627
И-204

Л. В. ИВАНОВ

ЗИМНЯЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

001153362

МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1978

БИБЛИОТЕКА
Новосибирского института
инженеров водного транспорта

УДК 656.6 «324»

Зимняя эксплуатация объектов водного транспорта. Иванов Л. В. М., «Транспорт», 1978. 212 с.

В книге впервые систематизированы материалы натурных наблюдений зимних условий эксплуатации основных прибрежных объектов водного транспорта: акваторий портов и судоремонтных заводов, шлюзов, причальных и судоподъемных сооружений; рассмотрено влияние природных явлений на эксплуатационные показатели этих объектов. В книге описаны современные средства, предназначенные для создания и поддержания незамерзающих акваторий, задержания и направленного перемещения битого льда, ликвидации обледенения элементов сооружений, создания микроклимата; показана физическая сущность методов преодоления вредного влияния климатических факторов на эксплуатацию объектов, работающих в условиях круглогодичной или продленной навигации; изложен опыт исследования, разработки и осуществления комплексных мероприятий, обеспечивающих зимнюю эксплуатацию сооружений.

Книга предназначена для эксплуатационников речного, морского и рыбопромыслового флота и представляет интерес для инженеров-гидротехников, судоремонтников и т. д. Книга может быть полезной для научных работников, проектантов, конструкторов, аспирантов и студентов, занимающихся проблемой интенсификации работы флота, портов и судоремонтных заводов в условиях продленной и круглогодичной навигации.

Ил. 100, табл. 3, список лит. 69 назв.

И $\frac{31807\text{-}273}{049\ (01)\text{-}78}$ 273-78

© Издательство «Транспорт», 1978.

ОТ АВТОРА

«Основными направлениями развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы» предусмотрено «осуществить меры по продлению навигации на внутренних водных путях» [1]. Создание и внедрение эффективных технических средств, способных увеличить сроки навигации в период ледостава, резко сократить непроизводительные затраты времени на обработку судов в портах и докование судов при неблагоприятных климатических условиях, являются резервом повышения провозоспособности флота.

В научных трудах и учебных пособиях по эксплуатации, организации и экономике водного транспорта недостаточно исследованы и освещены вопросы влияния и учета климатических факторов на технико-эксплуатационные показатели работы различных объектов водного транспорта. В предшествующих трудах было обращено внимание на исследование и разработку активных методов борьбы с ледовыми затруднениями.

За прошедшие 10 лет прогресс в области активных методов борьбы со льдом освещался только в отечественных и зарубежных журнальных статьях, трудах научных конференций, симпозиумов и конгрессов. Ледотехника в нашей стране и за рубежом за этот период обогатилась новыми исследованиями, разработками и практическим опытом. Появились новые проблемы, связанные с развитием морских железнодорожных паромных переправ, круглогодичной эксплуатацией судоподъемных сооружений, развитием портов в устьевых районах сибирских рек и освоением шельфа замерзающих морей. Были созданы новые способы борьбы с различными видами ледовых затруднений и устройства для их осуществления, сведения о которых в большинстве случаев могут быть получены только из материалов патентной информации.

Однако в технической литературе недостаточно освещены вопросы создания микроклимата при работе на открытых производственных площадках, в том числе средства защиты от ветра, низких температур, атмосферных осадков, которые, как и ледовые затруд-

[1] Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы. М., Политиздат, 1976, с. 60.

нения, снижают производительность труда, ведут к непроизводительным простоям флота и берегового оборудования.

В данной книге сделана первая попытка изложить в обобщенном виде современные и перспективные методы и средства, предназначенные для уменьшения или полной ликвидации вредного влияния неблагоприятных климатических факторов на эксплуатационную деятельность различных типов прибрежных объектов водного транспорта.

Исходными материалами при написании книги послужили работы автора по изучению, разработке и внедрению ледо- и ветрозащитных средств на предприятиях водного транспорта, расположенных в различных климатических районах страны. Значительная часть результатов этих работ была опубликована в докладах на Международном симпозиуме по льду (Исландия, Рейкьявик, 1970 г.), на Международном конгрессе по судоходству (Канада, Оттава, 1973 г.) и в отечественной периодической литературе.

В книге приведен также обобщенный анализ сведений, опубликованных в последние годы в отечественных и иностранных периодических изданиях, отчетах и сборниках докладов на тематических конференциях. Учитывая производственную направленность и назначение книги, основное внимание обращено на описание конструкций устройств, результаты их использования в различных условиях и на рекомендации по их совершенствованию и внедрению.

Книга не претендует на полноту изложения всех аспектов зимней эксплуатации водного транспорта. В тех случаях, когда тот или иной вопрос достаточно полно изложен в соответствующем труде, доступном для ознакомления широкому кругу специалистов, в книге приводятся ссылки на первоисточники. В книге даны минимальные сведения о физических процессах ледообразования. Исключением является краткое изложение поведения вод различной солености в период ледостава, что необходимо для правильного выбора и применения тех или иных средств создания незамерзающих участков акваторий в специфических условиях морских, пресноводных и распресненных водоемов.

Касаясь новых методов и важных проблем, степень разработки которых еще недостаточно глубока, в книге сосредоточено внимание на необходимости изучения и совершенствования этих средств. К таким перспективным методам следует отнести применение лазеров и электрогидравлического эффекта для образования подледных взрывов с целью разрушения ледяного покрова и повышения ледопроходимости судов, использование геотермальных вод для создания незамерзающих гаваней и каналов во льду, применение волногенераторов для предотвращения ледообразования, разработку методики долгосрочного прогнозирования изменения естественного ледового и ветрового режимов при воднотранспортном освоении новых объектов и др.

Большое внимание в книге уделено аналитическому обзору изобретений по описаниям к советским авторским свидетельствам

и к иностранным патентам. Результаты систематизированного патентного поиска приведены в приложениях с соответствующими ссылками по тексту на авторские свидетельства и патенты. В отличие от общепринятых ссылок на литературу, ссылки на описания изобретений к авторским свидетельствам (приложение I) и патентам (приложение II) содержат указание на номер приложения и порядковый номер описания изобретения в данном приложении. Приведенный анализ изобретений позволяет не только составить представление о достигнутом в настоящее время уровне техники, но и проследить тенденции ее развития, а также сделать выводы о наиболее перспективных ее направлениях.

Основным назначением книги является ознакомление широкого круга специалистов водного транспорта, в первую очередь — эксплуатационников, с новейшими достижениями в области продления навигации и обеспечения нормальных условий эксплуатации объектов водного транспорта при неблагоприятных и суровых климатических условиях.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

§ 1. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОХОДНЫХ КАНАЛОВ, ШЛЮЗОВ И ПОРТОВ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Водный транспорт по объему перевозок является одним из важнейших видов транспорта в нашей стране. Однако бóльшая часть территории нашей страны расположена в зоне с длительным периодом отрицательных температур воздуха, что препятствует развитию и эксплуатации водного транспорта в течение значительного времени года.

Достаточно сказать, что реки европейской части СССР используются для судоходства лишь в течение 185—200 сут, а сибирские реки — еще меньше. В период с ноября по июль вдоль побережья арктических морей наблюдается широкая полоса прочного ледяного припая, за которой в это время дрейфует преимущественно сплоченный лед различного возраста, размеров и формы, что приводит к прекращению навигации. После взлома припая движению судов препятствует сплоченный дрейфующий лед.

На акваториях портов и судоремонтных заводов как сплошной ледяной покров, так и взломанный лед создают препятствия для нормальной эксплуатации объектов водного транспорта: прекращаются или сильно затрудняются навигация и судоподъемные операции, резко возрастают простои судов, доков и портового оборудования.

Сезонность работы морского и речного транспорта, обусловленная наличием льда на водных путях страны, существенно затрудняет выполнение задач, стоящих перед водным транспортом, по обслуживанию народного хозяйства страны.

В связи с развитием народного хозяйства в северных районах страны требуется расширение в арктических портах фронта причалов и оснащения их средствами механизации с достаточно высокой производительностью. Однако сезонность навигации, обусловленная ледовыми условиями, и пачкообразность подачи судов в порты приводят к значительным простоям судов и высокопроизводительного портового оборудования, что вызывает большие экономические потери, связанные с вынужденным низким уровнем использования основных фондов водного транспорта. Поэтому ставится задача осуществить меры по продлению навигации на внутренних

водных путях, по Северному морскому пути и в замерзающих портах, а также коренным образом улучшить организацию движения флота и работы портов в северных районах страны.

Кроме ледовой обстановки на эксплуатационные показатели работы портов и судоремонтных предприятий оказывают отрицательное влияние климатические элементы: температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра, количество и вид выпадающих осадков, туманы, метели и пр. При неблагоприятной погоде снижается производительность труда и пропускная способность портов и судоподъемных средств, возрастает стояночное время судов в портах и доках.

Резервом повышения провозоспособности и снижения себестоимости перевозок водного транспорта является создание и внедрение эффективных технических средств, способных устранением или уменьшением влияния климатических факторов резко сократить непроизводительные потери времени при ремонте и обработке судов в портах.

Водный транспорт несет огромный материальный ущерб, обусловленный ледовыми и метеорологическими явлениями. Однако разработке технических мероприятий, обеспечивающих повышение эффективности работы флота, судоподъемных и причальных сооружений в замерзающих портах, уделяется пока мало внимания.

Продленная или круглогодичная навигация на акваториях замерзающих портов осуществляется при периодическом взломе ледяного покрова ледоколами, буксирами или транспортными судами. Распространенной операцией является околка буксирами припая вдоль причальных стенок при подготовке места для постановки судов к причалам.

Большинство портов, особенно морских, располагается в бухтах, заливах или гаванях, где их акватории в какой-то степени изолированы от основного бассейна естественным рельефом суши или искусственными ограждающими сооружениями (молами, дамбами, пирсами и т. п.). На защищенных акваториях портов ледяной покров значительно раньше образуется и сохраняется более продолжительное время, чем на основном водоеме, он меньше подвержен взломам и выносному дрейфу даже в тех случаях, когда прилегающий к порту водоем по тем или иным причинам очищается от льда. Поэтому в большинстве случаев ледовая обстановка на акваториях портов отличается более тяжелыми условиями, чем на трассе, как для передвижения судов, так и особенно при их швартовке к причалам.

Если основной тенденцией по преодолению ледовых затруднений на судоходных трассах, является все увеличивающаяся мощность судовых силовых установок, то это мероприятие не может автоматически переноситься на обеспечение зимней эксплуатации портов и их сооружений, так как увеличение мощности портовых ледоколов связано с увеличением их габаритов, особенно осадки, что лимитирует их применение на ограниченных акваториях пор-

тов и, главное, связано с повышением их разрушающего воздействия на портовые гидротехнические сооружения.

На акваториях портов и судоремонтных заводов с интенсивным судоходством в зимний период ледяной покров поддерживается во взломанном состоянии. В этих условиях при отрицательных температурах наружного воздуха толщина льда за счет смерзающихся наслоений, подсовов и торосов быстро увеличивается и в некоторых случаях в 2—3 раза превышает естественную толщину прочного ледяного покрова. Наибольшей толщины достигает лед в районе причальных сооружений, где образуются многослойные его подсовы и уплотнения при подходе и швартовке судов, Так, у морских причалов Дудинского порта образуется ледяная подушка, достигающая к концу навигации по высоте 4 м и более и выступающая в сторону акватории на 3—6 м. Спрессованные куски льда, шуга и отдельные льдины, образующие подушку, смерзаются между собой и примерзают к металлическому шпунту причальной стенки. В некоторых местах ледяная подушка достигает ложа водоема. Корпус судна, переохлажденный в период открытия трюмов при погрузочно-разгрузочных операциях, обледеневает, прочно примерзает одним бортом к подушке и в процессе погрузки не изменяет осадку. При дальнейшей погрузке ледяная перемычка, соединяющая корпус судна с подушкой, внезапно разрушается, судно получает значительный крен, что может привести к крупной аварии судна, причала и кранового оборудования. Подобные явления наблюдаются и в других портах с замерзающей акваторией на всех бассейнах страны.

Швартовка судна в ледовых условиях является сложной и ответственной операцией. Обычно перед подходом судна портовый буксир подготавливает причал для швартовки [34]. Подготовка заключается в околке прочного припая, взломе смерзшихся льдин и их измельчении по всей длине намечаемого места стоянки судна. Судно подводится и устанавливается под углом 15—20° к причалу на носовых швартовах и с помощью двух буксиров или более, а иногда и портового ледокола, поджимается к причалу. Один из буксиров работой гребных винтов постепенно удаляет льдины, находящиеся между бортом судна и причалом, другой поджимает судно к причалу. Удалению битого льда способствует работа гребных винтов и перекладка руля с борта на борт самого швартующегося судна. Швартовка в ледовых условиях занимает в 2—4 раза больше времени, чем в летний период, и связана с увеличением количества буксиров и времени их работы.

Работа гребных винтов буксиров и транспортного судна в непосредственной близости от причальной стенки приводит к размыву ее основания и созданию местных наносов, что пагубно сказывается на долговечности дорогостоящих портовых гидротехнических сооружений. Определенное разрушающее воздействие на подводную часть сооружений оказывают околка буксирами припая, удары льдин, удаляемых струями гребных винтов, и навальные сверхрасчетные нагрузки через ледяную подушку на причальную стенку

как при околке, так и при поджатии к стенке швартующегося судна.

В последние годы все более широкое применение находят паромные сообщения, что объясняется преимуществами перевозки людей и грузов паромами по сравнению с транспортными судами. Причальные устройства паромных переправ относятся к категории специализированных причалов, конструкция которых определяется видом перевозимого передвижного состава и, соответственно, назначением переправы: автомобильная, железнодорожная или комбинированная. Учитывая повышенные требования к регулярности рейсов паромов, задержки и простои паромов недопустимы. Однако эксплуатация переправ в зимний период значительно осложняется из-за ледообразования. Опыт зимней эксплуатации паромных переправ (речных и морских, железнодорожных и автомобильных) показывает, что основные ледовые затруднения возникают в конечных пунктах переправ — в ложе парома или у паромного причала.

Трасса паромной переправы обычно постоянно взламывается курсирующими паромами и заполнена мелкобитым льдом. В наиболее суровых условиях трассу прокладывает ледокол или буксир ледового класса. На речной переправе с помощью ледокола или буксиров вниз по течению, начиная от створа переправы по стрежню реки, создавалась и поддерживалась полынья-ледоприемник протяженностью несколько километров. Течение реки выносит с трассы переправы в полынью весь ледяной материал (отдельные льдины, шугу, снежуру).

В условиях непроточных водоемов при отрицательных температурах воздуха канал в ледяном покрове постепенно заполняется все более уплотненным слоем битого льда, смерзанию которого препятствует интенсивное регулярное движение паромов. Этот лед несколько замедляет движение паромов на трассе, но основным препятствием во всех случаях является скопление шуги и битого льда в конечных пунктах переправы. Степень сложности ледовых затруднений зависит как от гидрометеорологических условий, так и от конфигурации и конструкции причальных и оградительных сооружений переправы.

Подход автомобильного парома к причалу или вход железнодорожного парома в ложе сопровождаются скоплением ледяного материала в тупиковой части. При многократных подходах парома в тупиковой части образуется плотный вал из спрессованного ледяного материала, который препятствует нормальной швартовке парома.

При всех прочих равных условиях наибольшей сложностью отличается зимняя эксплуатация железнодорожных паромных переправ. Если автомобильные паромы, снабженные аппарелями, еще имеют определенную возможность оставления зазора между причалом и корпусом парома, то при швартовке железнодорожного парома и его сочленении с подъемно-сопрягающим мостом такая возможность полностью исключается. Это объясняется тем, что нормальная швартовка железнодорожного парома к причалу и его соединение с подъемно-сопрягающим мостом могут быть осуществ-

лены только при точной установке парома по оси ложа, исключающей зазоры и перекосы между причалом, паромом и подъемно-сопрягающим мостом, а также обеспечивающей стыковку рельсов моста с рельсами вагонной палубы парома.

При наличии льда на акватории ложа парома швартовная операция значительно удлиняется и осложняется, а в некоторых случаях становится невозможной без осуществления специальных противоледовых мероприятий. Даже в таком относительно теплом районе, как Керченский пролив, ледовая обстановка на переправе создает значительные трудности, в связи с чем резко сокращается провозоспособность переправы, увеличивается время швартовки паромов, лед оказывает разрушающее воздействие на причальные сооружения и паромы, а в особо суровые зимы нарушается регулярная работа переправы. Сами паромы, корпуса которых имеют ледовый класс, снабженные достаточно мощной главной силовой установкой, создают и без особых затруднений поддерживают канал во льду между конечными пунктами переправы. Однако на акватории причальных сооружений переправы, образованной оградительными молами, выполненными в плане в виде выступающих в пролив полудуг, скапливается большое количество битого льда, который смерзается и остается в течение длительного периода даже тогда, когда Керченский пролив освобождается от льда.

Основным видом ледовых затруднений на Керченской переправе является скопление битого льда и шуги в тупиковой части ложа парома. При систематической и частой швартовке паромы заталкивают ледяной материал в тупиковую часть ложа, где он прессуется, торосится, подтапливается и, в конечном счете, заполняет все сечение тупика. При последующих швартовках паром своим корпусом «с разбега» вползает на напрессованный лед, при этом повреждаются руль, гребные винты, валы, расшатывается свайное основание причалов. Единственным методом борьбы со льдом служит размыв спрессованного льда гребными винтами самого парома, на что затрачивается дополнительное время. Однако после нескольких заходов паромов в тупиковой части ложа вновь образуется ледяной барьер, достигающий дна водоема, и операция по его размыву повторяется.

Кроме этого, разрушающее воздействие на причальные сооружения оказывает и сам ледяной покров без участия судов и буксиров.

На сооружения действуют статические нагрузки, обусловленные термическим расширением сплошного ледяного покрова, а также навалами ледяных полей под влиянием ветра или течения. Кроме этого, статическая нагрузка передается примерзшим к сооружению ледяным покровом при колебаниях уровня воды.

Сооружения испытывают и динамические нагрузки, возникающие при трении льдин о поверхность сооружения, при ударе отдельно плывущих льдин. Для русловых портов на реках, текущих на север, значительные динамические нагрузки возникают при прорывах заторов. Причем заторообразование и последующий

прорыв затора является для этих рек нормальным элементом режима вскрытия.

Характерным примером является весенний ледоход на р. Енисее в районе г. Дудинка, где ширина реки превышает 4 км. Расход воды в половодье достигает 180 тыс. м³/с. К концу зимнего периода толщина ледяного покрова достигает 1,4—1,6 м. Вскрытие р. Енисея в низовье происходит при механическом воздействии волны половодья на почти не ослабленный таянием ледяной покров, поэтому ледоход здесь носит бурный разрушительный характер.

Подъем уровня начинается в середине мая, средняя продолжительность нарастания паводковой волны — 23 дня. Уровень за это время поднимается в среднем на 11, иногда — 14 м. В начале вскрытия реки наблюдается от трех до пяти и более подвижек ледяного покрова, при которых на прибрежной территории образуются мощные нагромождения льда, достигающие у восточных берегов высоты 10—15 м. Ледоход в низовье реки сопровождается образованием заторов, занимающих по длине участок в 30—40 км и уменьшающих сечение реки на 60—70%, что и обусловливает высокие подъемы воды.

Совпадение отметки причалов порта с горизонтами воды, при которых происходят первые подвижки льда, обусловливает наибольшие разрушения гидротехнических сооружений. Навалы и надвиги прочного льда при первых подвижках разрушают железобетонные оголовки причалов, железнодорожные и подкрановые пути. В связи с длительным затоплением причалов (30—40 сут) и нагромождениями на них ледяных масс происходят местные просадки территории порта и образование наносов. Ежегодное весеннее половодье и ледоход приносят порту большой материальный ущерб. Кроме этого, восстановительные работы и монтаж кранового оборудования, убираемого перед половодьем на незатопляемые отметки, отодвигают начало и сокращают общий период работы причалов.

Одной из главных причин невысоких темпов развития речного транспорта по сравнению с другими видами транспорта (железнодорожным, морским) является ограниченная продолжительность навигации.

Продление навигации должно осуществляться с помощью ледоколов большой мощности и транспортных судов и буксиров, приспособленных к работе в ледовых условиях. Кроме этого, продление навигации в период ледостава требует повышения надежности работы гидротехнических сооружений: каналов и шлюзов.

В судоходных каналах трасса движения судов жестко ограничена сечением канала. При многократном проходе судов по одной и той же трассе, вследствие торошения, наслоений и последующего смерзания образовавшихся при проходе судна льдин толщина ледяного покрова интенсивно растет, и его разрушение становится все более и более затруднительным. Разрушение ледяного покрова облегчается в том случае, когда интервалы времени

между проходящими по каналу судами настолько малы, что за этот срок льдины не успевают смерзаться. Однако глубина канала обычно ограничивает возможность вытеснения битого льда под кромки прочного ледяного покрова за пределы судоходной трассы, что затрудняет движение судов или делает его вообще невозможным.

В шлюзованных каналах в осенне-зимний и весенний периоды возникают дополнительные затруднения, осложняющие работу шлюзов. К ним относятся: образование ледяного покрова в камере; обледенение стен камеры, ворот нижней и верхней голов, пазов и направляющих плавучих рымов и затворов; образование ледяных консолей на причальных и направляющих сооружениях; наличие льда в шкафных частях и поступление туда битого льда из камеры, что препятствует маневрированию нижними двустворчатыми воротами; примерзание уплотнений ворот к закладным частям и образование наледей вследствие фильтрации воды в уплотнениях; перебои в работе автоматики и механизмов шлюза из-за обледенения конечных выключателей, загустевания смазки, потери гибкости тросов и цепей, находящихся попеременно в воде и на воздухе.

Кроме отрицательного воздействия льда, существенное влияние на эксплуатационные показатели работы флота и портов оказывают неблагоприятные метеорологические условия. Значительная доля общего стояночного времени судов в портах приходится на непроизводительные стоянки, в том числе 20—30% — по метеорологическим причинам.

Осадки являются наиболее распространенной причиной перерывов в производстве погрузочно-разгрузочных работ в портах, так как они вредно воздействуют на грузы, восприимчивые к влаге. Снегопад и туман снижают видимость рабочей зоны, порождают трудности в работе крановщиков и сигнальщиков. В этих условиях работа выполняется с меньшей производительностью или прекращается.

Серьезное препятствие для производства погрузочно-разгрузочных работ представляет ветер. При сильном ветре создаются трудности для работы кранов, появляется угроза потери ими устойчивости. При ветре скоростью свыше 15 м/с портальные краны останавливают и погрузочно-разгрузочные операции прекращают.

Большие затруднения в работе портов, особенно в северных районах, вызывают низкие температуры наружного воздуха. Смерзаются навалочные грузы, работа перегрузочных механизмов обычного (не северного) исполнения прекращается при температуре —30—40° С.

§ 2. УСЛОВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОПОДЪЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Более 75% судоподъемных средств морского, речного и рыбопромыслового флота эксплуатируется в климатических условиях, характеризующихся наличием на акваториях судоремонтных пред-

приятий ледовой обстановки от двух до пяти месяцев в году. Наличие льда перед судоподъемными сооружениями затрудняет проведение доковых операций, а в некоторых случаях обусловливает необходимость вывода сооружений из эксплуатации на весь зимний период. Снижение пропускной способности судоподъемных сооружений, а в некоторых случаях — сезонность их работы, приводит к докованию и слипованию судов в навигационный период или к докованию на зарубежных верфях, что сокращает эксплуатационный период и ухудшает показатели работы водного транспорта.

Ледяной покров препятствует передвижению судов, в результате температурного расширения оказывает давление на причальные сооружения, суда и плавучие доки, вызывая их разрушение. При установке плавучих доков вблизи пирсов между ними образуется прочная ледяная перемычка, препятствующая погружению дока. Проведение доковых операций в таких условиях без применения специальных средств затруднительно. В северных районах, где толщина ледяного покрова достигает 1—1,5 м, и особенно на акваториях, расположенных в устьях замерзающих рек, наличие ледяного покрова приводит к прекращению эксплуатации судоподъемных средств в течение 4—5 мес.

Тяжелая ледовая обстановка вынуждает изыскивать для постановки в доки на зимний период суда с большим объемом и, соответственно, большим сроком ремонта, чтобы обеспечить более или менее равномерную загрузку судоремонтных заводов. Но при длительном зимнем периоде отремонтированные суда простаивают в доках в ожидании весеннего разрушения ледяного покрова. В связи с этим увеличиваются сроки стоянки судов в доках, сокращается пропускная способность судоподъемных средств и, кроме того, основная нагрузка по доковому осмотру и ремонту транспортных судов приходится на летний период, что при тех же грузоперевозках вынуждает увеличивать количество судоподъемных сооружений и единиц флота.

Лед, образующийся на акватории слипа, неизбежно попадает под днище судна при его наводке и посадке на тележки, оказывается зажатым между днищем судна и кильблоками, скапливается в рамах тележек перед их передними торцами, создавая значительное сопротивление передвижению, проваливается между шпалами, застревая на путях. Это может привести к раздавливанию отдельных льдин на кильблоках, при этом происходит частичная или полная разгрузка одной или двух тележек и создается аварийная перегрузка соседних тележек, что приводит к поломке осей колесных полускатов, сходу тележек с рельсовых путей, завалу путей, обрыву канатов тележек и т. п. Лед, образовавшийся на поверхности подходного канала слипа, трудно разрушить даже с помощью ледокола, так как при этом могут быть повреждены стенки канала. Поэтому продвижение судна в канале со льдом затрудняется, если не использовать специальные средства для разрушения или предотвращения образования льда.

Давление ледяного покрова на причальные сооружения в результате его термического расширения вынуждает усиливать конструкции гидротехнических сооружений, что приводит к удорожанию их строительной стоимости и сокращению сроков эксплуатации. К аналогичному повышению стоимости приводит увеличение глубины забивки свай и свайных кустов во избежание их выдергивания при вертикальном перемещении ледяного покрова в водоемах с переменным уровнем воды.

Ледяной покров, примерзая к наружным стенкам башен плавучих доков, препятствует погружению дока. Поэтому ледяной покров вокруг плавучих доков эпизодически окалывается ледокольными буксирами.

Между доками, стоящими лагом, образуется прочная ледяная перемычка, препятствующая раздельному погружению доков. Разрушение этой перемычки без применения специальных средств является тяжелым и опасным ручным трудом.

При всем многообразии факторов, осложняющих условия докования судов в зимний период, наиболее распространенным и трудноустранимым видом ледовых затруднений является попадание в доки значительного количества (до 2000 т) битого льда, который при осушении дока оседает на стапель-палубе плавучего дока [13] или подошве сухого и препятствует постановке судна в док и проведению ремонтных работ. Уборка из дока осевшего и смерзшегося льда связана с выполнением тяжелого ручного труда.

В период погружения плавучего дока вода с окружающей акватории начинает поступать через торцы дока и заполнять междубашенное пространство. В связи с малым живым сечением и образующимся гидравлическим уклоном скорость втекающего в док потока в этот период имеет максимальное значение и достигает 2—3 м/с. По мере заглубления стапель-палубы увеличивается живое сечение и скорость потока постепенно убывает. При погружении стапель-палубы на 1—1,5 м под воду уровень ее в междубашенном пространстве выравнивается, исчезают явление «воронки» и гидравлический уклон.

Таким образом, в период погружения дока одним из факторов, способствующих заполнению дока битым льдом, находящимся на акватории перед доком, является влекущая сила потока, вливающегося в междубашенное пространство. На скорость потока оказывают определяющее влияние начальная скорость погружения дока и габариты междубашенного пространства.

Кроме того, заполнение дока битым льдом происходит под воздействием ветра, корпуса вводимого в док судна и естественного течения.

Обследование большого числа судоремонтных заводов показало, что стоимость и трудоемкость докования морских судов в зимний период увеличиваются на 24—50% по сравнению с летним периодом, причем от 15 до 40% этих средств затрачивается в связи с ледовыми затруднениями.

Заполнение битым льдом камеры сухого или наливного дока происходит под влиянием тех же факторов, что и в плавучих доках, исключая влияние гидравлического уклона. Однако при зимней эксплуатации сухих доков возникают дополнительные трудности, обусловленные образованием льда на водной поверхности камеры в период вывода, ввода и центровки судов при отрицательных температурах воздуха. Образовавшийся ледяной покров вместе с проникшими с акватории льдинами при опорожнении камеры оседает на днище дока и препятствует проведению ремонтных работ до полной уборки льда. При длительных перерывах между доковыми операциями в камерах откатных затворов сухих доков образуется мощный ледяной покров. Тепловое расширение ледяного покрова создает опасность повреждения затворов и батопортов сухих доков.

Все перечисленные явления затрудняют зимнюю эксплуатацию вертикальных судоподъемников. Кроме этого, их эксплуатация может испытывать сильные затруднения в связи с обледенением направляющих и подъемных элементов.

Как в портах, так и на акваториях судоремонтных предприятий, ледяной покров которых постоянно разрушается буксирами, битый лед создает повышенные трудности при швартовке судов к причалам и увеличивает время на перестановку судов.

На некоторых судоремонтных заводах плавучие доки установлены вдоль причалов. Преимуществом такой установки является возможность использования мощных береговых кранов для транспортировки тяжеловесных деталей из дока на причал и обратно. При такой установке доков не требуется наведения длинных наплавных сооружений, служащих для сообщения дока с причалом. Однако в этом случае глубокий котлован под доком обусловливает необходимость сооружения дорогостоящего глубоководного причала. Поэтому котлован, необходимый для погружения дока, создается на некотором расстоянии от штатного места стоянки дока, и на период доковой операции он отводится от причала и устанавливается над котлованом. Находящийся на акватории битый лед заполняет освободившееся пространство у причала и препятствует возвращению и установке дока на штатное место стоянки. Удаление попавшего между доком и причалом битого льда является сложной и длительной работой.

Наиболее распространенным средством борьбы со льдом при зимнем докование судов являются буксиры. Однако использование их для околки доков, судов и причалов часто приводит к повреждениям последних. Задержание и отгон битого льда от доков потоками, создаваемыми гребными винтами буксиров, способствуют образованию местных размывов ложа водоема и заносимости котлованов и подходных каналов, а также оказывают вредное воздействие на расположенные вблизи гидротехнические сооружения.

Весьма опасным затруднением является попадание льдин под днище судна перед докованием. Струя, создаваемая винтом бук-

сировщика или проходящего по акватории ледокольного судна, создает мощный поверхностный поток, под действием которого происходит подныривание льдин под днище судна, буксируемого к доку или стоящего у причала. Количество льдин, попадающих под днище, их размещение по длине и ширине корпуса различны при буксировке судна и стоянке его у причала и зависят от расстояния между судном и буксиром или ледоколом, скорости движения последнего, режима работы его машинной установки и характеристик винта, осадки судна, размера льдин и ряда других факторов.

Так, при наличии слишком большого дифферента на корму у буксируемого к доку судна при всех прочих равных условиях под днище попадает наибольшее количество льдин, которые распределяются неравномерно. Основное скопление льдин наблюдается в районе миделя судна, причем их количество постепенно уменьшается к оконечностям.

При всплытии дока с судном, имеющим под днищем значительное количество льда, происходит его перераспределение по длине судна, а затем уплотнение под днищем. Когда наряду с общей массой льда под днищем имеются большой толщины ледяные подушки, в начальный стадии посадки судна на кильблоки они удерживают судно на себе, а затем расползаются и спрессовываются с общей массой льда. Иногда это расползание запаздывает, происходит внезапное разрушение льда, и судно резко валится вниз и набок. Такой провал судна в процессе его подъема с доком может привести к серьезной аварии как дока, так и судна. Поэтому скопление льдин под днищем значительно осложняет посадку судна на кильблоки, а иногда полностью исключает ее.

При местном скоплении льдин под днищем в процессе подъема судна может произойти разрушение доковых опор или образование вмятины на корпусе судна.

В период стоянки судна под разгрузкой перед докованием при отрицательных температурах воздуха происходит обледенение подводной части корпуса, образование ледяной чаши и припая по ватерлинии судна. Распределение чаши и припая по корпусу судна зависит от продолжительности стоянки судна, температуры наружного воздуха, наличия на судне работающей парокотельной установки и системы обогрева отсеков, осадки судна и наличия поднырнувших под днище льдин.

При работающей парокотельной установке лед под днищем и по ватерлинии образуется неравномерно: в районе машинно-котельного отделения лед отсутствует или значительно тоньше, а к носовой и кормовой оконечностям толщина его увеличивается.

Если на судне не работает отопительная система, нарастание ледяной чаши и припая идет более интенсивно и равномерно по толщине и всей площади подводной части корпуса. Особенно значительная по толщине чаша образуется на корпусах судов с малыми осадками или с открытыми люками.

Наличие ледяной чаши и припая не позволяет правильно уста-

новить судно на доковые опоры и может привести к аварии как при подъеме дока с судном, так и при удалении чаши и припая в доке.

Таким образом, при зимнем докование под днищем судна может быть лед двух видов: скопление непримерзших к обшивке поднырнувших льдин, а также намерзшая на обшивке ледяная чаша (включающая отдельные вмерзшие льдины) и ледяной припай по ватерлинии. Постановка таких судов в док до удаления ледообразований запрещена.

При постановке в док судна с балластом и выпуске воды на стапель-палубу или днище сухого дока вода замерзает, в результате чего на стапель-палубе плавучего или подошве сухого дока образуется слой льда. Это явление усугубляется также при испытании отсеков на непроницаемость наливом воды и при атмосферных осадках, а в сухих доках, кроме того, из-за проникновения воды через неплотности батопорта и фильтрации через днище и стенки дока. Обмерзание стапель-палубы плавучего дока или днища сухого затрудняет перестановку докового набора и использование средств механизации доковых работ, повышает опасность производственного травматизма.

В процессе эксплуатации доков возникает необходимость оставлять воду в балластных отсеках. При низких температурах наружного воздуха происходит замерзание воды в отсеках, что уменьшает подъемную силу дока, затрудняет проведение доковой операции и может вызвать аварию.

Во время доковой операции балластную и зачистную системы дока заполняют водой. После всплытия дока эти системы опорожняют, однако большое количество воды остается в арматуре и, частично, в трубах этих систем. При низких температурах воздуха вода в системах замерзает, что приводит к образованию трещин в трубах и арматуре. Кроме того, зимой встречаются случаи обмерзания приемных патрубков балластной и осушительной систем, что исключает возможность их эксплуатации без предварительного удаления ледообразований и может явиться причиной аварии.

Кроме ледовых затруднений, на эксплуатационные показатели судоподъемных средств и в целом на судоремонт отрицательное влияние оказывают неблагоприятные климатические условия.

В период низких температур воздуха, при сильных ветрах и атмосферных осадках увеличивается заболеваемость доковых рабочих, снижается производительность труда, увеличиваются сроки и ухудшается качество окрасочных и других работ, что в целом приводит к увеличению сроков стоянки судов в доках.

На условия труда работающих на слипах и доках особо неблагоприятное воздействие оказывает ветер при отрицательных температурах воздуха. Действие ветра приравнивается к понижению температуры на 2° на каждый 1 м/с скорости ветра. Действующие нормативы позволяют сокращать продолжительность рабочего времени при работе зимой на открытых площадках, а при особо неблагоприятных сочетаниях отрицательных температур

БИБЛИОТЕКА
Новосибирского института

воздуха и скоростей ветра наружные работы полностью прекращаются [47].

Низкие температуры наружного воздуха и атмосферные осадки значительно увеличивают общую продолжительность сушки многослойного лакокрасочного покрытия, наносимого в доках на подводные части корпусов судов. Так, при температуре +20° С время сушки составляет 35 ч, а при температуре —1—9°С срок сушки такого же покрытия увеличивается до 187 ч. Кроме этого, окрашиваемые поверхности перед нанесением краски должны быть полностью освобождены от инея, снега и льда, тщательно просушены, по возможности отеплены, а в процессе нанесения слоев краски — защищены от попадания дождя и снега. При принятых схемах окраски подводной части корпусов судов время сушки покрытия при минусовых температурах достигает 10—12 сут, значительно превышая в ряде случаев технологически необходимую продолжительность других доковых работ.

В связи с отсутствием быстросохнущих на морозе красок часто не выдерживается нормативный временной интервал между нанесением слоев краски, что приводит к ухудшению качества окраски и при эксплуатации судов ведет к повышению коррозионного износа корпуса и потери скорости хода судна.

§ 3. ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРОТИВОЛЕДОВЫХ И ВЕТРОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

Анализ условий эксплуатации портов и судоподъемных средств в зимний период и при неблагоприятных климатических условиях показывает, что климатические факторы оказывают существенное отрицательное влияние на эксплуатационно-технические показатели работы объектов водного транспорта и что значительное повышение эффективности работы портов и судоремонтных предприятий может быть достигнуто комплексным осуществлением технических средств и мероприятий, направленных на преодоление или резкое сокращение неблагоприятного влияния климатических факторов.

В числе факторов, препятствующих нормальным условиям работы флота, портов, каналов, шлюзов и судоподъемных средств, наиболее распространенным и определяющим является образование ледяного покрова на акваториях портов и судоремонтных предприятий. Опыт показывает, что единственный в настоящее время метод взлома ледяного покрова с помощью ледоколов и буксиров не в состоянии обеспечить ритмичную работу объектов водного транспорта, ибо вместо прочного ледяного покрова акватории покрываются быстрорастущим по толщине слоем смерзающегося битого льда, зачастую превышающим в 2 раза и более толщину естественного ледяного покрова.

На сроки и качество работы объектов влияют местное образование льда, обледенение отдельных элементов сооружений и метеорологические элементы: температура воздуха, скорость и направление ветра, атмосферные осадки. Преодоление климати-

ческих факторов не может быть достигнуто каким-то одним универсальным средством или мероприятием. Разнообразие климатических и гидрометеорологических условий, в которых работают конкретные объекты, их конструктивные отличия и технологические особенности эксплуатации диктуют дифференцированный подход к изучению и комплексное решение проблемы снижения их вредного влияния на показатели работы объектов водного транспорта.

Для разработки и успешного осуществления мероприятий по преодолению затруднений необходимо иметь достоверные сведения о их характере и значимости, присущие конкретному объекту, подробные гидрометеорологические характеристики, полученные на основе многолетних наблюдений и специальных инженерно-гидрологических изысканий, знание перспективы освоения и развития объекта. Кроме этого, необходимо располагать исчерпывающими сведениями о всех современных методах и средствах борьбы с отрицательным воздействием климатических факторов на эксплуатацию объектов водного транспорта и других отраслей народного хозяйства.

Однако для правильного выбора тех или иных методов и средств применительно к условиям и характеристикам конкретного объекта этих двух групп сведений еще недостаточно. Необходимы данные о результатах практического применения этих средств в аналогичных условиях.

Окончательное же решение о целесообразности осуществления защитных мероприятий может быть принято на основе технико-экономического расчета, позволяющего определить как объем затрат, так и реальную выгоду осуществления мероприятий, направленных на преодоление отрицательного воздействия климатических факторов на эксплуатационные показатели объектов водного транспорта. Для этого, в свою очередь, необходимо располагать объективными данными о размерах ущерба, наносимого народному хозяйству (а не только водному транспорту или данному объекту) вредным воздействием климатических факторов.

Приведенный порядок подготовки защитных мероприятий справедлив для существующих, уже эксплуатирующихся объектов. Значительно сложнее решается вопрос учета и разработки мероприятий для проектируемых объектов. Результаты инженерных изысканий, в том числе наблюдений за гидрологическим и ледовым режимами водоема, дают представления лишь о естественном режиме. Однако транспортно-хозяйственное и гидротехническое освоение объекта вносит значительные изменения в ледовый и ветровой режимы рассматриваемой акватории. Строительство оградительных и причальных сооружений, дноуглубительные работы и создание территорий, изменяющих очертания береговой линии, интенсификация судоходства, сопровождающаяся постоянным нарушением целостности ледяного покрова, строительство гидроэлектростанций на реках, изменяющих гидрологический и ледовый режим, и береговых зданий, изменяющих ветровой ре-

жим, кардинально могут изменить как естественные условия, так и их воздействие на строящийся объект. Поэтому проектирование и строительство нового объекта должно базироваться на научно обоснованном долгосрочном прогнозе ледового режима осваиваемой акватории, учитывающим все многообразие изменяющихся условий.

Однако отсутствуют надежные методы, позволяющие установить количественные зависимости изменения природных явлений под влиянием хозяйственной деятельности человека. Отсутствие методики прогнозирования, заменяемой на практике экстраполяцией эксплуатационных условий существующего объекта на строящийся, обусловливают неизбежные в этом случае дефекты проектирования и строительства.

Более обоснованные прогностические данные могут быть получены путем лабораторных исследований на моделях или на основе результатов натурных опытов.

Проведение полномасштабных натурных экспериментов обеспечивает получение наиболее достоверных сведений. Однако организация и осуществление опытов являются весьма сложным и дорогостоящим мероприятием. Метод проб и ошибок в этом случае приводит к значительным бесполезным затратам, а зачастую — к компрометации самой идеи активной борьбы с затруднениями климатического характера. Поэтому постановке натурных опытов должны предшествовать глубокие аналитические исследования, разработка методики проведения эксперимента и обеспечение материальной базы опытов.

Также вреден метод частичного, поэтапного осуществления комплекса взаимодействующих защитных средств. В случае получения неудовлетворительного результата при осуществлении части элементов комплекса, натурный эксперимент, обычно, признается производственниками бесполезным в целом и дальнейшие опыты прекращаются, что надолго становится непреодолимым препятствием для внедрения прогрессивных решений.

Основным принципом создания благоприятных условий и надежной работы объектов водного транспорта является комплексное преодоление всех видов затруднений, обусловленных климатическими факторами. При этом наиболее эффективными средствами следует считать такие, которые могут преодолеть наиболее суровые условия и вызванные ими затруднения, а сами средства должны выполнять несколько защитных функций, взаимодействовать между собой, заменять друг друга в случае выхода из строя какого-либо средства и не препятствовать работе технологических устройств и механизмов объекта. При проектировании новых объектов ледозащитные устройства и средства микроклимата должны предусматриваться как органическое составляющее общей конструкции объекта, их работа должна быть максимально автоматизирована, должны быть соблюдены требования техники безопасности, охраны труда и окружающей среды, обеспечена эксплу-

атационная надежность и долговечность устройств защитного комплекса.

При поиске и разработке наиболее экономичных средств борьбы с ледовыми затруднениями следует особое внимание обратить на использование для этой цели так называемых возобновляемых источников энергии, к которым относятся силы падающей воды, ветра, морских волн и приливов, солнечная радиация, внутреннее тепло Земли, тепло глубинных вод водоемов и др.

ПОДДЕРЖАНИЕ АКВАТОРИЙ В НЕЗАМЕРЗАЮЩЕМ СОСТОЯНИИ

§ 4. ОСОБЕННОСТИ ЗИМНЕГО ТЕРМИЧЕСКОГО И ЛЕДОВОГО РЕЖИМОВ ПРЕСНОВОДНЫХ И МОРСКИХ ВОДОЕМОВ

Существующие в настоящее время способы воздействия на лед для ликвидации затруднений, вызываемых образованием ледяного покрова на акваториях, по физическому принципу делятся на тепловые и механические. Каждый из этих способов, в зависимости от области применения и конкретных инженерных задач, осуществляется с помощью средств разрушения льда или предотвращения ледообразования. На рис. 1 представлена схема, поясняющая типы средств, их основные признаки и взаимосвязь между ними.

При разрушении ледяного покрова *механическим способом* акватория остается покрытой обломками льда. Интенсивное судоходство резко изменяет бытовой термический режим водоема в связи с механическим перемешиванием водных масс и нарушением естественной стратификации — расположения слоев воды раз-

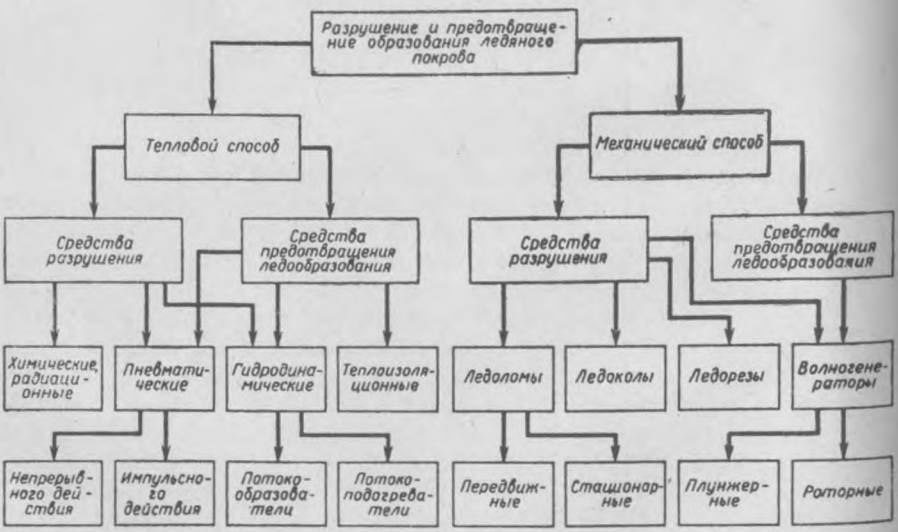


Рис. 1. Схема средств разрушения льда и предотвращения ледообразования

личной плотности, имеющих различные температуру и соленость по глубине водоема. Кроме этого, судоходство изменяет тепло- и массообмен между гидросферой и атмосферой, связанный с взломом льда, с образованием местных разводий, смачиванием переохлажденных льдин и, в связи с этим, увеличением потерь тепла на испарение, туманообразование. Вызванное этими факторами выхолаживание верхних слоев водоема и нарушение естественного конвективного теплопереноса из нижних слоев к верхним ведет к усиленному ледообразованию, очагами которого служат смоченные переохлажденные льдины, притапливаемые проходящими судами, а также ледяные спайки и перемычки, образующиеся в зазорах между льдинами после прохода судна. Такие ледовые спайки образуются как на поверхности, так и в толще битого льда при образовании подсовов.

Интенсификации смерзания льдин в пресной воде способствуют минимальное расстояние между их соседними плоскостями, что определяется степенью сплоченности битого льда, а также ориентацией и величиной плоскостей смерзания льдин, их единичным объемом и температурой. Опытами определено, что после смерзания кусков пресноводного льда последующего разрушения образовавшегося монолита по плоскостям смерзания не происходит [45]. В водоемах с соленой морской водой скорость и прочность смерзания льдин менее интенсивны из-за соленостных ликваций, выделяющихся при образовании ледяных спаек и перемычек.

В период ледообразования в подледном слое скапливается рассол, выделяющийся в процессе кристаллизации соленой воды, который особенно препятствует смерзанию льдин в горизонтальной плоскости при подсовах.

