidrotekhnicheskom stroitelstve I voprosy prodleniya navigazii "LED 87"*. The problems of ice thermic in hydrotechnical construction in the North and question of navigation prolongation "ICE 87": Materials of XI All-Union scientific-technical conference (Arkhangel'sk, 25–27 July 1987). Leningrad, 1989: 168–170. [In Russian].
19. *Peschansky I.S., Shwanshtein Z.I., Kagan G.L., Nazinzev Yu.L.* Mechanical properties of the reinforced ice. *Problemy Arktiki I Antarktiki*, Problems of Arctic and Antarctic, 1964, 16: 45–53. [In Russian].
20. *Cherepanin R.N., Nuzhnyi G.A., Razomasov N.A., Goncharova G.Yu., Buznik V.M.* Physical and mechanical properties of the ice compositional materials reinforced with the fibers RUSAR-C. *Materialovedenie*. Inorganic Materials: Applied Research. 2017, 7: 38–44. [In Russian].
21. *Cherepanov N.V.* Stratification of floes of artificial ice during the process of it's freezing in the tank. *Trudy AANII*. Proc. AARI, 1983, 379: 111–115. [In Russian].
22. *Kornilov N.A., Kessel S.A., Lukin V.V., Merkulov A.A., Sokolov V.T.* *Istoriia organizatsii i provedeniia issledovaniia s dreifuishchikh l'dov*. History of organization and performing of the scientific studies on the drifting ice cover. St. Petersburg: AARI, 2017: 754 p. [In Russian].