Как в пресных, так и морских водоемах смерзание льдин затрудняется при относительно частом движении судов, при котором плоскости и грани льдин за счет механического воздействия на них постепенно округляются, и смерзание происходит только в точках соприкосновения шарообразных льдин.

Весьма эффективными, получающими все большее распространение, являются *тепловые способы* создания незамерзающих акваторий с использованием тепла глубинных вод водоемов.

Успешный результат применения механических средств и тепловых способов разрушения льда может быть достигнут на основе изучения и анализа особенностей гидрологического режима водоема.

На процесс ледообразования влияют многочисленные факторы: географическое расположение водоема, течение,

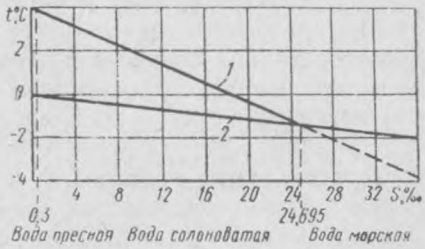


Рис. 2. Зависимость температуры замерзания и температуры наибольшей плотности от солености воды:

1 — линия наибольшей плотности; *2* — линия замерзания

ветер, волнение, глубина, соленость воды и др. Взаимодействие всех факторов обусловливает сложную картину процесса ледообразования для каждого водоема. Одной из основных характеристик, определяющих время начала и интенсивность ледообразования, является концентрация солей в воде.

Изменение физических свойств воды в зависимости от содержания растворенных в ней солей видно из графика температуры наибольшей плотности и замерзания (рис. 2), где при нулевой солености температура наибольшей плотности равна +4° С, температура замерзания 0° С. По мере повышения солености обе температуры понижаются почти по линейной зависимости. Однако понижение температуры наибольшей плотности происходит быстрее, чем понижение температуры замерзания. При дальнейшем увеличении солености линии температур пересекаются в точке, имеющей координаты: $t = -1{,}332°$ С; $S = 24{,}695‰$ (S — содержание солей в граммах на 1 кг воды, измеряется в промилле и обозначается знаком ‰). За этой характерной точкой линия температуры наибольшей плотности проходит ниже линии температуры замерзания. Следовательно, в нормальных условиях вода с соленостью выше 24,695‰ замерзает раньше, чем достигается температура наибольшей плотности.

Содержание солей в 24,695‰ является границей, с которой связано существенное изменение физических свойств воды, а это, в свою очередь, приводит к глубоким изменениям в гидрологических явлениях, играющих первостепенную роль в водоемах: вертикальной циркуляции, распределении слоев с различной температурой, процессах замерзания.

В водоемах, имеющих соленость воды ниже 24,695‰, осеннее охлаждение поверхностного слоя в связи с понижением температуры воздуха сопровождается конвективным перемешиванием только до момента достижения всей толщей воды температуры наибольшей плотности. В водоемах с бóльшей соленостью процесс конвективного перемешивания продолжается до образования ледяного покрова. Эти различия и определяют тип водоема с точки зрения термического и ледового режимов.

При рассмотрении процесса ледообразования и гидрологического состояния водоема в этот момент следует обращать особое внимание на факторы, которые дают возможность воздействовать как на сам процесс ледообразования с целью его задержания, так и на уже сформировавшийся ледяной покров с целью растопления.

Пресноводные водоемы. К пресноводным относятся водоемы с пресной водой, содержание солей в которой не превышает 0,3‰. В основном это реки и озера, а в отдельных случаях — морские бухты и заливы, имеющие малую глубину и расположенные в устьях больших рек.

Появление льда, интенсивность ледообразования и таяние ледяного покрова полностью зависит от термического режима водоема. Он, в свою очередь, формируется под воздействием теплооб-

мена, который непрерывно происходит между водой и окружающей средой.

До образования ледяного покрова, в период охлаждения воды водоема, составляющими теплового баланса являются конвективный, или турбулентный, теплообмен S_t, испарение S_e, радиационный баланс S_n, приход тепла от грунта дна S_m и расход тепла на таяние твердых осадков S_o. Балансом составляющих теплообмена определяется изменение теплосодержания водных масс S_2, а также изменение фазового состояния воды S_1.

Принимая расход тепла со знаком «+», а приход тепла со знаком «—», уравнение теплового баланса может быть представлено в общем виде [19]:

$$S_1 - S_2 = S_t + S_e \pm S_n - S_m + S_o .$$

Основными составляющими теплопотерь в период замерзания водоема являются турбулентный теплообмен, теплообмен при испарении и излучении. На остальные составляющие баланса приходится менее 20% от общей суммы теплопотерь.

Величина основных теплопотерь, ткал/м^2, сут, может быть определена по следующей формуле:

$$S_t + S_e = [(t_0 - t_2) + 1{,}56\,(e_0 - e_2)]\,(k + 0{,}039 w_2),$$

где t_0 — температура поверхности воды;

t_2, e_2, w_2 — соответственно, температура, влажность воздуха и скорость ветра на высоте 2 м;

e_0 — максимальная упругость водяного пара, мбар;

k — коэффициент, зависящий от разности температур между водой и воздухом.

Радиационный теплообмен в зависимости от времени года и географической широты меняет не только величину, но и знак. Он вычисляется алгебраическим сложением суммарной солнечной радиации, поглощенной водной поверхностью, эффективного излучения поверхности воды и встречного атмосферного излучения.

Величина радиационного баланса зависит в большей степени от отражательной способности поверхности (альбедо). Вода имеет низкий коэффициент отражения, в то время как лед, и особенно снег, отличается высоким альбедо. При наличии на льду слоя снега высотой более 10 см солнечная радиация практически не поступает в воду.

Весной и летом количество тепла, поступающего благодаря радиационному теплообмену, увеличивается настолько, что превышает общие теплопотери в атмосферу. При таянии льда основными составляющими теплообмена ледяного покрова являются приход тепла солнечной радиации (60—70%) и турбулентный теплообмен (15—20%).

Ледяной покров на границе между водоемом и атмосферой разрывает непрерывный процесс теплообмена. С начала ледостава температурный режим водоема становится почти независимым

от влияния атмосферы. Интенсивность теплового потока от дна к поверхности определяется перепадом температур дна водоема и нижней поверхности ледяного покрова. Вода в этом случае выполняет роль теплопередающей среды.

Интенсивность теплового потока, проходящего сквозь лед в атмосферу, определяется в основном температурой воздуха и скоростью ветра. Различие в величине и направлении этих двух теплопотоков приводит к нарастанию льда снизу или к его растоплению.

Тепловой баланс характеризует результирующий тепловой поток и его направление, которое в конечном счете обусловливает нагревание или охлаждение водоема. Величина и направление результирующего теплового потока в течение года непрерывно изменяются, отражая колебания метеорологической обстановки.

Изменение величины и направления результирующего потока вызывает сезонные колебания температуры воды, которые имеют форму циклов, повторяющихся ежегодно. Весной и летом температура воды повышается, достигая к концу лета максимальной величины. Часть тепла при этом передается дну водоема. В этот период температура поверхностных слоев выше, чем температура воды у дна.

Осенью картина изменяется. Тепло водоема передается в атмосферу, и вода охлаждается. До температуры наибольшей плотности $+4^\circ$ С охлаждение воды сопровождается интенсивным конвективным перемешиванием. Ниже $+4^\circ$ С вода охлаждается в различных водоемах по-разному. В спокойных и глубоких водоемах охлаждение происходит без интенсивного перемешивания по всей глубине, и только поверхностный слой довольно быстро охлаждается до 0° С, после чего он переохлаждается до десятых долей градуса ниже нуля и на поверхности водоема происходит ледообразование. В таких водоемах переохлаждение в связи с отсутствием процессов перемешивания не успевает проникнуть дальше поверхностного слоя, поэтому глубинные слои имеют температуру, близкую к температуре наибольшей плотности (рис. 3).

В мелких и проточных водоемах, в которых происходят процессы перемешивания (под влиянием течений, ветра и т. п.), перед ледоставом вся толща воды имеет температуру, близкую к нулю. Образовавшийся ледяной покров препятствует дальнейшему интенсивному охлаждению водоема, и температурный режим его постепенно изменяется под влиянием тепла, выделяемого дном водоема. Постепенно в нижних слоях происходит накопление тепла и их температура повышается, но остается значительно ниже, чем температура нижних слоев спокойных глубоких водоемов. Обычно эти температуры не превышают 0,3—0,6° С (рис. 4).

Таким образом, температурный режим водоема, гидрологические и метеорологические условия (течения, приливно-отливные явления, ветер, волнение и температура атмосферного воздуха), а также глубина водоема определяют сроки ледостава, скорость нарастания льда и максимальную толщину ледяного покрова.

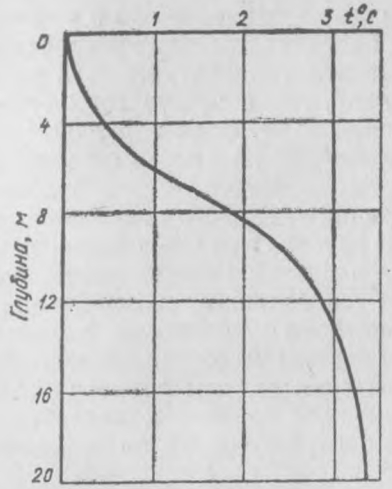


Рис. 3. Зависимость температуры от глубины пресноводного водоема с большим запасом тепла в период ледостава

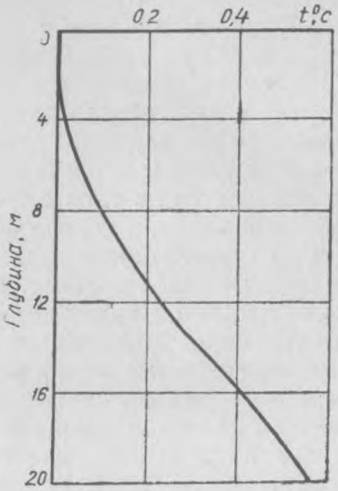


Рис. 4. Зависимость температуры от глубины пресноводного водоема с малым запасом тепла в период ледостава

Если в спокойном и достаточно глубоком водоеме ледяной покров образуется сразу же после установления постоянных отрицательных температур воздуха и затем нарастает очень медленно, то в водоемах, где наблюдаются условия интенсивного перемешивания по всей глубине, ледяной покров образуется гораздо позднее. Но после ледостава при длительных отрицательных температурах воздуха его толщина увеличивается довольно быстро и достигает бóльших величин.

В спокойных и глубоких водоемах северных районов страны толщина льда обычно не превышает 0,5—0,6 м, благодаря компенсации теплопотерь в атмосферу теплом, аккумулированным массой воды и дном водоема. Этот запас тепла позволяет при вмешательстве человека изменить сроки ледообразования, а при больших запасах — предотвратить образование льда. Для этого достаточно обеспечить искусственное перемешивание воды по глубине.

Распресненные водоемы. К ним относятся водоемы, содержащие солоноватую воду, имеющую соленость ниже 24,695‰.

Охлаждение распресненного водоема происходит по тому же принципу, что и пресноводного, и сопровождается конвективной вертикальной циркуляцией. Разница в количественном отношении обусловлена тем, что температура наибольшей плотности и температура замерзания у солоноватой воды иная (см. рис. 2), что приводит к более глубокому охлаждению водоема перед ледоставом и более поздним срокам ледостава.

При замерзании солоноватой воды образующиеся кристаллы льда абсолютно пресные, а соль, содержащаяся в ней в виде рассола (ликвация), скапливается в пространстве между кристаллами. С течением времени и с понижением температуры льда рассол мигрирует к нижней поверхности льда, где в сильно концентрированном виде попадает в верхний слой воды. Вода под льдом благодаря этому становится более соленой, ее плотность повышается, и она опускается до слоя с той же плотностью.

Таким образом, в период образования ледяного покрова из льда происходит интенсивное выделение рассола и под льдом происходит конвективный массоперенос. В связи с этим распресненные водоемы с солоноватой водой подвергаются бо́льшему охлаждению, но благодаря более длительным конвективным процессам, вовлекающим в теплообмен с атмосферой большие массы воды, интенсивность нарастания ледяного покрова меньше, чем в пресноводных водоемах. Для этого вида распресненного водоема характерно постепенное нарастание солености по глубине и малое изменение температуры.

В прибрежных морских районах с мощным береговым стоком пресных вод довольно часто встречается тип водоема со слоистой структурой. Верхний слой (его толщина зависит от расхода поступающей пресной воды) пресный и имеет четко выраженную границу раздела с соленой водой. При незначительной величине расхода пресных вод от берегового стока выделение пресного слоя не происходит, однако соленость в поверхностных слоях понижается и распределение солености приобретает характер только что рассмотренного вида.

Слоистое строение (стратифицированное) водоема возникает при достаточно больших расходах пресной воды и, несмотря на силы, вызывающие перемешивание пресных и соленых вод, из-за различия в плотности происходит размежевание масс воды различной солености.

В поверхностном пресном слое по всей толщине и на границе раздела пресной и соленой вод температура воды равна +4°С, с увеличением глубины температура соленой воды понижается иногда до отрицательных температур.

Дальнейшее охлаждение водоема выражается в понижении температуры пресного слоя. Резкий скачок температуры на границе раздела слоев называется термоклином. Слоистая структура водоема позволяет ему накопить большое количество тепла в зоне границы раздела вод различной солености и использовать его естественные энергоресурсы для поддержания поверхности водоема в незамерзающем состоянии. При искусственном перемешивании слоев к поверхности водоема можно подвести тепло из глубин, достаточное для компенсации теплопотерь в атмосферу в течение длительного периода отрицательных температур воздуха. Лед, образовавшийся на поверхности, при этом легко может быть растоплен не только под влиянием подводимого тепла, но и благодаря повышению солености подледных слоев воды.

Морские водоемы. Качественно иной характер процессов нагревания, охлаждения и ледообразования в морских водоемах вызван концентрацией солей в воде, превышающей 24,695‰.

Характерная особенность морской воды заключается в том, что наибольшая плотность достигается при температуре замерзания. Этим обусловлены непрерывная вертикальная конвекция охлаждаемой воды в осенне-зимний период и низкие температуры воды (большей частью отрицательные) после ледообразования. Причем характерно, что температура значительной толщи воды под льдом к моменту ледостава близка к температуре замерзания.

Образование льда на поверхности водоема не вызывает прекращения конвекции, так как (подобно водоемам с солоноватой водой) выделяющийся из льда рассол повышает соленость подледных слоев воды и конвекция продолжается, хотя скорость ее значительно сокращается. Морские водоемы в районах, где отсутствует мощный береговой сток, имеют по всей глубине почти постоянные величины солености и температуры.

§ 5. МЕХАНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАЗРУШЕНИЯ ЛЕДЯНОГО ПОКРОВА

Для продления навигации, предотвращения давления льда на суда и сооружения с давних пор применяется механический способ разрушения ледяного покрова ледоколами. Однако в стесненных условиях ограниченных акваторий портов, каналов и судоремонтных заводов применение ледоколов обычного типа затруднено, а в ряде случаев — не рационально и не эффективно. К отрицательным результатам работы ледоколов в этих условиях относятся: ограниченная маневренность, передача через лед силы упора ледокола на суда и элементы гидротехнических сооружений, образование местных размывов дна и создание наносов, заполнение канала в ледяном покрове обломками льда, препятствующими движению транспортных судов.

Для разрушения льда на ограниченных участках акваторий в последнее десятилетие исследованы и разработаны новые средства разрушения ледяного покрова и удаления битого льда, к которым относятся ледорезы, ледоломы и волногенераторы.

Ледорезы. В отличие от ледоколов, разрушающих ледяной покров за счет воздействия массы судна, вползающего на лед, в ледорезах используются различные навесные режущие устройства (ножи, резцы, пилы, фрезы). Но движущиеся режущие элементы быстро выходят из строя, требуют приложения значительных усилий, а процесс резанья льда отличается весьма малой скоростью.

В США разработан проект ледореза с гидравлическим устройством, разрушающим ледяной покров снизу. В носовой части по обоим бортам судна предусмотрены прямоугольные колодцы с вертикальными направляющими, по которым движется каретка, оборудованная соплами. Через сопла, имеющие возможность поворота на 220° в горизонтальной плоскости, специальным насосом



Рис. 5. Ледокольная приставка ЛПС:
1 — корпус; *2* — боковые полозья; *3* — средние полозья; *4* — нож-резец

подаются струи забортной воды с расходом 900 л/мин под давлением 140 кгс/см². При работе ледореза каретка опускается по направляющим вниз с таким расчетом, чтобы выбрасываемые из сопл струи ударяли в ледяной покров снизу и разрезали лед [II, 31].

В Советском Союзе создано режущее устройство, выполненное в виде водомета (гидропушки), разрушающее лед с помощью высоконапорных гидравлических струй, которым сообщают импульсный динамический напор [I, 7, 41].

В последнее время все большее признание находят ледокольные приставки, сочетающие как принцип гравитационного давления на ледяной покров сверху, так и принцип резанья льда.

Разработана новая конструкция ледокольной приставки [I, 27], использующая эффект скольжения при выходе на лед. Приставка (рис. 5) выполнена в виде понтона, на днище которого расположены полозья и центральный нож-резец. Толкаемая судном приставка выходит на кромку льда на полозьях благодаря малому углу наклона носовой части. Первоначально масса корпуса приставки, выходящего из воды, передается на лед через более высокие средние полозья. По мере разрушения льда полозьями приставка опускается, опираясь на боковые полозья, которые повторяют работу средних и расширяют канал. После разрушения льда под полозьями приставка, продолжая погружаться, разрушает лед всей набегающей частью днища. Центральный нож-резец, который к кормовой части приставки расширяется, измельчает лед. При движении приставки большинство разрушенных льдин с обоих бортов отводится под лед за кромку канала.

Испытания ледокольных приставок ЛПС-1 и ЛПС-2 показали, что приставка в состоянии обеспечить совершенно чистый канал шириной до 20 м во льду толщиной до 70 см, используя при этом одно или два судна-толкача суммарной мощностью не более 1600 л. с. Ледокольная приставка обладает рядом преимуществ перед ледокольными судами, главными из которых являются их дешевизна и простота конструкции. Приставка может быть легко изготовлена в судоремонтных мастерских; судно-толкач без приставки может использоваться по прямому назначению, а сама приставка — служить понтоном.

Для разрушения и очистки акваторий от льда предложено использовать плавающую машину (типа амфибии), оборудованную

навесным приспособлением — бревнотолкателем, которая применяется на лесных рейдах [I, 15, 45]. Машину подводят к кромке льда, бревнотолкатель упирают зубьями в лед и включают его силовой привод (гидроцилиндр). Лед разрушается и заталкивается бревнотолкателем под ледяной покров.

В практике часто возникает необходимость в создании майн небольших размеров, например, для предотвращения давления льда на затворы и батопорты сухих и наливных доков, на суда, стоящие на зимнем отстое, для образования пожарных майн и околки плавучих доков.

С целью механизации этой работы применяют механические пилы (электрические или бензиновые), электротепловую резку льда, а при больших размерах майн — ледофрезерные машины.

Ледофрезерная машина ЛФИ-ГПИ-41 навесного типа выполнена на базе гусеничного транспортера ГАЗ-47 и состоит из фрезерной головки, шнеко-роторного или плужного снегоочистителя, ходоуменьшителя, редуктора отбора мощности и промежуточного редуктора. Фрезерную головку монтируют на специальном кронштейне, а подъем и опускание фрезы осуществляется при помощи гидроцилиндров. Ходоуменьшитель обеспечивает получение четырех пониженных рабочих скоростей машины при сохранении транспортных скоростей гусеничного транспортера ГАЗ-47. В качестве режущих органов машины используют две кольцевые фрезы. Для прорезания сухих траншей шириной 0,4 м и глубиной до 1 м применяют фрезу, оснащенную снаружи резцами, а внутри—встроенным шнековым транспортером ледяной крошки. Сквозные щели прорезают другой пальцевой фрезой, выполненной из трубы, на наружной поверхности которой расположена винтовая лопасть, оснащенная резцами. При движении машины фреза, вращаясь, срезает лед, который в виде шуги поступает через окна внутрь фрезы, подхватывается шнековым транспортером и подается в верхнюю часть фрезы на лопатку выбрасывающего ротора. Ротор удаляет шугу через окна на обочину создаваемой траншеи. Спереди машины навешивают шнеко-роторный или плужный снегоочиститель, применяемый для расчистки трассы фрезерования льда, а также дорог и территорий от снега. Особенностью машины является ее плавучесть, благодаря которой она в случае подламывания под ней льда может самостоятельно выйти на лед. При рабочей скорости движения 530 м/ч машина создает щель во льду шириной до 0,4 м и глубиной до 1,6 м.

В весенний период для более раннего освобождения акватории от ледяного покрова применяют устройство для разрушения льда [I, 37], состоящее из буксирующего вездеходного тягача типа амфибии и струга, представляющего собой металлические тракторные сани, к которым крепится рама с вертикальными направляющими для передвижения и фиксации резца на определенной высоте. Резец выполнен в виде усеченной пирамиды, расширяющейся вперед по ходу движения, а рабочая поверхность образована плоскостью, расположенной под углом резания приблизительно 25°

при угле наклона тыльной части стержня относительно ледяного поля приблизительно 3°. Сзади струга смонтировано приспособление, выбрасывающее снежно-ледяную крошку из прокладываемой борозды. Борозда имеет треугольную форму и в верхней части достигает ширины около 50 см. Глубина борозды в зависимости от толщины льда может доходить до 40 см. С помощью струга надрезают ледяной покров сверху и таким образом ослабляют его прочность .

В узких глубоких бороздах скапливается талая вода, что способствует разрушению ледяного покрова. Особенно это устройство полезно при предупреждении образования заторов в период ледохода на реках, а также для ускорения разрушения ледяного покрова на акваториях портов и судоремонтных предприятий.

Ледоломы. В последнее время разработаны средства разрушения льда, сущность которых заключается в том, что под ледяным покровом они создают область повышения давления, приводящее к вспучиванию льда и его разрушению.

В основу работы средств положено свойство несжимаемости воды, благодаря чему любое давление, создаваемое между водой и льдом, передается на лед. Лед же обладает очень малым сопротивлением на изгиб, поэтому применение таких средств механического разрушения льда представляется весьма перспективным.

В Дании запатентован ледолом [II, 7] для разрушения ледяного покрова, принцип действия которого заключается в том, что под ледяной покров заводится тело переменной плавучести с максимальной подъемной силой достаточной для того, чтобы лед над ним приподнимался и разрушался. Ледолом (рис. 6) включает в себя верхний понтон постоянного объема, имеющий продолговатую форму с несколько опущенным носом, и надувной нижний элемент, закрепленный под верхним понтоном и соединенный шлангом с компрессорной установкой. Обе емкости посредством штанг соединены с ведущим судном, содержащим компрессор или насос для откачки балласта.

В исходном положении нижний надувной элемент имеет мини-

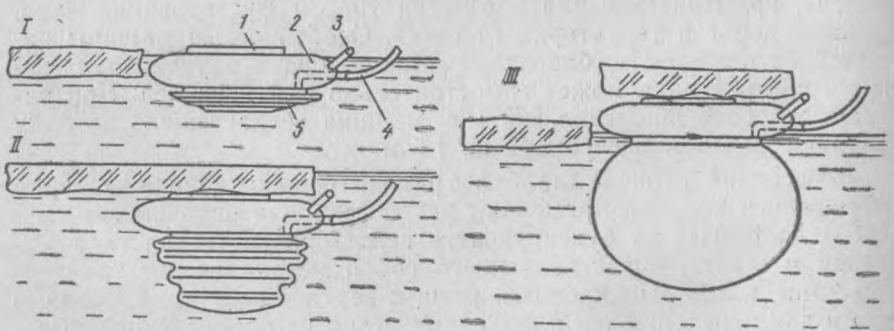


Рис. 6. Передвижной ледолом:

I—III — этапы взламывания льда; *1* — ребро жесткости; *2* — верхний баллон; *3* — выпускной патрубок; *4* — впускной патрубок; *5* — нижний баллон

мальный объем и все устройство обладает плавучестью, необходимой только лишь для поддержания его на плаву. Затем ледолом заводится под лед, в нижний элемент подается газ (сжатый воздух), который максимально увеличивает плавучесть ледолома, и лед над ним ломается. После этого газ из нижнего элемента выпускается и операция повторяется. Выпускаемый газ может быть использован как реактивный движитель, а верхняя часть ледолома может быть выполнена жесткой (из стали или армированной резины) и снабжена гребнями или ножами, облегчающими взламывание льда.

Ледолом может действовать автоматически, если внутри него встроить управляющий наполнением клапан и датчик, срабатывающий от определенного усилия контакта ледолома со льдом, находящимся над ним. Кроме того, ледолом может быть выполнен так, что изменение его плавучести происходит за счет подачи и последующей откачки водяного балласта.

В США исследуется новый принцип действия ледоколов, основанный на оборудовании обычного транспортного судна специальной приставкой, оснащенной подводной камерой для периодических взрывов смеси пропана и воздуха с последующим импульсным выпуском газа в воду под ледяной покров перед судном. Для проверки этого метода разработано устройство для разрушения льда (рис. 7), состоящее из небольшой толкаемой буксиром баржи, на которой смонтированы камера сгорания, быстродействующий выпускной клапан и трубопроводы с выхлопными камерами [57].

При эксплуатации носовая оконечность баржи погружена в воду и находится под льдом. В цилиндр вводятся углеводородное топливо (пропан) и сжатый воздух. Воспламенение смеси осуществляется от запальной свечи. При сгорании выделяется энергия, за счет которой давление в камере сгорания увеличивается в 6 раз по сравнению с давлением подаваемого сжатого воздуха. В момент, соответствующий максимальному давлению, продукты сгорания выпускаются через быстродействующий клапан и по трубопроводу поступают в выхлопные камеры, погруженные в воду под ледяным покровом. Газ под высоким давлением образует большие пузыри, разрушающие лед. Система сгорания машины для разрушения льда работает циклически. Время между

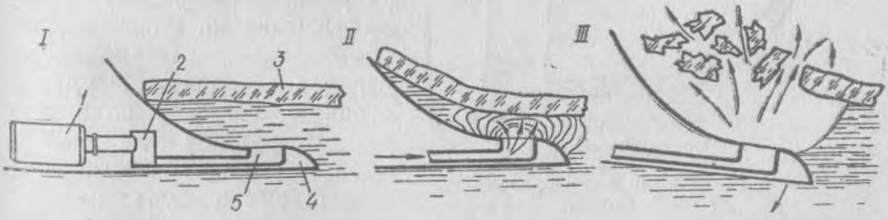


Рис. 7. Взрывная машина для разрушения льда:
I—III—стадии работы; *1* — камера сгорания; *2* — быстродействующий выпускной клапан; *3* — ледяной покров; *4* — наклонная площадка для облегчения входа под лед; *5* — выходной канал газа

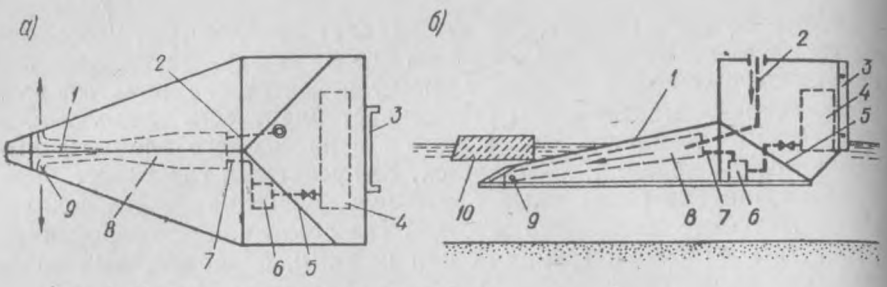


Рис. 8. Судовая ледокольная приставка:
а — вид сверху; *б* — вид сбоку; *1* — ледокольный форштевень; *2* — трубопровод сжатого воздуха; *3* — сцепное устройство; *4* — топливная цистерна; *5* — отвальные ребра; *6* — топливный насос; *7* — топливопровод; *8* — камера сгорания; *9* — выходные сопла; *10* — ледяной покров

циклами может регулироваться дистанционно и достигать максимума 10 с. В машине может быть установлено несколько камер сгорания в зависимости от требуемой ширины канала. Испускаемые пузыри газа в экспериментальной установке при ударе о нижнюю поверхность льда развивали давление в 28—35 кгс/см² и размельчали около 10 м² прочного ледяного покрова толщиной 30,5 см. Опыты показали, что с помощью такой насадки перед судном может быть взломан лед толщиной 60 см, шириной 12 м.

Подобные машины можно использовать как в ледокольных приставках (рис. 8), так и на стационарных гидротехнических сооружениях [I, 73]. В этом случае может быть применено навесное устройство, действующее по принципу взрывной машины [II, 24], основным элементом которой является камера сгорания (рис. 9), снабженная запальной свечой и заполняемая смесью горючего газа с воздухом. Элемент подвешен на кронштейне с помощью шарнира для того, чтобы устранить передачу усилия при взрыве на подвесное приспособление. Периодические взрывы создают ударную стоячую волну в воде, которая разрушает ледяной покров и удаляет битый лед с защищаемого участка акватории.

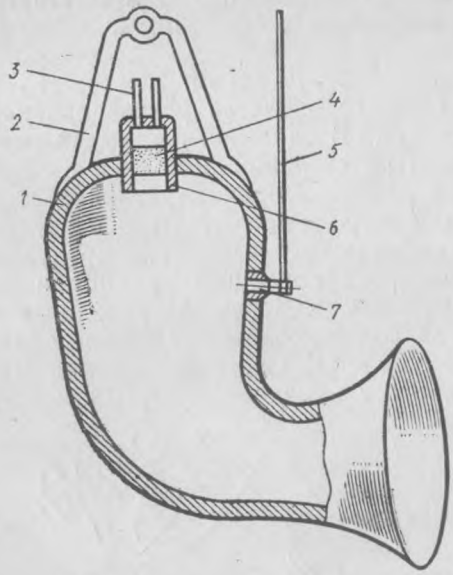


Рис. 9. Устройство для образования стоячей волны:
1 — корпус; *2* — подвеска; *3* — трубки для подачи горючей смеси; *4* — антидетонатор; *5* — электропитание; *6* — выпускной патрубок; *7* — запальная свеча

Другое устройство, предназначенное для тех же целей,

имеет более узкое назначение — создавать и поддерживать в незамерзающем состоянии небольшие участки акватории [II, 5, 19, 43]. Установка включает в себя насос, всасывающую и напорные трубы, погруженные в воду. Насос подачей около 45 л/с обеспечивает давление 0,7 кгс/см². В напорную трубу встроен инжектор, в который компрессором подают 56 л/с сжатого воздуха под давлением 4,2 кгс/см². Образуемая в инжекторе водовоздушная смесь нагнетается под лед, разрушая его примерно в течение 45 мин. Установка позволяет разрушать ледяной покров толщиной до 45 см при глубине воды 9 м.

В настоящее время изучается возможность применения различных типов лазеров для создания перед судном трещин в ледяном покрове, исследуются методы непрерывного резания льда и путем импульсного воздействия сфокусированного луча лазера. Определено, что луч лазера мгновенно проходит через снежный покров и скорость резания льда сохраняется неизменной. Расчетом установлено, что при мощности лазера 50—100 кВт в ледяном покрове может быть сделана узкая прорезь глубиной 68 см со скоростью 1 уз. Отмечено, что взрывоподобное образование пара от энергии импульса, сфокусированного под поверхностью льда, значительно повышает эффект разрушения ледяного покрова. Для подачи энергии луча лазера в подледный слой воды с наименьшими потерями при прохождении его через ледяной покров следует учитывать степень поглощения льдом энергии луча, т. е. изменение коэффициента абсорбции льда при прохождении через него лучей с различными длинами волн [55]. Очевидно, что это новое средство в равной степени может быть отнесено как к ледорезам, так и к ледоломам.

Волногенераторы. В последние годы появилась идея использования энергии волн для борьбы с ледообразованием на акваториях гаваней с помощью волногенераторов. Отличительным и весьма существенным качеством волногенераторов является то, что при незначительных затратах мощности с помощью простейших устройств возможно создание волн, препятствующих ледообразованию на больших площадях и расстояниях. Волногенераторы создают подвижный фронт волны, которая вызывает постоянное перемещение частиц воды по вертикали, тем самым не давая смерзаться образующимся в переохлажденной воде кристаллам льда. Одновременно происходит перемешивание слоев воды по глубине водоема, поэтому на поверхность поднимаются более теплые или более соленые придонные воды. Кроме того, создается небольшая (около 9—10 см/с) поверхностная горизонтальная скорость, благодаря которой возникает перемещение образовавшейся шуги в направлении распространения волны. С наибольшей эффективностью волногенераторы можно применять в гаванях, имеющих выход в свободные от льда водоемы, а также на акваториях, на которых нет приносных льдов (рис. 10).

Волногенераторы являются новым типом противоледовых устройств, испытаны пока только опытные маломощные образцы,

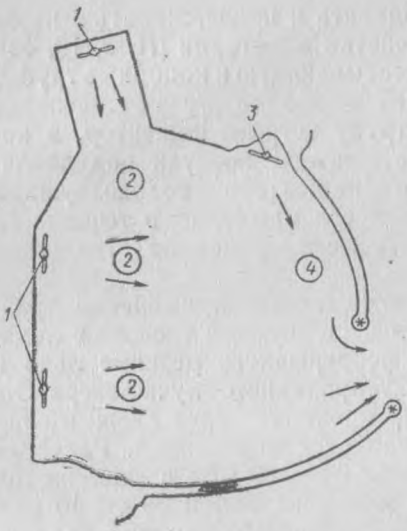


Рис. 10. Предотвращение ледообразования на акватории порта с помощью волногенераторов:

1 — волногенератор; *2* — фронт распространения прямой волны; *3* — отражающий экран; *4* — фронт распространения отраженной волны

однако результаты испытаний говорят о перспективности их применения.

Первые эксперименты по определению эффективности работы волногенераторов были проведены в 1962 г. в Канаде. Волны создавались вибрирующим плунжером, в качестве которого был установлен деревянный брус сечением 10×10 см, длиной 3 м, с концевыми плитами и стабилизирующими грузами, приводимый в колебательное движение электродвигателем мощностью 0,2 кВт.

В месте установки волногенератора ледяной покров имел толщину 24 см, которая на расстоянии 25 м уменьшалась до 1 см. В течение первых 3 ч работы волногенератора ледяной покров в зоне шириной 8 м и длиной 25 м был разрушен, а в течение недели при непрерывной его работе этот участок акватории оставался свободным от льда, несмотря на низкую температуру воздуха, доходившую до —30° С.

В 1968 г. опыты были повторены с плавучим волногенератором. Мощность приводного электродвигателя волногенератора равнялась 0,35 кВт. Рабочему органу сообщались колебательные движения с амплитудой до 25 см. Благодаря добавлению понтонов различных размеров можно было получать волны с различными характеристиками.

К началу работы установки толщина ледяного покрова составляла 40 см, температура воздуха +10°С. Волногенератор, работая в течение 4 ч, очистил участок акватории в радиусе 100 м. На следующий день, в условиях поднявшегося ветра, от льда было очищено все озеро, хотя соседние озера оставались покрытыми льдом еще в течение недели.

Эти результаты показывают, что волногенератор может быть использован и на акваториях с уже образовавшимся прочным ледяным покровом.

Были проведены эксперименты в мелком лотке с холодной водой, близкой к температуре замерзания, которые показали, что отсутствие градиента температуры по глубине незначительно снизило эффективность работы волногенератора. На основании результатов этих опытов можно сделать вывод, что волногенера-

торы способны эффективно действовать и на акваториях, не имеющих естественных запасов тепла.

При низких температурах воздуха и при температуре воды, близкой к замерзанию, на поверхности воды, несмотря на работу волногенератора, происходит образование шуги. В результате опытов было установлено, что волны перемещают образующуюся шугу в направлении распространения волны и тем самым предотвращают образование сплошного льда. Постепенно на поверхности воды образуется слой шуги, который значительно снижает скорость ледообразования, что объясняется теплоизолирующим эффектом. Наличие шуги не оказывало заметного влияния на высоту создаваемой волны. При опыте скорость переноса массы шуги толщиной 6 см в горизонтальном направлении оставалась равной 9 см/с.

Для практического осуществления этого нового способа борьбы с ледообразованием были разработаны различные конструкции волногенераторов. В качестве генератора волн самой простой конструкции применено бревно большого диаметра (рис. 11,*а*). Бревну с помощью устройства для забивания свай, установленного на пирсе, придают возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости.

Исследования показали, что при малой длине вибрирующего элемента дальность действия волны сокращается в связи с влиянием дифракции волн. Дифракционные потери значительно уменьшаются, если длина волнообразующего элемента будет в 5—6 раз превышать длину волны. Большую длину волнообразующего элемента проще обеспечить в плавучих установках, монтируемых на понтонах с выдвижными опорами.

Принцип действия плавучего волногенератора с вращающимся элементом показан на рис. 11, *б*. В патенте США [II, 27] приведе-

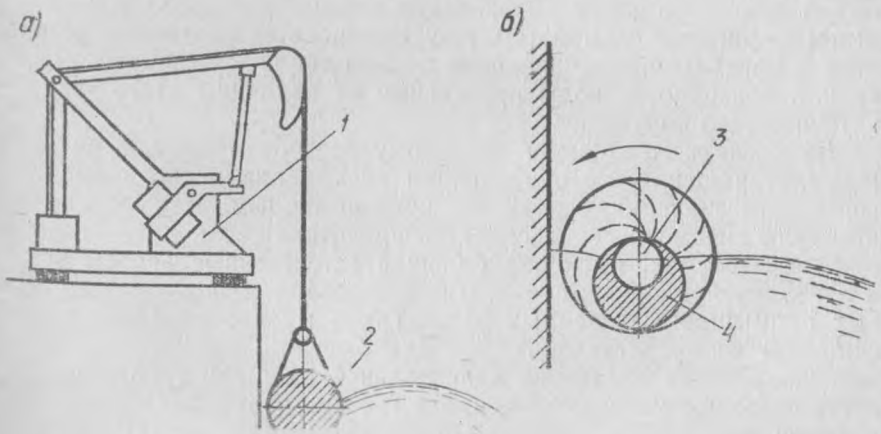


Рис. 11. Волногенератор:
а — плунжерный; *б* — роторный; *1* — приводной механизм; *2* — плунжер; *3* — металлическая труба; *4* — полиэтиленовая пластина

но еще несколько конструкций волногенераторных установок, основанных на том же принципе действия, что и в вышеописанных волногенераторах.

По предварительным расчетам, волногенераторная установка, создающая волну высотой 1 м и длиной 10—12 м, обеспечит удаление ледяной шуги на несколько километров. В то же время такие волны не затрудняют выполнение различных операций на акватории. Наиболее подходящей конструкцией для таких целей является волногенератор с вращающимся элементом (ротором). Потребляемая мощность его должна быть около 2,2 кВт на 1 м длины ротора [50].

Рассмотренные средства механического разрушения ледяного покрова, исключая волногенераторы, не в состоянии обеспечить полностью свободную от льда акваторию судоремонтного завода, порта и т. п. С их помощью возможно облегчить проход и передвижение судов во льду, предотвратить давление льда при термическом расширении на плавсредства и гидротехнические сооружения, ослабить прочность льда или ускорить весеннее вскрытие ледяного покрова. Кроме того, средства механического разрушения льда применяются эпизодически; следовательно, в перерывах ледовые затруднения не только сохраняются, но и с течением времени все более осложняются.

Средства механического разрушения льда с большим успехом и эффективностью могут применяться для обслуживания подходных трасс. На ограниченных акваториях эффективность их применения значительно уступает тепловым способам.

§ 6. ТЕПЛОВЫЕ СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ НЕЗАМЕРЗАЮЩИХ АКВАТОРИЙ

К средствам для осуществления теплового способа разрушения и предотвращения образования ледяного покрова в соответствии с принятой схемой (см. рис. 1) относятся различные устройства и приемы, обеспечивающие подвод тепла к ледяному покрову или поверхности воды независимо от величины этого тепла и источника его получения.

До последнего времени тепловому способу разрушения льда и предотвращения его образования не придавали сколько-нибудь серьезного значения, считая его неэкономичным. Исключение составляли пневматические средства предотвращения ледообразования на водоемах, имеющих большие естественные запасы тепла в глубоких придонных слоях, и использование очищенных сбросовых промышленных теплых вод. Такое мнение складывалось в основном из представления, что для быстрого растопления ледяного покрова на акватории значительной площади требуется подвести огромное количество тепла в течение короткого промежутка времени.

Обычно промышленные предприятия, для обеспечения нужд которых создаются свободные от льда акватории, не имеют таких дополнительных энергетических ресурсов. Строительство же толь-

ко для этой цели специальных энергоустановок, например котельных, обходится слишком дорого, требует больших капиталовложений и эксплуатационных затрат, а период их использования в течение года ограничивается зимним временем. Однако такое мнение ошибочно. Как показал опыт, бóльшая часть тепла, подаваемого в водоем, расходуется на расплавление ледяного покрова. Время, затраченное на создание майны, колеблется в пределах 5—10 сут, что вполне отвечает практическим потребностям.

В 1950—1970 гг. были проведены натурные опыты [6, 26] с применением внешнего источника тепла (пара, горячей воды), получаемого от котельных установок промышленных предприятий. Полученные результаты доказывают, что, несмотря на почти полное отсутствие каких-либо теоретических разработок в этой области, несовершенство методов проектирования и конструкций применяемых устройств, метод искусственного обогрева с целью создания и поддержания незамерзающих акваторий является наиболее универсальным, эффективным и перспективным в условиях водоемов, не имеющих сколько-нибудь значительных естественных запасов тепла.

Одним из наиболее распространенных и экономичных средств теплового воздействия на лед являются пневматические установки (пневмоустановки). Различают два типа таких установок: осуществляющих подачу в водоем только сжатого воздуха и использующих сжатый воздух и теплоноситель, подаваемые в водоем раздельно или в смеси. Как в том, так и в другом случае для эффективного применения пневмоустановок необходимо учитывать особенности зимнего ледотермического режима конкретного водоема.

Пневмоустановки применяются для растопления образовавшегося ледяного покрова и для предотвращения его образования. Общим для всех пневмоустановок является выпуск сжатого воздуха в воду через барботер (устройство для выпуска воздуха или газа в воду).

При использовании природных энергоресурсов водоемов, в зависимости от температурных или соленостных условий водоема, сжатый воздух выпускают в слое с наибольшей температурой или соленостью. Воздух, поступая в воду в виде пузырей, поднимается вверх. При этом благодаря «поршневому» эффекту и трению образуется восходящий поток воды из района выпуска сжатого воздуха. Постепенно, по мере работы пневмоустановки, образуются полузамкнутые циркуляционные течения (рис. 12), которые можно разбить на три основные области: возвратных течений, подтекающих к месту выпуска сжатого воздуха; вертикального водовоздушного восходящего потока и поверхностных горизонтально растекающихся течений.

Кинематика и гидродинамика возвратных течений совершенно неисследованы, в то время как даже общие представления об образовании, направлении и скорости этих течений имеют особо важное значение при выборе размеров, типа и места расположения

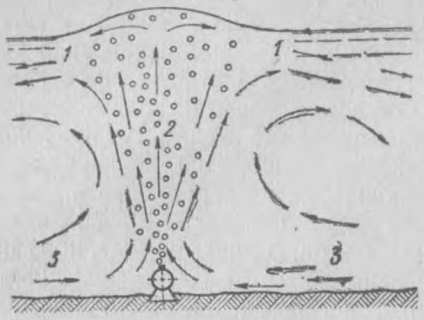


Рис. 12. Циркуляционные течения, создаваемые барботажной установкой:

1 — поверхностные; *2* — вертикального водовоздушного восходящего потока; *3* — возвратные

барботера пневмоустановки в конкретных гидрологических и морфологических условиях дна водоема.

Барботеры пневмоустановок, которые применяют в пресных водоемах для использования тепла глубинных вод, целесообразно располагать на глубине слоя с наибольшей температурой воды. Важно так разместить барботер, чтобы в циркуляционном течении при его работе принимал участие весь объем теплой воды, скопившейся в котлованах и выемках дна водоема.

В морских водах наиболее выгодно располагать барботер в слое наибольшей солености, так как в процессе растопления льда или предотвращения его образования главное значение имеет постоянный приток к нижней поверхности ледяного покрова масс воды высокой солености, температура которой выше температуры ее замерзания.

В пневмоустановках, применяемых с целью более рационального использования тепла промышленных сбросовых вод, барботер необходимо располагать таким образом, чтобы обеспечить лучшее перемешивание поступающей теплой воды с водой водоема. В противном случае имеется опасность местного термального загрязнения водоема. Удачно выбранное расположение барботера пневмоустановки может также ликвидировать опасность химического загрязнения участка акватории в месте сброса промышленных вод.

Таким образом, выбор места расположения барботера пневмоустановки в водоеме играет большую роль и в каждом конкретном случае оно должно быть выбрано на основе анализа гидрологических условий, а также с учетом возможности получения необходимого количества теплоносителя.

Водовоздушная вертикальная струя образует вторую область циркуляционного течения, где происходит подъем пузырьками воздуха масс воды. Струя имеет форму конусного факела, верхний расширенный конец которого вблизи свободной поверхности воды преобразуется в горизонтальные потоки. На поверхности, в месте выхода вертикальной струи, образуется бурун, создающий гидравлический подпор. В практике бурун часто применяется как средство задержания плавающих предметов, а течения, создаваемые благодаря гидравлическому подпору, — для удаления плавающих предметов или веществ с защищаемого участка акватории.

Область поверхностных течений является третьей и наиболее важной областью циркуляционного течения, создаваемого барбо-

тером пневматической установки. В этой области происходит замещение охлажденной воды более теплыми или солеными массами, поднимаемыми пузырьками воздуха, взаимодействие их с ледяным покровом или атмосферным воздухом и растопление ледяного покрова или предотвращение его образования. Поверхностные течения имеют различную форму, которая зависит от количества выпускных воздушных отверстий или устройств, а также от их расположения относительно вертикальных стенок (пирсов, причалов и т. п.). При одном точечном источнике в неограниченном водоеме вертикальный восходящий водовоздушный поток на поверхности создает веерную струю, т. е. течения расходятся от центра по радиусу по всем направлениям. Несколько источников, расположенных в ряд по одной линии, создают плоскую струю, направленную по обе стороны от этой линии в противоположных направлениях и перпендикулярно ей. При работе барботера вблизи стенки образуется только половина плоской струи, направленной в сторону от стенки.

Поверхностные течения по мере удаления от места выпуска сжатого воздуха теряют свою скорость. Величины максимальной поверхностной скорости и скорости на некоторых расстояниях от места выпуска воздуха зависят от глубины погружения барботера пневмоустановки и удельного расхода сжатого воздуха.

По исследованиям различных авторов [28, 44], максимального значения скорость поверхностного течения достигает на расстоянии (0,3—1) H от места выхода воздуха на поверхность водоема (H—глубина погружения барботера). При работе барботера вблизи стенки скорость поверхностного течения увеличивается приблизительно в 1,3 раза. Эти данные имеют большое значение при расчете пневмоустановок, зоны их активного действия, а также ширины канала вдоль пирса, свободного от битого льда в результате выноса его поверхностными потоками.

Пневмоустановки по способу подачи воздуха в водоем делятся на установки с непрерывным и импульсным выпуском сжатого воздуха. Это определяет два основных направления разработки их конструкции.

Основным элементом пневмоустановок с *непрерывным* выпуском сжатого воздуха является барботер, выполненный в виде перфорированного трубопровода.

В 1944—1945 гг. в ряде стран (США, Швеция) запатентованы способ и устройства [11, 9, 11, 62] для растопления ледяного покрова и предотвращения его образования с использованием запасов естественного тепла в глубинных слоях водоема. Устройство представляет собой трубопровод с отверстиями, уложенный на дне водоема, в который подается сжатый воздух от компрессора, расположенного на берегу. Воздух, выпускаемый через отверстия в воду, создает циркуляцию, благодаря которой теплая вода со дна поступает к поверхности водоема. Для увеличения зоны действия устройства трубопроводы могут быть уложены на дне в горизонтальной плоскости в виде синусоидальных или прямых отростков.

Повышение эффекта работы установки достигают при снабжении трубопровода отростками, имеющими в плане изогнутую форму [II, 48, 63]. Трубопроводы могут быть выполнены из различных материалов, в частности из стали, пластмассы, резины и т. п.

Практика показала, что использование подобных устройств в водоемах, имеющих достаточно высокую температуру нижних слоев (от +1 до +4° С), бесспорно, эффективно. Но в некоторых случаях, например, в стратифицированных водоемах, где существует так называемый термоклин и уровень наиболее теплой воды находится выше дна, требуются установки, способные находиться в слое наибольшей плотности. Для создания циркуляции в таких условиях применяют трубопроводы с плавучестью [II, 20]. Труба (рис. 13), имеющая отверстия в нижней части, располагается с помощью поплавков в том слое стратифицированного водоема, где вода имеет наибольшую температуру и, соответственно, плотность. Труба снабжена грузами для уравновешивания подъемной силы поплавков. Кроме отмеченного преимущества, такое расположение перфорированной трубы и отверстий на ней позволяет сократить вероятность засорения отверстий илом и твердыми осадками.

Однако в условиях судоходных трасс наличие поплавков на поверхности воды делает данное устройство непригодным, так как поплавки могут быть срезаны винтами судна. Для судоходных трасс более надежной установкой трубопровода является его подвеска, которая состоит из якоря, опущенного на дно, и поплавка,

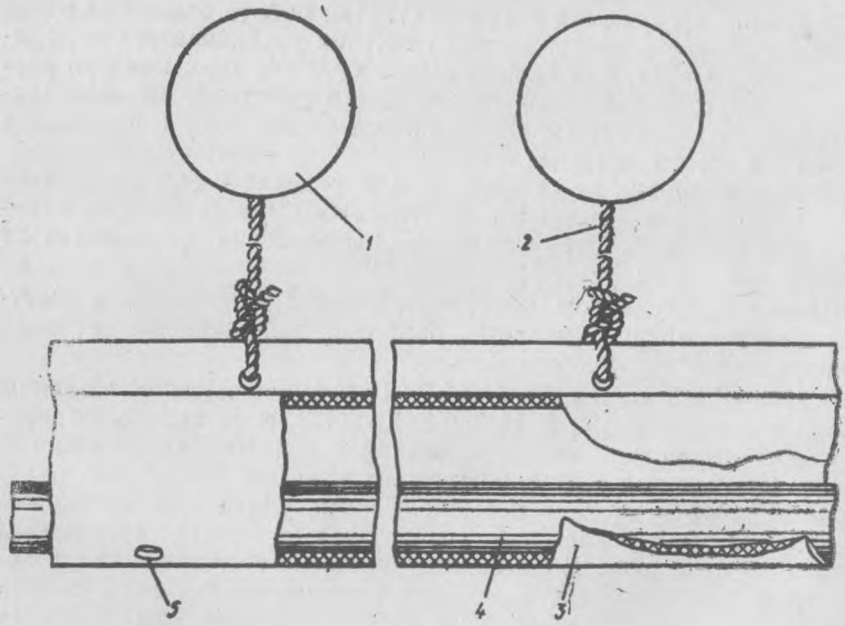


Рис. 13. Перфорированная труба с поплавковой подвеской: ,
1 — поплавок; *2* — трос; *3* — перфорированный воздухопровод; *4* — груз; *5* — выпускное отверстие

уравновешивающего массу трубы. При этом поплавок располагается почти на той же глубине, что и труба, достаточно удален от поверхности воды и не мешает судоходству. Подобная конструкция подвески барботера была использована в пневмоустановке для создания незамерзающей паромной трассы на одном из озер Канады [49].

Барботер состоял из перфорированного металлического трубопровода, уложенного на дно в мелких прибрежных участках озера, и перфорированной, полиэтиленовой трубы диаметром 65 мм, подвешенной с помощью поплавков и грузов на той же глубине. Таким образом барботер был размещен приблизительно на одной глубине, благодаря чему был обеспечен постоянный расход воздуха по всей его длине, так как с уменьшением глубины расположения барботера расход воздуха увеличивается из-за понижения гидростатического давления. При большой глубине озера (до 122 м) температура придонных слоев воды доходила до +3,9° С. Барботер установили в слое с температурой +3° С с тем, чтобы при относительно небольшой мощности компрессора обеспечить подъем достаточно теплой воды. При таких благоприятных гидрологических условиях в течение всей зимы поддерживалась незамерзающая майна шириной 11 м и длиной 3,3 км. Температура воздуха в самое холодное время доходила до —37° С.

Как один из возможных вариантов установки перфорированных трубопроводов был предложен способ их стационарной укладки [II, 26, 35] в траншеи, которые вымывают на дне. Уложенные в траншеи трубопроводы засыпают средой, хорошо пропускающей воздух, например галькой. Такой метод возможен только в водоемах с малой заносимостью дна. Осмотр барботера и ремонт пневмоустановки в этом случае сильно затруднены. Необходимость же осмотра возникает практически ежегодно, так как в большинстве случаев трубопроводы эксплуатируются только в течение зимнего времени. В летний период пневмосистема, находящаяся на дне, подвергается коррозии и обрастанию.

Увеличить период между осмотрами и ремонтом позволяет конструкция пневмоустановки [II, 49], в которой устранена возможность попадания воды из водоема через отверстия в трубе. Установка имеет клапан, который при понижении давления сжатого воздуха позволяет подключать барботер к водоподающей системе. Происходит промывка перфорированных трубопроводов жидкостью, удаление из них твердых осадков и частиц ила. Затем клапан перекрывается, и система остается заполненной чистой жидкостью, например чистой береговой водой. Постоянное давление жидкости в трубопроводе поддерживается специальным редукционным клапаном.

Было предложено также устройство [II, 12], с помощью которого система перфорированных труб может всплывать на поверхность водоема. Устройство состоит из трубопровода, лежащего на дне водоема и являющегося базой-основанием для воздухораспределительной системы, включающей трубу с выпускными отверсти-

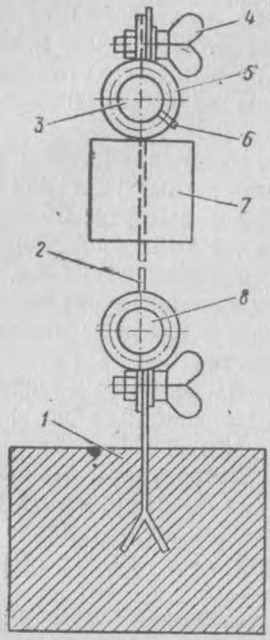


Рис. 14. Всплывающая барботажная система:
1 — якорь; *2* — трос; *3* — перфорированная труба; *4* — зажимной винт; *5* — зажим; *6* — выпускное сопло; *7* — поплавок; *8* — анкерная труба

ями, через которые сжатый воздух подается в воду. Трубопровод с одной стороны открыт, а с другой — оборудован устройством, позволяющим подавать в него сжатый воздух для вытеснения воды. Для управления наполнением водой или опорожнением трубопровода имеется клапанный регулятор. Диаметр трубопровода выбирается с расчетом, чтобы он мог всплыть на поверхность при заполнении его воздухом со всеми смонтированными на нем устройствами и приспособлениями.

Такое решение позволяет периодически производить осмотр рабочего трубопровода, ремонтировать его на плаву, а также легко доставлять на другое место установки. Одним из недостатков такого устройства является затрудненность его ориентации на дне.

Этот недостаток устраняется в устройстве [II, 1], выполненном также в виде двойного трубопровода (рис. 14). Верхний трубопровод снабжен соплами для выпуска сжатого воздуха, связан с помощью зажимов и тросов с нижним анкерным трубопроводом и грузами. На тросах, соединяющих сопловой трубопровод с анкерным, подвижно закреплены поплавки, которые всегда поддерживают трубопровод с соплами выше анкерного. Оба трубопровода подсоединены к компрессору. Нижний трубопровод снабжен также клапаном для заполнения его водой.

При монтаже установки анкерный трубопровод заполнен сжатым воздухом и уравновешивает массу всей системы; затем открывают клапан анкерного трубопровода, он наполняется водой и вся система погружается на дно. Система клапанов позволяет промывать сопловой трубопровод водой, заполнять анкерный трубопровод воздухом и поднимать систему на поверхность.

Магистральный трубопровод на переменном уровне воды снабжен утеплителем во избежание образования ледяной пробки.

В зависимости от размеров барботажной системы и ее конфигурации применяются различные варианты исполнения анкерного трубопровода. Например, в качестве элементов, осуществляющих подъем системы, могут быть использованы бочки, которые с помощью клапанов и трубопроводов сжатого воздуха заполняются водой или воздухом.

Установкам, выполненным из двух систем трубопроводов, присущи общие недостатки: громоздкость конструкции и сложность практического осуществления. В частности, испытания двухтрубной пневмоустановки, проведенные на Кременчугском водохранилище, показали сложность и ненадежность осуществления принципа подъема пневмоустановок на поверхность с помощью устройств со сжатым воздухом. Для успешного применения этого принципа необходимы тщательность изготовления узлов и деталей, обеспеченность надежными и простыми в эксплуатации дистанционно управляемыми переключающими и запорными клапанами.

В 1950—1960 гг. одновременно с непрерывным выпуском стал применяться *импульсный* способ подачи сжатого воздуха в воду, который отличается тем, что воздух подается в барботер, оборудованный специальным накопителем, и при накоплении критического объема воздуха выпускается в воду порциями.

Преимущество импульсного способа подачи воздуха состоит в том, что он обеспечивает подачу воздуха в воду в виде пузырей большого объема. Исследования поведения поднимающихся в воде воздушных пузырей различных размеров [69] показали, что с увеличением объема пузыря увеличивается его скорость подъема. Кроме того, пузырь стремится приобрести форму опрокинутого блюдца с большей горизонтальной осью, что приводит к увеличению расхода воды, которая увлекается каждым отдельным пузырем. Преимущество импульсного способа заключается также и в том, что стремление повысить производительность барботера увеличением удельного расхода воздуха не приводит к срыву пузырькового режима течения в вертикальном восходящем потоке, как это может произойти при работе барботера непрерывного действия. Срыв пузырькового режима приводит к созданию (кратковременному, но часто повторяющемуся) режима открытого факела, когда воздух истекает через толщу воды, не перемешиваясь с ней. При этом расход увлекаемой воды и эффективность работы установки резко сокращаются.

Большинство барботеров с импульсной подачей воздуха применяется в качестве волногасителей. Но возможно одновременное эффективное их использование для растопления льда и предотвращения его образования и для более эффективного задержания и перемещения плавающих предметов, например битого льда.

Более высокая эффективность работы импульсных барботеров по сравнению с установками непрерывного выпуска воздуха объясняется еще и тем, что большим пузырем воздуха единовременно выталкивается на поверхность большой объем воды в виде бугра со значительным гидравлическим уклоном, чем в конечном итоге и достигается увеличение начальной скорости и дальности действия созданного поверхностного потока. Это преимущество явилось предпосылкой для создания различных конструкций барботеров с импульсной подачей сжатого воздуха.

Одна из первых конструкций импульсной пневмоустановки была создана английской фирмой в 1957 г. и запатентована

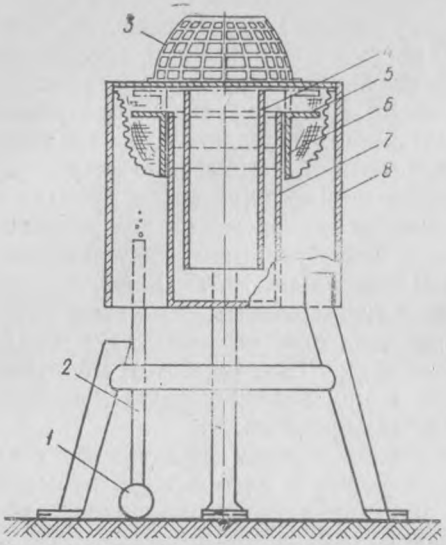


Рис. 15. Импульсный клапан-накопитель воздуха:

1 — воздухопровод; *2* — воздуховыпускной патрубок; *3* — решетка; *4* — внутренняя труба; *5* — кольцевой клапан; *6* — сетка; *7* — наружная труба; *8* — корпус

в Англии, Франции, ФРГ и других странах. Пневматическая система с гидравлическими импульсными клапанами-накопителями [II, 2, 34, 38] состоит из опрокинутого вверх дном резервуара, в центре которого концентрично расположены две трубы, представляющие собой гидравлический затвор (рис. 15). Поступающий из раздаточного трубопровода сжатый воздух заполняет резервуар, вытесняя воду. При достижении определенного уровня воздух мгновенно прорывается в центральную выхлопную трубу, дробится защитной сеткой на отдельные пузыри и создает мощный восходящий воздухо-водяной поток.

В 1959 г. в Англии, а в 1960 г. в США запатентованы усовершенствованные устройства [II, 4, 15, 18, 39, 51, 60], включающие вышеописанный клапан и направляющую вертикальную трубу (рис. 16). Экспериментальная установка с такими клапанами была изготовлена и испытана в 1958 г. для защиты от волн входа на акваторию порта Дувр.

Испытания в Канаде одиночного импульсного барботера подобного типа [56] показали высокую эффективность при незначительном расходе воздуха. В начале третьей недели работы в ледяном покрове толщиной 0,3 м при температуре наружного воздуха —23° С образовалась круглая майна площадью 740 м². Барботер периодически выпускал один мощный пузырь воздуха объемом приблизительно 0,016 м³.

Наличие патентов-аналогов на конструкцию этого устройства в ряде стран свидетельствует о применимости и эффективности этого устройства.

В этот же период в СССР были разработаны способ и клапанные устройства (рис. 17) для импульсной подачи воздуха [I, 1—3]. Лабораторные и натурные испытания пневмоустановок с импульсным выпуском воздуха проводились с целью волногашения и растопления ледяного покрова водоемов и позволили установить конструктивные и технологические характеристики элементов установок.

Недостатком в конструкциях импульсных барботеров является то, что воздух, накопившийся в кольцевом зазоре гидравлического

затвора, истекает через трубу в виде струи. Пузыри образуются и формируются уже в водоеме. Это ограничивает размер пузыря, так как происходит дробление, объединение и снова распадение пузырей. На эти превращения тратится энергия и создается повышенная турбулентность в зоне формирования вертикального восходящего потока.

С целью повышения эффективности действия может быть использован импульсный барботер, конструкция которого схематично изображена на рис. 18. Накопитель барботера имеет форму усеченного конуса, герметично закрытого сверху и открытого снизу. Накопитель укреплен выше своего центра тяжести с помощью горизонтальных осей вращения на опорах фундамента. Трубопровод сжатого воздуха укреплен на фундаменте и снабжен выпускным патрубком, расположенным по центру нижнего основания накопителя. Сжатый воздух через трубопровод и выпускной патрубок поступает через воду в накопитель. Скапливаясь в его верхней части, воздух вытесняет воду из накопителя. При достижении критического объема воздуха накопитель приобретает избыточную плавучесть, которая создает вращающий момент, и накопитель, потеряв устойчивость, под действием вращающего момента резко опрокидывается, поворачиваясь на оси до тех пор, пока нижнее открытое основание не будет обращено вверх. В этот момент воздух, содержащийся в накопителе, мощным пузырем устремляется вверх. Освободившийся от воздуха и, следовательно, от избыточной плавучести накопитель под действием силы тяжести поворачивается на оси в исходное положение, и цикл повторяется снова.

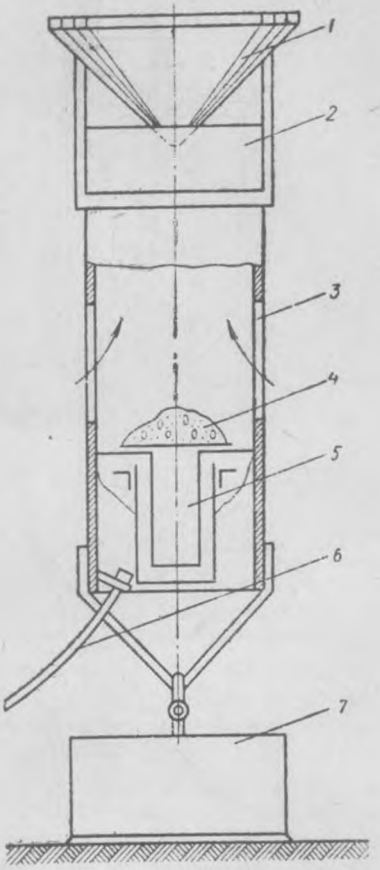


Рис. 16. Пневмогидравлический клапан для импульсного выпуска воздуха:
1 — конический рассекатель; *2* — труба; *3* — окна для воды; *4* — решетка; *5* — клапан-накопитель; *6* — воздухопровод; *7* — груз

Кроме основного преимущества, заключающегося в повышенной эффективности действия, данное устройство гораздо меньше подвержено опасности засорения и заиливания, чем предыдущие.

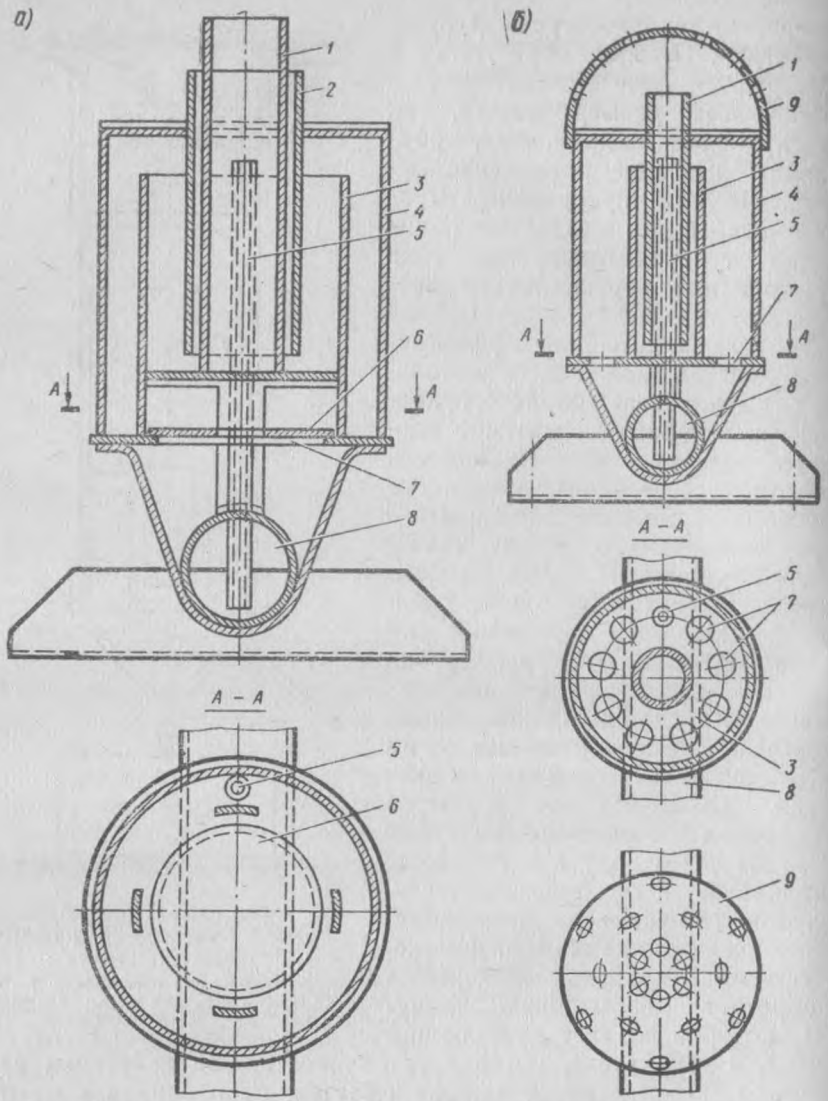


Рис. 17. Клапан для импульсного выпуска воздуха:
а — пневмогидравлический; *б* — пневматический; *1* — внутренняя труба; *2* — средняя труба; *3* — наружная труба; *4* — корпус; *5* — воздуховыпускной патрубок; *6* — крышка клапанная; *7* — отверстия для воды; *8* — воздухопровод; *9* — перфорированный колпак

Накопитель, оси и другие элементы устройства могут быть выполнены из материалов, стойких и долговечных при работе в агрессивной среде, например из полипропилена. Конструкция устройства позволяет применять накопитель любых формы и размеров, объем которого может быть очень большим.

Эксплуатация пневмоустановок усложняется некоторыми вредными явлениями, вследствие действия которых требуется часто производить осмотр и ремонт их элементов.

В тот период, когда подача воздуха в трубопровод прекращена, через отверстия в барботер поступает вода из водоема. Различные взвешенные частицы, ил и грязь оседают на стенках труб и отверстий, постепенно сокращая проходные сечения трубопроводов и способствуя их коррозии и разрушению. Кроме того, в зимнее время вода в трубопроводе замерзает, образуя трудно устранимые ледяные пробки. Особенно это типично для трубопровода в районе его входа в воду, а также для трубопровода, находящегося в морской воде с отрицательной температурой, при подаче в него пресной теплой воды.

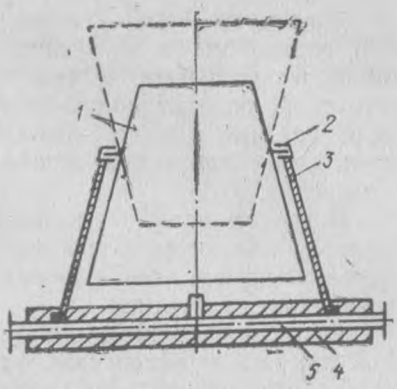


Рис. 18. Барботер импульсного действия:

1 — накопитель; *2* — ось вращения; *3* — опора; *4* — основание; *5* — трубопровод сжатого воздуха

Для устранения осадков, ила и грязи в барботерах применяются описанные ранее средства [II, 49], в которых предусмотрены промывка и заполнение трубопровода жидкостью на период прекращения подачи сжатого воздуха. Применение такого способа увеличивает период между осмотрами, но требует дополнительного оборудования и постоянного наблюдения за ним.

Для защиты трубопроводов от засорения применяют клапаны различной конструкции, назначение которых состоит в том, чтобы полностью устранить возможность проникновения грязной воды в трубопровод или, по крайней мере, затруднить доступ через отверстия взвешенным в воде инородным частицам. В патентной и технической литературе предлагается множество разнообразных по конструкции и назначению клапанов, например редукционный клапан для воздуходувной установки [I, 4]. Сложные по конструкции, дорогостоящие и громоздкие, они практически не применимы на барботерах, имеющих большое количество отверстий.

Еще одним отрицательным качеством такого типа клапанов является то, что их металлические стенки, как правило, имеют значительную толщину. Сжатый воздух, выходя через клапан в воду с большой скоростью, охлаждает детали клапана, а поскольку клапан имеет большую массу, теплопередача через его стенки происходит не интенсивно, и содержащаяся в воздухе влага конденсируется и замерзает на элементах клапана. В связи с обмерзанием подвижных элементов клапан выходит из строя.

Для пневмоустановок, особенно значительных размеров, требуются простые по конструкции, дешевые и надежные предохранительные устройства, легко монтируемые и демонтируемые в нецеховых условиях.

Примером такой конструкции может служить клапан [II, 40, 59], состоящий из двух гибких элементов, закрепленных на трубопроводе зажимами. Элементы закрепляются над отверстием так, что свободные их концы ложатся внахлестку и перекрывают отверстие. При подаче сжатого воздуха в трубопровод гибкие элементы под давлением отгибаются, освобождая проходное сечение отверстия.

В другом варианте клапан выполнен в виде одной упругой резиновой пластины, закрепленной своим широким облегающим концом на трубе с помощью зажима, а узким свободным концом закрывающей отверстие.

Такая конструкция клапанов лишь частично решает проблему, так как она не обеспечивает герметизации трубопровода. Вода постепенно просачивается через неплотности и заполняет трубопровод. В сильно загрязненном водоеме со временем трубопровод будет засорен.

Существуют конструкции клапанов, обеспечивающие достаточно герметичное перекрытие отверстия. Клапан (рис. 19) изготовлен цельнолитым из эластичного материала, например резины. Нижняя часть имеет трубчатую форму с внутренним диаметром, равным наружному диаметру трубопровода. Зажимы фиксируют клапан на нужном участке перфорированного трубопровода. Верхняя часть клапана также трубчатой формы и оканчивается прямоугольной головкой, имеющей щелевидную прорезь. Верхней части клапана при изготовлении придана форма свернутой спирали, в нерабочем состоянии трубка свернута и ее внутреннее проходное сечение полностью перекрыто. Под давлением сжатого воздуха трубка выпрямляется и выпускает воздух в воду.

Необходимость изготовления клапанов описанных конструкций из резины несколько снижает их универсальность и надежность, так как в морских водоемах резина быстро теряет эластичность, трескается, коробится и разрушается.

В условиях морских водоемов более рационально использовать клапан, который состоит из хомута с пружинным держателем, вырезанным из листового упругого металла. На держателе закреплен с возможностью регулировки по его длине движок, на нижней поверхности которого смонтирован конусный запорный элемент. Под действием пружинного держателя конусный элемент перекрывает отверстие в трубопроводе. Если трубопровод изготовлен из пластмассы, в отверстие трубопровода вставляется бронзовая втулка (сопло).

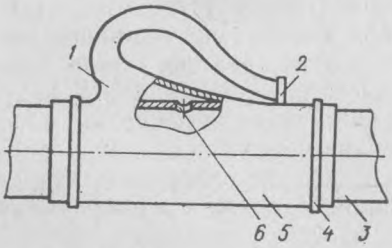


Рис. 19. Муфтовый клапан:

1 — трубка; *2* — наконечник с выходной щелью; *3* — трубопровод сжатого воздуха; *4* — зажим; *5* — муфта клапана; *6* — выпускное сопло

С целью продления срока действия резиновых эластичных

клапанов может быть использовано устройство (рис. 20) с защитным колпаком, в котором запорным элементом является тонкая резиновая трубка, надетая на патрубок с выпускным отверстием. Колпак, которым закрыт клапан сверху, полностью исключает контакт резинового элемента с водой. При подаче сжатого воздуха в клапан резиновая трубка раздувается, и через образовавшийся зазор воздух попадает в колпак, а из него в водоем. Как только подача воздуха прекратится эластичная трубка сократится и, плотно облегая патрубок, герметично закроет отверстие. Колпак в связи с этим останется заполненным воздухом, который препятствует поступлению в него воды.

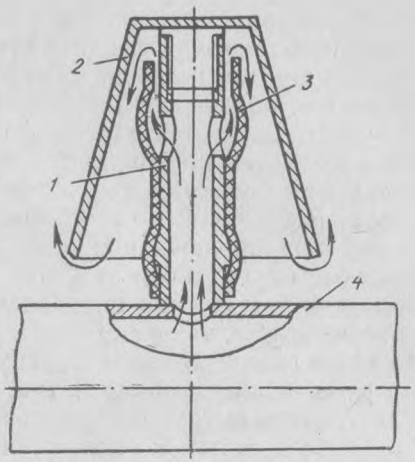


Рис. 20. Ниппельный клапан с защитным колпаком:
1 — выпускной патрубок; *2* — колпак; *3* — резиновый ниппель; *4* — трубопровод сжатого воздуха

При подаче через трубопровод горячего газа эластичный элемент выполняется из термостойкой резины. При высокой температуре газа ниппельный клапан заменяется на шариковый, в котором герметизация обеспечивается запорным шариком и прижимной пружиной [I, 62].

Клапаны, закрывающие отверстия, создают дополнительное сопротивление при истечении сжатого воздуха или газа в воду, и в тех случаях, когда пневмосистемы имеют большие размеры и значительное количество отверстий или монтируются на большой глубине, а компрессор или генератор газа не располагает необходимым избыточным давлением, целесообразнее применять другие методы защиты трубопроводов от засорения, например метод, который заключается в том, что выходные отверстия сверлятся в нижней части трубопроводов, а в магистральном трубопроводе, соединяющем компрессор с пневмосистемой, монтируют невозвратный клапан, препятствующий выходу воздуха из трубопровода в период, когда компрессор выключен. Невозвратный клапан выполняет одновременно и функцию устройства, предотвращающего образование ледяной пробки в трубопроводе в районе его перехода через поверхность воды, так как внутри трубопровода, благодаря действию клапана, постоянно содержится воздух.

Существуют и другие способы предотвращения образования ледяных пробок и средства их устранения. Опасный участок трубы заключают в концентричную трубу бо́льшего диаметра, герметично закрытую с обеих сторон фланцами. Образующийся при этом воздушный зазор служит изолятором, сокращающим теплопередачу через стенки основного трубопровода. Однако при дли-

тельном нерабочем периоде и низких отрицательных температурах наружного воздуха ледяная пробка все же со временем образуется.

Для предотвращения образования ледяной пробки или ее растопления применяют индукционный метод нагрева магистрального (подводящего) трубопровода. Обогрев трубопровода может быть выполнен по принципу электрического сопротивления. К обогреваемому участку трубопровода с разных концов подключают электрический ток и используют трубу в качестве проводника, который при прохождении тока низкого напряжения нагревается. Этот метод неудобен тем, что требует большой длины трубопровода для достижения определенной температуры на обогреваемом участке трубы, так как сопротивление металлического трубопровода очень мало. В связи с этим метод характеризуется большими и непроизводительными затратами энергии, а при использовании пластмассовых труб вообще неприменим.

Более простым и экономичным методом предотвращения образования ледяной пробки или ее ликвидации является обогрев опасного участка трубопровода гибким нагревательным элементом. Обогревающее устройство состоит из герметичного защитного кожуха, обеспечивающего воздушное пространство вокруг трубы, гибкого нагревательного элемента, монтированного спиральными витками на трубе, и двух хомутов, фиксирующих нагревательный элемент по высоте трубы. Нагревательный элемент имеет концевой кабель, который выводят из защитного кожуха через сальник, а последний после монтажа заливают эпоксидной смолой для предотвращения попадания воды в кожух.

Гибкий нагревательный элемент [14] представляет собой тканную из стекловолокна полосу длиной 6 м, в которой часть нитей основы заменена токоведущими и нагревательными проводами. Для придания влагостойкости поверхность элемента покрыта термостойкой резиной. Номинальное напряжение нагревательного элемента 220 В, потребляемая мощность 400 Вт, максимальная рабочая температура +180° С. С целью автоматизации работы нагревательный элемент может быть подключен к электросети с использованием терморегуляторов. Это устройство может использоваться для предотвращения образования ледяной пробки в короткие нерабочие периоды пневмоустановки. При больших перерывах работы пневмоустановки целесообразнее обогревающее устройство включать за 4—5 ч до начала подачи сжатого воздуха в водоем. За этот период ледяная пробка будет растоплена. С целью предупреждения попадания подтаявшей ледяной пробки в барботер под нижний фланец обогревающего устройства следует устанавливать сетку или решетку. В противном случае ледяная пробка, подтаяв, под давлением может попасть в магистральный трубопровод, застрять там и перекрыть проходное отверстие. Устранить ее можно будет только путем демонтажа трубопровода.

В пневмоустановках, при отсутствии электропитания и невозможности использования электрического нагревателя, может быть применен обратный клапан, представляющий собой трубчатую

вставку с фланцами, внутри которой встроены опорное эластичное уплотнение, ограничивающая решетка и запорный элемент, выполненный из легкого плавучего материала в форме шара. Клапан монтируют ниже уровня воды.

С прекращением подачи сжатого воздуха вода заполняет трубопровод, поднимается вверх и, достигая клапана, заполняет его корпус. При этом запорный элемент всплывает и, прижимаемый гидростатическим давлением к эластичному уплотнению, перекрывает проходное сечение подводящей трубы.

Для повышения надежности перекрывания магистрального трубопровода с целью предотвращения образования ледяной пробки, предложен гидравлический клапан (рис. 21), запорный элемент которого выполнен в виде резервуара. К верхнему основанию резервуара присоединен раздаточный перфорированный трубопровод, а к нижнему — подводящий, частично заполненный жидкостью (антифризом, ртутью). Объем резервуара превышает объем запорной жидкости. В подлежащем защите от образования ледяной пробки участке H_2 раздаточного трубопровода, вода замещается воздухом посредством гидростатического давления, создаваемого запорной жидкостью. Необходимая высота замещенного воздухом столба воды H_2 в раздаточном трубопроводе обеспечивается высотой столба жидкости H_1. При использовании запорной жидкости с плотностью, большей плотности воды (для уменьшения габаритов резервуара), высота столба H_1 уменьшается пропорционально разнице плотностей запорной жидкости и воды водоема.

При работе пневмоустановки воздух под давлением поступает в подводящий трубопровод и вытесняет запорную жидкость в расширительный резервуар. Здесь воздух образует в запорной жидкости газовый канал и беспрепятственно поступает в раздаточный трубопровод. При прекращении подачи сжатого воздуха в установку сжатый воздух в раздаточном трубопроводе находится под давлением, численно равным гидростатическому давлению на глубине погружения перфорированной части раздаточного трубопровода, и стремится выйти через расширительный резервуар и подводящий трубопровод в атмосферу. При этом запорная

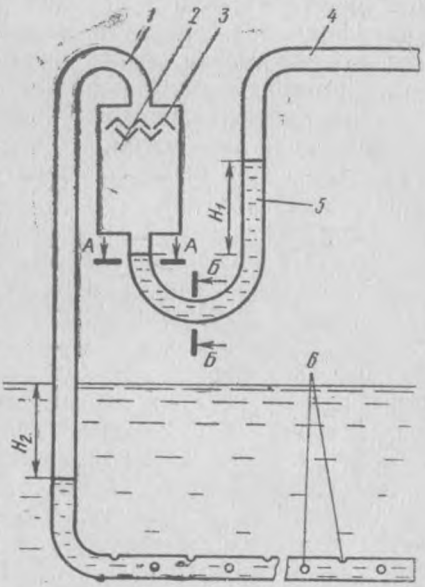


Рис. 21. Гидравлический клапан:
1 — раздаточный трубопровод; *2* — расширительный резервуар; *3* — брызгоуловитель; *4* — подводящий воздухопровод; *5* — запорная жидкость; *6* — перфорированный трубопровод

жидкость вытесняется из резервуара в изгиб подводящего трубопровода, заполняет его от сечения *А—А* до сечения *Б—Б* и удерживает в защищаемом участке H_2 воздух. Таким образом, в раздаточном трубопроводе уровень воды находится ниже слоя воды в водоеме, где происходит процесс ледообразования, и температура воды в раздаточном трубопроводе поддерживается выше точки замерзания благодаря теплообмену с окружающей относительно теплой водой нижних слоев водоема.

Возможно комбинированное применение описанных защитных средств, например: клапаны на отверстиях раздаточных трубопроводов и обогрев переходного участка подводящей вертикальной трубы; невозвратный клапан на вертикальной трубе с ее обогревом; обратный клапан на подводящей вертикальной трубе в сочетании с клапанами на отверстиях раздаточного трубопровода.

Следует также отметить, что при подаче теплой пресной воды или пара через перфорированный трубопровод в соленую воду морского водоема в обязательном порядке перед прекращением подачи теплоносителя следует делать продувку перфорированного трубопровода сжатым воздухом во избежание замерзания в трубе конденсата.

Описанные барботажные пневмоустановки действуют эффективно в условиях пресных водоемов с естественными запасами тепла, достаточными для длительного поддержания незамерзающих акваторий, или в морских водоемах с достаточно большой стратификацией солености. Вплоть до 60-х гг. считалось невозможным поддерживать акваторию морского водоема в незамерзающем состоянии с помощью одного сжатого воздуха, так как обычно более плотные и соленые нижние слои воды в зимнее время имеют низкую и даже отрицательную температуру. Однако температура этих слоев выше температуры замерзания. Например, для воды с температурой —1,7° С и соленостью 35‰ температура замерзания равна —1,91° С. В связи с этой разницей температур вода обладает бо́льшим запасом внутренней энергии, чем поверхностная переохлажденная вода, находящаяся на грани замерзания. Включаясь в циркуляцию, создаваемую барботером, массы воды с более высокой соленостью замещают переохлажденные поверхностные слои первой области (см. рис. 12) циркуляционного течения. Если на поверхности имеется ледяной покров, он тает под воздействием поднимаемых придонных масс воды. Поскольку процесс воздействия соленой поднимаемой со дна воды на ледяной покров совершенно не изучен, в литературе по этому вопросу имеются только лишь гипотезы. Но сам факт существования этого явления подтвержден многочисленными опытами, проведенными зарубежными исследователями [51, 63]. Наибольший эффект достигается, если имеется сильно распресненный поверхностный слой воды значительной толщины [54]. Но и при отсутствии распресненного слоя пневмоустановка может быть использована для поддержания поверхности морского водоема в незамерзающем состоянии.

Кроме теплового эффекта, при работе пневмоустановок возни-

кает дополнительный эффект благодаря сильной турбулизации поверхности водоема в рабочей зоне, что также нарушает режим ледообразования.

Наибольшее распространение получили пневмоустановки в пресноводных водоемах, однако об эффективности использования сжатого воздуха для подъема к поверхности более теплых придонных слоев воды при определенных начальных условиях (температурный разрез, глубина водоема и т. п.) существуют противоречивые мнения.

По мнению одних авторов [5, 9], в пресноводных водоемах тепло глубинных вод может быть успешно использовано при температурах глубинных слоев от +0,5 до +1° С, причем наиболее эффективным пневматический метод является при температурах от +2 до +4° С. Глубина водоема в этом случае существенно влияет на запасы тепла в толще воды. Более того, в водоеме, имеющем незначительные глубины, в результате работы пневмоустановки и интенсивного перемешивания может наступить переохлаждение воды, что приводит к отрицательному эффекту (например, интенсивному образованию внутриводного льда и шуги).

Однако в процессе натурных испытаний пневмоустановок, при которых специально обращалось внимание на начальную температуру воды и влияние глубин на изменение термического режима водоема, получены иные результаты. В частности, шведский опыт поддержания незамерзающих акваторий [52, 67] показывает, что температура придонных слоев не имеет решающего значения. Действительно, если обеспечить достаточно интенсивную циркуляцию воды с тем, чтобы она на поверхности не успевала полностью охлаждаться, то значение начальной температуры воды резко уменьшается. При замерзании одного грамма пресной воды выделяется 80 кал тепла. Начальная температура придонной воды в зимний период не может быть выше 4°С, что прибавляет к ее тепловому запасу только 4 кал. Таким образом, будет ли отдано в атмосферу при охлаждении воды 80 или 84 кал, не может служить причиной для отказа от использования пневматического метода. Температура воды в придонном слое имеет определяющее значение с точки зрения затрат, связанных с бóльшим или меньшим расходом сжатого воздуха, так как в менее теплых водоемах требуется более интенсивная циркуляция воды и, соответственно, больший расход воздуха.

По тем же источникам [52, 67], на мелких участках водоемов в процессе длительной работы пневмоустановок не было замечено какого-либо понижения температуры воды относительно тех участков, которые не попадали в активную зону перемешивания.

Противоречивость результатов, вероятно, можно объяснить тем, что опыты с использованием пневмоустановок для создания незамерзающих акваторий проводятся, как правило, без необходимой методической подготовки, в несравнимых условиях и без выявления роли тех или иных местных факторов, влияющих на результаты. Кроме того, аппаратура, используемая для измерения

температур и течений в процессе опытов, недостаточно точна и не позволяет получить полную картину процессов, происходящих в водоеме во время проведения опытов.

Пневматический метод находит применение не только при создании незамерзающих акваторий. Его используют также для защиты акваторий от волн, плавающего льда и нефтепродуктов, защиты гидротехнических сооружений от давления, возникающего при подводном взрыве и т. п. В связи с этим выполнено немало лабораторных и натурных работ, в которых изучалась кинематика потока, создаваемого пневмоустановками [59, 61]. Однако полученные результаты имеют значительные расхождения, особенно большие в оценке расходов сжатого воздуха для создания необходимого режима циркуляции воды и скоростей поверхностного течения. Очевидно, требуется обобщение и анализ накопленного экспериментального материала, постановка серии натурных экспериментов с применением высокоточных приборов, чтобы получить надежные количественные данные для проектирования пневмоустановок, позволяющих создавать и поддерживать незамерзающие акватории с наименьшими затратами.

Опыт применения пневматического метода для создания незамерзающих акваторий в распресненных и морских водоемах не столь обширен. Первые опыты, проведенные в Гренландии (порт Туле) американскими и канадскими специалистами, относятся к 1958 г. Из проведенных за последние годы экспериментов наиболее интересными являются опыты по растоплению льда в бухтах Кембридж-Бей и Туктойактуке Северной Канады, а также опыт в Норвегии по предотвращению образования льда перемешиванием пресной воды реки с морской водой фиорда.

Туле — замерзающий порт, в котором навигация возможна только в течение трех месяцев в году. В тот период, когда морские подходы к порту доступны для проводки судов, акватория его была заполнена битым льдом. Поэтому суда, направляющиеся к причалу, вынуждены были останавливаться за 800—900 м от него. Этот ледяной «буфер» часто служил причиной повреждений обшивки судов, а также вызывал серьезные повреждения самого причала при работе ледоколов с целью постановки судов к причальным пирсам. Это приводило к преждевременному закрытию навигации ранней осенью.

Для устранения ледовых затруднений при швартовке было решено использовать воздушную барботажную систему. На заданной глубине водоема вдоль причала были закреплены три перфорированных воздухопровода на расстоянии примерно 15 м друг от друга.

Гидрологические измерения показали, что температура воды в районе причала стремится к изотерме, т. е. на поверхности и на дне температура почти постоянна и в среднем равна —1,7° С.

За короткий период работы системы зона вдоль причала была освобождена от льда. В конце октября 1958 г. система была выключена для того, чтобы привести ее в действие позднее и опре-

делить эффективность использования на протяжении зимы. Капитальные затраты и эксплуатационные расходы на систему были окуплены в результате первого же опыта за счет увеличения срока эксплуатации причала и ликвидации повреждений судов при швартовке.

В отчете по опыту в Туле не приводятся какие-либо цифровые данные о распределении солености по глубине водоема, о расходах сжатого воздуха, площади и объеме растопленного льда. Однако этот опыт имеет очень важное значение с той точки зрения, что впервые был применен пневматический метод для растопления льда в морском водоеме, температура воды в котором была отрицательной и близкой к изотерме. Кроме того, учитывая, что водоем морской, можно предположительно определить соленость воды в 30—33‰. Следовательно, при температуре —1,7°С вода находилась близко к точке замерзания. Отсюда следует, что растопление льда не может быть отнесено только за счет тепла, содержащегося в воде. Положительный результат, достигнутый в таких условиях, опровергает бытовавшеее до того времени мнение, что растопление льда и поддержание незамерзающих акваторий возможны только в водоемах со значительным запасом тепла, к которым морские водоемы по большей части не относятся.

Опыты в бухтах Северной Канады проводились для предупреждения разрушения свайных причалов прочным ледяным покровом, достигающим толщины 180 см, который примерзает к сваям и перемещает их в вертикальном направлении под действием прилива [58].

Особенностью гидрологических условий водоема в Туктойактуке является значительное распресняющее влияние воды р. Маккензи. Вертикальный температурный и соленостный профиль водоема в порту Туктойактук характерен для типичного распресненного водоема. Под льдом наблюдается значительный слой пресной воды, имеющей температуру замерзания. Ниже расположен слой смешанной (солоноватой) воды, в котором соленость по глубине увеличивается от 0 до 30‰, а температура положительная и изменяется от 0 до +0.5°С. Далее идет слой морской воды с неизменной соленостью, в котором температура постепенно понижается до отрицательных величин.

Воздухопровод, опущенный вдоль причала на глубину примерно 5,2 м, оказался как раз на границе между пресной и солоноватой водой. В процессе работы барботажной системы происходило перемешивание воды в пресном слое с более теплой солоноватой водой. Работа барботажной установки позволила создать и поддерживать незамерзающую зону вдоль причала в среднем шириной 1 м вплоть до апреля месяца, когда наступает обычно в этих районах равновесие между теплопотерями водоема в атмосферу и поступлением тепла в водоем.

Следует отметить, что в течение зимы подача воздуха в систему несколько раз прекращалась и каждый раз над ней образовывался лед толщиной до 0,4 м. При пуске компрессора этот лед

растапливался за очень короткое время.

В Кембридж-Бей зимнее распределение температуры и солености отличается незначительными изменениями по глубине. До глубины 20—24 м температура почти не меняется и близка к замерзанию. Соленость изменяется в малых пределах по всей глубине от 28 до 29,2‰. Ниже 30 м температура воды постепенно повышается до —1°С.

Барботажная система была установлена вдоль причала на глубине 6 м на наклонном выступе, глубина которого постепенно увеличивалась до 13,5 м и затем шел крутой обрыв. Это было не самое удачное расположение, так как в пределах зоны влияния системы оказывались слои воды с соленостью 28,4‰ и почти постоянной температурой по вертикали, близкой к температуре замерзания (—1,52°С). Кроме того, соленостная стратификация по вертикали была также незначительна. По этим причинам применением барботажной установки не удалось достичь эффекта сохранения полосы открытой воды вдоль причала.

Норвежский натурный эксперимент с применением барботажной системы в морском водоеме проводился в 1968—1970 гг. в фиорде Ране [54]. Естественная стратификация солености и температуры в фиорде в течение всей зимы была такова, что образования собственного льда почти не происходило. Но в связи с вводом в эксплуатацию гидроэлектростанции на р. Рана, имеющей сток в фиорд, спуск пресной воды из созданного водохранилища в зимний период значительно увеличился (в 2—3 раза), появились условия интенсивного ледообразования. Измерениями было установлено, что поток пресной речной воды, не перемешиваясь с морской, создавал верхний пресный слой, который препятствовал естественной конвективной турбулентности и перемешиванию с морской водой, имеющей соленость выше 24,7‰. В то же время этот слой пресной воды интенсивно охлаждался по мере продвижения поверхностного потока и при отсутствии турбулентности быстро достигал точки замерзания.

В 1968 г. поперек фиорда в месте стока речной воды на глубине 15 м на дне водоема был уложен перфорированный шланг длиной 410 м, а на берегу — установлены два компрессора подачей 150 м³/мин (при атмосферном давлении). Расчетным путем был определен расход сжатого воздуха, необходимого для создания поверхностного потока со скоростью, достаточной для задержания и перемешивания потока пресной воды с нижними слоями соленой воды. В процессе работы установки посредством измерений и расчетов было определено, что 91% объема пресной воды смешивался с морской водой в поверхностном турбулентном потоке, остальные 9% воды погружались и растворялись в толще водоема.

Созданная таким образом искусственная турбулентность позволила преодолеть сопротивление перемешиванию пресного слоя, выравнять распределение солености и температуры по глубине фиорда, тем самым предотвратить ледообразование на его поверхности.

В Ленинградском морском порту в 1962 г. были проведены

опыты с пневмоустановкой для создания незамерзающей майны вдоль пирсов с использованием только сжатого воздуха [8]. Пневмоустановка включала барботер, состоящий из двух перфорированных трубопроводов, уложенных на дне вдоль пирса. В течение 45 сут у одного из причалов порта постоянно поддерживалась свободная от льда майна шириной 12 м и протяженностью 75 м. Температура придонной воды была +1,5°С, средняя за этот период температура наружного воздуха была —19°С. Майна значительно облегчала подход судов к причалам, и благодаря ей сократилось время на швартовные операции.

Анализируя термодинамические аспекты работы барботажной установки в морской воде, не имеющей температурного градиента, но стратифицированной по солености [63], был сделан вывод, что при смешении масс воды меньшей и большей солености (меньшей, соответственно, на поверхности, большей — на дне) соленость приобретает среднюю величину. Следовательно, соленость поверхностных слоев повышается при неизменной температуре. Воде с новой, повышенной соленостью соответствует более низкая температура замерзания (см. рис. 2). Отсюда следует, что вода, охлаждаясь при контакте со льдом, способна выделить соответствующий запас тепла. Таким образом, вовлекая в циркуляцию все новые массы свежей более соленой воды, можно растопить лед благодаря даже незначительному повышению солености в поверхностном слое.

В экспериментальных работах, посвященных изучению процессов плавления образцов льда и влияния на скорость плавления концентрации соли в воде, установлено, что с повышением концентрации раствора при неизменной температуре жидкости скорость таяния льда повышается. Кроме того, обнаружено, что повышение концентрации раствора в пограничном слое под льдом понижает температуру плавления льда [27, 33].

Таким образом, применение пневматического метода для использования естественных ресурсов эффективно как в пресных, так и в соленых водоемах, за исключением водоемов, в которых вода по всей глубине находится на точке замерзания.

Использование пневматического метода в морских и распресненных водоемах сдерживается малой изученностью условий водоемов, физических процессов при подъеме глубинных вод, механизма плавления морского льда в условиях вынужденной конвекции, малым числом натурных опытов и недостаточной их научной организацией.

В водоемах, в которых отсутствуют градиенты температуры и солености (постоянная температура и соленость по глубине), вода почти полностью охлаждена и находится на точке замерзания, пневматический метод, очевидно, не может быть применен без подачи дополнительного тепла.

В качестве теплоносителя может быть использована подогретая вода. Такая установка была разработана ЛИВТом и испытана в 1963 г. Рабочая часть установки была выполнена из семи

перфорированных трубопроводов диаметром 37,5 мм и длиной 71 м каждый, уложенных через 8 м вдоль дорожек слипа на расстоянии 0,5 м от них. Перфорированные трубопроводы соединялись с общей магистральной трубой диаметром 100 мм, расположенной на берегу параллельно урезу воды. Шаг выпускных отверстий составлял 2 м. Диаметры отверстий выбирались из расчета равномерной раздачи тепла по длине трубопровода и составляли 3 мм в начале и 5 мм в конце трубопроводов [6].

В трубопроводы центробежным насосом подавалась теплая вода из водогрейного бака. Вдоль водяных трубопроводов на дне акватории были уложены воздухопроводы диаметром 32 мм с выпускными отверстиями 2 мм, расположенными через 2 м. Сжатый воздух поступал из заводской воздушной магистрали. На период прекращения работы установки была предусмотрена возможность подачи сжатого воздуха в водяные рабочие трубопроводы с целью предотвращения образования в них ледяных пробок.

Испытания проводились в два этапа. В весенний период за 368 ч работы установки средний расход теплой воды равнялся 39 м³/ч в начале и 22—27 м³/ч в конце испытаний, максимальный расход сжатого воздуха 14 м³/мин (при атмосферном давлении). Испытания проходили при следующих условиях: средняя толщина льда 0,72 м, средняя температура воды на акватории +0,1° С, средняя температура атмосферного воздуха —4,8° С.

За период испытаний израсходовано тепла 335×10^6 ккал, растоплен лед на площади 1,5 тыс. м². На растопление льда затрачено $129{,}7 \times 10^6$ ккал. Таким образом, максимальный коэффициент полезного действия установки равнялся 39%, а минимальный — 21%.

В осенний период испытаний установка обеспечивала незамерзающую акваторию слипа при подъеме судов. Проведенные испытания убедительно доказывают эффективность создания и поддержания незамерзающих акваторий в водоеме без естественных запасов тепла. Однако описанная установка весьма громоздка, требует двойного количества труб (отдельно — для теплоносителя и для сжатого воздуха), в связи с чем усложняется монтаж и обслуживание трубопроводов. Кроме того, при ее использовании необходимо большое количество дополнительного оборудования: насосы, бойлеры.

Ленморниипроектом совместно с ЛИВТом разработан новый способ создания незамерзающих акваторий, учитывающий и устраняющий перечисленные недостатки двухтрубных установок [1, 18]. Сущность способа заключается в следующем. На дно водоема подают паровоздушную (или газовоздушную) смесь, образуемую установленным на берегу инжектором-смесителем, в которой теплоносителем является пар, а барботажным агентом — сжатый или атмосферный воздух. Применение паровоздушной смеси дает ряд преимуществ. Объединение теплоносителя и барботажного агента в смесь позволяет использовать одинарную систему трубопроводов. Это упрощает систему, сокращает эксплуатационные

расходы и затраты на изготовление и значительно облегчает монтаж установки. Кроме того, автоматически отпадает необходимость применения насосов и бойлеров. Все функции этих устройств выполняет струйный аппарат (инжектор-смеситель). При достаточно высоких параметрах теплоносителя (водяного пара) отпадает необходимость и в использовании сжатого воздуха, а следовательно, и компрессора, так как струйный аппарат в этом случае инжектирует атмосферный воздух. Объединение теплоносителя и воздуха в равномерную смесь, поступающую в водоем по однотрубной системе, позволило предположить, что наличие воздуха в смеси даст некоторый дополнительный эффект.

Для практического подтверждения этого предположения Ленморниипроектом была спроектирована опытная паровоздушная установка для создания незамерзающей акватории перед плавучими доками в Архангельске [26]. Установка (рис. 22) включала три основные части: инжектор-смеситель, подводящий трубопровод и систему перфорированных труб. Основная рабочая часть установки — система перфорированных труб — состояла из подводящего патрубка с внутренним диаметром 100 мм, раздаточного трубопровода с диаметром 70 мм и расположенных по обе стороны от него по 8 перфорированных отростков. Внутренний диаметр отростков — 19 мм, расстояние между ними — 7 м, количество отверстий на каждом отростке — 13, диаметр отверстий — 3 мм.

К началу испытаний средняя толщина льда в районе расположения установки равнялась 0,75 м, местами достигая 1,5 м. Толщина снежного покрова 0,2 м. Пар с воздухом подавался круглосуточно, с непродолжительными перерывами. Температура воды по глубине водоема в районе установки: у дна +0,3° С; на уровне 4 м от поверхности +0,08°С; у нижней поверхности льда +0,03°С. Средняя температура воздуха —8,2°, среднеминимальная —16,9° С.

За 327 ч работы установки в водоем было подано 130×10^6 ккал тепла при среднем расходе пара 581,5 кг/ч с избыточным давлением 4,15 кгс/см². Вместе с паром подавался сжатый воздух с максимальным избыточным давлением 6,1 кгс/см², средний расход воздуха (без учета сжатия под давлением) составлял 2,98 м³/мин. За период испытаний полностью растоплен лед на площади 986 м² и частично растоплен с нижней поверхности ледяного покрова на расстоянии 35—40 м от кромки созданной майны. Общий объем растопленного льда составил 1370 м³, а средний коэффициент полезного действия установки равен 50,1%.

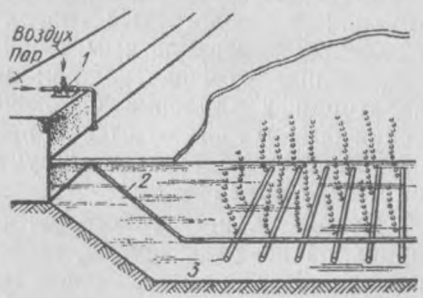


Рис. 22. Паровоздушная установка:

1 — паровоздушный инжектор; *2* — подводящий трубопровод; *3* — раздаточные трубопроводы

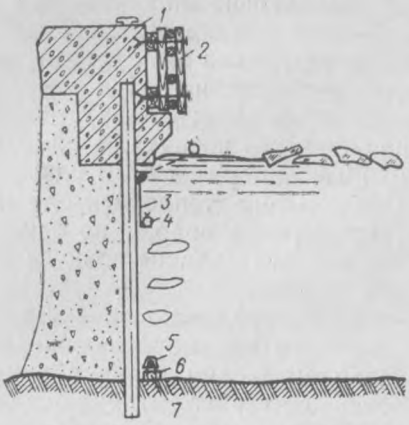


Рис. 23. Устройство для образования незамерзающей майны вдоль пирса:

1 — пирс; *2* — отбойное устройство пирса; *3* — рама с осью вращения; *4* — трубопровод с теплоносителем; *5* — барботер; *6* — фундамент барботера; *7* — воздухопровод

Эти установки являются опытными и небольшими по размерам. Тем не менее, с их помощью уже можно добиться увеличения продолжительности сроков докования или эксплуатации судоходных трасс, причалов и других гидротехнических сооружений в ледовых условиях, получая при этом большой экономический эффект.

Одной из немаловажных проблем является обеспечение эксплуатации причалов в зимний период. Для поддержания свободного от льда участка акватории вдоль причалов может быть применено устройство (рис. 23), состоящее из поворотной рамы, шарнирно соединенной со стенкой причала, трубы с теплоносителем, закрепленной на раме под наинизшим уровнем воды, и барботера, смонтированного на дне водоема. При монтаже или ремонте верхней трубы раму поворачивают на шарнирах и нижний конец рамы с укрепленным на нем трубопроводом поднимается выше поверхности воды, обеспечивая свободный доступ. В рабочем положении рама **висит вертикально, вписываясь в габариты отбойных устройств.**

Установка действует следующим образом. В барботер подают сжатый воздух, который создает вертикальный водовоздушный поток вдоль причала. Вертикальный поток омывает трубу с теплоносителем и нагревается или теплопередачей через стенки трубы, если она сплошная, без перфораций, или благодаря выпуску теплоносителя через перфорации. Затем у поверхности воды вертикальный подогретый поток становится горизонтальным и сплошным поверхностным течением устремляется от причала, выполняя при этом две задачи: подогрев поверхностного слоя воды акватории и удаление с помощью одностороннего сильного течения битого льда от стенки причала. Одновременно с этим предотвращается обледенение шпунта и образование ледяного припая на стенке причала.

Использование такого устройства позволяет создавать вдоль причалов незамерзающий, свободный от битого льда участок акватории. Кроме того, верхняя труба с теплоносителем может быть закреплена на небольшой глубине, что дает возможность выпускать в вертикальный поток газообразный теплоноситель с низким давлением, например выхлопные газы от авиационных двигателей.

Создание незамерзающей майны искусственным обогревом мо-

жет быть осуществлено с помощью устройства, основным элементом которого является подводная (погружная) горелка для сжигания природного газа. Горелка помещена в открытый сверху цилиндр с отверстиями, через которые происходит поступление холодной воды. Вода в цилиндре нагревается при контакте с продуктами сгорания газа и, перемешавшись с ними, поднимается по трубе к поверхности водоема.

Искусственный обогрев акваторий посредством выпуска в водоем пара, горячего газа, специально подогретой воды или сжигания природного газа экономически оправдан только для создания майн ограниченных размеров.

Потребности же портов в свободных от льда участках акваторий огромны. Большие возможности приобретает в этом случае использование промышленных теплых вод, сбрасываемых в большинстве случаев в водоем без всякой пользы. Некоторый опыт в этом уже имеется за рубежом. Во Франции, благодаря организованному сбросу отработанной теплой воды от электростанций в реки и каналы, созданы незамерзающие фарватеры значительной протяженности. Так практически защищены от замерзания участки реки Сены (200 км), Марны (20 км), Мозеля (90 км) и Уазы (100 км) [68].

В ФРГ при проектировании тепловой электростанции на р. Эльбе мощностью 1200 МВт рассматривается возможность предотвращения образования льда сбросом теплой воды на участке реки вниз по течению протяженностью 20—25 км. При этом рассчитано, что подаваемого тепла будет достаточно, чтобы предотвратить образование льда при таких тяжелых для ФРГ климатических условиях, как средняя минимальная температура воздуха —12° С при скорости ветра 5 м/с. Изучается также возможность обогрева северных каналов. Для того чтобы в самые суровые зимы содержать каналы чистыми от льда на участках длиной 20 км, достаточно спуска подогретой воды от тепловой электростанции мощностью 420 МВт. В канал около Ганновера сбрасывается около 0,5 м³/с воды при температуре от +12 до +16° С. В 1969—1970 гг. зимой проводились измерения и наблюдения по влиянию сбросовой теплой воды на образование льда в канале. Оказалось, что без сброса теплой воды лед в канале достигал толщины 0,3 м. В зоне косвенного влияния теплой воды лед на участках от 6 до 20 км нарастал менее интенсивно. В зоне непосредственного влияния теплой воды льда не было совсем, и только в крайне неблагоприятных случаях появлялся лед толщиной 5—10 см, который не мешал судоходству.

Таким образом, в местах расположения крупных тепловых электростанций или промышленных предприятий появляется реальная возможность рационально использовать тепло сбрасываемых вод. В водоемах, имеющих достаточное для распределения теплой воды естественное течение, задача решается весьма просто. Там же, где нет течений с необходимой скоростью, может быть использовано устройство [1, 46] для образования направленного

течения. С этой целью на дне водоема укладывают два ряда перфорированных труб, причем каждая пара труб укладывается под углом друг к другу с таким расчетом, что при выпуске сжатого воздуха восходящие вертикальные водовоздушные струи, достигая поверхности водоема, образуют поверхностное течение, результирующая скорость которого направлена по биссектрисе угла между осями труб. Такое расположение перфорированных труб обеспечивает подъем на поверхность теплых промышленных вод, образует двустороннее экранирование и направленное течение потока.

Дальнейший поиск экономичного решения проблемы искусственного обогрева акваторий большой протяженности привел к идее использования для этой цели геотермальных вод. Известно, что в недрах земли, на различных глубинах, практически повсеместно имеются пласты горных пород, содержащие термальные воды.

Температура подземных вод колеблется в широких пределах. Начиная от поверхности земли, а вернее с глубины слоя, где отсутствуют сезонные температурные колебания, температура пород постепенно возрастает. Скорость этого возрастания определяется геотермическим градиентом, показывающим, на сколько градусов повышается температура при погружении на единицу глубины. Более всего распространен геотермический градиент 36°С/км [17].

Предварительные, далеко не полные подсчеты прогнозных запасов термальных вод на территории СССР с температурой от +40 до +200° С, при глубине залегания до 3500 м позволили оценить их вероятный суммарный дебит около 20 млн. м³/сут. Около 60% территории СССР имеют запасы подземных вод с температурой от +40 до +80° С на выходе из скважин.

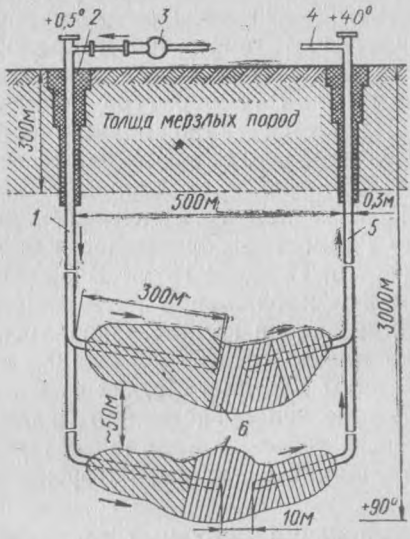


Рис. 24. Схема устройства подземного теплового «котла» и получения искусственных термальных вод:
1 — скважина с холодной водой; *2* — теплоизоляция; *3* — водяной насос; *4* — трубопровод подогретой воды; *5* — скважина, выводящая горячую воду на поверхность; *6* — соединительные зоны дробления

Для получения термальных вод могут быть созданы специальные скважины или использованы многочисленные заброшенные скважины, в свое время не обнаружившие нефть или природный газ. В большинстве случаев они напорны и теплая вода поступает на поверхность самотеком со средним дебитом на изливе 150—200 м³/сут. В том случае, если пробуренная на значительную глубину скважина оказалась «сухой», получить теплую воду можно используя одну из схем

создания подземного теплового «котла», предложенную Ленинградским горным институтом (рис. 24). Для этого на определенном расстоянии дополнительно к первой бурится вторая глубокая скважина, гидравлическая связь между которыми обеспечивается за счет сближения их боковых ветвей методом наклонно направленного бурения с последующим взрывом на забоях скважин, образующим соединительную зону дробления водонепроницаемых горных пород. По одной из скважин подают холодную воду, из другой на поверхность поступает нагретая в недрах вода.

При поисках нефти и газа на территории Западно-Сибирской низменности пробурены тысячи глубоких скважин, значительная часть которых дает горячую воду с температурой от +50 до +110° С. Дебит некоторых скважин около 5000 м³/сут с напором до 6 кгс/см².

В целом термальные воды Сибирской платформы изучены далеко не полностью. Огромные пространства Тунгусской впадины не исследованы глубоким бурением, а именно там предполагается существование погруженных артезианских бассейнов с высокотермальными водами. Богаты горячими водами районы, простирающиеся от Чукотского полуострова вдоль всего побережья Охотского моря до Приморья. Только на Чукотке известны 13 высокотермальных источников с суммарными дебитом 116 л/с и температурой на изливе от +80 до +90° С. Недалеко от Магадана скважина дает горячую воду с температурой +85° С. Этой водой не только лечатся, но и отапливают жилые, служебные помещения и теплицы для выращивания овощей.

Кроме упомянутых районов, богаты термальными водами Керченский полуостров, Кавказ, Курило-Камчатский пояс и другие районы нашей страны. Однако в этих районах или отсутствуют объекты водного транспорта, или климатические условия этих районов таковы, что не возникает ледовых затруднений на водном транспорте.

Наличие даровой тепловой энергии, содержащейся в глубинных слоях земли, современный уровень техники и открытие богатейших залежей полезных ископаемых в северных районах, в частности на Аляске, — все эти три фактора явились предпосылкой создания изобретений с использованием геотермальных вод с целью создания незамерзающего канала во льду. В патенте США [11, 32] описываются способ и устройства, позволяющие использовать тепловую энергию земной коры путем создания скважин на определенном расстоянии одна от другой вдоль всего незамерзающего канала. В зависимости от геологических условий или на поверхность по скважинам подается фонтанирующая горячая вода, или скважины оборудуются трубами-теплообменниками, по которым в глубины земной коры закачивается обычная холодная вода, вытекающая на поверхность в нагретом состоянии. Для предотвращения бесполезного растекания теплой воды рекомендуется кромки создаваемого во льду незамерзающего канала оборудовать легкими теплоизоляционными вертикальными экранами.

К числу препятствий, существенно осложняющих применение метода использования гестермальных вод, следует отнести следующие обстоятельства. Во многих районах, богатых высокотермальными водами, получение их связано с необходимостью применения насосных установок. Не всегда месторождения термальных вод совпадают с районами, где желательно их использование, а транспортировка теплой воды на большие расстояния нерациональна из-за теплопотерь, значительных затрат на сооружение трубопроводной сети и перекачечных станций. Некоторые месторождения термальных вод содержат в большом количестве минеральные соли, дающие интенсивную накипь (солеотложение) как в скважинах, так и в оголовке, задвижках и раздаточных трубах. Большим осложнением использования термальных вод является коррозия трубопроводов.

Гидродинамические установки, как и пневматические, применяются для разрушения и предотвращения образования ледяного покрова. Кроме этого, гидродинамические установки используются для задержания и направленного перемещения плавающих тел, в частности битого льда.

К гидродинамическим средствам относятся устройства, создающие направленный скоростной поток воды в виде турбулентной струи. Генератором струи могут быть как механические устройства (потокообразователи), так и пневматические (эжектор или эрлифт), а также гидравлические (водоструйные аппараты).

В практике наибольшее распространение нашли потокообразователи, т. е. винтовые насосы, создающие скоростной поток. Винт приводится во вращение электродвигателем, заключенным в герметичный корпус. Потокообразующие устройства, предназначенные первоначально для направленного перемещения древесины, все чаще стали применять с целью разрушения ледяного покрова и предотвращения его образования. Разрушающее воздействие потока на ледяной покров обусловлено теплопередачей от потока воды ко льду и эрозионным воздействием турбулентной струи на лед. Для расчета размеров майны, образуемой с помощью потокообразователей, существует эмпирическая зависимость, учитывающая только тепловое воздействие на лед. Длина майны может быть определена по формуле

$$L_м = \frac{127 \cdot 10^3 R_0 u_0 t}{S},$$

где R_0 — радиус сопла потокообразователя, м;

u_0 — средняя скорость струи при выходе из сопла потокообразователя, м/с;

t — средняя по вертикали температура воды водоема в месте установки потокообразователя, °С;

S — теплоотдача с открытой водной поверхности, ккал/м² · ч.

Ширина майны $B_м \approx (0{,}12 \div 0{,}14) L_м$

При работе потокообразователя возникают два потока: струя,

выбрасываемая из насадки, и подтекающий к всасывающему отверстию потокообразователя поток воды. Оба потока создают циркуляционное течение, подобное тому, которое образуется при работе пневмоустановок. Благодаря этому в подтекающий поток вовлекаются нижние, более теплые, массы воды. Контактируя со льдом, теплая вода повышает температуру льда и плавит его. Глубина затронутого циркуляцией слоя зависит от глубины погружения заборного отверстия и производительности потокообразователя. С целью ее увеличения используют специальные трубы, с помощью которых осуществляется подъем воды из нужного слоя [1, 5; II, 54—56].

Гидравлическое эрозионное разрушение льда возникает при ударе частиц воды о кристаллы льда. Это приводит к выбиванию отдельных частиц льда и постепенному разрушению его структуры в плоскости взаимодействия с потоком воды. Особенно сильное эрозионное воздействие оказывает поток на морской лед, имеющий большое количество полостей с рассолом.

Один из вариантов выполнения потокообразователя с трубой приведен на рис. 25. Труба монтируется из нескольких секций так, что при подъеме на тросах нижней секции все остальные входят друг в друга. Верхняя секция присоединена к всасывающей полости потокообразователя. На рис. 25 показан потокообразователь, укрепленный на башне плавучего дока с возможностью перемещения по вертикальной штанге и поворота на 180°. При погружении дока труба складывается. Потокообразователь в данном варианте выполняет несколько функций. В прочном ледяном покрове он может создавать майны перед доком и вдоль башни дока, а также защищать торец дока от битого льда. Такие устройства, устанавливаемые на участках акваторий, где нет движения судов, а придонная вода имеет достаточно высокую температуру, могут обеспечивать свободную от льда акваторию.

Для обеспечения участков акватории, где надводный потокообразователь подвергается опасности быть потопленным или поврежденным проходящим судном, могут быть применены потокообразователи подводного исполнения. Потокообразователь может быть выполнен с водяным охлаждением от засасываемого потока или с воздушным охлаждением [II, 52], где воздух забирается через шланг с поверхности, прогоняется крыльчаткой двигателя по корпусу и снова через шланг уходит в атмосферу.

Направление струи потокообразователя оказывает существенное влияние на эффективность его работы. Направленная вверх струя [II, 13, 36, 41] достигает поверхности воды, но воздействует на небольшую площадь водоема. С целью привлечения бо́льших масс воды из нижних теплых слоев на дне водоема устанавливают насос [II, 40, 59], который гонит воду по трубе, уложенной параллельно поверхности воды и снабженной выпускными, направленными вверх, соплами. Насос автоматически включается и выключается в зависимости от температуры воды на поверхности. Для управления насосом предусмотрено специальное устройство,

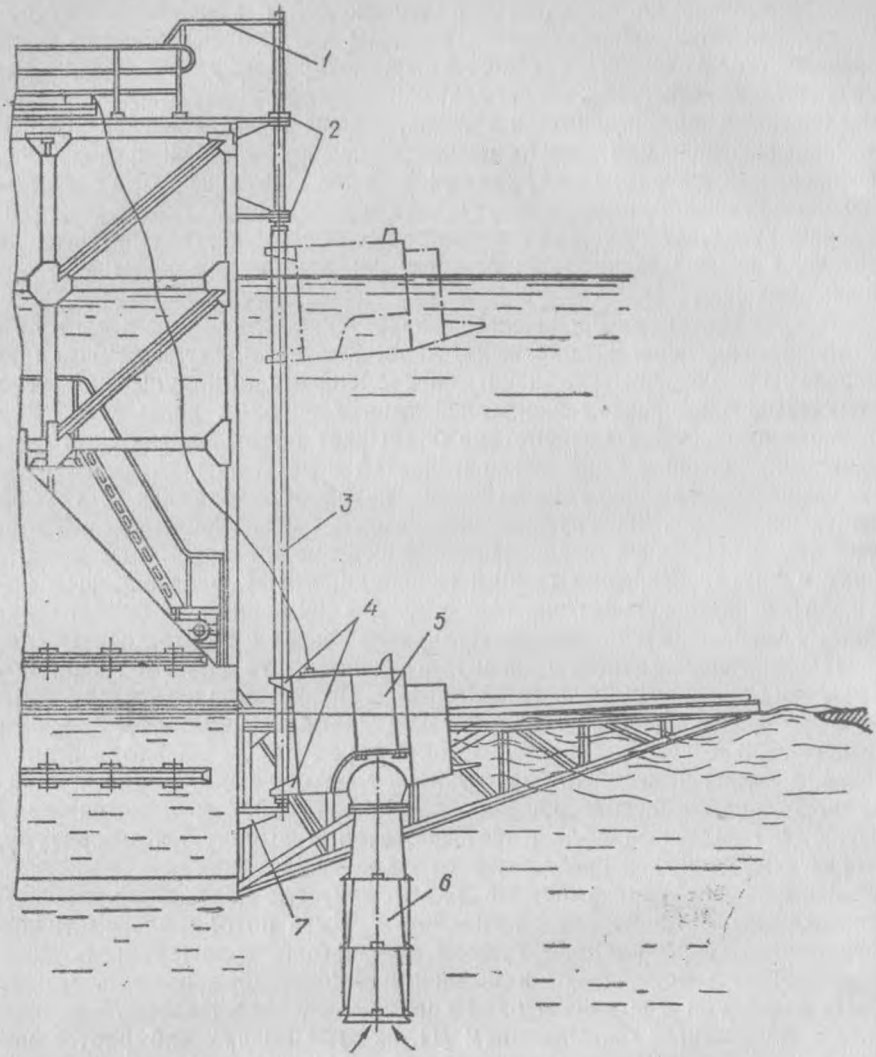


Рис. 25. Потокообразователь с подвесной телескопической трубой:
1 — рычаг поворота; *2* — опоры; *3* — направляющая; *4* — роликовые муфты; *5* — надводный потокообразователь; *6* — телескопический трубопровод; *7* — опорный кронштейн

связанное с датчиком, измеряющим температуру поверхностного слоя воды.

Этот способ подъема теплой воды расширяет область действия одного потокообразователя, но обладает определенным недостатком. При больших глубинах струи, истекающие из сопл, не в состоянии пробить толщу воды из-за незначительной кинетической энергии и малого расхода каждой отдельной струи. В некоторой степени этот недостаток устраняется тем, что на дне водоема уста-

навливают пропеллерный насос [II, 14], к винту которого по специальной трубе подается воздух из атмосферы. Насос образует горизонтальную струю смеси воды и воздуха, имеющую плотность меньшую, нежели плотность воды. Водовоздушная смесь поднимается к поверхности, захватывая придонную теплую воду. На выходном конце насоса предусмотрено решетчатое устройство с мелкими отверстиями для разбивания выходящей воздушной струи на мелкие пузырьки.

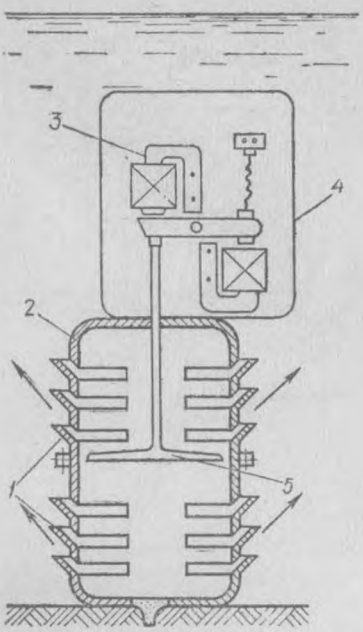


Рис. 26. Мембранное устройство для образования потоков:

1 — выпускные отверстия; *2* — корпус; *3* — электромагнит; *4* — герметический кожух; *5* — мембрана

Потокообразователи, имеющие электродвигатель, вал и винт, неизбежно включают уплотнительное сальниковое устройство при выходе вала через корпус. Независимо от точности монтажа сальникового устройства, со временем в корпус насоса поступает вода, что грозит выходом из строя электродвигателя. Особенно это характерно для подводных потокообразователей. Для своевременного обнаружения накопления воды в корпусе потокообразователя следует применять специальный датчик появления воды.

Для подъема теплой воды из нижних слоев водоема может быть использовано устройство [I, 24], в котором отсутствует винт, а поток образуется при сокращении объема специальной камеры. Устройство (рис. 26) состоит из металлического верхнего корпуса, в котором заключены два электромагнита, действующих на подпружиненное с одного конца коромысло, связанное штоком с мембраной рабочего корпуса. Мембрана расположена в средней части так, что при движении штока вниз вода из нижней части выталкивается через направляющие сопла, а в верхнюю секцию подсасывается окружающая устройство вода. При движении штока вверх происходит аналогичное действие в обратном порядке.

В проточных водоемах с сильным поверхностным течением незамерзающая майна небольших размеров может быть создана с помощью эжекторного устройства (рис. 27). Теплая вода из нижних слоев водоема эжектируется через трубу благодаря прохождению скоростного поверхностного потока через сопло и диффузор. Труба с эжектором в верхней части имеет руль-поплавок и закреплена нижним концом за якорь. Устройство применимо только на быстрых реках или перед водопропускными сооруже-

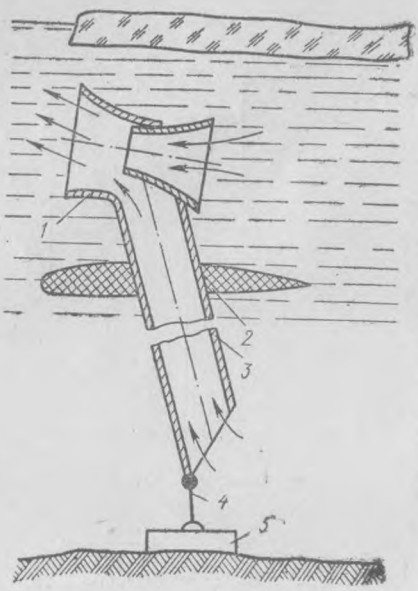


Рис. 27. Эжекторное устройство для образования локальных майн:
1 — диффузор с соплом; *2* — плавучесть; *3* — всасывающая труба; *4* — трос; *5* — якорь

ниями гидроэлектростанций [I, 67]. Преимуществом данного устройства является отсутствие необходимости в подводе и расходовании электроэнергии.

Для водоемов без естественных запасов тепла предложены потокообразователи с искусственным подогревом потока [I, 11, 39], именуемые потокоподогревателями. Температура потока повышается за счет подачи теплоносителя во всасывающую полость потокообразователя или теплоотдачи от нагревательных элементов, монтируемых в нагнетающей полости насоса.

Подача теплоносителя (пара, подогретой воды) во всасывающую полость потокоподогревателя может осуществляться с помощью перфорированных труб. С целью повышения эффективности работы вместо перфорированных труб во всасывающей полости устанавливается пароводяной эжектор с направленным к ступице винта диффузором (рис. 28). В случае отсутствия теплоносителя (пара, горячей воды) поток может подогреваться электрическими нагревателями, встроенными в пластины спрямляющего аппарата потокообразователя (рис. 29).

Подогрев потока позволяет увеличить скорость растопления ледяного покрова и размеры образуемой майны.

Гидродинамический метод с использованием потокообразователей, как и пневматический, применим в тех же водоемах, но возможности его ограничены бо́льшей затратой мощности и меньшей шириной создаваемой майны. В связи с этим потокообразователи эффективно используются для предотвращения ледообразования или разрушения льда на небольших по площади акваториях, а также для задержания и удаления дрейфующего льда.

§ 7. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ СПОСОБ ПОДДЕРЖАНИЯ АКВАТОРИЙ В НЕЗАМЕРЗАЮЩЕМ СОСТОЯНИИ

Для поддержания майн незначительных размеров в незамерзающем состоянии или с толщиной льда, не требующей приложения значительных усилий для его разрушения, применяют теплоизоляционные покрытия.

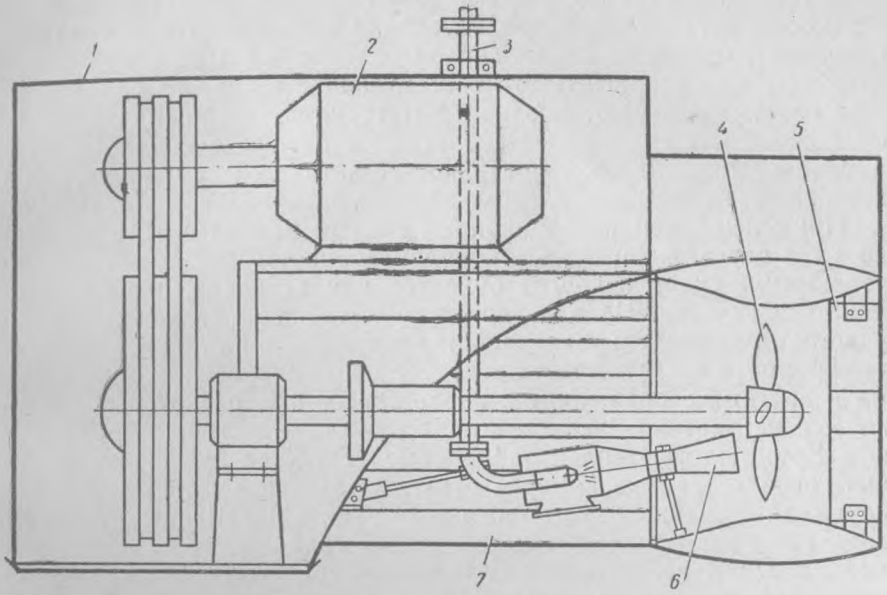


Рис. 28. Потокоподогреватель с пароводяным эжектором:
1 — корпус; *2* — электродвигатель; *3* — паропровод; *4* — гребной винт; *5* — спрямляющий аппарат; *6* — эжектор; *7* — всасывающая полость потокообразователя

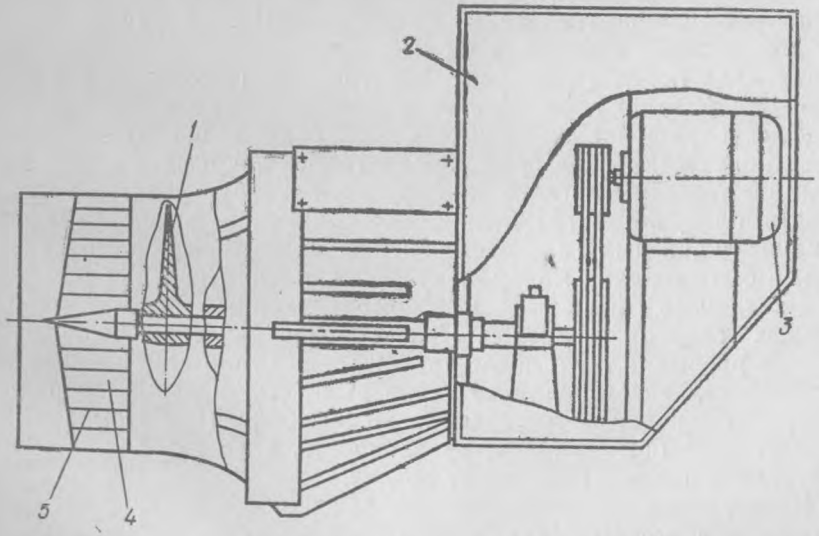


Рис. 29. Потокоподогреватель с электронагревательными элементами:
1 — гребной винт; *2* — корпус; *3* — электродвигатель; *4* — спрямляющий аппарат; *5* — электронагревательные элементы

В тепловом балансе водоема [19] основная доля теплопотерь в атмосферу происходит при испарении и турбулентном теплообмене поверхностного слоя. Теплоизоляционный метод позволяет сократить или исключить эти составляющие теплового баланса. С этой целью применяют различные материалы, которыми закрывают поверхность водоема. Используются антифризы, мономолекулярная пленка из слоя поверхностно-активного вещества, подвспененный полистирол и легко замерзающая водовоздушная пена.

Применение теплоизоляционных средств наиболее целесообразно в тех случаях, когда на защищаемом участке акватории нет передвижения судов и других объектов или передвижение происходит эпизодически. На акваториях судоремонтных заводов такими участками являются: узкие майны вокруг судов на отстое или зимнем ремонте, вокруг плавучих доков, перед слипами, сухими доками и другими сооружениями, вдоль пирсов и т. п., которые создают для устранения давления льда при температурном расширении. Кроме того, теплоизоляционные средства успешно могут быть использованы в камерах откатных затворов сухих доков, вокруг свай и свайных кустов на акваториях с переменным уровнем воды для предотвращения выдергивания свай льдом, на пожарных майнах. Применение теплоизоляционных средств на этих участках акваторий выгодно отличается от других средств по своей экономичности, так как не требует постоянных энергозатрат и наблюдения.

Предлагались теплоизолирующие средства, включающие нагревательные элементы, например устройства с гибким тентом из брезента с войлоком и нагревателями или обогреваемые понтоны с утепленным навесом и приспособлениями для компенсации давления расширяющегося ледяного покрова. Но они пригодны только для частных случаев, например для предотвращения образования льда перед плотинами, и к тому же громоздки, а степень надежности защиты от образования льда весьма невысока.

Для сокращения теплопотерь испарением поверхность защищаемого участка акватории предлагалось покрывать слоем необходимой толщины легкого антифриза, а вокруг участка устанавливать плавучие заграждения, исключающие вынос антифриза и нанос льдин и шуги. Вместо антифриза на поверхности водоема может быть создана мономолекулярная пленка из слоя поверхностно-активного вещества: высокомолекулярных прямоцепочных жирных спиртов и кислот. При образовании волн эластичный слой не разрывается, а после прохождения судна самопроизвольно «сбегается», восстанавливая неразрывность. Пленка сокращает испарение с поверхности водоема до 30—60%. При этом вода сохраняет свой обычный вид, прозрачность, вкус и запах. Мономолекулярная пленка пропускает воздух.

Недостатком способа изоляции поверхности воды с помощью антифриза и мономолекулярной пленки является то, что накопление атмосферных осадков на защитном слое приводит к образованию льда. Антифриз, кроме того, загрязняет водоем.

Изоляция поверхностного слоя может быть осуществлена с помощью веществ, создающих водовоздушную пену [II, 22, 58]. Пена на поверхности воды сокращает тепловые потери в атмосферу испарением и теплопроводностью благодаря своему термическому сопротивлению. Для получения и нанесения пены Иркутским государственным научно-исследовательским институтом редких и цветных металлов разработана пеногенераторная установка [35]. Установка компактна, позволяет использовать для получения пены дешевые эмульгаторы и состоит из двух водяных насосов для приготовления пенообразователя, пеносмесителя с дозировочным устройством, передвижного компрессора, узлов смешивания раствора и воздуха и резиновых шлангов.

Установка способна подавать 250 м³/ч пены при расходе 0,1 кг эмульгатора «Волгонат» на 1 м³ пены. Дальность полета пены, выбрасываемой установкой, достигает 15 м. Установка потребляет 25 м³/ч воды и 4,6 м³/мин сжатого воздуха давлением 3—3,5 кгс/см². Пена во время нанесения ее на защищаемую поверхность при отрицательных температурах воздуха замерзает, образуя легкий пористый слой с коэффициентом теплопроводности 0,07—0,1 ккал/м·ч·град. Пена в качестве теплоизоляционного покрытия обладает достоинствами: заливка пеной поверхности технически проста и не требует больших затрат времени и труда, незначительная стоимость покрытия (10—12 коп. за 1 м² площади при толщине слоя 35—40 см). Нанесение водовоздушной пены на поверхность водоема, свободную от льда, не применялось, поэтому рекомендации на этот счет отсутствуют. Авторы метода рекомендуют наносить слой пены на акватории водоемов, на которых образовался тонкий слой льда.

При сопоставительном анализе различных теплоизоляционных материалов для сокращения теплопотерь с открытой водной поверхности было установлено, что наилучшим из современных материалов для этих целей является бисерный пенополистирол марок ПСБ и ПСБ-С, находящийся в состоянии предварительного вспенивания [I, 35]. Свойства пенополистирола зависят в основном от его объемного веса. Можно получить материал с очень малой плотностью (до 0,01 г/см³). Однако в практике чаще используются пенопласты с объемным весом 0,03—0,1 г/см³.

Наиболее важными свойствами пенополистирола, позволяющими применять его для теплоизоляции водной поверхности, являются низкая теплопроводность, стабильность свойств при низких температурах и водостойкость. Кроме того, пенополистирол физиологически безвреден.

Для получения материала с требуемой плотностью гранулированный полистирол предварительно вспенивают в кипящей воде горячим воздухом или паром.

Для вспенивания в горячей воде бисерный полистирол загружают в ванну (температура воды 95°С), в сетчатую камеру, в количестве 500 г/м² горизонтальной поверхности и выдерживают от 1 до 3 мин. Время вспенивания уточняется по требуемому объем-

ному весу и определяется опытным путем с помощью взвешивания известного объема высушенного пенополистирола. Так как при подвспенивании в кипящей воде гранулы удерживают до 50—60% влаги, необходимо сушить пенополистирол на свободном воздухе при температуре 10—15° С в течение 30 ч или на противотоке горячего воздуха с температурой 50—60° С в течение 3—4 ч.

Подвспенивание нагретым до температуры 95—100° С воздухом требует примерно в 7—8 раз больше времени, чем подвспенивание в горячей воде, что приводит к частичной потере газообразователя, уменьшает способность гранул к вспениванию и, следовательно, увеличивает плотность и ухудшает теплоизоляционные свойства. Однако операция сушки при этом исключается.

Одним из наиболее простых и производительных является метод подвспенивания гранул паром в специальных камерах. Гранулы получаются сухими, и операция сушки не требуется. Пар поступает в камеру через барботер, в верхней части камеры имеется отверстие для выхода пара в атмосферу. Днище камеры имеет наклон для удаления конденсата через специальное отверстие. Гранулы равномерным слоем загружаются на сетчатые рамки, имеющие ячейки не более 0,5 мм, из расчета 500 г полистирола на 1 м² сетчатой поверхности рамки. Рамки устанавливаются на специальную вагонетку, которая вдвигается в камеру через дверку. Поверхность камеры покрывается теплоизоляцией в соответствии с требованиями техники безопасности. Перед загрузкой камера прогревается паром до температуры 100° С, после чего подача его прекращается и производится загрузка камеры. По окончании загрузки дверка закрывается и в камеру через барботер вновь пускается пар с таким расчетом, чтобы в ней не создавалось избыточного давления Для получения плотности полистирола 0,03—0,05 г/см³, при которой получается материал с наилучшими теплоизоляционными свойствами, время выдержки гранул в камере составляет примерно 4 мин.

Подвспененные гранулы рассыпаются ровным слоем на сито, где они выдерживаются определенное время для заполнения вакуума. Эта операция является обязательной при любом способе подвспенивания гранул, так как при охлаждении материала содержащийся в нем газообразователь — изопентан конденсируется и в ячейках гранул создается разряжение. Промежуточное вылеживание гранул способствует проникновению воздуха в поры гранул и заполнению вакуума, что увеличивает их прочность. Вылеживание пенополистирола производится при температуре 15—20° С и для плотности 0,03—0,05 г/см³ составляет примерно 15 ч.

Кроме вышеописанных, может быть рекомендован также метод предварительного вспенивания на установках с использованием токов высокой частоты.

В результате процесса предварительного вспенивания получается материал в виде гранул сферической формы диаметром от 5 до 15 мм, которые и используются для теплоизоляции поверхности воды. Для установления оптимальной толщины теплоизоля-

ционного слоя вспененного полистирола марки ПСБ-С в январе 1970 г. Ленморниипроектом были проведены натурные опыты в Архангельске по предотвращению образования ледяного покрова в канале наливного дока и в районе установки плавучих доков. Температура наружного воздуха в период проведения опыта (с 24 по 30 января) колебалась от —10° С до —34° С, среднесуточная температура составила —17,5° С, скорость ветра —4 м/с.

Пять вырубленных в ледяном покрове и очищенных от льда майн были засыпаны вспененным полистиролом с толщиной слоя от 50 до 300 мм. Шестая, контрольная, майна была оставлена открытой; за 6 сут ее поверхность покрылась прочным льдом толщиной 155 мм. Майны с толщиной теплоизоляционного слоя от 150 до 300 мм остались незамерзшими, а в майнах, покрытых слоями 50 и 100 мм, нижние слои полистирольных шариков смерзлись, верхние — были заполнены снежно-ледяной хрупкой массой. Опыт был продолжен до конца февраля. Установлено, что при среднесуточной температуре воздуха —15° С надежное и длительное поддержание майн в незамерзающем состоянии обеспечивается слоем полистирола толщиной 200 мм.

Учитывая, что водоем, на котором проводились опыты, непроточный и его слои на глубине 10 м имеют температуру +0,3° С, оптимальная толщина слоя полистирола в зависимости от гидрометеорологических условий должна быть от 200 до 350 мм.

Пенополистирол может быть неоднократно использован, так как большинство шариков в слое не смерзается и может быть убрано с участка акватории с помощью воздушного эжектора в специальное хранилище. Описанный способ теплоизоляции применим для поддержания в незамерзающем состоянии акваторий затонов перед слипами, батопортами сухих доков, камер откатных затворов шлюзов и сухих доков.

На тех участках акватории, где допустимо образование тонкого льда толщиной 5—6 см, дальнейшее ледообразование может быть предотвращено с помощью воздушной прослойки, которую создают нагнетая под лед воздух в таком количестве, чтобы лед не был взломан [45].

Небольшие майны можно сохранить в незамерзающем состоянии с помощью устройства [11, 21], содержащего облицовочный корпус с крышкой и без днища. Внутри корпуса вдоль его стенок расположены плавучести, поддерживающие короб на плаву, а снизу — балласт, масса которого достаточна для того, чтобы нижние края стенок уходили в воду на глубину, которая больше ожидаемой толщины льда. Стенки корпуса имеют достаточную высоту, благодаря чему вместе с крышкой они образуют воздушную камеру. При помощи вентиляционных проходов в корпусе осуществляется ограниченная циркуляция воздуха между камерой и атмосферой. Вентиляционные проходы достаточно малы, что предотвращает переохлаждение воздушной камеры.

Для предотвращения выдергивания свай льдом на акваториях с переменным уровнем воды вокруг свай и свайных кустов с по-

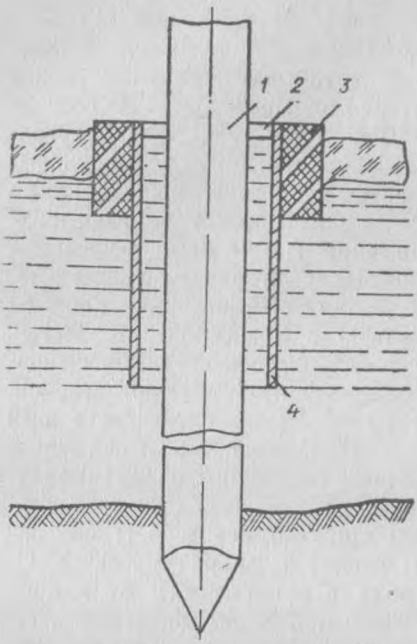


Рис. 30. Устройство для защиты свай от льда:
1 — свая; *2* — упоры; *3* — плавучесть; *4* — теплопроводная оболочка

мощью различных устройств создают незамерзающий участок поверхности воды, чтобы исключить контакт льда со сваей.

В качестве защитного устройства применяют трубчатые оболочки [II, 16], надетые на сваю и имеющие внутренний диаметр несколько больший, чем диаметр сваи (рис. 30). Оболочка выполнена из тонкого листового материала с высокой теплопроводностью, например из меди или алюминия, а на ее верхней части установлена манжета из пенопласта на всю глубину промерзания воды. Пенопласт служит амортизатором для льда, теплоизолятором и поплавком, удерживающим оболочку на плаву. Длина оболочки выбирается такой, чтобы она достигала теплых глубинных слоев воды. Тепло, поступающее по оболочке, препятствует замерзанию воды в кольцевом зазоре между сваей и оболочкой. Трубчатая оболочка может быть разъемной, а для защиты протяженных сооружений выполняется плоской.

В защитном устройстве для свай может быть использован принцип теплоизоляции, осуществляемый в устройстве [II, 17], которое выполняется в виде круглого короба (рис. 31), а в пространстве между коробом и сваей на уровне возможного образования льда помещена втулка, изготовленная из пористого материала, например войлока. Втулка с внутренней поверхности пропитана смазкой. Верхняя часть короба снабжена защитным колпаком и пружиной для его возврата в прежнее положение при отливе. При изменении уровня воды короб вместе со льдом свободно поднимается благодаря скользящей втулке вверх, сжимая при этом пружину. При отливе пружина возвращает короб в начальное положение. Конструкция устройства позволяет использовать его только для защиты одиночных свай.

Были разработаны устройства для защиты свай, палов и свайных кустов, в которых для предотвращения замерзания воды в пространстве между оболочкой и сваей используется жидкий антифриз [II, 23] или подвспененный полистирол.

На рис. 32 изображено устройство, состоящее из разъемного плавучего короба с грузами в его нижней части. Пространство

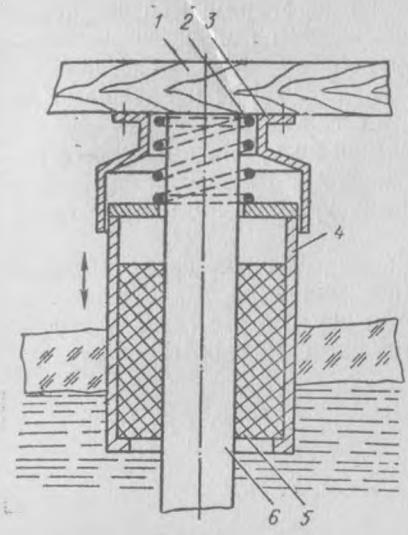


Рис. 31. Пружинное защитное устройство сваи:
1 — настил; *2* — пружина; *3* — колпак; *4* — короб; *5* — втулка; *6* — свая

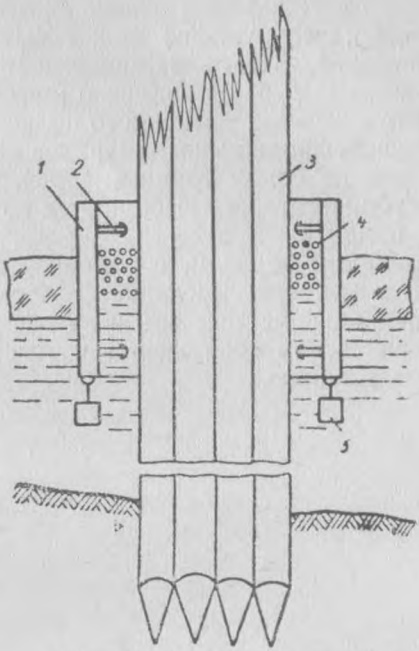


Рис. 32. Защита свай от льда с помощью пенополистирола:
1 — короб; *2* — регулируемые упоры; *3* — сваи; *4* — пенополистирол; *5* — груз

между коробом и сваями заполнено шариками пенополистирола. Короб удерживается от горизонтальных смещений с помощью регулируемых упоров. Устройство разработано Ленинградским институтом водного транспорта совместно с Ленморниипроектом для защиты от воздействия льда гидротехнических сооружений различной конструкции (свай, палов, пирсов и т. п.) [I, 23].

Описанные выше защитные устройства равноценны по эффективности, и на практике конструкция устройства выбирается из конкретных условий применения.

С целью защиты сооружения от давления льда вдоль защищаемого объекта на некотором расстоянии от него создают траншею во льду, в которую укладывают полые щиты или понтоны со скошенной передней гранью, покрытой специальной незамерзающей смазкой [II, 10]. С той же целью применяют угольники из досок, сбитых под углом 45° и укрепленных перед сооружением с помощью якорей и тросов. Наружную поверхность доски также покрывают незамерзающей смазкой. Лед скользит по доске и отклоняется вверх, а сила давления раскладывается на две составляющие: по направлению, перпендикулярному доске, которое воспринимается льдом, расположенным под доской, и по направлению наклона доски.

Как уже упоминалось раньше, для предотвращения давления льда на сооружение может быть использован подвспененный полистирол. Перед защищаемым сооружением непосредственно у стенки вырубают траншею шириной от 0,5 до 1 м и засыпают ее шариками подвспененного полистирола с толщиной слоя 20—40 см. Во избежание выноса шариков из траншеи во время приливов и отливов по бокам траншеи сооружают деревянный кожух, высота и глубина которого выбираются по разнице уровней воды при отливе и приливе.

Таким образом, с помощью теплоизоляционных средств решаются вопросы, имеющие второстепенное значение, но обязательно возникающие при зимней эксплуатации судоподъемных и гидротехнических сооружений и препятствующие их нормальному использованию.

ЗАДЕРЖАНИЕ И НАПРАВЛЕННОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ БИТОГО ЛЬДА

§ 8. МЕХАНИЧЕСКИЕ ЗАГРАЖДЕНИЯ

Применение средств разрушения прочного ледяного покрова недостаточно для существенного улучшения условий эксплуатации объектов водного транспорта, так как разрушенный ледяной покров порождает новую проблему — удаление битого льда от сооружений. Наличие на акватории битого дрейфующего льда зачастую сводит на нет мероприятия по поддержанию участков акваторий в незамерзающем состоянии, что, в свою очередь, обусловливает необходимость создания и применения средств для задержания битого льда перед защищаемым участком акватории.

Если акватория водоема изолирована береговым рельефом или искусственными оградительными сооружениями от основного водоема или если весь прилежащий к данной акватории водоем полностью покрыт сплоченным льдом, то в том и другом случае отсутствуют условия для удаления и разрежения битого льда. В этих условиях при многократных проходах судов мощность битого льда увеличивается в определенной зависимости от суммы градусо-дней мороза и числа прохода судов. Увеличение объема льда приводит к сплочению льдин, подсовам и торошению, что в конечном итоге делает такой покров многослойным, по толщине значительно превышающим толщину ненарушенного льда.

Под воздействием плавучести и силы тяжести в таком покрове возрастают касательные горизонтальные напряжения, аналогичные силам, наблюдающимся при ветровом сжатии дрейфующего льда.

Судоходство в этих условиях затрудняется, для прохода в таком льду требуются более мощные суда, однако использование мощных буксиров и ледоколов лимитируется глубинами и затрудняется стесненными условиями акваторий при ухудшении маневренности крупных судов. Иногда взаимодействие этих факторов приводит к прекращению навигации и эксплуатации сооружений.

В том случае, когда акватория водоема имеет свободный выход в основной близлежащий водоем и характеризуется стабильным или часто повторяющимся выносным течением и отжимными ветрами, а основной водоем бывает свободным от льда,

интенсивное судоходство и связанный с ним систематический взлом ледяного покрова создают более благоприятные условия для периодического очищения акватории от битого льда и способствуют улучшению зимних условий навигации и эксплуатации сооружений.

Существует и третий вид водоемов, где собственного ледообразования не происходит и их акватории только периодически, на незначительный период времени, заполняются приносным битым льдом.

В разные годы зимы отличаются друг от друга различной степенью суровости, что в значительной мере определяет ледовые условия. Однако, основываясь на средних данных за многолетний период наблюдений, всегда можно установить общий характер ледовой обстановки и отнести рассматриваемую акваторию к одному из трех ее видов.

Многообразие ледовых явлений и порождаемых ими затруднений требует разработки специальных технических мероприятий по защите сооружений водного транспорта от битого льда. Арсенал современных средств задержания и направленного перемещения битого льда достаточно разнообразен, постоянно пополняется и совершенствуется (рис. 33). Выбор тех или иных средств определяется в каждом конкретном случае ледовой обстановкой, присущей одному из трех видов водоема, а также факторами, под воздействием которых перемещается битый лед, конструктивными и эксплуатационными особенностями сооружения.

Экраны. Для защиты акваторий портов и судоремонтных заводов от скопления битого льда возводятся оградительные сооружения в виде молов, при этом наибольший эффект достигается в том случае, когда конфигурация и расположение гидротехнических сооружений в плане учитывают дрейф битого льда под воздейст-

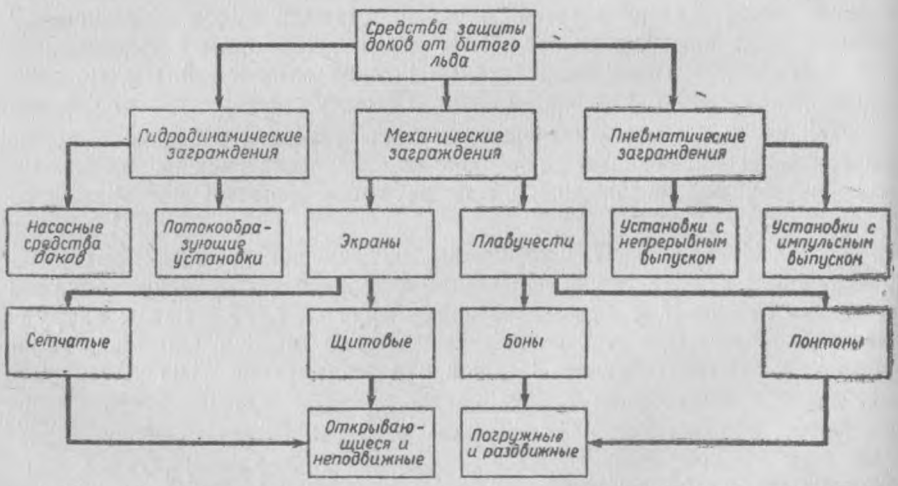


Рис. 33. Схема средств задержания и направленного перемещения битого льда

вием преобладающих направлений ветров и течений. Кроме этого, при возведении оградительных сооружений обычно в первую очередь предусматривается защита акваторий от волнений и заносимости. Поэтому проектирование такого рода сооружений должно основываться на результатах гидравлических исследований на моделях и инженерно-изыскательских работ, выполняемых по специальным комплексным программам, учитывающим все три фактора: волнение, наносы и дрейф льда.

В связи с необходимостью пропуска судов на защищаемые акватории стационарные экраны (молы), естественно, должны иметь достаточно широкие проходы, которые следует оборудовать открывающимися заграждениями.

Кроме защиты больших по площади акваторий, в практике возникает необходимость организации защиты от битого льда ограниченных участков акваторий различных сооружений: паромных переправ, шлюзов, сухих и плавучих доков.

Для защиты междубашенного пространства плавучего дока от попадания битого льда и одновременно с целью защиты от ветра людей, работающих в доке, применяются сплошные экраны, выполненные в виде прочных щитов, перекрывающих пространство между башнями дока от стапель-палубы до топ-палубы.

На плавучих железобетонных доках подъемной силой 4000 и 6000 тс, а также на металлических доках подъемной силой 5000 тс в течение нескольких лет успешно эксплуатируются ледо- и ветрозащитные экраны, содержащие шарнирно сочлененные между собой щитовые закрытия, расположенные под переходными мостиками. Закрытия выполнены в виде жестких металлических гофрированных треугольных щитов с трубчатым ребром жесткости с большей стороны каждого щита [I, 12]. Щиты навешены на кронштейны переходного мостика (рис. 34). Перед погружением дока щиты левого и правого его бортов, а также переходные мостики стягиваются талрепами. При погружении дока лед в районе щитов продавливается и отодвигается ими в сторону от дока. Следует отметить, что данное устройство может быть установлено на плавучем доке только на его нерабочем торце. Оно не исключает попадания в док битого льда со стороны рабочего торца, через который осуществляется ввод и вывод судов.

С целью защиты стапель-палубы плавучего дока от плавающих на свободной поверхности акватории предметов, в том числе и битого льда, на торцах дока монтируются сетчатые закрытия. Закрытие выполнено в виде защитной сети, подвешенной к шарнирно соединенным между собой поплавкам, крайние из которых ограничены от горизонтального смещения вертикальными направляющими, укрепленными на торцах башен дока. При погружении и всплытии дока направляющие возвратно-поступательно перемещаются относительно крайних поплавков. Каждая сеть находится в подвешенном состоянии, перекрывая доступ плавающим предметам в район акватории над стапель-палубой дока [I, 29].

К недостаткам этого устройства относятся: отсутствие привода

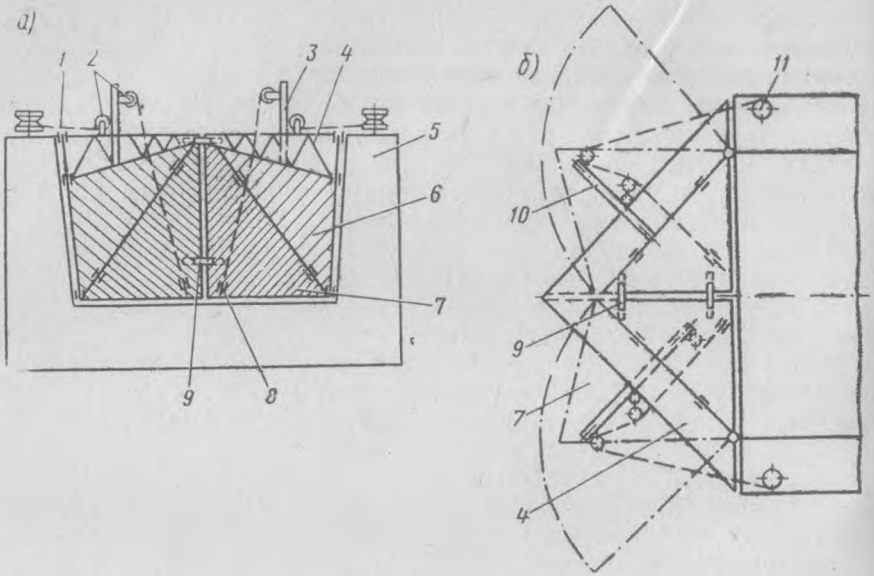


Рис. 34. Щитовое закрытие нерабочего торца плавучего дока:
а — вид на торец дока; *б* — вид сверху; *1* — трос; *2* — блоки; *3* — стойка; *4* — переходный мостик; *5* — торец башни дока; *6* — неподвижный щит; *7* — поворотный щит; *8* — обух; *9* — талреп; *10* — балка; *11* — пяпиль

открытия заграждения для пропуска судна в док; возможность заклинивания скользящих по направляющим элементов поплавков; восприятие навальной нагрузки непосредственно направляющими, что повышает опасность заклинивания и ведет к усложнению конструкции направляющих.

Разработано закрытие торцов плавучего дока, содержащее заградительный экран, выполненный в виде системы вертикальных решетчатых секций, присоединенных посредством шарниров к кринолину дока и устанавливаемых по контуру кринолина так, что образуется сплошной барьер, отделяющий междубашенное пространство дока от акватории с плавающим битым льдом. Перед доковой операцией секции устанавливают с некоторым наклоном в сторону акватории и фиксируют в этом положении затвором, соединенным гибкой связью с поплавком. При погружении дока и повышении уровня воды поплавок всплывает и посредством гибкой связи открывает фиксирующий затвор. Секция под действием собственной массы опрокидывается в сторону акватории и занимает горизонтальное положение. В таком положении устройство не препятствует вводу судна в док и удалению льда из междубашенного пространства течением, вызванным всплытием дока [I, 34].

Основными недостатками этого устройства являются: невозможность использования его на доках, у которых отсутствует кринолин; сокращение полезной площади кринолина при горизонтальном (нерабочем) положении секций; подверженность свисающих

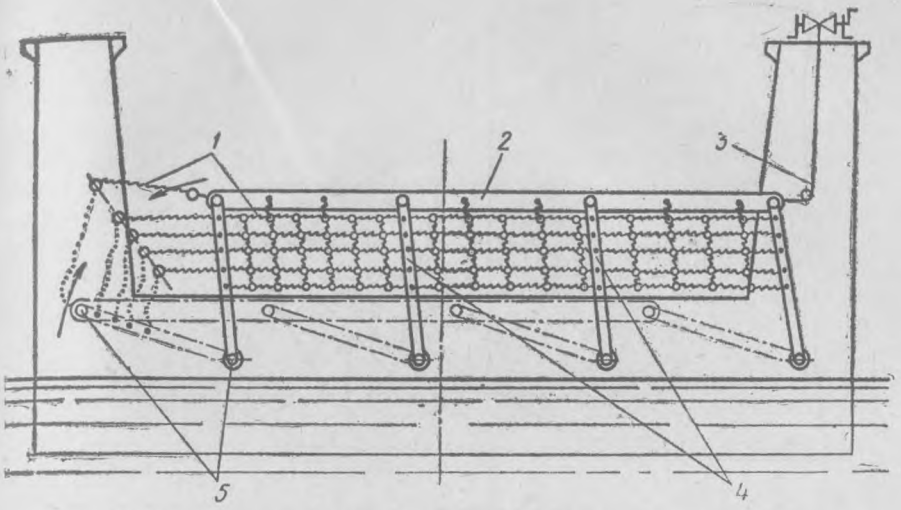


Рис. 35. Заградительный экран на торце понтона плавучего дока:
1 — гибкие связи (тросы); *2* — горизонтальный стержень; *3* — трособлочный привод; *4* — поворотные стержни; *5* — шарниры

за габарит кринолина частей секций заградительного экрана поломкам от навала швартующихся к доку плавсредств (буксиров, плавкранов), обслуживающих док; ручная установка секций в рабочее положение и сложность демонтажа и хранения секций в весенне-летний период.

В отличие от вышеописанного аналогичного по назначению устройства предложен заградительный экран, предназначенный для защиты доков, не имеющих кринолинов. Заградительный экран (рис. 35) состоит из каркаса, выполненного из шарнирно-соединенных стержней в виде шарнирного параллелограмма, складывающегося по высоте под действием собственного веса в плоскости своей проекции на горизонтальную плоскость в нишу, образованную торцом понтона дока и привальным брусом. Для установки в рабочее положение заграждение снабжено трособлочным приводом. Пространство между стержнями каркаса затянуто гибкими связями [I, 57]. Это устройство, как и предыдущее заграждение, ограничено по высоте и поэтому предотвращает попадание битого льда в док только на начальной стадии погружения дока.

Для защиты рабочего торца дока от ветра и плавающего битого льда на некоторых доках успешно применяются экраны, выполненные в виде подъемно-поворотного настила кринолина [37]. Прочный настил кринолина присоединен к понтону дока посредством шарниров и оснащен тягами и упорами (рис. 36). Подъем кринолина осуществляется с помощью тросов и доковых шпилей, а фиксация в поднятом положении — с помощью упоров, тяг и закладных штырей. Недостатком этой конструкции заграждения является невозможность приведения экрана в рабочее положение при на-

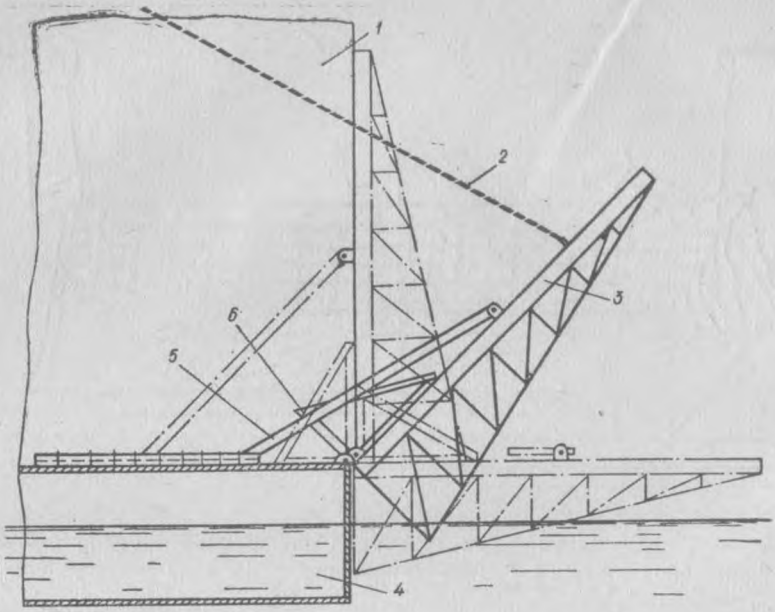


Рис. 36. Подъемный настил кринолина плавучего дока:
1 — башня дока; *2* — трос подъема; *3* — настил; *4* — понтон дока; *5* — тяга; *6* — упор

хождении в доке судна с выступающей за ось шарниров заграждения оконечностью.

В последнее время разработано еще несколько ветрозащитных устройств плавучих доков, которые могут служить средством защиты доков от попадания в них битого льда.

В тех случаях, когда плавучие доки устанавливаются в непосредственной близости и параллельно причалу, а для производства доковой операции отводятся от причала на акваторию с достаточными глубинами, битый лед скапливается у причала и препятствует возвращению и установке дока на штатное место. Для защиты участка акватории между причалом и доком от попадания и скопления битого льда разработано автоматически действующее устройство, выполненное в виде понтона, монтированного посредством опорных и упорных роликов на вертикальных направляющих, укрепленных на торцах береговой башни дока. К понтону прикреплены несущие тросы, свободные концы которых оснащены грузом-противовесом и пропущены через блоки, укрепленные на причальной стенке. При малых глубинах у причала тросовый привод оснащается многократными полиспастами. На тросы посредством колец надвешивается защитная сетка, один конец которой неподвижно закреплен за понтон, а другой — за стенку причала. Для предотвращения провисания сетка снабжена поплавками, а ее длина в растянутом положении равна расстоянию от береговой башни плавучего дока при его нахождении над котлованом до стенки причала [I, 68].

В период стоянки дока на штатном месте у причала (рис. 37, положение *I*) защитная сетка гофрируется на несущих тросах и размещается между башней дока и стенкой причала, предотвращая таким образом проникновение льда между ними.

При отводе дока на котлован (рис. 37, положение *II*) горизонтальные ветви тросов удлиняются на необходимую величину за счет подъема груза-противовеса и многократных полиспастов (на чертеже не показаны). Защитная сетка, навешенная на тросах с помощью подвесных колец, скользит по несущим тросам и вытягивается, все время являясь преградой для дрейфующего битого

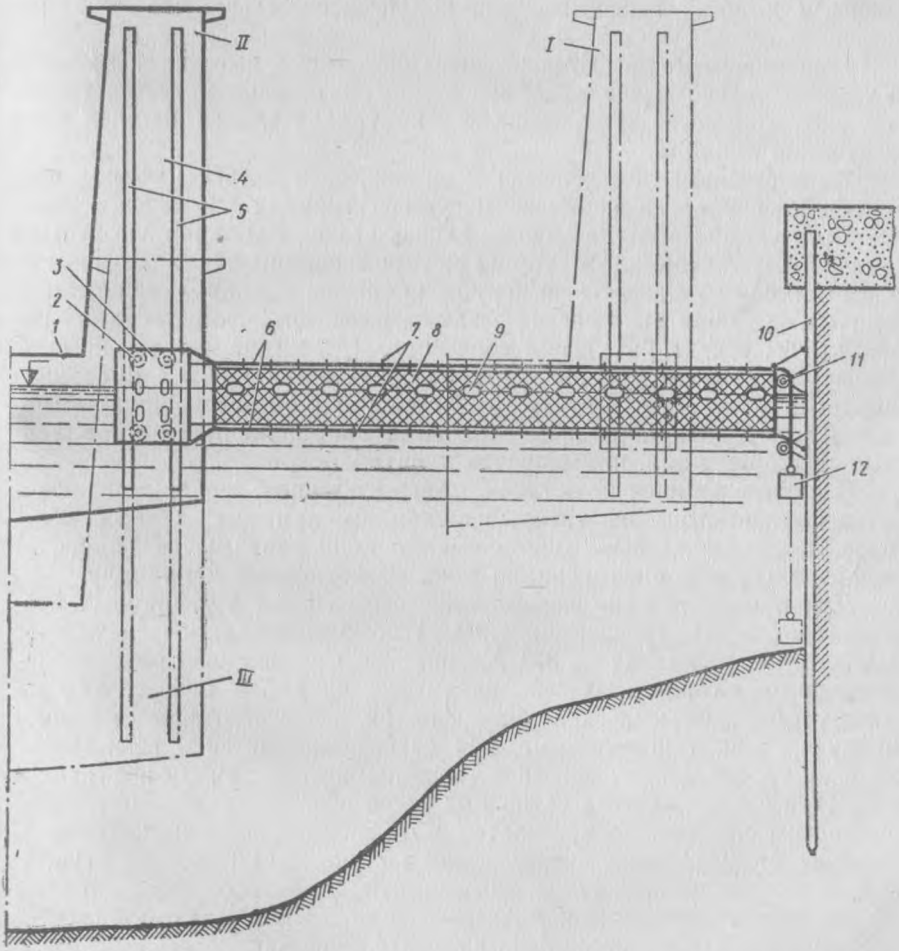


Рис. 37. Устройство для защиты от битого льда акватории между причалом и плавучим доком:

I — док у причала; *II* — док под котлованом; *III* — док в погруженном состоянии; *1* — стапель-палуба; *2* — ролики; *3* — каретка; *4* — башня дока; *5* — направляющие; *6* — тросы; *7* — кольца; *8* — сетчатый экран; *9* — поплавки; *10* — стенка причала; *11* — блоки; *12*—груз

льда, стремящегося заполнить акваторию между отводимым доком и причалом. Благодаря грузу-противовесу тросы постоянно находятся в натянутом положении, а поплавки, укрепленные на сетке, препятствуют провисанию сетки и тросов.

При погружении дока (рис. 37, положение *III*) и его всплытии направляющие, укрепленные на торце береговой башни, возвратно-поступательно перемещаются вместе с доком относительно понтона, соединенного с направляющими посредством опорных и упорных роликов. При этом понтон с тросами и сетка не изменяют своего положения относительно уровня воды. Для предотвращения обледенения верхний несущий трос натянут над уровнем воды, а нижний трос — под нижней поверхностью ледяного покрова.

При возвращении дока на штатное место стоянки у причала груз-противовес опускается, постоянно натягивая несущие тросы, сетка гофрируется и размещается на тросах между башней дока и стенкой причала.

Во избежание обледенения и вмерзания в ледяной покров вертикального участка верхнего несущего троса, он в районе переменного уровня воды пропущен сквозь трубу, наполненную густым смазочным материалом, торцы которой оснащены эластичными уплотняющими манжетами. Труба крепится к причальной стенке, причем ее длина выбирается с таким расчетом, чтобы верхний конец трубы всегда был выше уровня воды, а нижний — под нижней кромкой ледяного покрова. Другим средством борьбы с вмерзанием троса может служить местный сброс теплой промышленной воды. Для предотвращения обледенения направляющих, укрепленных на торце дока, применяется электрообогрев.

В случае замены натяжного приспособления (груза-противовеса и полиспастов) на тяговый механизм, например шпиль, несущие тросы могут быть одновременно использованы в качестве швартовных для подтягивания дока от котлована к причалу.

Для предотвращения скопления битого льда в тупиковых участках ложа парома разработано автоматизированное натяжное сетчатое заграждение [I, 33]. Устройство выполнено в виде заградительного экрана из сетки, натянутой на входе в ложе парома между образующими ложе пирсами. Под воздействием инерции корпуса швартующегося парома сетка удлиняется и выгибается за счет трособлочного привода, соединенного с грузом-противовесом. При отходе парома сетка под воздействием грузов-противовесов выпрямляется, возвращается в первоначальное положение и удаляет битый лед за пределы ложа парома. Однако это устройство может использоваться для защиты от битого льда только специализированных причальных сооружений автомобильных (рис. 38) и железнодорожных паромных переправ.

Плавучести. Кроме стационарных оградительных сооружений для защиты акватории портов, существует целый ряд различных по конструкции и принципу действия пневматических и боновых волноломов и устройств для задержания разлитой на акватории

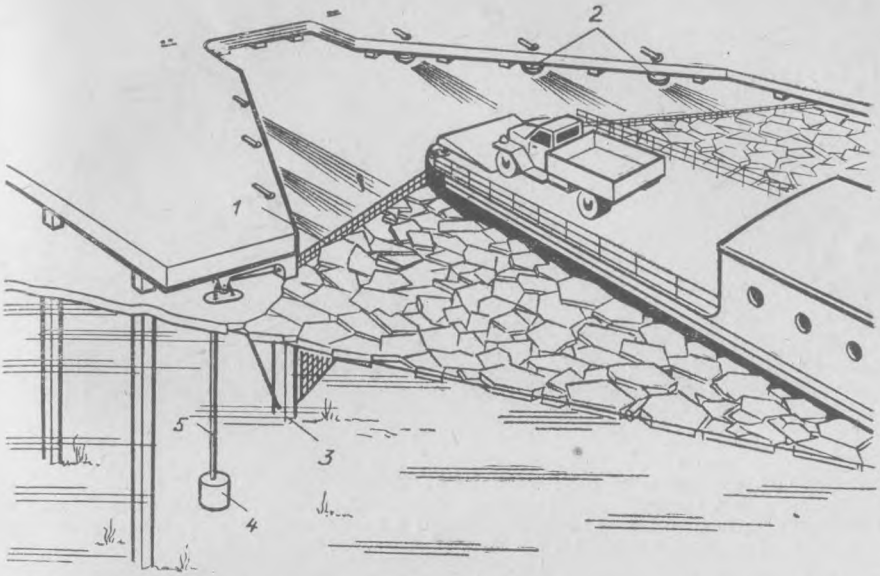


Рис. 38. Натяжное сетчатое заграждение для защиты ложа автомобильного парома от скопления битого льда:
1 — сетка; *2* — потокообразователи; *3* — ферма с направляющими роликами; *4* — груз; *5* — трос

портов нефти, мусора и других плавающих предметов. Эти средства не предназначены для защиты портов от дрейфующего льда, но могут быть использованы в качестве прототипов при разработке средств противоледовой защиты.

Одним из наиболее близких по принципу действия прототипов может служить устройство, описанное в патенте Франции [11, 42], предназначенное в основном для предотвращения распространения разлитых на акватории нефтепродуктов. Это устройство выполнено в виде шарнирного плавучего заграждения с механизированным приводом закрытия и открытия; оно способно заграждать проходы размером 200 м и более при сильном волнении, ветре и на акваториях со значительными колебаниями уровня воды.

Заграждение состоит из двух ветвей шарнирно-сочлененных понтонов. Головные понтоны каждой ветви при закрытии заграждения сходятся, а концевые понтоны постоянно прикреплены к голове мола или к специальным палам (рис. 39).

Перемещение понтонов и их удержание в необходимом положении осуществляются с помощью дистанционно управляемых брашпилей, установленных на головных понтонах каждой ветви, и двух нитей цепей, причем буксировочная цепь пропущена через клюзы головных понтонов. При открытии заграждения для пропуска судов на защищенную акваторию поплавки приближаются друг к другу, а буксировочная цепь освобождается от натяжения и укладывается на дне водоема. При значительных колебаниях уровня

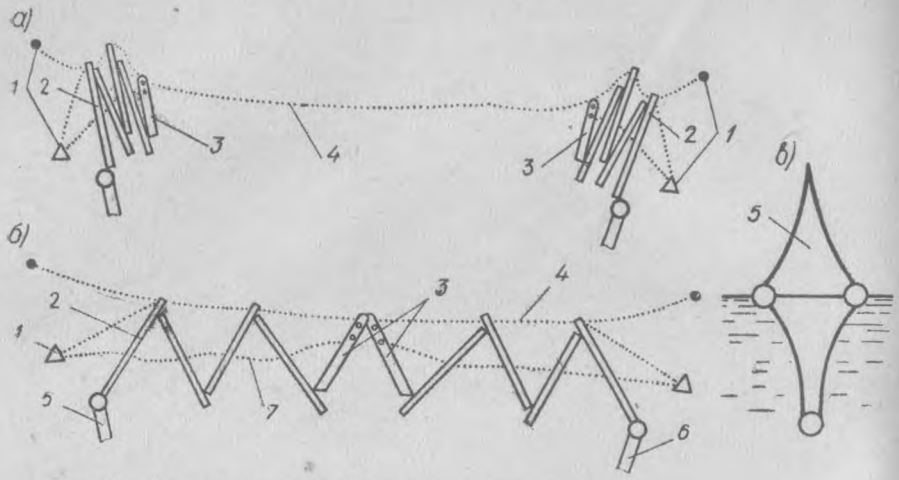


Рис. 39. Раздвижное понтонное заграждение:
а — открыто; *б* — закрыто; *в* — поперечное сечение понтона; *1* — донные опоры (якоря); *2* — концевые понтоны; *3* — головные понтоны с брашпилями; *4* — буксировочная цепь; *5* — понтон; *6* — молы; *7* — фиксирующая цепь

воды концевые понтоны крепятся к опорам посредством вертикального шарнира или с помощью вертикальных направляющих. С целью повышения сопротивления изгибающим усилиям и повышения устойчивости поперечному сечению поплавков придается особая форма, образуемая четырьмя сегментами парабол.

Недостатком этого и других подобных заграждений является необходимость визуального наблюдения и предварительного открытия заграждения для пропуска судна. За время подхода судна и его прохода через линию заграждения на защищаемую акваторию могут проникнуть значительные массы битого льда.

Всех этих недостатков лишено устройство, специально предназначенное для защиты акватории портов от плавающего льда при одновременном автоматическом беспрепятственном пропуске судов через линию заграждения [I, 48]. Устройство состоит из системы поплавков, расположенных по контуру защищаемой акватории в виде плотного ряда или нескольких рядов с выпуклостью в сторону акватории, заполненной битым плавающим льдом. Для лучшего сочленения между собой одна половина поплавков выполнена в форме вертикального цилиндра, а другая — вертикальной призмы с вогнутыми вертикальными стенками, причем поплавки разной формы чередуются в шахматном порядке. Каждый поплавок в своей нижней части снабжен вертлюгом с блоком. Через блок пропущен трос, один конец которого прикреплен к якорю, а другой снабжен грузом с направляющей скобой или направляющим отверстием, при этом общая длина троса несколько меньше двойной глубины водоема в месте установки устройства, что не позволяет грузу касаться грунта водоема (рис. 40).

При навале поля дрейфующего льда ряды поплавков уплотня-

ются между собой и препятствуют проникновению льда на защищаемую акваторию. При проходе судна через заграждение оно своей носовой оконечностью, как клином, раздвигает поплавки в стороны, а удерживаемый якорем трос удлиняется за счет подъема груза, что позволяет поплавкам смещаться без затопления. При этом возникает горизонтальная составляющая силы натяжения троса грузом, которая после прохода судна возвращает поплавки в первоначальное положение.

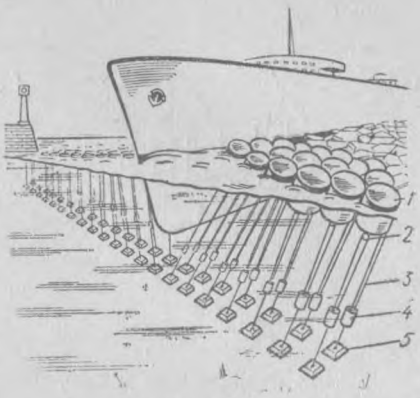


Рис. 40. Поплавковое заграждение для защиты акватории от битого льда:

1 — поплавки; *2* — вертлюг с блоком; *3* — трос; *4* — груз с направляющим отверстием; *5* — якорь

Аналогичная конструкция бонового заграждения предложена для установки перед торцами плавучих или воротами сухих доков. Однако эксплуатационная надежность устройства и исключение задевания гребными винтами проходящих судов элементов заграждения могут быть достигнуты только при значительных габаритных размерах поплавков. Кроме этого, данный тип заграждения может эксплуатироваться при глубинах водоема, превышающих осадку проходящих судов не менее чем в 2 раза, а защищаемая акватория должна поддерживаться в незамерзающем состоянии.

С целью защиты плавучего дока от битого льда предложено понтонное заграждение [I, 22], которое может быть смонтировано на любом торце дока. Устройство содержит понтоны из листовой стали, имеющие форму усеченной треугольной пирамиды. Понтоны посредством тяг шарнирно крепятся к осям, установленным на торце стапель-палубы дока (рис. 41). Для предотвращения опрокидывания понтонов в период докования и поддержания их на плаву, пока док не погружен (см. рис. 41, положение *I*), предусмотрены тросы, закрепленные на башнях дока. При погружении дока понтоны, благодаря плавучести и шарнирному креплению на осях, поворачиваются, защищая док от попадания льда (см. рис. 41, положение *II*). При вводе в док судна оно своими обводами разводит понтоны на требуемую ширину.

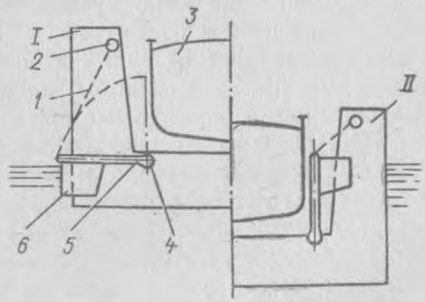


Рис. 41. Понтонное закрытие торцов плавучего дока:

I — док не погружен; *II* — док погружен; *1* — трос; *2* — рым; *3* — судно; *4* — шарнир; *5* — тяга; *6* — понтон

Однако понтоны защищают только пространство между внутренней стенкой башни дока и

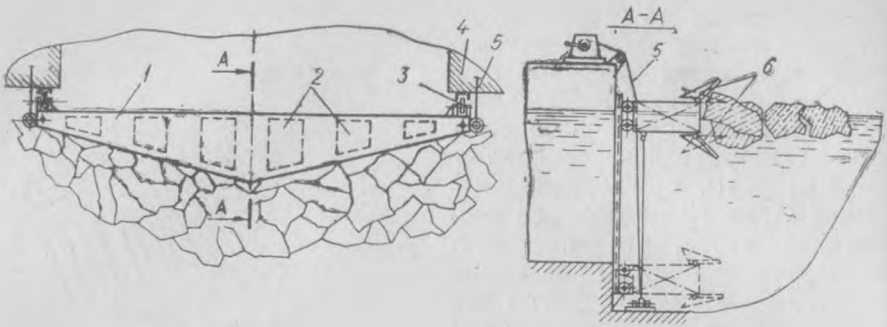


Рис. 42. Заграждение в виде опускной балки:
1 — балка; *2* — воздушные емкости; *3* — опорный ролик; *4* — торец башни или устой дока; *5* — трособлочный привод; *6* — поворотные козырьки

корпусом вводимого в док судна. При погружении дока, в период подхода судна к доку, значительное пространство между понтонами ничем не защищено и битый лед может беспрепятственно проникать в док.

С целью ликвидации отмеченных недостатков разработано заграждение, выполненное в виде прочной объемной балки, обладающей положительной плавучестью (рис. 42). Концы балки оснащены опорными роликами, передающими всю нагрузку, возникающую при навале битого льда, на устои сухого или торцы башен плавучего дока. Передняя кромка балки имеет клинообразную форму и снабжена поворотными козырьками, предотвращающими подныривание и переваливание льдин через заграждение. Для пропуска судна в док балка снабжена дистанционным приводом принудительного погружения. В качестве приводных механизмов могут быть использованы доковые шпили [I, 65].

Единственным недостатком этого устройства является неспособность задержания битого льда в период ввода судна в док, когда балка опущена на уровень стапель-палубы.

Подобная же конструкция заграждения может быть использована для защиты от битого льда ложа железнодорожного парома, камер шлюзов или сухих доков. Наиболее простым и надежным приводом принудительного погружения балки могут служить грузы, синхронно опускаемые на концы балки.

Для повышения эффективности задержания битого льда перед доком в период вывода и ввода судов в док предложено устройство, сочетающее принципы механического и гидродинамического заграждений. С этой целью на торцах башен дока установлены направляющие, которые при погружении и всплытии дока перемещаются вместе с ним относительно каретки, обладающей положительной плавучестью. Каретка снабжена телескопическим элементом, оборудованным выдвигающим механизмом (рис. 43). Сходящиеся концы элементов оснащены специальными соплами для создания напорных струй, обеспечивающих упругий контакт между

телескопическими элементами заграждения и бортами вводимого в док судна. До ввода судна оба телескопических элемента максимально выдвинуты, их концы сомкнуты, образуя механическую преграду для дрейфующего льда. При подходе судна к преграде включают насосы. Под действием силы реакции струй телескопические элементы несколько раздвигаются и между их концами образуется свободное пространство, в котором создается сильное течение, направленное в сторону битого льда. При входе оконечности вводимого судна в пространство между концами элементов сила реакции струй увеличивается и раздвигает телескопические элементы. После прохода судна телескопичсекие элементы снова смыкаются и выключают насосы [1, 50].

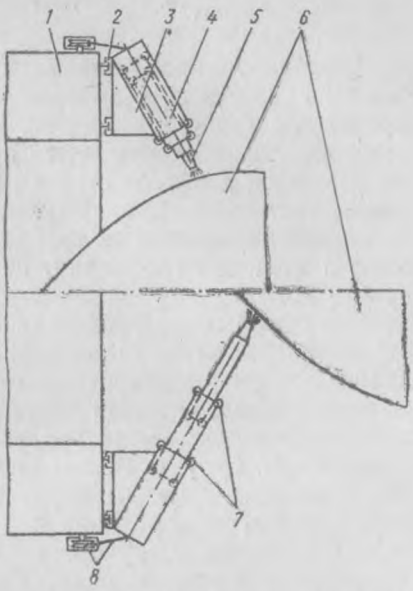


Рис. 43. Телескопическое заграждение рабочего торца плавучего дока:

1 — башня дока; *2* — направляющие; *3* — плавучая каретка; *4* — телескопический элемент; *5* — сопло; *6* — судно; *7* — ролики направляющие; *8* — привод трособлочный с грузом

Предложенное устройство способно защитить док от битого льда на всех стадиях доковой операции, оно отличается автоматизацией, однако сложно в изготовлении, требует тщательной регулировки насосных средств и выдвигающих механизмов, а также защиты направляющих и телескопических элементов от обледенения.

В каждом из приведенных выше устройств имеются те или иные недостатки. Общим недостатком большинства из них является то, что при навальном воздействии битого дрейфующего льда на заграждение все усилия передаются на направляющие. Это усложняет конструкцию направляющих и может привести к заклиниванию подвижных элементов. В связи с несовершенством этих заграждений различными организациями продолжается поисковая разработка механических преград, простых по конструкции, удобных и надежных в эксплуатации.

Конструктивные размеры элементов механических заграждений всех типов должны рассчитываться по СНиП II 57—75, гл. 57. Нагрузки от льда должны определяться на основе исходных данных по ледовой обстановке в районе расположения заграждения для периода времени с наибольшими ледовыми воздействиями, при этом ряд натурных наблюдений должен быть не менее 5 лет. Кроме расчетов на прочность, должа быть выполнена проверка на подныривание льдин [25].

§ 9. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ЗАГРАЖДЕНИЯ

Наиболее широко пневматические установки применяются в качестве средства для задержания нефти на ограниченном участке акватории. С начала 60-х гг. началось использование пневматических установок для защиты сухих и плавучих доков от плавающего битого льда, для создания и поддержания акваторий в незамерзающем состоянии. С этой целью они используются в сухих доках для предотвращения ледообразования на поверхности воды в камере в период наполнения, центровки судов и осушения камеры сухого дока.

Пневматические установки, состоящие из перфорированной трубы, укрепленной на стапель-палубе между башнями у торцов плавучего дока, перед воротами сухого дока или шлюза, создают восходящий поток, который на поверхности воды образует бурун и поверхностные потоки, распространяющиеся по обе стороны от продольной оси буруна. Установлено, что эффективность работы установок зависит главным образом от глубины погружения перфорированной трубы и расхода подаваемого сжатого воздуха. В начальный период погружения плавучего дока установки, укрепленные на уровне стапель-палубы дока, работают недостаточно эффективно. Некоторое повышение эффективности работы установки достигается перестановкой перфорированной трубы с уровня стапель-палубы на глубину днища понтонов дока или укладкой трубы на дно водоема перед торцом дока. Однако при таком размещении перфорированной трубы и общем увеличении расхода восходящего воздушно-водяного факела некоторая часть его гасится кринолином дока, что ведет к снижению к. п. д. установки и требует повышенного расхода сжатого воздуха. Кроме этого, в подводящей трубе на уровне поверхности воды в интервалах между доковыми операциями образуется ледяная пробка.

Основным недостатком пневматических установок является низкая эффективность их работы при значительных толщинах, большой сплоченности битого льда и при силе ветра свыше 3—4 баллов.

Опыт показывает, что, при вводе в док судна и пересечении его корпусом созданного установкой буруна, структура восходящего потока нарушается. В этот период, как и в начале погружения дока, в междубашенное пространство прорывается значительное количество битого льда.

Кроме задержания льда, пневматические установки применяют с целью направленного перемещения (удаления) битого льда из междубашенного пространства дока. Так, на плавучих доках поперек стапель-палубы, в зазорах между понтонами, с интервалом 10—15 м друг от друга были укреплены перфорированные трубы диаметром 76 мм с отверстиями 3 мм и шагом 100 мм. Поочередной подачей сжатого воздуха в трубы, начиная от одной из оконечностей дока, в междубашенном пространстве погруженного дока создается течение, направленное в сторону другой оконечно-

сти. Такой же способ эвакуации битого льда из ложа парома применен в Польше на речной паромной переправе [64]. Поскольку от каждой трубы течение с равной скоростью распространяется в противоположные стороны, интенсивность и влекущая сила направленного потока весьма малы, в связи с чем этот способ недостаточно эффективен при значительной сплоченности льда и встречном ветре. Кроме этого, размещение трубопроводов на стапель-палубе монолитного понтона плавучего дока или днище сухого дока препятствует применению средств катучей механизации доковых работ, а остающаяся и замерзающая в трубах вода выводит часть трубопроводов из эксплуатации [12].

Пневматические установки, в том числе импульсные, имеют многоцелевое назначение — борьба с волнением и ледообразованием на акваториях, задержание нефти и иных плавающих тел (мусора, битого льда и т. п.) и в сочетании с другими видами противоледовых устройств могут успешно применяться для защиты сооружений от битого льда.

§ 10. ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАГРАЖДЕНИЯ

Механические и пневматические заграждения не всегда способны надежно защитить доки от битого льда в период ввода судна, они не обеспечивают отгон битого льда от рабочего торца и быстрое удаление битого льда, проникшего в междубашенное пространство дока.

Поиск надежных, более эффективных и экономичных способов защиты доков от льда позволил Ленморниипроекту разработать и предложить новый способ гидромеханизации направленного перемещения шуги и битого льда с помощью поверхностного потока, создаваемого гидравлическими струями. Установлено, что наибольшей влекущей силой и дальнобойностью обладает поток, созданный струей с незначительной скоростью истечения (2,5—3 м/с) при относительно большом расходе воды. Этим требованиям в наибольшей степени отвечают безнапорные винтовые насосы — потокообразователи.

Выбор числа и мощности потокообразователей, а также схемы их расположения по длине дока определяется расчетом по методике [21].

Задержание или удаление попавшего в док (или другое ограниченное водное пространство) битого льда может быть осуществлено, если соблюдается условие

$$F_{\text{по}} \geqslant kF_{\text{в}}, \qquad (1)$$

где $F_{\text{по}}$ — сила гидродинамического воздействия струй, созданных потокообразователями, кгс;

k — коэффициент запаса, принимаемый равным 1,2;

$F_{\text{в}}$ — сумма сил, под воздействием которых битый лед, плавающий на акватории, вталкивается в междубашенное пространство дока при его погружении, кгс.

Определение сил, перемещающих битый лед в междубашенное пространство при погружении плавучего дока. Чтобы обеспечить зимнее докование, ледяной покров вокруг дока в большинстве случаев взламывается буксирами, в результате чего поверхность воды перед доком покрывается раздробленным льдом. Под воздействием течения, возникающего при погружении плавучего дока, битый лед стремится попасть в док и, если отсутствуют специальные средства защиты, заполняет междубашенное пространство. Этому способствует и ветер, а в проточных водоемах также естественное течение.

В период погружения дока на окружающее поле битого льда действуют следующие силы:

сила, обусловленная трением потока о нижнюю поверхность льдин, F_1;

сила, вызываемая трением воздуха о верхнюю поверхность ледяного поля, F_2;

сила, обусловленная уклоном свободной поверхности, F_3;

сила гидродинамического давления на подводную часть торца ледяного поля F_4.

При движении льда внутри дока возникает и пятая сила — сила трения льда о внутренние стенки башен дока и выступающие части. В связи с разнообразием конструктивных особенностей доков эта сила носит случайный характер. Поскольку сила трения противодействует как силам, вталкивающим лед в док, так и гидродинамическому воздействию на лед искусственно создаваемого потока, а по абсолютному значению остается неизменной, этой силой можно пренебречь.

Так как оба торца плавучего дока имеют одинаковые площади живого сечения, а док погружается практически без дифферента, достаточно рассматривать процессы, происходящие только в одной половине дока, со стороны ввода судна. Причем для учета наихудших условий принимается случай, когда ветер направлен в торец выбранной половины дока. Тогда суммарная величина силы, вталкивающей лед в док, составит

$$F_в = F_1 + F_2 + F_3 + F_4. \qquad (2)$$

Значения составляющих F_1, F_2 и F_4 могут быть выражены через скоростные напоры:

$$F_1 = k_1 v^2 BL, \qquad (3)$$

$$F_2 = k_2 w^2 BL, \qquad (4)$$

$$F_4 = k_4 v^2 Bfh, \qquad (5)$$

где k_1 — коэффициент, учитывающий трение воды о нижнюю поверхность льда и плотность воды при температуре 0° С, принимается равным 0,5 кгс · с^2/м^4;

v — поверхностная скорость потока, заполняющего междубашенное пространство дока, м/с;

B — ширина движущегося ледяного поля, м, равная расстоянию между внутренними стенками башен дока;

L — длина ледяного поля, м, перемещающегося внутри дока [увеличение длины ледяного поля L свыше $(2{,}5 \div 3)\ B$ не вызывает дальнейшего роста влекущей силы потока, так как дальнейший прирост давления воспринимается башнями дока путем трения ледяного поля о внутренние стенки башен дока], принимаемая по работе [25] равной 3 B;

k_2 — коэффициент, учитывающий трение воздуха о верхнюю поверхность льда и плотность воздуха в диапазоне температур от —20° до +10° С, принимается равным 0,001—0,002 кгс · с^2/м^4, причем большое значение принимается при сильно торосистой поверхности льда;

w — скорость ветра, максимальное значение которой для условий докования не должно превышать 10 м/с;

k_4 — коэффициент, учитывающий форму поперечного сечения и условия обтекания льдин, а также плотность воды при температуре 0° С, принимается равным 50 кгс · с^2/м^4;

f — коэффициент, учитывающий долю погруженной в воду площади торцов льдин, на которую воздействует гидродинамическое давление потока, равный 0,46 при сплоченности льда 5 баллов и его удельном весе $\gamma_л$ = 920 кгс/м^3;

h — средняя толщина льда, м.

Одним из основных факторов, оказывающих силовое воздействие на передвижение льда, является поверхностная скорость потока, заполняющего междубашенное пространство при погружении дока. Ее величина зависит от скорости погружения дока, от отношения глубины воды над стапель-палубой к глубине водоема и от средней скорости подтекающего к доку невозмущенного потока.

Поверхностная скорость вливающегося в док потока находится в следующей функциональной зависимости

$$v = f(v_д, X, v_0), \tag{6}$$

где $v_д$ — средняя скорость погружения дока, м/с, равная отношению глубины слоя воды над стапель-палубой $H_{сп}$ при погружении дока на максимальную отметку, м, к времени T погружения стапель-палубы, с;

X — степень сжатия потока (рис. 44), равная отношению глубины слоя воды ($H_{сп}$) над стапель-палубой, м, к глубине водоема или подходного канала $H_в$ перед доком, м;

v_0 — скорость невозмущенного потока, м, возникающего на акватории перед торцом дока при его погружении, равная отношению произведения полудлины дока и средней скорости его погружения к глубине водоема или подходного канала перед доком.

Величина поверхностной скорости на любой стадии погружения дока равна произведению скорости невозмущенного потока на безразмерный коэффициент [4], снятый с графика (см. рис. 44),

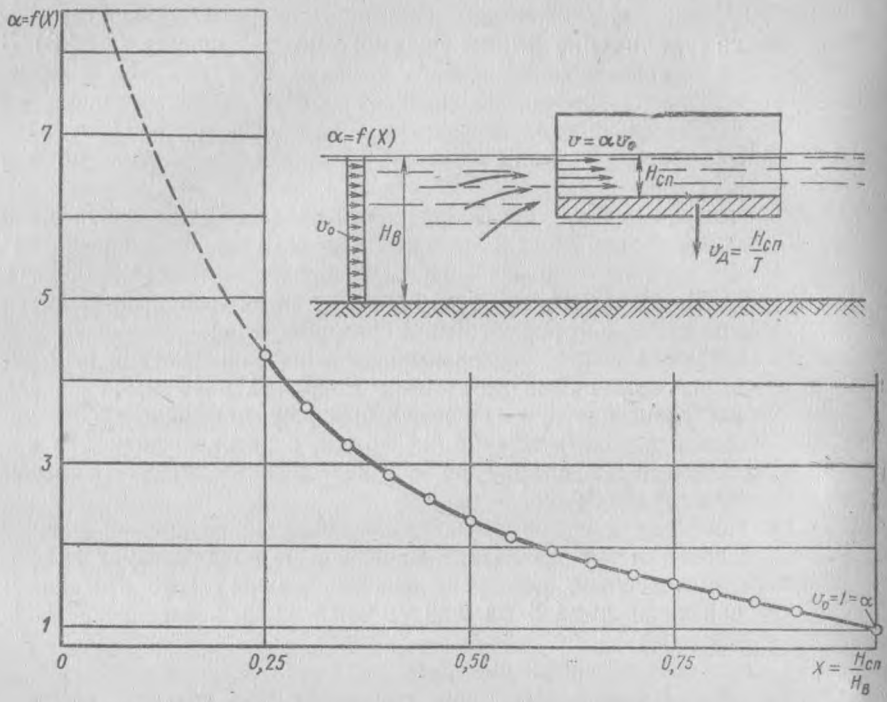


Рис. 44. График изменения величины коэффициента поверхностной скорости потока α в зависимости от степени его сжатия X на различных стадиях погружения дока

Сила, обусловленная уклоном свободной поверхности потока $F_з$, определяется как алгебраическая сумма проекций сил: G (веса льда) и N (силы плавучести) на горизонтальную ось. Эти силы могут быть определены по формулам:

$$G = \gamma_л BLh;\ N = G\cos\delta = \gamma_л BLh\cos\delta. \qquad (7)$$

Проекция этих сил на горизонтальную ось и будет искомой силой

$$F_з = N\sin\delta = \gamma_л BLh\cos\delta\sin\delta = \frac{1}{2}\gamma_л BLh\sin 2\delta. \qquad (8)$$

Угол уклона свободной поверхности δ создается при погружении дока вследствие некоторого отставания в выравнивании уровня поверхности воды по полудлине дока и определяется по формуле

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\Delta H}{0{,}5L_д},$$

где ΔH — секундное приращение глубины слоя воды над стапель-палубой, м, по своему значению равное средней скорости погружения дока.

При малых углах $\sin 2\delta \approx \operatorname{tg} 2\delta$. После подстановки в выражение (8) принятых значений получим

$$F_3 = 2\gamma_л\, BLh\, \frac{\Delta H}{L_д} = 2\gamma_л\, BLh\, \frac{v_д}{L_д}. \qquad (9)$$

Подставляя в зависимость (2) значения F_1, F_2, F_3 и F_4, получаем формулу, определяющую максимальную величину силы, под воздействием которой лед проникает в док,

$$F_в = k_1 v^2 BL + k_2 w^2 BL + 2\gamma_л\, BLh\, \frac{v_д}{L_д} + k_4 v^2 Bfh. \qquad (10)$$

Для практических расчетов формулу (10) можно упростить, подставив численные значения составляющих,

$$F_в = B\left(1{,}5v^2 B + 0{,}3B + 5520Bh\, \frac{v_д}{L_д} + 23v^2 h\right). \qquad (11)$$

При рассмотрении составляющих силы $F_в$ не учитывается сила, обусловленная естественным течением. Это объясняется тем, что оно используется как попутное искусственно создаваемому потоку, и лед, стремящийся проникнуть в док, или задерживается естественным потоком, или продвигается вперед вдоль всего дока за его пределы. В последнем случае, чтобы предотвратить поступление в док новых порций льда, торец дока со стороны естественного течения перекрывается механическим ледоудерживающим устройством.

Определение гидродинамического воздействия струй при удалении льда из дока с помощью потокообразователей. Транспортирующая способность потока, созданного потокообразователями, представляет собой сумму тех же по физической сущности сил, которые воздействуют на лед при вталкивании его в погружающийся док. В отличие от них в суммарной силе созданного потока отсутствует составляющая F_2, учитывающая воздействие ветра. Поскольку сила F_3 возникает и может способствовать удалению льдин только в период всплытия дока, она относится в запас и не рассматривается. Сила гидродинамического давления F_4 на кромку льдин в данном случае приложена ко всей площади погруженной части торцов льдин в связи с их сплочением до 10 баллов, и коэффициент площади торцов $f = 0{,}9$.

Используя ранее принятые обозначения и численные величины коэффициентов, формула для определения действующей на лед силы создаваемого потока может быть записана в виде

$$F_{по} = F_1 + F_4 = k_1 v_п^2 BL + k_4 v_п^2 Bfh = 1{,}5 v_п^2 B(B + 30h), \qquad (12)$$

где $v_п$ — поверхностная скорость искусственно созданного потока, м/с.

По условию (1) эвакуация битого плавающего льда из междубашенного пространства дока может быть осуществлена при

$$F_{по} = 1{,}2 F_в,$$

или

$$1{,}5v_{\text{п}}^2 B(B+30h) = 1{,}2B\left(1{,}5v^2B + 0{,}3B + 5520Bh\frac{v_{\text{д}}}{L_{\text{д}}} + 23v^2h\right), \quad (13)$$

где все величины известны или могут быть заданы.

Из зависимости (13) можно определить потребную величину поверхностной скорости течения, создаваемого потокообразователями,

$$v_{\text{п}} = \sqrt{\frac{1{,}2v^2B + 0{,}24B + 4416Bh\frac{v_{\text{д}}}{L_{\text{д}}} + 18{,}4v^2h}{B+30h}}. \quad (14)$$

Определение параметров потокообразователей. Основным параметром искусственного потока для эффективного удаления битого льда за пределы дока является рабочая длина потока $L_{\text{р}}$ с конечной заданной величиной поверхностной скорости течения $v_{\text{п}}$, равной или большей скорости, определенной по формуле (14).

Основываясь на теории распространения затопленной турбулентной струи, определяющей рабочую длину потока, разработаны эмпирические зависимости, аналогичные по структуре общему уравнению для потока с переменным расходом [23], которые записываются в виде

$$L_{\text{р}} = k_{\text{р}}\left(\frac{v_0}{v_{\text{ср}}} - 1\right), \quad (15)$$

где $k_{\text{р}}$ — опытный коэффициент, учитывающий конструктивные особенности гидромеханического комплекса потокообразователя, начальные и граничные условия распространения затопленной струи;

v_0 — скорость истечения из насадка, м/с;

$v_{\text{ср}}$ — средняя скорость потока в данном сечении, м/с.

В связи со сложностью определения истинной величины начальной скорости истечения струи возникла необходимость найти такой параметр для ее замены, который можно легко определить, и он должен учитывать воздействие всех факторов, влияющих на формирование и распространение струи в конкретных условиях. Таким параметром является упор гидромеханического комплекса $P_{\text{у}}$ работающего потокообразователя, определяемый по формуле

$$P_{\text{у}} = \rho F_{\text{р}} v_0^2,$$

откуда

$$v_0 = \sqrt{\frac{P_{\text{у}}}{\rho F_{\text{р}}}}, \quad (16)$$

где ρ — плотность воды (при температуре воды 0°С $\rho = 102$ кгс · $\cdot$ с^2/м^4);

$F_{\text{р}} = \pi R^2$ — гидравлическое сечение гребного винта потокообразователя, м^2;

R — радиус гребного винта, м.

Подставляя эти значения в формулу (16), получим

$$v_0 = \sqrt{\frac{P_y}{\rho\pi R^2}}. \qquad (17)$$

Хорошее совпадение с экспериментальными данными, полученными в результате многочисленных опытов, показала зависимость длины потока от величины упора, создаваемого потокообразователем,

$$L_p = 6{,}8 d_0 \left(\frac{\sqrt{\frac{P_y}{\rho\pi R^2}}}{k v_n} - 1 \right), \qquad (18)$$

где 6,8 — коэффициент пропорциональности [1];

d_0 — диаметр выходного сечения насадка, м;

$k = 0{,}52$ — опытный коэффициент, учитывающий граничные условия распространения струи в ограниченном пространстве (междубашенном пространстве дока).

Учитывая, что превышение диаметра выходного сечения насадка над диаметром гребного винта обычно составляет величину, примерно равную 1,05, и подставляя в выражение (18) числовые значения коэффициентов, получим расчетную формулу рабочей длины потока

$$L_p = \frac{1{,}54\sqrt{P_y}}{v_n} - 14{,}3 R. \qquad (19)$$

Использование упора в качестве основного расчетного параметра удобно потому, что его значение является паспортной характеристикой потокообразователей, а также легко определяется замером с помощью динамометра. В последнем случае величина упора учитывает не только геометрические размеры гидромеханического комплекса, но и глубину подтопления насадка, угол наклона оси насоса к горизонту, число оборотов гребного винта, а также все недостатки изготовления и монтажа данного потокообразователя.

Произведенными в натуре замерами упоров, создаваемых различными отечественными и зарубежными потокообразователями в диапазоне мощностей их электроприводов от 4,5 до 28 кВт, установлено, что упор гидромеханического комплекса составляет от 20 до 28 кгс на 1 кВт мощности электродвигателя, т. е.

$$N_p = (20 \div 28) P_y. \qquad (20)$$

Для ориентировочных расчетов потребной мощности электродвигателя потокообразователя, кВт, может использоваться формула

$$N_p = \frac{\gamma Q H}{102\eta}, \qquad (21)$$

где γ — удельный вес воды (при 0° С $\gamma = 1000$ кгс/м³);

Q — расход, или производительность, потокообразователя, м³/с;

H — напор водяного столба, или удельная энергия потока, которая для потокообразователей составляет 1—1,1 м;

102 — безразмерный эквивалент мощности;

η — коэффициент полезного действия установки, равный 0,6—0,8.

Схемы расположения потокообразователей и условия надежного удаления льда из доков. Технологическими и конструктивными причинами обусловливается попарная установка потокообразователей, создающих параллельные потоки по длине дока, причем первая пара устанавливается у нерабочего торца дока. В результате взаимодействия двух параллельных струй между собой и с окружающей водной средой образуется один результирующий поток, интенсивность течения, а следовательно, и дальность действия которого равна интенсивности течения или дальности действия любого из составляющих потоков, умноженной на коэффициент многоструйности. При расстоянии между осями потокообразователей $(15 \div 20) d_0$ коэффициент многоструйности соответственно имеет значения

$$m_g = 1{,}10 \div 1{,}05.$$

Таким образом, формула для определения рабочей длины L_{p2} суммарного потока двух параллельно расположенных потокообразователей принимает вид

$$L_{p2} = m_g \left(\frac{1{,}54 \sqrt{P_y}}{v_n} - 14{,}3R \right). \qquad (22)$$

При параллельном расположении потокообразователей в горизонтальной плоскости дока, как показано на схеме (рис. 45), взаимодействие струй друг с другом и со стенками башен дока начинается на расстоянии $l_{вз}$ от плоскости выходных сечений насадков. Учитывая, что угол бокового расширения струи $\alpha \approx 14°$, расстояние от плоскости выходного сечения насадков до пересечения внешних границ параллельных струй определяется по следующей зависимости

$$l_{вз} = \frac{b}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{0{,}25B}{\operatorname{tg}14°} \approx B. \qquad (23)$$

В общем случае расстояние от плоскости выходных сечений насадков двух параллельно установленных потокообразователей до начала слияния созданных ими струй в результирующий поток всегда равно удвоенному расстоянию между осями струеобразующих насадков:

$$l_{вз} = \frac{0{,}5A}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{0{,}5A}{0{,}25} = 2A, \qquad (24)$$

где A — расстояние между осями струеобразующих насадков, м.

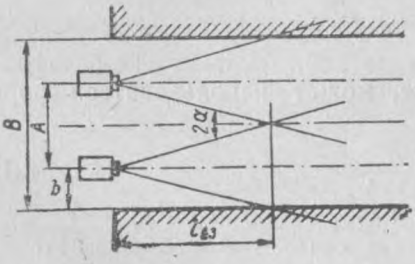


Рис. 45. Схема распространения струй при попарно-параллельной установке потокообразователей в доке

Наилучшие условия для задержания льда и удаления его из дока обеспечиваются созданием свободного от льда участка

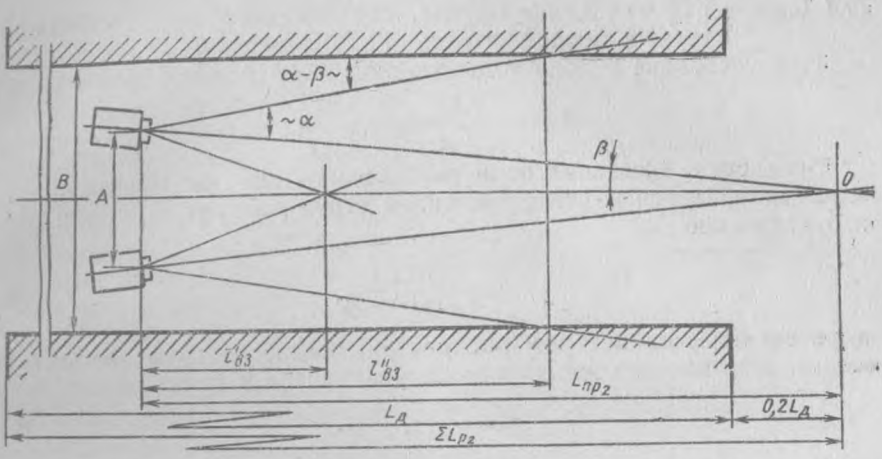


Рис. 46. Схема установки потокообразователей в кормовой оконечности дока

акватории перед доком длиной, равной примерно $0{,}2L_д$. Для выполнения этого условия необходимо создать результирующий поток с конечной поверхностной скоростью $v_п$ на расстоянии

$$\sum L_{р2} = 1{,}2L_д, \qquad (25)$$

где $\Sigma L_{р2}$ — суммарная рабочая длина потока, м, при многорядной установке потокообразователей по длине дока (рис. 46).

Если одна пара потокообразователей, установленных у нерабочего торца дока, не обеспечивает выполнения этого условия, то по длине дока на расстоянии $L_{р2}$ от предыдущего ряда устанавливаются последующие пары потокообразователей для создания потока с поверхностной скоростью $v_п$ за пределами рабочего торца дока не менее чем на расстояние $0{,}2L_{р2}$.

Поток, создаваемый потокообразователями второго или последующих рядов, распространяется в попутном потоке переменной скорости, созданном потокообразователями первого ряда.

Скоростной напор и рабочая длина потока второго и последующих рядов потокообразователей в результате благоприятного влияния попутного течения обычно увеличиваются на 8—10%.

Придание осям потокообразователей некоторого угла наклона к продольной оси дока способствует уменьшению потерь скоростного напора создаваемого потока. Указанное мероприятие концентрирует энергию результирующего потока на выходе из дока и сокращает непроизводительные затраты энергии на трение по стенкам башен дока. Такая схема установки потокообразователей относится только к последней паре, которая обеспечивает условие (25).

Угол наклона (β) осей потокообразователей определяется через его тангенс и в общем случае равен

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{0{,}5A}{L_{пр2}}, \qquad (26)$$

где $L_{пр2}$ — рабочая длина потока, создаваемого потокообразователями последнего ряда.

При установке в доке только одной пары потокообразователей

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{0{,}5A}{L_{р2}} \approx 0{,}4\,\frac{A}{L_д}.$$

Вследствие придания осям потоков наклона расстояние, на котором начинается воздействие одной струи на другую, сократится и будет равно

$$l'_{вз} = \frac{0{,}5A}{\operatorname{tg}(\alpha + \beta)}, \qquad (27)$$

а расстояние, на котором распространяющиеся струи входят во взаимодействие со стенками дока, увеличится и будет равно

$$l''_{вз} = \frac{0{,}5A}{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}. \qquad (28)$$

Как показали натурные испытания, результирующий поток, созданный струями, оси которых в плане пересекаются за пределами дока на значительном расстоянии, сохраняет прямолинейность, чем и достигается полное удаление льда из междубашенного пространства дока.

Наибольшая рабочая длина созданного потока достигается при горизонтальном расположении оси потокообразователя.

Величину погружения $h_п$ верхней кромки насадка потокообразователя рекомендуется брать равной $\approx 0{,}5d_0$.

При заполнении дока полем битого льда, длина которого превышает $3B$, при работе потокообразователей наблюдается сплочение льдин, их торошение и затем подныривание передних льдин под ледяное поле. В связи с увеличившейся в этом случае вдвое толщиной льда при той же поверхностной скорости сила гидродинамического давления на кромку F_4 возрастает в 2 раза. Увеличившаяся толщина слоя льда уменьшает площадь живого сечения потока, что приводит к увеличению средней скорости течения подо льдом и возрастанию силы трения потока F_1 о нижнюю поверхность льдины.

Под воздействием увеличившейся суммарной силы потока ($F_{по} = F_1 + F_4$) ледяное поле продолжает продвигаться до полного удаления из дока.

Скорость течения, при которой осуществляется подныривание льдин, зависит от толщины льдин переднего ряда $h_л$ и ледяного поля $h_{л.п}$, а также от глубины потока. С уменьшением глубины потока (в данном случае $H_{сп}$) величина скорости, вызывающей подныривание, уменьшается.

Минимально необходимая скорость $v_{пн}$, при которой происходит подныривание льдин под ледяное поле [25], определяется по графику (рис. 47).

При вводе в док судно заталкивает льдины, располагающиеся как перед корпусом судна, так и в промежутках между бортами судна и башнями дока. Корпус судна разделяет встречный резуль-

тирующий поток на два составляющих и одновременно значительно уменьшает площадь живого сечения этих потоков, что приводит к трехкратному увеличению как средней, так и поверхностной скоростей вновь сформированных потоков и к увеличению их выталкивающей силы.

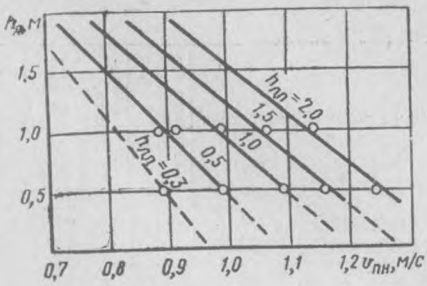


Рис. 47. График определения минимально необходимой поверхностной скорости потока для осуществления подныривания переднего ряда льдин под ледяное поле

Таким образом, эффективность удаления льда из дока значительно повышается при нахождении в нем судна и, как показала практика, для доков подъемной силой 5000 тс по времени составляет 15—20 мин. Чтобы несколько разредить лед и ликвидировать заторы, целесообразно производить поочередное подтягивание судна с помощью доковых шпилей к башням дока.

Основным условием успешного удаления попавшего в док льда является дробление его перед вводом судна на льдины, размер которых не превышает среднего расстояния между судном и башней дока.

Конструкции потокообразующих установок. К преимуществам потокообразователей следует отнести их компактность, возможность использования одного комплекта для оснащения группы доков судоремонтного завода, а также возможность выполнения ими нескольких функций: задержания, удаления и растопления льда.

Кроме защиты доков от льда, потокообразователи (или гидроускорители) служат для транспортировки древесины на тиховодных рейдах и создания незамерзающих каналов, защиты шлюзов и плотин от льда и т. п. Широкому распространению потокообразователей способствовали простота конструкции, компактность и экономичность. Все эти положительные качества привлекли к ним пристальное внимание за рубежом и в СССР, что привело к патентованию потокообразователей во многих странах.

Начало создания потокообразователей относится к 1938 г. [II, 46, 61]. Постепенное совершенствование конструктивных элементов и разработка различных модификаций потокообразователей прослеживаются на ряде патентов [II, 47, 50, 52—54, 64—66, 69]. Ведущими странами в этой области являются Финляндия и Швеция. Патентные права получены как на целые агрегаты, так и на отдельные узлы потокообразователей. Запатентованы конструкции направляющих насадков, спрямляющих аппаратов, способы крепления к опорам и установки потокообразователей на плотиках, виды приводных механизмов (электромоторы и двигатели внутреннего сгорания), способы вентиляции и охлаждения моторов, под-

Таблица 1

Марка потокообразователя	Мощность электродвигателя, кВт	Число оборотов винта, об/мин	Диаметр винта, мм	Скорость струи на выходе, м/с	Расход воды, м³/с	Эффективная длина потока, м, с конечной скоростью 0,2 м/с	Упор винта, кгс	Масса, кг	Габариты, мм		
									длина	ширина	высота
Валмет-11С	11	450	600	2,5	0,9	100	284	805	3300	800	1725
Валмет-30С	30	—	860	—	2,67	300	700	2000	4250	1000	2300

вертикальное и горизонтальное расположение оси гребного винта и т. п.

Основной тенденцией является уменьшение скорости истечения и увеличение расхода воды с целью получения потока с повышенной влекущей силой. Уменьшение скорости истечения достигается за счет снижения числа оборотов гребного винта путем редуцирования. Увеличение секундного расхода воды получают как путем выбора элементов гребного винта, так и с помощью эжектирующих кольцеобразных насадков, устанавливаемых вокруг выкидного сопла [II, 57]. С целью создания прямолинейного в плане потока предложены различные типы спрямляющих аппаратов. Устранение завихрения потока достигается, например, тем, что направляющие неподвижные пластины укреплены на корпусе насоса и непрерывно продолжаются к гребному винту [II, 52]. Изменение направления потока достигается тем, что выкидное отверстие осна-

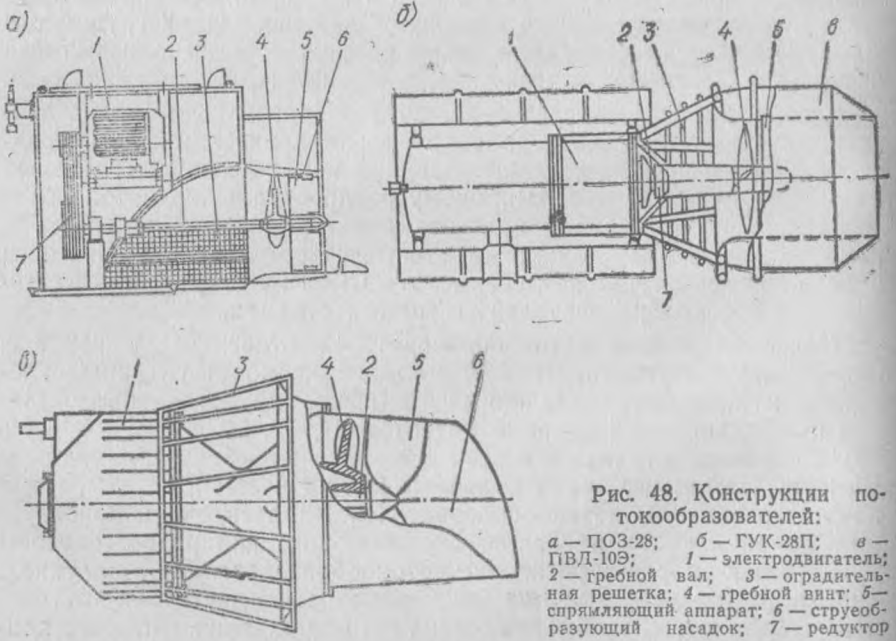


Рис. 48. Конструкции потокообразователей:

а — ПОЭ-28; *б* — ГУК-28П; *в* — ПВД-10Э; *1* — электродвигатель; *2* — гребной вал; *3* — оградительная решетка; *4* — гребной винт; *5* — спрямляющий аппарат; *6* — струеобразующий насадок; *7* — редуктор

щается коническим диффузором, в котором расположены поворотные направляющие пластины [II, 13, 36, 41].

Владельцем значительного числа патентов на потокообразователи в Финляндии является фирма «Валмет», она же — изготовитель потокообразователей, характеристики двух типов которых приведены в табл. 1.

За последние годы в СССР разработано несколько типоразмеров потокообразователей. ГОСТ 13546—68 предусмотрено изготовление надводных потокообразователей трех типов: ПО-2,2; ПО-5,5 и ПО-10 с электродвигателями мощностью соответственно 2,2; 5,5 и 10 кВт. Кроме этого, разработаны и изготавливаются (в основном для лесосплавных работ) подводные и надводные потокообразователи различной производительности (рис. 48). Большинство типов потокообразователей оборудовано контрольными и сигнальными приборами, регистрирующими попадание воды в корпус. Учитывая, что для оснащения доков необходимы потокообразователи значительной мощности, в табл. 2 приведены сведения о

Таблица 2

Характеристика потокообразователя	Марка потокообразователя					
	ПОЗ-28	ПО-10	ВЦ-1-14Э	ПВД-10Э	ГУК-28П	ГУК-10П
Тип потокообразователя	Надводный	Надводный	Подводный	Подводный	Подводный	Подводный
Тип электродвигателя	АО2-82-6	АО2-61-6	АО-63-14	АВ-71-8	АВ-72-4	АВ-61-4
Мощность электродвигателя, кВт	30	10	14	10	28	10
Число оборотов электродвигателя в 1 мин	970	970	1450	735	1450	1450
Диаметр винта, мм	800	700	615	480	652	556
Число лопастей винта	4	3	4	4	4	4
Число оборотов винта в 1 мин	445	372	580	735	680	485
Упор винта, кгс	650	—	350	300	595	230
Скорость струи на выходе из насадка, м/с	3,5	—	—	—	5,65	4,25
Эффективная длина потока, м, в спокойной воде с конечной скоростью 0,2 м/с	200	125	150—200	140—170	300—350	120—150
Расход воды, м³/с	1,94	—	—	0,8	1,56	—
Габаритные размеры, мм:						
длина	3100	2430	2900	1660	2770	2770
ширина	1100	952	1250	770	1350	840
высота	1700	1538	1800	660	1150	880
Масса с электродвигателем, кг	1500	475	1050	231	800	330

потокообразователях, выпускаемых отечественной промышленностью, с электродвигателями мощностью 10 кВт и более.

Эффективное использование потокообразователей в специфических условиях эксплуатации сухих и плавучих доков потребовало разработки специальных устройств и приспособлений, обеспечивающих надежную работу потокообразователей в условиях обледенения, возможных навалов льда и судов и автоматизацию их перемещения при значительном изменении уровня воды.

Для оснащения нерабочего торца плавучих и тупикового торца сухих доков наибольшее распространение получили потокообразующие установки, включающие плавающий насос (надводный потокообразователь типа ПОЗ-28) и шарнирно-параллельные тяги, соединяющие корпус потокообразователя со специальными опорами, укрепленными на башне или стапель-палубе дока, и позволяющие потокообразователю, обладающему положительной плавучестью, автоматически перемещаться по высоте в пределах изменения уровня воды над стапель-палубой дока при его погружении и всплытии или при наполнении и осушении камеры сухого дока [I, 31].

Установки этого типа успешно применяются в течение ряда лет на семи плавучих доках подъемной силой от 400 до 5000 тс и в сухом доке с размерами стапеля 180×20 м. Опыт внедрения и эксплуатации показал высокую эффективность работы установок при относительно малых затратах и простоте изготовления.

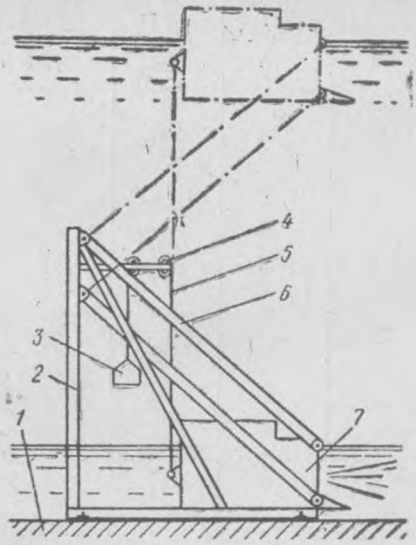


Рис. 49. Переносная потокообразующая установка с гравитационным стабилизатором осадки потокообразователя:

1 — стапель-палуба; *2* — каркас; *3* — груз; *4* — блоки; *5* — трос; *6* — шарнирно-параллельные тяги; *7* — потокообразователь

При невозможности крепления основания устройств к башням доков, например железобетонных, а также в плавучих доках относительно малой подъемной силы (до 5000 тс) применяются компактные переносные установки, основание каркасов которых укрепляется на стапель-палубе (рис. 49).

Для повышения дальнобойности создаваемого потока при любом рабочем положении продольная ось потокообразователя должна располагаться горизонтально, а верхняя кромка струеобразующего насадка должна находиться под поверхностью воды на глубине, равной половине диаметра насадка гребного винта. С целью постоянного заглубления струеобразующего насадка установки снабжаются специальными стабилизирующими приспособлениями, для чего корпусу

насоса придается форма усеченной призмы или на уровне ватерлинии корпус оснащается дополнительными плавучестями. Другим видом устройства, стабилизирующего осадку насоса, служат пружинные стяжки, соединяющие в вертикальной плоскости шарнирно-параллельные тяги [I, 44]. Усилие стяжек первоначально регулируют за счет подбора жесткости пружин, количества стяжек и выбора угла наклона в вертикальной плоскости по отношению к тягам. Окончательная регулировка осуществляется с помощью натяжных талрепов. Регулировка производится таким образом, что в любом положении результирующей силе упора и плавучести насоса, притапливающей или выталкивающей насос, соответствует противодействующая сила пружинных стабилизаторов.

С целью упрощения конструкции, монтажа и наладочных работ потокообразующая установка может быть снабжена стабилизатором, выполненным в виде груза-противовеса, присоединенного посредством гибкой связи, пропущенной через блоки, укрепленные на каркасе, к плавучему насосу-потокообразователю (см. рис. 49). При заполнении дока водой насос, имеющий избыточную плавучесть и присоединенный шарнирно-параллельными тягами к каркасу, всплывает. Груз натягивает гибкую связь, которая проходит через блоки и соединяется с насосом. Сила натяжения гибкой связи раскладывается на вертикальную и горизонтальную составляющие, величина которых зависит от уровня воды в доке. Вертикальная составляющая силы натяжения гибкой связи направлена вверх и стремится вытолкнуть насос из воды. Когда насос работает, то сила упора винта, которая воспринимается шарнирно-параллельными тягами и раскладывается на горизонтальную и вертикальную составляющие силы, стремится притопить его. Так продолжается до тех пор, пока насос не достигнет среднего положения, когда вертикальные составляющие силы исчезают, а груз достигает своего нижнего положения.

Когда насос поднимается выше среднего положения, то вертикальные составляющие силы меняют направления на противоположные. Таким образом, вертикальные составляющие силы упора винта и натяжения гибкой связи во всех положениях работающего насоса равны по величине и противоположны по направлению, поэтому они всегда компенсируют друг друга. Это обеспечивает постоянную по отношению к поверхности воды заданную степень заглубления плавающего насоса и позволяет ему создать поток, наиболее эффективно воздействующий на плавающий битый лед [I, 58].

Для доков значительной длины и не имеющих выступающих внутрь дока конструкций (свеса топ-палубы, галерей и т. п.), которые могли бы защищать устройство от возможных навалов вводимого в док судна, разработана установка (рис. 50), способная перемещаться вдоль башен дока [I, 43]. Устройство состоит из насоса, обладающего положительной плавучестью, соединенного шарнирно-параллельными тягами с кареткой, которая с помощью катков установлена на горизонтальных направляющих, укрепленных

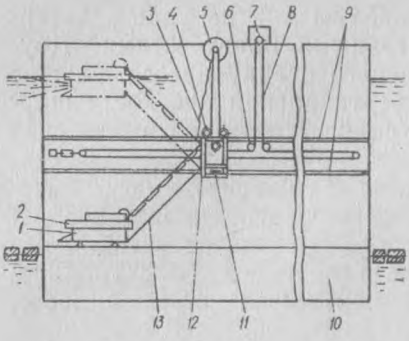


Рис. 50. Передвижная потокообразующая установка:

1 — насос (потокообразователь); *2* — плавучесть; *3* — электрический кабель; *4* — верхние катки; *5* — кабельный барабан; *6* — блоки; *7* — лебедка; *8* — тросовый привод; *9* — направляющие рельсы; *10* — плавучий док; *11* — нижние ролики; *12* — каретка; *13* — шарнирно-параллельные тяги

на внутренней стенке башни дока, и перемещается вдоль дока с помощью трособлочного привода. Устройство снабжено конечными выключателями и дублирующими пультами управления, один из которых находится в центральном пульте управления (ЦПУ) дока, другой на топ-палубе. Для удобства управления в ЦПУ имеется электрическое табло, указывающее место нахождения установок по длине башен дока. При наличии на доке штатных самоходных лесов их элементы (направляющие, привод, каретки) могут использоваться для перемещения установки вдоль дока во время проведения доковой операции. При значительной длине шарнирно-параллельных тяг установка оснащается приспособлением, стабилизирующим осадку насоса.

Техническая документация на этот тип установки разработана для серийных плавучих доков подъемной силой 4000, 5000, 6000 и 12 000 тс. Две установки, смонтированные на башнях плавучего дока подъемной силой 27 000 тс, показали хорошие результаты работы и внедрены в производство. Комплект устройств, состоящий из двух установок, перемещающихся вдоль обеих башен дока, обеспечивает защиту от битого льда междубашенного пространства дока любой длины.

В тех случаях, когда по тем или иным причинам при проектировании сухих и плавучих доков не могут быть применены описанные выше потокообразующие установки, предложено устройство, устанавливаемое в специальной нише в любом по длине дока месте (рис. 51). Устройство состоит из плавающего насоса, направляющих и приспособления для разворота насоса в горизонтальной плоскости. В процессе погружения плавучего или наполнения камеры сухого дока уровень воды повышается и насос, обладающий положительной плавучестью, всплывает. Грузы-противовесы, воздействуя на рычаги, заставляют всплывающий насос выдвинуться из вертикальной ниши на акваторию камеры дока. Положение платформы, поворотно соединенной с рамой и укрепленным на ней насосом, на плаву ограничено фиксатором максимального раскрытия двуплечего рычага. При дальнейшем повышении уровня воды понтоны, оснащенные каретками, перемещаются вверх по направляющим, укрепленным в нише. Двуплечие рычаги, связанные друг с другом центральной осью с установленными на ней грузами-противовесами, опираясь одним плечом на опору платформы, а другим на опору понтона, удерживают насос в выдвинутом положе-

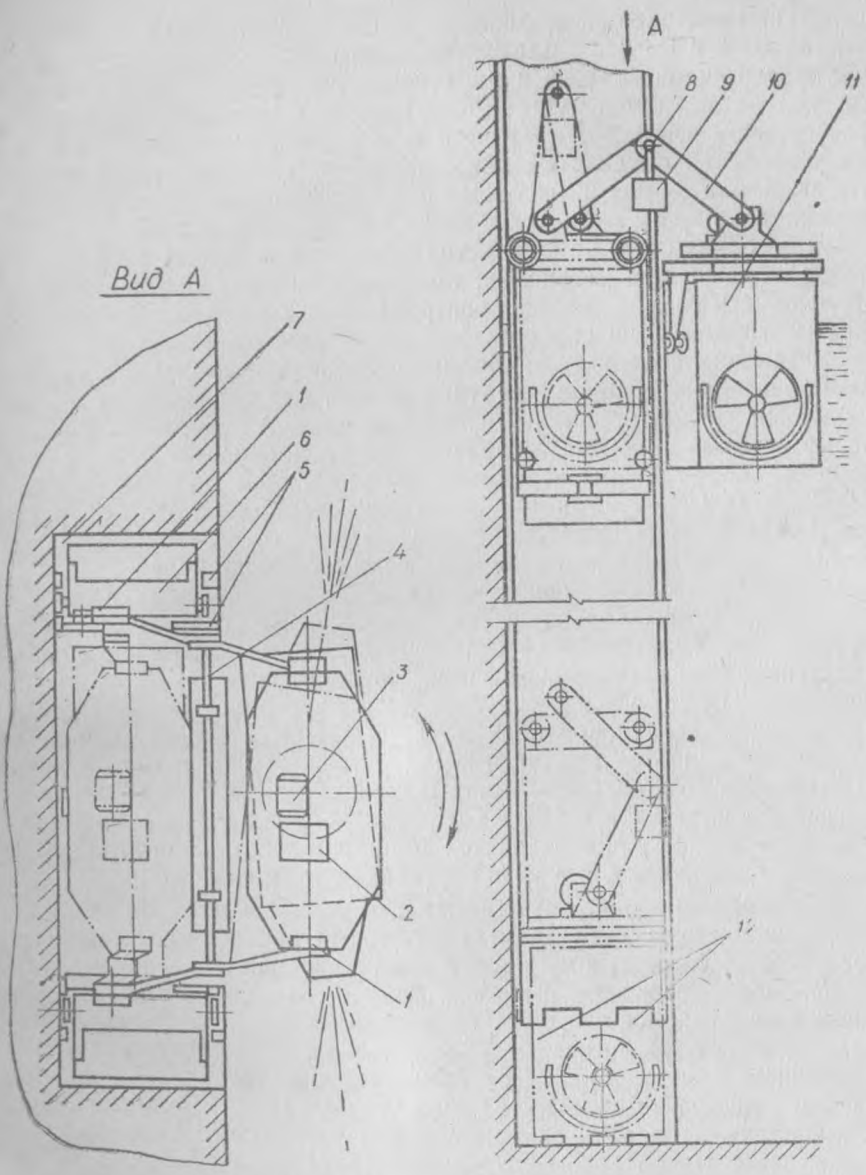


Рис. 51. Потокообразующая установка в нише башни дока:

1 — опоры; *2* — редуктор; *3* — электродвигатель; *4* — центральная ось; *5* — направляющие; *6* — понтон; *7* — ниша; *8* — фиксатор раскрытия рычага; *9* — груз-противовес; *10* — рычаг; *11* — потокообразователь; *12* — конечные упоры;

нии (на рис. 51 показано сплошными линиями). Направление потока воды, создаваемого насосом, регулируется дистанционно с помощью электродвигателя и червячного редуктора. В случае навала судна на устройство в процессе ввода-вывода насос под воз-

действием внешней силы разворачивается параллельно продольной стенке дока и вместе с платформой автоматически убирается в нишу. Возвращение насоса в рабочее положение при снятии внешнего воздействия происходит автоматически с помощью груза-противовеса. При всплытии плавучего или осушении камеры сухого дока устройство опускается вниз, плавучие понтоны опираются на упоры и платформа с насосом посредством двуплечего рычага опускается вниз и вводится в нишу стенки сооружения.

Для оснащения рабочего торца плавучих доков разработана потокообразующая установка, предотвращающая попадание битого льда в междубашенное пространство и создающая перед кормовым торцом дока свободный от льда участок акватории [I, 21].

Установка содержит надводный потокообразователь, соединенный с помощью роликов с вертикальными или наклонными направляющими, смонтированными между топ- и стапель-палубами с возможностью поворота в горизонтальной плоскости. Такими установками оборудованы серийные плавучие доки подъемной силой 4 000 и 27 000 тс. С их помощью на всех стадиях доковой операции создаются мощные поверхностные потоки, отгоняющие и задерживающие перед рабочим торцом дока плавающий лед.

Кроме потокообразующих установок с автономными насосами, другим средством для осуществления метода гидромеханизации защиты плавучих доков от битого льда могут служить насосные средства доков и приспособления, позволяющие при погружении дока заполнять водой междубашенное пространство через специальные отверстия в понтонах дока. В обоих случаях основным принципом является подача в междубашенное пространство извне избыточного объема воды, превышающего количество воды, которое может поступить в тот же отрезок времени через торцы дока. При этом внутри дока создается подпор и гидравлический уклон в сторону акватории, покрытой плавающим битым льдом.

Был предложен способ защиты плавучих доков от битого льда с помощью струй, создаваемых штатными насосными средствами дока [39]. К балластному насосу дока присоединена система трубопроводов с выводами к торцам башен дока, на которых на различной высоте смонтированы струеобразующие сопла, соединенные с подводящей системой трубопроводов. При погружении дока с помощью клинкетов вода от балластного насоса поочередно поступает сначала в нижние, а затем в верхние сопла. Водяные струи, образованные соплами, задерживают и отгоняют битый лед от торца дока. Недостатком устройства является необходимость постоянного надзора за работой и ручного переключения запорных клапанов при включении в работу различных стояков и сопл.

Разработано усовершенствованное устройство для подачи забортной воды и создания направленных потоков в междубашенном пространстве дока с помощью штатных насосных средств дока. Для автоматизации и повышения эффективности работы, а также для уменьшения габаритов устройства вода от насосных средств (от балластной или пожарной систем) подается под напо-

ром к струеобразующему соплу по поворотному патрубку, который одним концом шарнирно присоединен к водяной системе дока, а другим — к соплу (рис. 52).

Для обеспечения перемещения патрубка с соплом в вертикальной плоскости при изменении уровня воды в доке сопло оснащено плавучестью, укрепленной над ним, что одновременно обеспечивает постоянное заглубление сопла под уровнем воды. Постоянное придание соплу горизонтального положения осуществляется с помощью поводковой тяги, шарнирно связанной с ним и поворотно прикрепленной другим концом к основанию, установленному на внутренней стенке башни дока [I, 53]. Выбрасываемая из сопла струя создает избыток воды в междубашенном пространстве и образует поверхностный поток, направленный навстречу вводимому в док судну. Поток препятствует проникновению битого льда в междубашенное пространство дока на всех стадиях доковой операции. Это устройство может быть смонтировано и на эксплуатирующихся доках путем дооборудования их водяных (балластных или пожарных) систем.

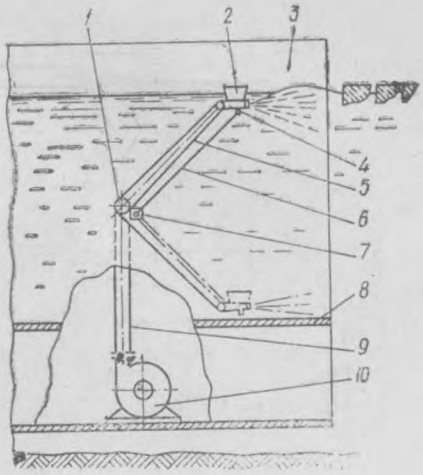


Рис. 52. Устройство для удаления льда из дока с помощью доковых насосов:

1 — шарниры поворотного патрубка; *2* — поплавок; *3* — башня дока; *4* — сопло; *5* — поворотный патрубок; *6* — шарнирная тяга; *7* — основание тяги; *8* — стапель-палуба; *9* — трубопровод; *10* — водяной насос (балластный)

Основным преимуществом этого способа защиты дока от битого льда является отсутствие специальных автономных энергетических установок.

Для этой же цели на проектируемых и строящихся плавучих доках может быть предусмотрена в понтонах специальная шпигатная система, через которую при погружении дока в междубашенное пространство будет поступать фонтанирующий поток воды и образовывать гидравлическую преграду для битого льда. При всплытии дока система будет способствовать быстрейшему и полному скатыванию воды со стапель-палубы.

В связи с конструктивными особенностями сухих доков потокообразующие установки должны обеспечивать эксплуатационную надежность в условиях значительного колебания уровня воды в камере, обледенения элементов устройства, а также навалов льда и вводимых в док судов. Кроме этого, установки должны обеспечивать задержание и удаление дрейфующего льда и предотвращать ледообразование на поверхности воды в камере дока.

В качестве примеров возможных вариантов на рис. 53 пред-

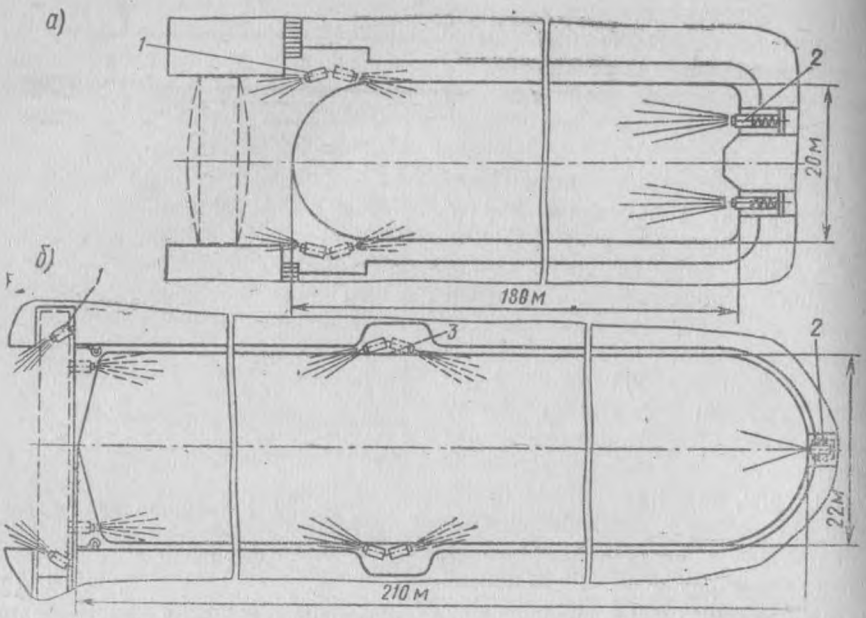


Рис. 53. Принципиальные схемы оснащения сухих доков потокообразующими установками:

а — док с батопортом; *б* — док с откатным затвором; *1* — у затвора (батопорта); *2* — в тупиковой части; *3* — в средней части

ставлены принципиальные схемы оснащения двух сухих доков потокообразующими установками. Основное различие этих доков, влияющее на конструкцию потокообразующих установок, заключается в том, что первый (см. рис. 53,*а*) оснащен батопортом и его головная часть у́же камеры, а второй (см. рис. 53,*б*) имеет откатный затвор и ширина его ворот равна ширине камеры. Во всех установках применены потокообразователи типа ПОЗ-28.

Компоновка потокообразующих установок по длине сухих доков выполняется по методике расчета потокообразующего комплекса для защиты плавучих доков от попадания льда с учетом конструкции конкретного дока. Например, расчеты и опыт внедрения показывают, что для защиты от льда сухого дока с размерами стапеля 180×20 м достаточно установить две пары потокообразующих установок.

Наиболее сложные эксплуатационные требования предъявляются к установкам, монтируемым у батопортов сухих доков. Примером может служить устройство (рис. 54) для предотвращения образования ледяного покрова в камере дока и для задержания дрейфующего льда.

В непосредственной близости к батопорту, за устоем у стенки дока, на его подошве, установлен фундамент с горизонтальной осью, на которой смонтирована направляющая рама, выполненная в виде двуплечего рычага. Его горизонтальное плечо снабжено грузом, удерживающим второе плечо рамы в вертикальном положении.

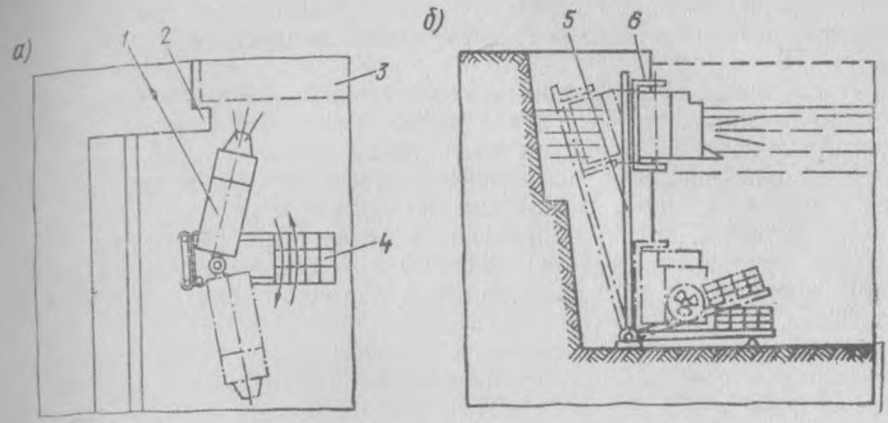


Рис. 54. Потокообразующая установка у батопорта сухого дока:
а — вид сверху; *б* — вид сбоку; *1* — потокообразователь; *2* — устой дока; *3* — батопорт; *4* — груз-противовес; *5* — поворотная направляющая рама; *6* — каретка

Вертикальное плечо служит направляющей для каретки, а подвижное соединение направляющей с кареткой обеспечивается с помощью укрепленных на каретке лап или роликов, охватывающих направляющее плечо рамы. Каретка шарнирно соединена с потокообразователем вертикальной осью, которая смещена на некоторое расстояние от оси направления действия реактивной силы струи. На каретке может быть установлен электромагнитный стопор, который фиксирует положение потокообразователя при работе внутрь камеры дока.

В процессе наполнения дока уровень воды повышается и потокообразователь вместе с кареткой всплывает за счет собственной плавучести. Лапы позволяют каретке вместе с потокообразователем перемещаться вверх по направляющему плечу, при этом насос направлен в сторону камеры. Создаваемый насосом поверхностный поток препятствует ледообразованию на поверхности воды в камере.

После наполнения камеры, перед отводом батопорта, стопор потокообразователя освобождается и под действием момента, получающегося от действия силы упора винта и эксцентричного присоединения к каретке, потокообразователь разворачивается в сторону ворот дока до упора в каретку.

В период отвода батопорта и ввода судов в док поверхностный поток воды способствует быстрому отводу батопорта, создает перед воротами дока свободный от льда участок акватории и препятствует проникновению в камеру плавающего битого льда.

В случае навала на устройство вводимого в док судна, потокообразователь вместе с кареткой и направляющей отклоняется к стенке дока и располагается в естественной нише, образованной устоем ворот дока. При этом плечо с грузом поднимается, создавая момент, под воздействием которого направляющая с кареткой

и потокообразователем стремится занять нормальное рабочее положение и занимает его после прекращения действия навала судна [I, 47].

После ввода судна в док, перед установкой батопорта, дистанционно производится изменение направления вращения винта потокообразователя, при этом сила упора винта создает момент, который разворачивает потокообразователь вокруг вертикальной оси в сторону камеры. В этом положении насос фиксируется с помощью стопора, затем производится вторичный реверс и насос создает направленный поверхностный поток воды в сторону камеры, препятствуя образованию в ней льда до окончания доковой операции.

Опыт эксплуатации установок показал их надежность и эффективность работы в тяжелой ледовой обстановке при дрейфе битого льда под действием ветра, направленного в ворота дока.

Для удаления льдин, проникающих в камеру, и поддержания водной поверхности в незамерзающем состоянии в противоположном от ворот торце дока в тупиковых нишах смонтирована вторая пара потокообразующих установок. Каждая установка (рис. 55) содержит балку, закрепленную в стенках ниши примерно на половине глубины заполненного дока, к которой с помощью шарнирно-параллельных тяг прикреплен потокообразователь. При наполнении камеры дока водой работающий потокообразователь всплывает, создавая на поверхности мощный поток воды, исключающий возможность образования ледяного покрова в камере дока в течение всей доковой операции.

Опыт эксплуатации показал, что две пары потокообразующих установок надежно защищают док при сильных морозах и тяжелой ледовой обстановке, при дрейфе битого льда под действием ветра, направленного в ворота дока.

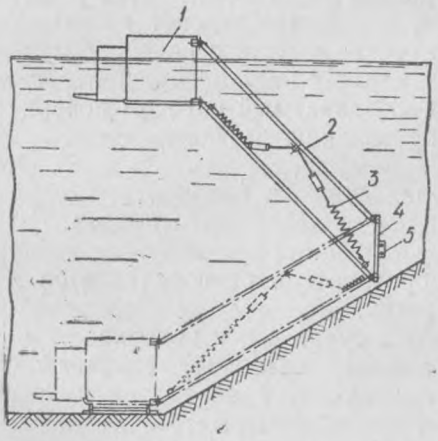


Рис. 55. Установка потокообразователя в тупиковом торце сухого дока:

1 — потокообразователь; *2* — шарнирно-параллельные тяги; *3* — пружинный стабилизатор; *4* — рама; *5* — балка-основание

Комплекс для сухого дока (см. рис. 53, *б*) с шириной ворот, равной ширине камеры, и размерами стапеля 210×22 м включает, согласно расчету, пять потокообразующих установок.

В непосредственной близости к затвору у стенки дока с помощью кронштейнов установлена направляющая штанга круглого сечения, к которой посредством углового поворотного рычага, состоящего из двух участков, присоединен обладающий избыточной плавучестью потокообразователь. Угловой рычаг одним участком присоединен к по-

токообразователю неподвижно, а к направляющей штанге другим участком — подвижно, посредством свободно надетых на нее колец. Участки поворотного углового рычага жестко соединены между собой, причем длина участка, присоединенного к направляющей штанге, равна расстоянию от последней до начала ниши затвора (рис. 56).

Работающий потокообразователь передает силу упора своего винта через установленные на его задней стенке ролики на затвор дока через специальную шину либо непосредственно на стенку ниши затвора. Для защиты направляющей штанги от повреждения при вводе судна на стенке дока монтируют вращающийся кранец. На доке устанавливают два таких устройства, симметрично с обеих сторон ворот.

В процессе наполнения дока водой потокообразователь, всплывая, создает поверхностный поток, направленный внутрь камеры и препятствующий замерзанию водной поверхности. При этом реакция упора винта через ролики и шину передается на затвор, а от горизонтального перемещения потокообразователь удерживается угловым поворотным рычагом, который в процессе всплытия потокообразователя скользит кольцами по направляющей штанге [1, 52].

После наполнения дока водой дистанционно изменяется направление вращения винта потокообразователя и вследствие изменения направления действия реакции его упора потокообразователь отходит внутрь дока и затвор отводят. Вторичным дистанционным переключением винту сообщают первоначальное направление вращения. Под воздействием упора винта потокообразователь перемещается в нишу затвора, описывая при этом дугу вокруг направляющей штанги до упора роликами в стенку ниши. В этом положении установка не мешает входу судов в док и защищена от их навала.

Создаваемый поверхностный поток воды направлен навстречу вводимому в док судну и задерживает перед доком дрейфующий лед.

Перед закрытием затвора производится дистанционное переключение направления вращения винта, потокообразователь разворачивается вокруг штанги и входит внутрь дока.

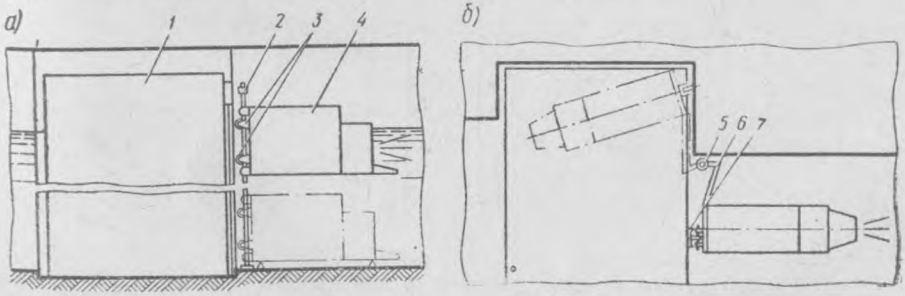


Рис. 56. Потокообразующая установка у затвора сухого дока:
а — вид сбоку; *б* — вид сверху; *1* — затвор; *2* — направляющая штанга; *3* — опорные ролики; *4* — потокообразователь; *5* — скользящее кольцо; *6* — угловой рычаг; *7* — опорная шина

После закрытия затвора потокообразователь занимает первоначальное рабочее положение при исходном направлении вращения винта и, опускаясь вместе с уровнем воды по мере опорожнения камеры, создает поверхностный поток, препятствующий образованию в ней ледяного покрова.

В нишах средней части сухого дока размещаются две потокообразующие установки (см. рис. 54), а тупиковый торец дока оборудован установкой, изображенной на рис. 55.

Конструкции описанных устройств не являются стандартными для всех сухих доков, а служат наиболее характерными примерами устройств для защиты доков от льда и должны быть доработаны с учетом конструктивных особенностей конкретного дока и условий его эксплуатации.

Кроме защиты плавучих и сухих доков, потокообразующие установки находят применение в области защиты от битого льда тупиков причальных сооружений паромных переправ, где скопление шуги и мелкобитого льда создает тяжелые условия швартовки паромов и работы подъемно-опускных мостов.

Механическая сетчатая преграда (см. рис. 38) не способна задерживать и удалять из ложа парома шугу и мелкие обломки льда, которые под воздействием корпуса парома проталкиваются сквозь сетчатое заграждение на защищаемый участок акватории, скапливаются и постепенно смерзаются. Для ликвидации этого вида ледовых загруднений предложены два типа потокообразующих установок.

Установка, изображенная на рис. 57, предназначена для железнодорожных паромных переправ с пролетными мостовыми строениями, расположенными над акваторией. Поперек ложа парома за морскими устоями монтируется преграда, выполненная в виде плавающей балки, снабженной струеобразующими аппаратами [I, 59]. Балка связана с устоями посредством тросов с противовесами, что позволяет ей при входе парома отодвигаться в глубину тупиковой части ложа, а после выхода парома из ложа — возвращаться в первоначальное положение, очищая от льда его ту-

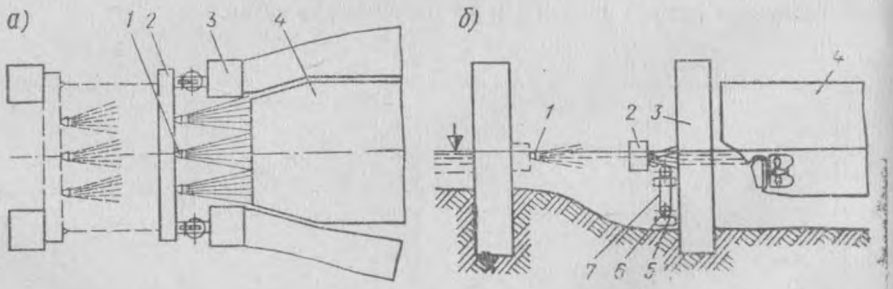


Рис. 57. Потокообразующее устройство для защиты тупиковой части ложа железнодорожного парома:

а — вид сверху; *б* — вид сбоку; *1* — струеобразующие аппараты; *2* — плавучая ферма; *3* — морской устой; *4* — паром; *5* — груз; *6* — блок; *7* — трос

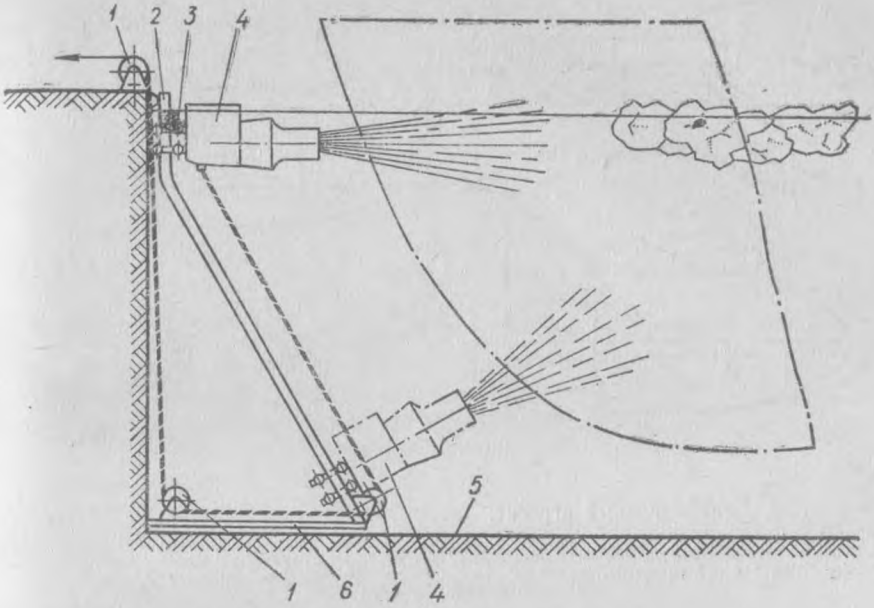


Рис. 58. Подводная потокообразующая установка:
1 — блоки; *2* — направляющая криволинейной конфигурации; *3* — ролики; *4* — потокообразователь; *5* — дно водоема; *6* — фундамент

пиковую часть. При этом струеобразующие аппараты создаваемыми ими поверхностными потоками очищают от плавающего битого льда остальную часть ложа парома.

Для паромных переправ с коротким тупиковым участком предложено сочетание подвижной сетчатой преграды с потокообразующими установками, монтируемыми на торцовой стенке тупика. Устройство состоит из потокообразователя подводного исполнения и направляющей криволинейной конфигурации, а также из привода принудительного погружения потокообразователя (рис. 58).

Кроме отгона битого льда, устройство способно при длительном отсутствии парома поддерживать в незамерзающем состоянии часть акватории, на которую распространяется действие устройства, или растоплять сплошной ледяной покров за счет подъема из глубин водоема теплых слоев воды. Летом устройство может быть использовано в качестве гидравлического волнолома для гашения волн местного разгона или в качестве дноуглубительной установки (подсос грунта при работе внизу), так как участки, для которых предназначается устройство, подвержены интенсивной заносимости и труднодоступны для работы землечерпальных снарядов.

Для очистки от битого льда участков акваторий большой протяженности, например перед причалами порта, разрабатывается ледоуборочный агрегат, использующий как механический, так и гидродинамический способы удаления битого льда.

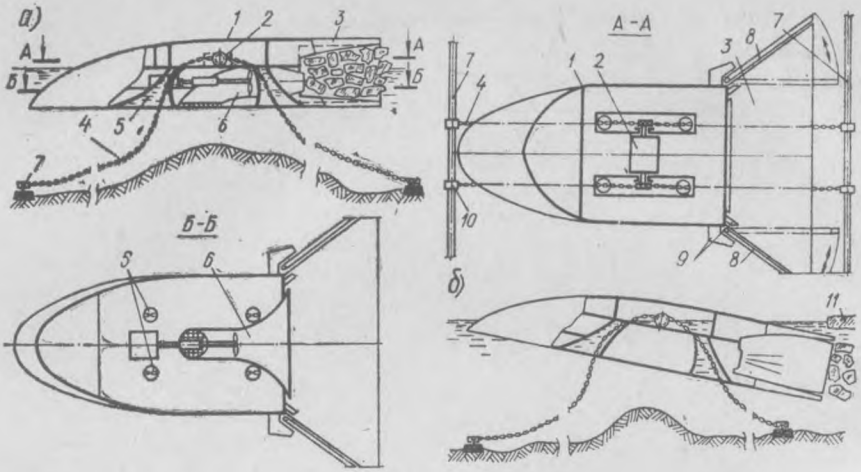


Рис. 59. Ледоуборочный агрегат:

а—боковой разрез; *б*—заключительный этап работы агрегата; *1* — понтон; *2* — брашпиль; *3* — ледозахватное устройство; *4* — цепи; *5* — клюзы; *6* — струеобразующий аппарат; *7* — направляющие; *8* — поворотные захваты; *9* —упоры захватов; *10* — каретки; *11* —ненарушенный ледяной покров

Ледоуборочный агрегат (рис. 59) содержит понтон, нерабочая оконечность которого выполнена с заостренными обводами, а рабочая оконечность оснащена ледозахватным устройством желобчатой формы с поворотными захватами, упорами переднего (рабочего) и упорами заднего (холостого) хода. Для выброса льда из ледозахватного устройства в понтоне встроен струеобразующий аппарат, щелевидное сопло которого выходит через заднюю стенку устройства в полость последнего. Привод возвратно-поступательного перемещения понтона выполнен в виде брашпиля и пропущенных через его звездочки двух цепей, проходящих через клюзы. Верхние горловины клюзов и звездочки брашпиля находятся в водонепроницаемой выгородке. Свободные концы цепей соединены с якорными устройствами таким образом, что цепи имеют определенную слабину и располагаются вдоль очищаемой акватории параллельно друг другу. Для увеличения ширины очищаемой от битого льда акватории якорные устройства выполнены в виде заякоренных на дне водоема направляющих с каретками.

Ледоуборочный агрегат работает следующим образом. При работе брашпиля на передний ход, выбирая и стравливая цепи через якорные клюзы, понтон перемещается вперед. Под действием набегающего потока и битого льда боковые захваты раскрываются и, зафиксированные упорами, захватывают битый лед. Перед кромкой прочного льда при работе брашпиля и полном выборе слабины цепей носовая часть понтона погружается в воду. В таком положении понтона автоматически включается струеобразующий аппарат и весь битый лед, находящийся в ледозахват-

ном устройстве между поворотными захватами, направленной струей, выходящей из сопла струеобразующего аппарата, загоняется под кромку ненарушенного ледяного покрова. Непотопляемость понтона обеспечивается тем, что звездочки брашпиля и верхние горловины клюзов находятся в водонепроницаемой выгородке.

При возвратном движении понтон своей заостренной кормовой оконечностью легко раздвигает битый лед, а под действием набегающего потока и битого льда захваты складываются и не препятствуют возвратному движению понтона.

Поперечное движение понтона осуществляется одновременным перемещением кареток по направляющим, уложенным на дне водоема, с помощью берегового привода. Энергия для работы брашпиля и струеобразующего аппарата подается с берега по шланговому электрокабелю. Возвратно-поступательное движение ледоуборочного агрегата обеспечивает систематическое порционное удаление битого льда и создает нормальные условия подхода и швартовки судов к причалам.

§ 11. УДАЛЕНИЕ БИТОГО ЛЬДА ИЗ-ПОД ДНИЩА СУДНА

Рассматривая в комплексе проблему обеспечения зимней эксплуатации водного транспорта, в частности средства защиты сооружений от битого льда, следует остановиться на явлении попадания и скопления битого льда под днищами судов, что является серьезным затруднением при доковании судов в ледовой обстановке. Наличие любого вида льда под днищем судна, особенно его местного скопления, не позволяет правильно поставить судно на доковые опоры и создает большую опасность возникновения аварии, являясь нередко причиной отказа от постановки судна в док или подъема на слип.

Подныривание льдин под днище судна происходит под действием поверхностного потока, создаваемого гребными винтами буксировщика или проходящего по акватории судна. В зависимости от формы подводной кромки преграды (в рассматриваемом случае — от формы обводов корпуса судна) может быть один из трех видов подныривания льдин (рис. 60).

Подныривание с опрокидыванием под конструкции с вертикальной или близкой к ней передней гранью. В этом случае льдина упирается в конструкцию, дальняя от конструкции ее кромка полностью погружается в воду и, перевернувшись, льдина проходит под конструкцией упомянутой кромкой вперед.

Подныривание без опрокидывания с дифферентом на дальнюю от конструкции кромку льдины. После некоторого погружения дальней кромки льдины в воду ее передняя кромка скользит по носовым обводам конструкции и льдина проходит под днище, сохраняя значительный дифферент на дальнюю кромку. С точки зрения сил, действующих на льдину, оба вида подныривания иден-



Рис. 60. Виды подныривания льдин под конструкции:
I — с опрокидыванием; *II* — без опрокидывания с дифферентом на дальнюю от конструкции кромку льдины; *III* — поступательное

тичны, поэтому одинаковыми будут и скорости потока, при которых они возникают.

Поступательное подныривание при наклонной прямолинейной передней грани конструкции (угол наклона 45° и меньше) или при обтекаемых криволинейных ее обводах. Подошедшая к конструкции льдина, соприкоснувшись с криволинейными обводами, погружается передней кромкой в воду и увлекается потоком под конструкцию.

Имеющиеся данные натурных и лабораторных наблюдений дают основание заключить, что при первых двух видах подныривания критическая скорость потока больше, чем при третьем. Этот вывод необходимо учитывать при рассмотрении процесса подныривания льдин при буксировке судна к доку в битых льдах и при стоянке его на акватории в ожидании докования с целью установления оптимального расстояния между судном и буксиром.

При буксировке судна во льдах (рис. 61), особенно при больших дифферентах судна на корму, имеет место третий вид подныривания и, следовательно, меньшая критическая скорость потока. Процесс подныривания льдин при стоянке судна на акватории характеризуется более высокими критическими скоростями, так как здесь имеет место первый вид подныривания.

Вовлечение льдин потоком под днище судна зависит от целого ряда факторов, к числу которых, кроме уже упоминавшейся скорости поверхностного потока $v_п$, можно отнести осадку судна T, толщину $h_л$ и длину $l_л$ льдины.

Тогда, считая постоянными такие дополнительные факторы,

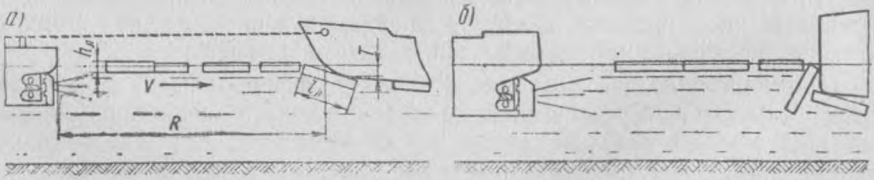


Рис. 61. Схемы подныривания льдин под днище судна:
а — при буксировке судна к доку; *б* — при стоянке судна на акватории

как угол скоса льдины и угол ее подхода к судну, прочность льда и форму льдин в плане, можно записать

$$v_{кр} = f(T, h_л, l_л), \qquad (29)$$

где $v_{кр}$ — поверхностная скорость потока, при которой начинается подныривание льдин данных размеров под преграду, имеющую осадку T.

Поверхностная скорость потока, равная критической или превышающая ее, при постоянном режиме работы винта буксировщика или другого судна, передвигающегося по акватории, может быть получена только на определенном расстоянии $R_{кр}$ от кормы буксира до судна-преграды:

$$R_{кр} = f(T, h_л, l_л). \qquad (30)$$

Из этой зависимости видно, что при постоянных для данной акватории средних размерах льдин условия их подныривания зависят в основном от осадки судна и расстояния от кормы буксира или ледокола до судна-преграды. Это позволяет наметить конкретные мероприятия по борьбе с подныриванием льдин при буксировке судна к доку или стоянке на акватории завода. Данные мероприятия представляется целесообразным разделить на две группы: судовые и заводские. При переходе судна морем в балласте для загрузки винта судно обычно имеет большой дифферент на корму. То же самое делают и при продвижении судна во льду. Во время следования судна за ледоколом или при буксировке, если нет опасности для его винта, следует привести судно на ровный киль. Длина буксирного троса определяется критическим расстоянием подныривания и устанавливается опытным путем для каждого конкретного случая.

Команды буксиров и ледоколов, работающих зимой на акваториях заводов, должны соблюдать скорости движения в районе отстоя судов, предусмотренные действующими Правилами технической эксплуатации судоподъемных сооружений. Судовые мероприятия должны согласовываться с заводскими мероприятиями по предотвращению подныривания льдин под днище судов.

При разработке плана расстановки флота на зиму и определении причала для судов, ожидающих докования, необходимо учитывать условия обеспечения защиты судов от подныривания льдин. Вблизи предполагаемых трасс движения буксирных и ледокольных судов устанавливают суда с наибольшей осадкой, а причал для судов, ожидающих докования, необходимо выделить в отдалении от упомянутых трасс. Необходимо также ограничить по возможности частоту передвижения судов по акватории. Судно от причала к доку переводят на ровном киле и с малой скоростью либо обеспечивают длину буксирного троса, бо́льшую $R_{кр}$.

Однако практика показывает, что выполнение всех этих мероприятий не всегда бывает возможно. Поэтому нередки случаи скопления льдин под днищем докуемых судов вследствие подныривания, что обусловливает необходимость применения средств по

удалению битого льда из-под днища судна перед докованием. К таким средствам относятся механические и гидродинамические.

К механическим следует отнести такие примитивные средства, как удаление льдин водолазами с помощью багров, а также «траление» льдин специально изготовленными «тралами», например деревянным щитом с пропущенными сквозь него зубцами стальных строительных скоб, придающих щиту вид стальной щетки. «Трал» заводят под днище судна и протаскивают вдоль корпуса с помощью трособлочной системы и шпилей — судовых или доковых.

Удаление льдин из-под днища судна с помощью гидродинамических средств аналогично процессу, при котором происходит подныривание льдин под днище, а именно, посредством создаваемых для этой цели потоков воды с определенной скоростью течения. Как правило, это осуществляется с помощью буксира, который, работая винтами, создает поток, направленный под днище очищаемого судна. Кроме того, часто пытаются удалить льдины и шугу из-под днища буксировкой судна по рейду в течение длительного времени.

Средства, отнесенные к механическим, весьма трудоемки, а для водолазов, работающих в дрейфующем льде — опасны. Использование для удаления льдин буксиров или буксировка судна по рейду весьма неэкономичны, так как требуют длительного времени и не всегда эффективны.

С целью повышения эффективности и ускорения процесса очистки днища судна от подбитого (непримерзшего) льда в последние годы созданы специальные средства.

Механические средства. К ним относятся так называемые скребки различных конструкций. Простейший из них выполнен в виде металлической балки, жестко закрепленной на торце дока между башнями с таким расчетом, чтобы расстояние между скребком и днищем судна при вводе его в док составляло около 100 мм. Использование этого устройства вызывает значительные эксплуатационные трудности, так как требуется постоянный контроль зазора между днищем судна и скребком. Этот контроль осуществляет водолаз, который сигнализирует о необходимом изменении погружения стапель-палубы дока для сохранения постоянного зазора. Операция осложняется при крене или дифференте судна.

Упомянутые недостатки учитывались при разработке конструкции балансирного скребка [1, 9]. Устройство состоит из двух симметричных элементов (скребков), образующих между собой угол в плане с вершиной, обращенной навстречу движения судна и совпадающей с ДП дока. Каждый элемент скребка установлен на оси вращения, цапфы которой опираются на подшипники центрального и боковых фундаментов (рис. 62). Фундаменты снабжены подъемными устройствами, учитывающими килеватость корпуса судна. Нижняя часть скребков имеет равномерно распределенный груз, служащий противовесом и обеспечивающий прилегание

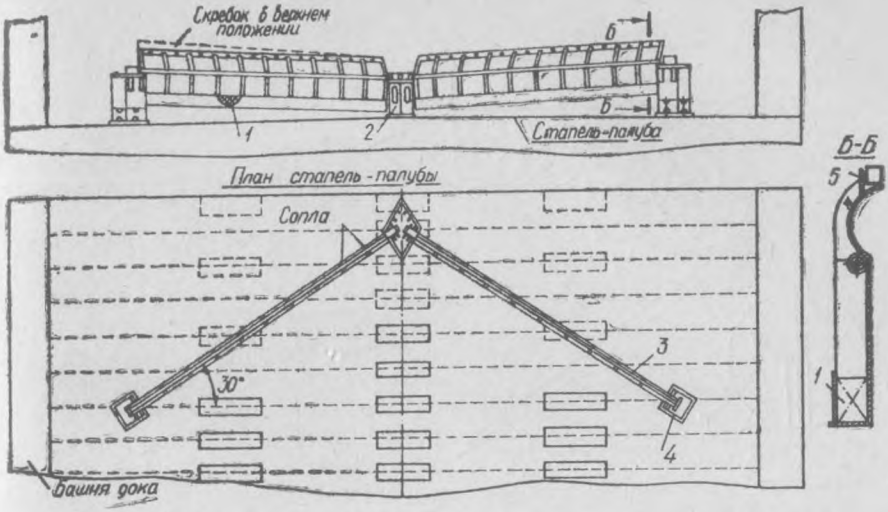


Рис. 62. Балансирный скребок:
1 — груз; *2* — центральный фундамент; *3* — скребок; *4* — боковой фундамент; *5* — деревянный амортизатор

верхнего лезвия скребка к днищу судна при изменении осадки по длине судна за счет дифферента. Лезвие скребка оборудовано сменным деревянным бруском-амортизатором и трубопроводом с соплами, через которые подают воду, пар или сжатый воздух. Для удобства эксплуатации скребки выполнены съемными, а фундамент — разборным. Отделяемые скребком от днища льдины отводятся к бортам судна и всплывают.

Однако при значительном дифференте судна, а также при постановке в док одновременно нескольких судов с различной осадкой диапазон действия скребка в процессе доковой операции должен изменяться в больших пределах в зависимости от расстояния между днищем судна и осью скребка. Для улучшения эксплуатационных характеристик описанного устройства необходимо совершенствовать подъемные устройства фундаментов.

Предложенная позднее конструкция всплывающего ледоочистительного устройства [I, 38] способна работать при значительной разнице осадок судов. Устройство (рис. 63) содержит тяги, один конец которых шарнирно соединен со стапель-палубой дока, а другой—с осью. На оси в подшипниках смонтирован герметичный барабан. Внутри барабана на фундаменте установлен электродвигатель, соединенный через передачу с внутренней цилиндрической поверхностью барабана. На наружной цилиндрической поверхности барабана по винтовой линии установлены зубья-скребки. На стапель-палубе дока смонтирован стопор, который, находясь в зацеплении с тягой, удерживает устройство в нерабочем положении. Управление стопором и электродвигателем осуществляется с башни дока. При погружении дока барабан, имеющий плаву-

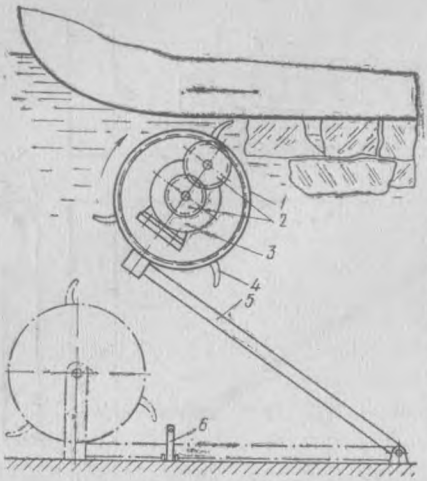


Рис. 63. Вращающийся скребок: *1* — барабан; *2* — зубчатая передача; *3* — электродвигатель; *4* — зубья; *5* — тяга; *6* — стопор

честь, превышающую его собственный вес с тягами, стремится всплыть, но удерживается стопором. Когда судно проходит над устройством, отдают стопор и устройство, поворачиваясь на шарнирах, закрепленных на стапель-палубе, всплывает и прижимается к днищу судна силой, равной запасу плавучести барабана. С башни дока включают электродвигатель, который через передачу вращает барабан таким образом, что движение зубьев-скребков под днищем судна направлено в сторону, противоположную движению самого судна. Движущиеся зубья-скребки, благодаря динамическому воздействию, отделяют льдины от днища и, будучи расположенными по винтовой линии, транспортируют отделенные от днища льдины к бортам. Льдины всплывают и не препятствуют постановке судна на доковые опоры. По ширине дока устройство может состоять из двух барабанов и более, а их ориентировка по отношению к судну может быть различной в зависимости от типов ремонтируемых судов. Недостатком этой конструкции скребка является сложность изготовления и, особенно, герметизации элементов.

Все средства механической группы имеют один общий существенный недостаток — наличие жесткого контакта их со льдом и даже днищем судна, что может привести к поломке устройства.

Гидродинамические средства. Для плавучих доков разработано бесконтактное устройство для удаления из-под днища судна непримерзшего битого льда. Устройство содержит подводный потокообразователь типа ГУК-28, укрепленный на кронштейнах в ДП дока на рабочем торце понтона с возможностью поворота в вертикальной плоскости. К торцу потокообразователя со стороны его двигателя прикреплена гибкая связь (трос), укрепленная на торце понтона и регулирующая максимальный угол поворота насоса [I, 16].

При погружении дока сразу после затопления насос располагается горизонтально и в этом положении очищает акваторию перед торцом дока от плавающего льда. По мере погружения дока насос автоматически поворачивается вокруг оси под действием момента подъемной силы, создаваемой плавучестью насадка. При этом предельное положение насоса заранее отрегулировано тросом из условия наилучшего угла атаки потока по отношению к

днищу проходящего над ним судна. Направленный водяной поток вымывает льдины из-под днища судна и отгоняет их от дока.

Устройство с аналогичным принципом действия, но отличающееся большими эффективностью и диапазоном применения, разработано для сухих доков [I, 28]. Это устройство содержит подводный потокообразователь, установленный с помощью качающейся двуплечей штанги на днище дока в его ДП вблизи затвора. Создаваемый насосом поток направлен навстречу вводимому судну. Корпус насоса имеет воздушную полость, обладающую положительной плавучестью и создающую при наполнении дока водой момент, разворачивающий насос со штангой в вертикальной плоскости. Реакция упора работающего насоса уравновешивается противовесом штанги, а шарнирная поводковая тяга постоянно обеспечивает оптимальный угол между струей и горизонтальной плоскостью при различной степени заглубления насоса. По мере приближения вводимого в док судна к насосу реакция струи увеличивается за счет удара о днищевую обшивку судна и насос автоматически, несколько удаляясь от него, остается всегда вблизи днища. Заглубление насоса под действием реакции струи ступенчато фиксируется храповым механизмом, управляемым со стенки дока для обеспечения всплытия насоса после прохода над ним судна (рис. 64). Большим преимуществом обоих описанных гидромеханических устройств является полная автоматизация удаления льдин из-под днища при различных килеватостях, дифферентах и осадках докуемых судов и исключение жесткого контакта между элементами устройств и корпусом судна.

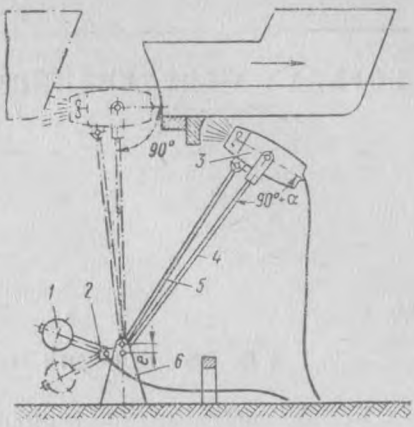


Рис. 64. Устройство для удаления льдин из-под днища судна при постановке в сухой док:

1 — противовес; *2* — храповой механизм; *3* — насос; *4* — качающаяся двуплечая штанга; *5* — поводковая тяга; *6* — фундамент

БОРЬБА С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ СООРУЖЕНИЙ

§ 12. ЛИКВИДАЦИЯ ЛЕДЯНОЙ ЧАШИ У СУДОВ

Кроме рассмотренных видов ледовых затруднений: прочного ледяного покрова и дрейфующего битого льда, при зимней эксплуатации объектов водного транспорта появляется еще одна их разновидность — обледенение судов и сооружений.

Проблемам обледенения судов в море и гидротехнических сооружений посвящены специальные исследования и научные труды, где достаточно полно освещены активные методы предотвращения и ликвидации обледенений [2, 41]. Создан ряд устройств и способов для предотвращения обледенения морских судов (их надводных частей) [1, 19, 25, 60]. Вопросу же образования льда на подводной части судов, на элементах судоподъемных сооружений и средствам его ликвидации уделено незначительное внимание, в то время как наличие льда, примерзшего к днищу судна, препятствует постановке судов в док и значительно увеличивает сроки их ремонта.

При продолжительной стоянке судна в период отрицательных температур воздуха на подводной части корпуса начинает образовываться ледяная чаша. Это явление становится особенно опасным при наличии подбитых льдин под корпусом судна, которые примерзают к его обшивке. В этом случае перед постановкой судна в док требуется применение специальных мероприятий и средств, обеспечивающих разрушение и последующее удаление примерзшего к обшивке корпуса льда.

Образование ледяной чаши на подводной части корпуса судна объясняется отдачей тепла через обшивку. Толщина ледяной чаши пропорциональна интенсивности теплоотдачи. Следовательно, на интенсивность роста и размеры ледяной чаши в основном влияет температура воздуха во внутренних помещениях судна.

Во время стоянки судна в ожидании докования при низких температурах воздуха с целью уменьшения интенсивности теплоотдачи рекомендуется тщательно закрывать люки грузовых трюмов, перекрывать все трюмные вентиляторы и прочие отверстия. При этом судно рекомендуется держать на ровном киле с максимально возможной осадкой и поддерживать плюсовую температуру в балластных отсеках.

Радикальным средством предотвращения намерзания льда на днище судна является оборудование балластных отсеков временной системой отопления. Для этого в частично заполненные водой отсеки подается пар с берега, от буксира или иного судна, имеющего парокотельную установку. Расход пара при этом весьма незначителен, и одно судно-отопитель может обеспечить потребность в обогреве значительного числа судов, находящихся на отстое.

В этой связи представляет интерес запатентованное в Англии устройство для обогрева корпусов отстойных судов [II, 3]. Это устройство содержит экранирующие ограждения, устанавливаемые вдоль бортов судна, а между экранами под днищем судна помещают перфорированные трубы, в которые под давлением подают горячую воду. С целью сокращения потерь тепла экранирующее устройство рекомендуется выполнять из двух слоев эластичного материала, между которыми предусматривается воздушная прослойка. Данное устройство весьма сложно как в изготовлении, так и при монтаже и эксплуатации, в связи с чем не может быть рекомендовано для предотвращения образования ледяной чаши, но заложенная в нем идея характеризует современный уровень развития техники и может быть использована при разработке новых средств.

Для предотвращения и ликвидации обледенения надводных частей морских судов успешно используется тепло судовых двигателей [I, 19, 25]. С этой целью суда оборудуются стационарной системой трубопроводов, состоящей из магистрального трубопровода с отходящими от него к местам интенсивного ледообразования трубами, имеющими прорези и распылители. Через эти прорези и распылители истекает теплоноситель, в качестве которого использована морская вода, поступающая по двум трактам, один из которых связан с системой охлаждения судовых двигателей, а другой — с системой подогрева морской воды, имеющей отдельный теплообменник, утилизирующий тепло выхлопных газов силовой установки.

Поскольку предотвратить обледенение подводной части корпусов судов не всегда представляется возможным, актуальной остается задача по разработке активных методов ликвидации ледяной чаши.

Необходимость удаления ледяной чаши определяется ее размерами, особенно толщиной намерзающего льда. Поэтому, прежде чем перейти к рассмотрению методов ликвидации ледяной чаши, остановимся на некоторых средствах ее обнаружения и измерения.

Перед постановкой судна в док требуется производить водолазный осмотр днища для обнаружения ледяной чаши и установления ее размеров. Однако такой осмотр в ледовой обстановке представляет значительную сложность и опасность для водолаза, является длительной и дорогостоящей операцией. Кроме того, ледяная чаша обычно прозрачная и, если она имеет к тому же глад-

кую поверхность, обнаружить ее под водой трудно. Известны случаи, когда водолазы давали сведения о том, что ледяной чаши нет, а после подъема судна из воды оказывалось, что она покрывает все днище. Поэтому, вопрос обнаружения и измерения ледяной чаши без помощи водолазов весьма актуален. К сожалению, данный вопрос в специальной технической и патентной литературе освещен очень слабо.

Известны датчики различных конструкций для определения момента начала обледенения и измерения толщины намерзшего льда [II, 29]. Однако большинство датчиков предназначено для использования в авиации или холодильной промышленности, а также для регистрации толщины ледяного покрова водоемов и не могут быть непосредственно использованы в условиях обледенения днища судна под водой.

Представляет интерес способ обнаружения и измерения ледяной чаши изнутри корпуса судна с помощью ультразвукового измерительного прибора, толщиномера или дефектоскопа. Искательную пьезоэлектрическую головку дефектоскопа прикладывают к внутренней поверхности наружной обшивки корпуса судна в местах, намеченных схемой замеров, предварительно очищенных и смазанных маслом для обеспечения контакта между искательной головкой и обшивкой судна. Показания прибора записывают на схеме измерений, после чего производят пересчет полученных величин с учетом скорости распространения ультразвуковых импульсов в среде однородного внутриводного льда. Скорость распространения ультразвуковых импульсов устанавливается по эталону—образцу льда однородной структуры измеренной толщины. Применение данного способа требует определенного навыка и специальной подготовки работников-дефектоскопистов.

Толщина ледяной чаши в зависимости от времени стоянки судна в ожидании докования может быть оценена также аналитически [24] по формуле

$$h = \sqrt{-\frac{2t_0\lambda_л T}{\beta\gamma_л} + \left(\frac{\lambda_л}{\alpha} + \frac{h_0\lambda_л}{\lambda_0}\right)^2} - \left(\frac{\lambda_л}{\alpha} + \frac{h_0\lambda_л}{\lambda_0}\right),$$

где h — толщина ледяной чаши, м;

t_0 — средняя температура воздуха, °С;

$\lambda_л$ — коэффициент теплопередачи льда, $\lambda_л = 2{,}5$ ккал/ч·м·° С;

T — время стоянки судна в ожидании докования, ч;

β — скрытая теплота плавления льда, $\beta = 80$ ккал/кг;

$\gamma_л$ — объемный вес льда, $\gamma_л = 920$ кг/м³;

α — коэффициент теплоотдачи, $\alpha = 12{,}5$ ккал/ч · м · ° С;

h_0 — толщина обшивки судна, м;

λ_0 — коэффициент теплопроводности обшивки, для стали (в среднем) $\lambda_0 = 40$ ккал/ч · м · ° С.

Однако этот метод не дает возможности установить наиболее опасные для докования судов явления: наличие льдин, примерзших к обшивке днища, и распределение толщины льда по длине и ширине судна.

Ликвидация ледяной чаши может осуществляться механическим, тепловым, гидродинамическим или комбинированным методами.

Процесс *механического* отделения ледяной чаши сложен, так как лед очень прочно примерзает к корпусу судна. Однако разработки в этом направлении ведутся.

Вибрационный способ разрушения ледяной чаши [30] основан на использовании вибрации корпуса, создаваемой воздействием на него периодических возмущающих колебаний, получающихся от работы специально устанавливаемой на судно вибрационной машины, например вибропогружателя ВМ-20. Способ недостаточно проверен на практике, а резонансные явления создают опасность нарушения плотности швов корпуса, трубных соединений, отставания покрытий и могут вызвать повреждение автоматики, радиоаппаратуры и другого судового оборудования. Кроме того, отделившиеся от корпуса части ледяной чаши, оставаясь под днищем, могут снова примерзнуть к обшивке днища.

Предложено устройство, позволяющее включить операцию по ликвидации ледяной чаши непосредственно в процессе докования судна. Для этого устройство смонтировано непосредственно в доке (рис. 65) в виде бесконечного гибкого режущего элемента (троса или цепи), натянутого на шкивах в горизонтальной плоскости между башнями дока с помощью блока с грузом. Направляющие шкивы расположены таким образом, что обе ветви гибкого элемента параллельны в горизонтальной плоскости. Один из шкивов является ведущим и соединен с лебедкой, а ветви гибкого элемента движутся навстречу друг другу и осуществляют разрушение и удаление ледяной чаши по мере протаскивания судна над гибким режущим элементом.

При работе устройства одновременно с разрушением и удалением ледяной чаши очищается днищевая обшивка корпуса судна от обрастания, ржавчины и отставшей старой краски [I, 56].

Наиболее распространен *тепловой* метод ликвидации ледяной чаши, который на практике осуществляется подачей пара в частично заполненные водой отсеки по специально прокладываемой системе паропроводов. В зависимости от толщины ледяной чаши время подачи пара различно и может составлять более 5 сут, поскольку она подплавляется, затем вновь прижимается гидростатическим давлением к днищу судна, а

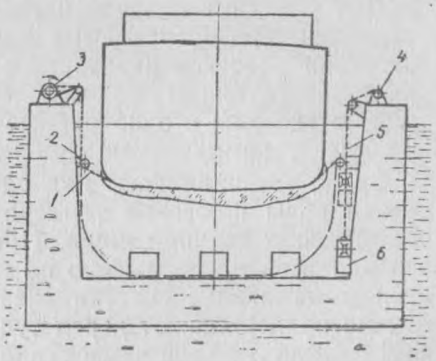


Рис. 65. Устройство для удаления ледяной чаши:

1 — гибкий режущий элемент; *2* — направляющий шкив; *3* — лебедка; *4* — натяжной механизм; *5* — натяжной трос; *6* — груз

условия передачи тепла от корпуса судна ко льду через прослойку воды ухудшаются.

Обогрев обшивки корпуса подачей в отсеки судна горячего воздуха связан с необходимостью иметь компрессорные и нагревательные установки большой мощности. Основным недостатком этого способа является потеря значительной части тепла, содержащегося в теплоносителе — воздухе, объясняющаяся его выходом из отсеков в атмосферу и непроизводительными затратами тепла на обогрев верхних конструкций отсеков.

Растопление ледяной чаши горячей водой, подаваемой по системе перфорированных труб, укрепленных на специальном стационарном всплывающем устройстве [7], связано с буксировкой судна к этому устройству и неоднократной подвижкой судна над устройством. Истекающая из отверстий перфорированных труб горячая вода, смешиваясь с водой водоема и охлаждаясь, быстро принимает температуру наибольшей плотности (+4° С) и погружается на дно водоема, что ведет к значительным потерям тепла.

Известно также устройство, в котором для очистки от льда подводной части судна под его днище подается пар через пустотелую штангу с соплами [I, 6]. Штанга в нижней части изолирована. Основание устройства выполнено в виде полозьев, скрепленных поперечными балками со стойками, на которых установлены петли. В петлях смонтирована поворотная ось рамы, соединенная с рычагами поворота. При очистке днища судна от ледяной чаши нижнюю часть штанги подводят поворотом рычагов к очищаемой поверхности. Для заглубления сопла штанга выполнена раздвижной. Пар, подаваемый под давлением, расплавляет лед и очищает поверхность. Устройство расходует значительное количество пара, а подача пара во все точки под днищем судна представляется затруднительной. Поэтому устройство может быть использовано только при наличии на заводе большого количества пара для удаления ледяных чаш у судов с незначительной шириной и осадкой.

Для удаления ледяной чаши могут эффективно применяться установки, предназначаемые для поддержания в незамерзающем состоянии участков акваторий заводов: системы для использования тепла глубинных вод водоемов, а также двухтрубные водовоздушные системы и однотрубные системы для подачи паровоздушной смеси, применяемые при искусственном обогреве акваторий.

Судно устанавливают над одной из таких систем. Восходящие потоки воды плюсовой температуры способствуют эффективному растоплению ледяной чаши. При достаточных габаритах системы она плавится одновременно по всей поверхности днища. Поскольку незамерзающие участки акватории на судоремонтных заводах обычно поддерживают перед судоподъемными сооружениями, после удаления ледяной чаши судно может сразу следовать в док или на слип.

В основу *гидродинамических* средств положен метод эрозионно-теплового разрушения ледяной чаши потоками воды. Известны попытки использования для этой цели буксиров, устанавливаемых к

борту судна и разрушающих ледяную чашу потоками от своих гребных винтов. Однако этот процесс очень длителен, а при наличии у судна бортовых килей — малоэффективен. Таким же образом разрушает лед и струя, создаваемая специальным потокообразующим устройством, которое содержит подводный потокообразователь, прикрепленный к телескопической штанге, устанавливаемой на форштевне судна (рис. 66). Потокообразователь удерживается на тросовых растяжках таким образом, чтобы ось создаваемого им потока совпадала с основной линией днища в ДП судна. Питание потокообразователя осуществляется от судовой или береговой электросети. В этом устройстве эрозионное действие струи может усиливаться тепловым за счет использования тепла глубинных вод, подсасываемых потокообразователем.

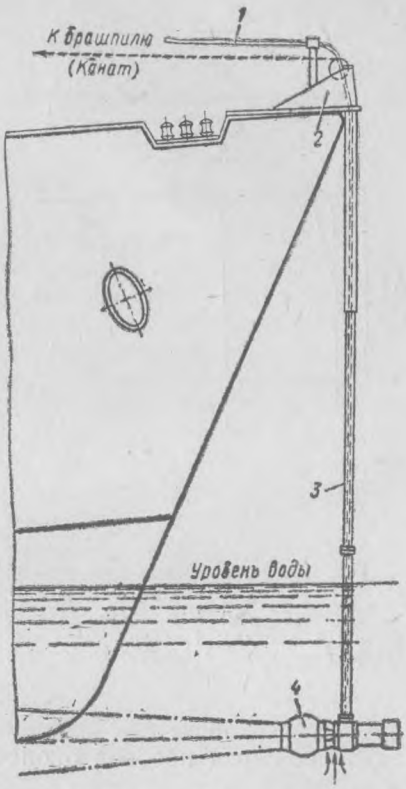


Рис. 66. Устройство для удаления ледяной чаши:
1 — электрический кабель; *2* — основание; *3* — телескопическая штанга; *4* — подводный потокообразователь

Эффективность удаления ледяной чаши значительно повышается при совместном применении нескольких средств. Простейшим из *комбинированных* средств является подтопление ледяной чаши паром, подаваемым в отсеки судна, с последующей буксировкой его по рейду, в процессе которой оттаявшая ледяная чаша вымывается встречным потоком воды. Процесс удаления ледяной чаши в этом случае примерно вдвое короче, чем растопление ее только подачей пара в отсеки, но все-таки длителен.

К комбинированным может быть также отнесено устройство [1, 8], представляющее собой донный подогреватель, снабженный балластными емкостями и тепловым элементом (рис. 67) — трубой, в которую подается пар. Корпус подогревателя выполнен в виде двустороннего плоского клина с уклоном днища по длине и ширине. Для снятия ледяной чаши устройство устанавливают у причала, а судно подводят к оконечности устройства, на которой смонтирован тепловой элемент. С помощью специальной трособлочной системы судно соединяют с лебедкой, заполняют балластные отсеки подогревателя и устанавливают судно над тепловым элементом.

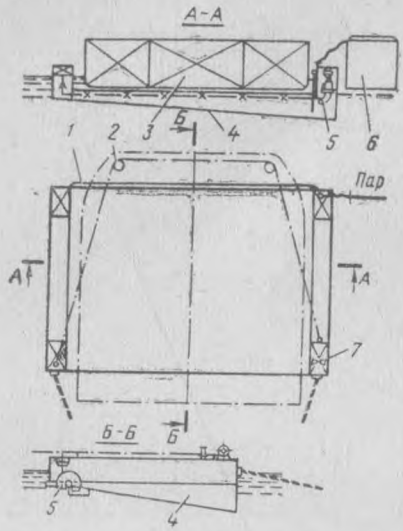


Рис. 67. Устройство для снятия ледяной чаши:

1 — тепловой элемент; *2* — трособлочная система; *3* — судно; *4* — днище подогревателя; *5* — насос с соплом; *6* — пирс; *7* — лебедка

При протягивании судна с помощью лебедки над тепловым элементом лед под днищем оплавляется и одновременно скалывается заостренной клиновидной кромкой корпуса подогревателя. Сколотый лед отгоняется направленным потоком, создаваемым специальным насосом. Данное устройство может удалять ледяную чашу только с плоского участка днища судна, а изготовление такого устройства требует больших капиталовложений, что целесообразно только при многочисленном доковании плоскодонных судов, имеющих ледяную чашу.

Для удаления ледяной чаши могут быть использованы потокоподогреватели [I, 11, 39]. Натурные опыты по удалению ее с помощью паровых потокоподогревателей проводились в 1971 г. на р. Северной Двине в г. Архангельске. С этой целью потокоподогреватели были установлены на плотиках перед носовой оконечностью танкера, имеющего припай по ватерлинии и мощную ледяную чашу на подводной части корпуса. Однако из-за ограниченного времени и расхода водяного пара этот опыт не был завершен. За 42 ч работы ледяная чаша и припай были растоплены только на одной трети длины судна в его носовой оконечности.

Для ликвидации ледяной чаши могут быть применены такие средства, как электроимпульсный метод разрушения льда, электрогидравлический эффект, разрушение льда высоконапорной струей воды. Однако эти и некоторые другие новые методы еще находятся на стадии разработки и экспериментальной проверки.

§ 13. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБЛЕДЕНЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОПОДЪЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Зимний доковый ремонт осложняется и удлиняется не только из-за образования ледяной чаши под днищами судов, но и в связи с обледенением элементов судоподъемных средств: судовозных тележек слипов, подъемных устройств вертикальных судоподъемников, стапелей плавучих и сухих доков, а также из-за образования льда в балластных отсеках, зачистных и балластных системах плавучих доков.

Обследование ряда судоремонтных заводов показало, что ликвидация ледообразований на стапель-палубе плавучего или днище сухого дока ведется в основном вручную. Например, вручную производят околку льда при освобождении доковых опор, вмерзших в лед, очистку мест для их установки. Эти работы длительны и трудоемки. Известны также случаи использования для этих целей пара. Для предотвращения замерзания сточных кюветов днища сухого дока в них укладывают трубопроводы, по которым подается пар, расход которого весьма значителен.

С целью механизации работ по очистке от льда мест под установку доковых опор применяется установка для таяния льда [3]. Установка представляет собой секции с электронагревателями, которые укладывают на предполагаемое место постановки кильблока и накрывают теплоизоляционными матами. Электроэнергия подается через высокочастотный трансформатор. Основной недостаток установки в том, что окалывание кильблока перед установкой осуществляется вручную. Кроме того, для транспортировки установки и ее эксплуатации необходим специальный персонал.

Для облегчения перестановки доковых опор разработана специальная конструкция обогреваемого кильблока [I, 20]. Нижний пространственный пояс фермы кильблока выполнен из полых сообщающихся конструкций, заполненных теплопередающей электроизоляционной жидкостью, например трансформаторным маслом. В полостях конструкции находятся электронагреватели, размещенные так, что при нагреве жидкости происходит ее естественная циркуляция, обеспечивающая обогрев всего нижнего пояса фермы кильблока и растопление льда в районе фермы. Применение описанной конструкции позволяет отказаться от непроизводительного и тяжелого труда по скалыванию льда при перестановке доковых опор в условиях интенсивного обледенения стапельных мест.

Лед со стапель-палубы плавучего или днища сухого дока можно удалять с помощью специальной газопламенной установки [12]. Установка выполнена передвижной и состоит из соплового аппарата, закрытого экранирующим кожухом, топливного бака, топливной и воздушной систем. Установка подключается к доковой системе сжатого воздуха гибким шлангом. Топливо распыливается сжатым воздухом в сопловом аппарате и, сгорая под экранирующим кожухом, создает под ним зону с высокой температурой. Установку передвигают над образовавшимся льдом и растапливают его. К недостаткам этого устройства относятся повышенная пожарная опасность, а при использовании в сухом доке — местный перегрев днища, который может привести к разрушению облицовки.

Для обогрева сточных кюветов сухих доков целесообразно использовать различные электронагреватели, например ленточного типа ГНЭ-2, помещенные в стальные трубы и уложенные на дно кюветов либо расположенные по их стенкам [14].

Поскольку описанные выше средства не решают полностью проблемы ликвидации ледообразований на стапель-палубе плавучего или днище сухого дока, необходимо иметь установку, обеспе-

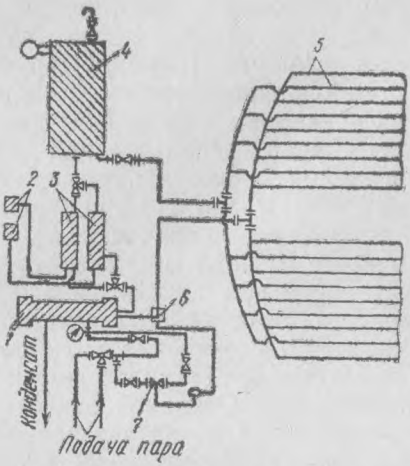


Рис. 68. Схема установки для обогрева днища сухого дока:

1 — паровой подогреватель; *2* — магнитный пускатель; *3* — циркуляционный насос; *4* — расширительный бак; *5* — обогревающие трубы; *6* — датчик регулятора температуры; *7* — регулятор температуры прямого действия

чивающую подогрев всей поверхности стапель-палубы или днища.

Для этой цели балластные отсеки плавучих доков оборудуют системой обогрева, представляющей собой трубопровод, подводящий теплоноситель к радиаторам, расположенным в отсеках. В качестве теплоносителя используется пар, горячая вода или горячий газ. Оборудование дока такой системой позволит также предотвратить замерзание воды в балластных отсеках и трубопроводах. Главную трудность в этом случае представляет получение большого количества теплоносителя.

Аналогично решается проблема борьбы с обледенением днища сухого дока. Разработана установка [I, 54], имеющая замкнутую систему труб, уложенных в толще покрытия днища дока (рис. 68). В систему подается подогреваемый паром теплоноситель (антифриз), который, циркулируя в системе, подогревает днище и способствует растоплению льда или предотвращению его образования. Циркуляция теплоносителя в системе осуществляется специальными насосами. Изменение температуры поступающего в трубы антифриза автоматически осуществляется температурным регулятором. Эта установка полностью решает вопрос борьбы с обледенением днища дока, однако для ее монтажа требуется провести большой объем строительно-монтажных работ, которые можно выполнить только в период строительства или капитального ремонта дока.

В последнее время во многих областях техники проводятся глубокие исследования по борьбе с обледенением с помощью различных химических веществ (солей) [32].

Из физической химии известно, что системы, образующие водные растворы, являются двухкомпонентными и, согласно закону фазового состояния, могут существовать только при определенных температурах, называемых эвтектическими.

Можно выделить большое количество веществ, которые способны расплавить лед при отрицательных температурах (от —0,15 до —86° С). Для практической оценки этого способа растопления льда были выполнены специальные исследования, в результате которых были выделены такие вещества, которые достаточно интенсивно реагируют со льдом и при сравнительно малых собственных объемах могут растапливать относительно большие объемы льда.

К таким веществам относятся калий углекислый кислый, натрий фтористый, сернистый натрий, хлористый кальций и др. С понижением температуры количество растворяемого льда уменьшается. Надо отметить, что вообще процесс растопления льда идет довольно медленно. Этот способ применим в основном для растапливания небольших количеств льда, он нашел широкое распространение для борьбы с гололедом на автомобильных дорогах и аэродромах. Для борьбы с обледенением элементов доков применение солей не рационально из-за большого расхода и высокой коррозийной активности большинства солей к металлу и бетону.

Применение различных гидрофобных покрытий, имеющих незначительную смачиваемость и, следовательно, более низкую способность к обледенению, чем металл и бетон, также представляется нецелесообразным, так как эти покрытия быстро истираются и способны только замедлить процесс обледенения и уменьшить силу сцепления льда с материалом стапель-палубы или днища сухого дока. Предотвратить ледообразование они также не в состоянии.

Применение электропроводящих материалов [2, 31] для борьбы с обледенением стапель-палубы плавучего или днища сухого дока также нецелесообразно. Эти материалы представляют собой обычно трехслойные покрытия, включающие основу, электропроводящий слой и электроизоляционный слой, в качестве которого часто используют гидрофобные покрытия. На поверхности покрытия всегда поддерживается плюсовая температура. Нецелесообразность их применения в условиях докового ремонта судов очевидна, так как у этих материалов очень низка прочность на истирание.

Представляет интерес запатентованный в ФРГ способ изготовления необледеневающих покрытий [II, 33], состоящий в том, что к бетонным или битумным строительным материалам обычного типа добавляется относительно большее количество отходов производства с серебряных и свинцовых рудников (так называемый отвальный материал). Под слой покрытия укладывается тонкая металлическая сетка. Антиобледенительное действие такого покрытия объясняется электрохимическим эффектом. При попадании воды на покрытие образуется большое число равномерно распределенных электролитических элементов, которые замыкаются накоротко и образуют местные электрические токи. Способ предотвращает обледенение при температуре воздуха до —15° С. Покрытие, изготовленное таким способом, может применяться на доках, однако сложность технологии изготовления и дефицитность материалов являются серьезным препятствием к его внедрению.

В настоящее время для предотвращения повреждения балластных отсеков от температурного расширения льда при замерзании поверхности воды в них систематически в течение зимы разрушают ледяной покров или поддерживают небольшую незамерзающую майну, постоянно очищая ее от льда. Такую майну можно поддерживать, обеспечив изоляцию ее водной поверхности с помощью, например, подвспененного пенополистирола или другого теплоизо-

лятора. Однако и в этом случае перед проведением доковой операции лед в отсеке необходимо растопить. Очевидной становится необходимость оборудования дока системой обогрева, в этом случае теплоносителя будет нужно меньше и расходоваться он будет более короткое время. При отсутствии системы обогрева отсеков и многократном проведении доковых операций в зимний период в отсеках образуется многослойный лед, препятствующий работе дока. Если применение частных мер по борьбе с образованием ледяного покрова в балластных отсеках затруднено, то при борьбе с замерзанием воды в балластных и зачистных системах плавучих доков, а также для ликвидации ледообразования в приемных патрубках этих систем ряд таких мер успешно применяется.

С целью предотвращения замерзания воды в трубопроводах и арматуре балластной и зачистной систем после доковой операции удаляют из этих систем остатки воды, для чего продувают их сжатым воздухом. В этом случае необходимо только соединить балластную и зачистную системы с системой сжатого воздуха дока.

Для предотвращения замерзания воды в приемных патрубках балластной и зачистной систем на плавучих доках ряда судоремонтных заводов успешно применяется индукционный обогрев патрубков [43]. В основу его положен принцип использования тепловой энергии активных и реактивных токов промышленной частоты в переменном магнитном поле. На небольшой участок присоединенной к патрубку трубы и частично на сам патрубок укладывается обмотка кабеля марки КНР, образующая индуктор. Витки обмотки кабеля на трубопроводе и патрубке закреплены специальными зажимами. Один конец кабеля подключен на корпус, другой — к цепи питания обмотки индуктора током промышленной частоты от низковольтного трансформатора. При прохождении тока по индуктору выделяется тепло, растапливающее лед в патрубке или около него.

В заключение заметим, что в настоящее время наиболее действенным и реально выполнимым методом защиты стапель-палубы плавучего или днища сухого дока от обледенения является тепловой, а лучшим средством осуществления этого метода является оборудование доков системой обогрева стапель-палубы или днища либо строительство крытых доков с созданием на них микроклимата.

СОЗДАНИЕ МИКРОКЛИМАТА НА ДОКАХ И В ПОРТАХ

§ 14. ЗАЩИТА ДОКОВ ОТ ВЕТРА И АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

При отрицательных температурах воздуха, ветре и атмосферных осадках значительно снижается производительность доковых ремонтных работ и погрузочно-разгрузочных операций, что ведет к увеличению непроизводительных простоев судов.

В последние годы в СССР и за рубежом начаты работы по созданию средств защиты от ветра и атмосферных осадков, исследуются мероприятия по обогреву производственных площадей на доках. Осуществление этих мероприятий совместно с активными методами борьбы со льдом позволит сократить простои судов по метеорологическим причинам и повысить пропускную способность доков и портов. Кроме повышения рентабельности объектов водного транспорта, эти мероприятия направлены на решение таких немаловажных проблем, как улучшение качества ремонта судов и сохранности перевозимых грузов, особенно влагобоящихся и влагорежимных, увеличение долговечности механизмов и оборудования, а главное — улучшение условий труда работ, выполняемых на открытых площадках при неблагоприятных погодных условиях.

Сложность решения проблемы защиты доков со стороны торцов от ветра обусловлена тем, что длина ремонтируемых судов в большинстве случаев превышает длину башен дока на 10—20% и оконечности судна при этом выступают не только за торцы башен дока, но и за кромку кринолинов. Кроме этого, высота стоящих в доке судов и доковых кранов является существенным препятствием для оборудования доков верхними закрытиями.

Первые конструкции стационарных ветрозащитных закрытий торцов плавучих доков были разработаны в 1954—1955 гг. [39]. Однако из-за присущих им конструктивных недостатков они не получили распространения. Основным типом торцовых закрытий доков в этот период были шторные брезентовые полотнища, весьма недолговечные и сложные в эксплуатации и хранении. На некоторых плавучих доках при производстве крупных ремонтов судов применялись временные деревянные ветрозащитные закрытия торцов.

За последние годы судоремонтными заводами и проектно-конструкторскими организациями разработаны секционные закрытия для нерабочих торцов плавучих доков [40]. Общим недостатком их является то, что укладка секций закрытия на кринолин или стапель-палубу сокращает полезную рабочую площадь дока, а уложенные секции часто повреждаются.

С целью механизации процесса уборки и установки закрытия в рабочее положение предложено гибкое закрытие, выполняемое в виде брезентовых занавесей, армированных для повышения прочности стальными тросами, вшитыми в полотнище. Верхней кромкой полотнище прикреплено к барабану вьюшки, размещенной в защитном кожухе и снабженной механическим приводом. Нижняя кромка каждого полотнища крепится к стапель-палубе дока. При приведении закрытия в нерабочее положение (на период доковой операции) полотнища наматываются на вьюшку и хранятся под переходным мостиком. Преимуществом предлагаемого устройства является компактность и возможность в любой момент привести его в действие [I, 26]. К недостаткам этой конструкции следует отнести недолговечность основного элемента закрытия — брезентового полотнища, а также сложность выполнения большепролетного вала для намотки и хранения полотнища без промежуточных опор.

Для защиты от ветра носового торца плавучего дока подъемной силой 30 000 тс Ленморниипроектом разработан рабочий проект стационарного устройства с обеспечением усиленной вентиляции междубашенного пространства дока в жаркое время года. Устройство выполнено в виде жесткого экрана, укрепленного между башнями дока, имеющего в плане V-образную форму. Для прохода людей и проезда транспортных средств на док ветрозащитный экран в средней части имеет проем, закрываемый откатными двустворчатыми воротами. С целью интенсификации проветривания междубашенного пространства дока в жаркое время года, кроме среднего проема, в экране имеются дополнительные боковые вырезы. В оконечностях створок ворот также предусмотрены вырезы, которые при полном откатывании ворот совпадают с боковыми вырезами в экране.

Ворота снабжены дистанционно управляемым приводом передвижения, конечными выключателями и звуковой сигнализацией передвижения. В нижней части створок ворот имеются вырезы для береговой аппарели, которые закрыты навешенными на нижних кромках створок уплотняющими элементами из транспортерной ленты. Общая масса закрытия, включая массу щитов, закрывающих проемы в оконечностях башен дока, составляет около 70 т.

На четырех плавучих доках установлены и успешно эксплуатируются поворотно-подъемные закрытия носовых торцов доков [I, 12]. Однако эти закрытия, как и все предыдущие, предназначены и могут устанавливаться только на нерабочем торце дока.

Особенную сложность представляет закрытие кормового (рабочего) торца дока, через который осуществляется ввод и вывод судов. Конструкции этих закрытий в общем случае должны отвечать следующим требованиям:

простота и удобство установки, уборки и хранения закрытия;

обеспечение постановки в док судов со свесами оконечностей как при наличии у дока кринолинов, так и без них;

эксплуатационная надежность при работе в ледовой обстановке с учетом швартовки плавсредств к доку и минимальной глубины котлована под доком;

максимально возможная механизация и автоматизация работы устройства;

обеспечение наилучших ветрозащитных свойств в холодное время года и вентиляции междубашенного пространства дока в жаркое время года;

обеспечение работоспособности и прочности при предельной ветровой нагрузке, регламентируемой действующими нормами и правилами.

Относительной простотой конструкции отличаются плоские закрытия рабочего торца, выполненные в виде подъемно-поворотного [37] или раздвижного прочного экрана. Примерами таких закрытий являются подъемный настил кринолина (см. рис. 36), раздвижные ворота и съемные щиты для закрытых плавучих доков специального назначения [1, 42, 72, 74].

Калининградским высшим инженерным морским училищем предложено устройство для защиты плавучего дока от ветра и льда, содержащее потокообразователи, неподвижно установленные в нишах торцов башен дока, и балку П-образного поперечного сечения, укрепленную в вертикальных направляющих [1, 71]. Ветрозащитные шторы, выполненные из шарнирно-сочлененных металлических продольных пластин, связанных стяжными тросами, при натяжении тросов складываются и входят внутрь балки. Для выборки тросов внутри балки смонтированы вал с барабанами и электроприводной механизм вращения вала. Балка может перемещаться в вертикальных направляющих с помощью тросов и доковых шпилей (рис. 69). Всем этим конструкциям присущ общий недостаток — невозможность постановки в док судов с выходом их оконечности за пределы торца дока.

Этот недостаток устранен в конструкции кормового ветрозащитного устройства, установленного на плавучем доке подъемной силой 5000 тс [1, 61]. Устройство в плане имеет V-образную форму, что позволяет ставить в док суда со свесом оконечности за пределы торцов башен дока. Недостатком этой конструкции является невозможность осуществить полный подъем щитов, из-за чего в ДП и у башен дока образуются щели, а в нерабочем положении часть щитов закрытия (рис. 70) свисает за габарит кринолина, что снижает их эксплуатационную надежность и препятствует швартовке к доку плавучего крана для погрузки-выгрузки тяжеловесных деталей (гребного винта, руля и т. п.).

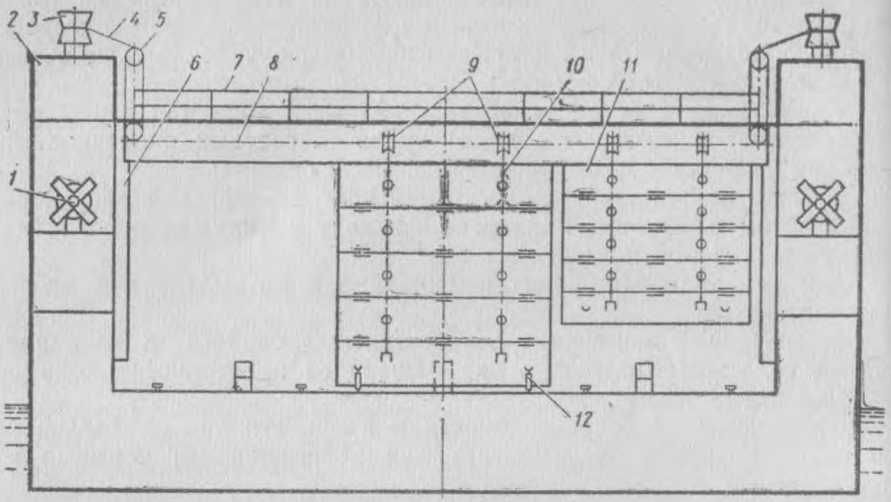


Рис. 69. Устройство для защиты плавучего дока от ветра и льда:
1 — потокообразователь; *2* — башня дока; *3* — шпиль; *4* — трос; *5* — блок; *6* — направляющие; *7* — леер; *8* — ось вала; *9* — барабаны; *10* — стяжной трос; *11* — пластинчатая штора; *12* — талреп

Для защиты междубашенного пространства дока при постановке в них судов с большими свесами разработано плавучее закрытие [I, 55], которое может применяться на доках как при наличии, так и при отсутствии кринолинов и позволяет ставить в док суда с выходом оконечностей за пределы стапель-палубы (рис. 71). Щиты закрытия, имеющие в плане трапецеидальную форму, укрепляются на понтонах с помощью приварных растяжек, а размеры элементов устанавливаются расчетом, учитывающим требования остойчивости сооружения при буксировке. Для плавучего дока подъемной силой 4500 тс масса одного закрытия составляет 45 т. Недостатком этой конструкции является сложность ее эксплуатации при ветрах и ледовой обстановке на аква-

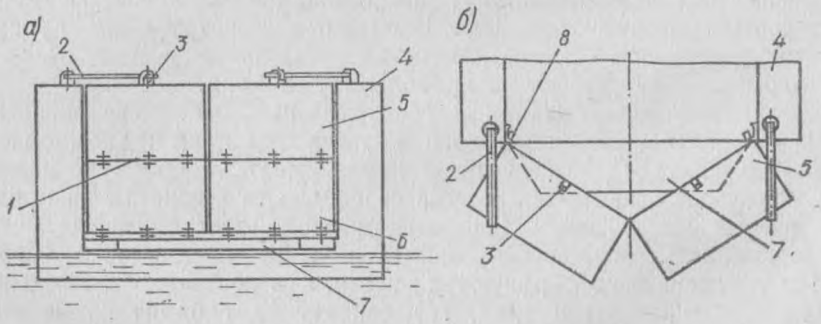


Рис. 70. Складывающееся ветрозащитное закрытие:
а — вид на торец дока; *б* — вид сверху; *1* — ось поворота створок; *2* — поворотный кронштейн; *3* — рым; *4* — башня дока; *5* — верхняя створка; *6* — нижняя створка; *7* — кринолин; *8* — вертикальные направляющие

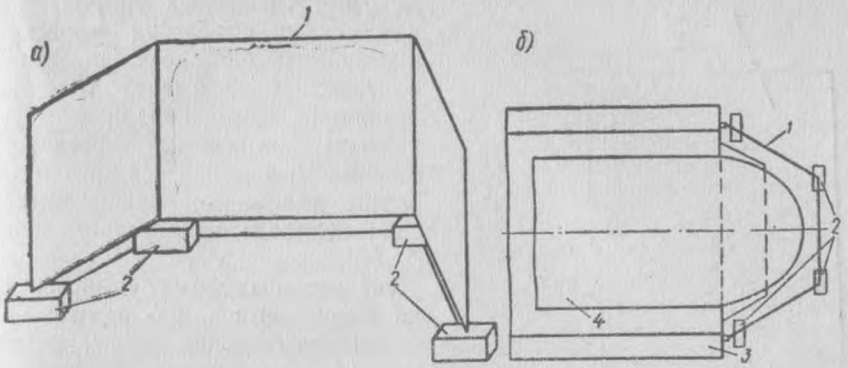


Рис. 71. Плавучее ветрозащитное закрытие:
а — вид с кормы дока; *б* — вид сверху; *1* — закрытие; *2* — понтоны; *3* — башня дока; *4* — оконечность судна

тории, обусловленная необходимостью буксировки закрытия от дока к причалу на период проведения доковой операции и повторной буксировки к доку.

В связи с ограниченностью в использовании плавучего закрытия Ленинградским кораблестроительным институтом выполнена эскизная проработка откидного закрытия рабочего торца серийного плавучего дока подъемной силой 12 000 тс. Закрытие может быть установлено на доке, имеющем кринолин [1, 64]. Защита торца дока обеспечивается поворотом закрытия из нижнего (нерабочего) положения на 90° вокруг горизонтальной оси (рис. 72). В рабочем положении закрытие полностью перекрывает пролет дока и не мешает вести работы по ремонту судна на кринолине. К недостаткам этого устройства следует отнести невозможность открытия и установки закрытия в рабочее положение без погружения дока.

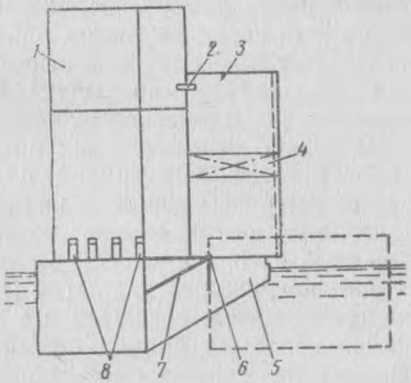


Рис. 72. Откидное ветрозащитное закрытие (пунктиром показано нерабочее положение):
1 — башня дока; *2* — стопор; *3* — щит; *4* — воздушный ящик; *5* — кринолин; *6* — ось вращения; *7* — несущие кронштейны; *8* — кильблоки

Ленморниипроектом совместно с Ленинградским ЦПКБ для плавучего дока подъемной силой 8500 тс разработан проект погружного ветрозащитного торцового закрытия, содержащего жесткий щит, который в зависимости от глубины котлована под доком может быть выполнен из расположенных одна над другой секций (рис. 73), укрепленных на торцах башен дока с помощью направляющих с возможностью вертикального перемещения и погружения в воду

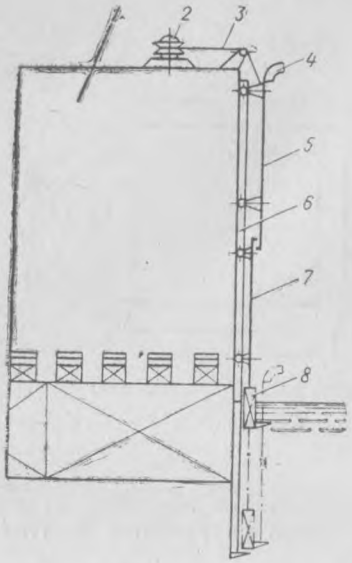


Рис. 73. Погружное телескопическое закрытие торца дока (пунктиром показано нерабочее положение): *1* — башня дока; *2* — шпиль; *3* — трос; *4* — ветроотбойный козырек; *5* — верхний щит; *6* — направляющие; *7* — нижний щит; *8* — понтон

до ограничительных упоров. Нижняя секция снабжена уравновешивающим ее массу понтоном, а верхняя — имеет тросовый привод подъема, связанный с доковыми шпилями. Фиксация верхней и нижней секций в рабочем положении осуществляется стопорными устройствами [I, 66].

Перед выводом судна из дока верхнюю секцию закрытия с помощью шпилей и тросового привода опускают на понтон нижней секции, при этом общая масса обеих секций превышает подъемную силу понтона, и обе секции погружаются в воду до ограничительных упоров. В этом положении верхняя кромка закрытия располагается ниже линии кильблоков, а нижняя — не выступает за основную линию днища дока. Такое положение секций регистрируется специальным датчиком.

После окончания доковой операции с помощью шпилей и тросового привода поднимают верхнюю секцию и фиксируют ее стопорным устройством в верхнем положении, а нижняя секция под воздействием силы плавучести понтона самостоятельно занимает верхнее рабочее положение. Общая масса щитов, направляющих и привода закрытия равна 40 т.

Закрытие может быть выполнено плоской формы (при отсутствии кринолина) или выпуклой формы, повторяющей очертания кринолина в плане, и установлено на любом торце дока.

С целью автоматизации приведения закрытия в рабочее и нерабочее положения привод подъема и опускания верхней секции может быть выполнен в виде тросового привода, связанного с понтонами-противовесами, которые обладают положительной плавучестью в воде и массой в воздухе, превышающей массу верхней секции погружного закрытия [I, 70]. При погружении дока понтоны-противовесы остаются на поверхности воды, а освобождающийся тросовый привод позволяет опускаться верхней секции до посадки на понтон нижней секции и далее до крайнего нижнего нерабочего положения. При всплытии дока понтоны-противовесы за счет своей массы, превышающей в воздухе массу закрытия, натягивают тросовый привод и приводят закрытие в рабочее положение (рис. 74).

Однако в ряде случаев возникает необходимость открытия или

закрытия устройства без погружения дока, например для улучшения вентиляции в жаркое время года или для выемки тяжеловесных деталей. Это требование обеспечивает устройство, в котором понтоны-противовесы помещают в специальные выгородки-шахты, встроенные в башни дока. Шахты соединяются трубопроводом в виде сообщающихся сосудов, чем достигается синхронность работы приводов обеих башен. Для открытия ветрозащитного устройства шахты заполняют водой от водяной системы дока, вследствие чего понтоны-противовесы всплывают, освобождая тросовый привод, и устройство приводится в нерабочее положение (рис. 75). Для установки закрытия в рабочее положение открывают клинкет для выпуска воды из шахт. Эти приводы могут быть применены и к другим типам открывающихся торцовых ветрозащитных закрытий.

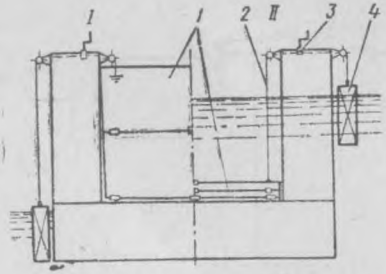


Рис. 74. Автоматический привод подъема и опускания закрытия:
I — в рабочем положении; *II* — в нерабочем положении; *1* — складывающиеся щиты; *2* — трос; *3* — стопор; *4* — понтон-противовес

С целью предотвращения повреждения погружного закрытия при швартовке плавучего крана или иного плавсредства к торцу дока секции закрытия при нахождении в нерабочем положении не должны выступать за линию привального бруса кринолина. Для удовлетворения этого требования погружной ветрозащитный экран следует устанавливать на торце дока с помощью составных вертикальных направляющих [I, 77], при этом верхние части направляющих крепятся к торцам башен дока неподвижно, а их нижние части монтируются посредством шарнирно-параллельных тяг, которые обеспечивают уборку ветрозащитного экрана под кринолин дока (рис. 76). При малой глубине котлована под кринолинами дока предложено использовать другой тип торцового ветрозащитного закрытия, которое содержит створки, монтированные с помощью шарниров на вертикальных осях, укрепленных на внешних углах торцов башен дока (рис. 77). Нижняя кромка свободного конца каждой створки оснащена погруженным под уровень воды понтоном, который соединен со створкой жесткой стойкой, за счет чего достигается уменьшение нагрузки на шарниры. В качестве механизма поворота ство-

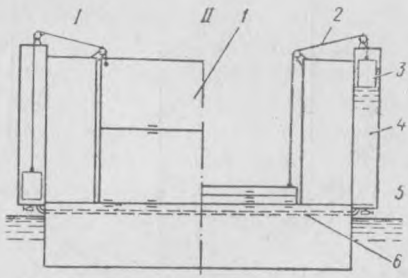


Рис. 75. Регулируемый привод подъема и опускания закрытия:
I — в рабочем положении; *II* — в нерабочем положении; *1* — складывающиеся щиты; *2* — трос; *3* — понтон-противовес; *4* — шахта; *5* — водовыпускной клапан; *6* — перепускной трубопровод

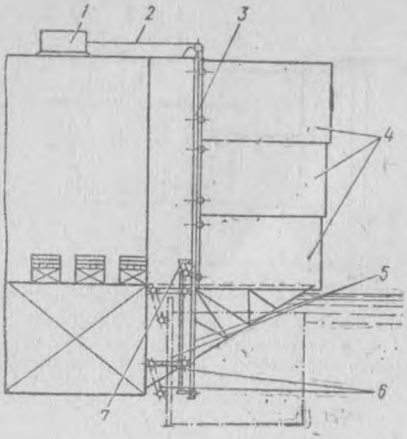


Рис. 76. Погружное телескопическое закрытие, убирающееся под кринолин дока (пунктиром показано нерабочее положение):

1 — привод подъема и опускания щитов закрытия; *2* — трос; *3* — неподвижные направляющие; *4* — щиты; *5* — подвижная часть направляющих; *6* — шарнирные тяги; *7* — стопор

рок служит реверсивный гребной движитель, встроенный в понтоне. Для изменения площади парусности створки выполнены с открывающимися проемами с помощью сдвигающихся щитов. В рабочем положении свободные концы створок соединяются посредством накидных талрепов. В нерабочем положении створки размещаются и крепятся вдоль наружных стенок башен дока. Во избежание повреждения створок под их нижними кромками на внешних стенках башен дока укреплен прочный продольный выступ, оборудованный привальным брусом.

Для повышения надежности работы торцовых закрытий при наличии льда на акватории целесообразно исключить постоянный контакт закрытия с водой. Это требование было учтено при разработке ветрозащитного устройства, изображенного на рис. 78, все элементы которого расположены выше стапель-палубы дока. Устройство содержит V-образную балку, концы которой подвижно соединены с вертикальными направляющими, укрепленными на торцах башен дока, а ее средняя часть с помощью гибкой связи и

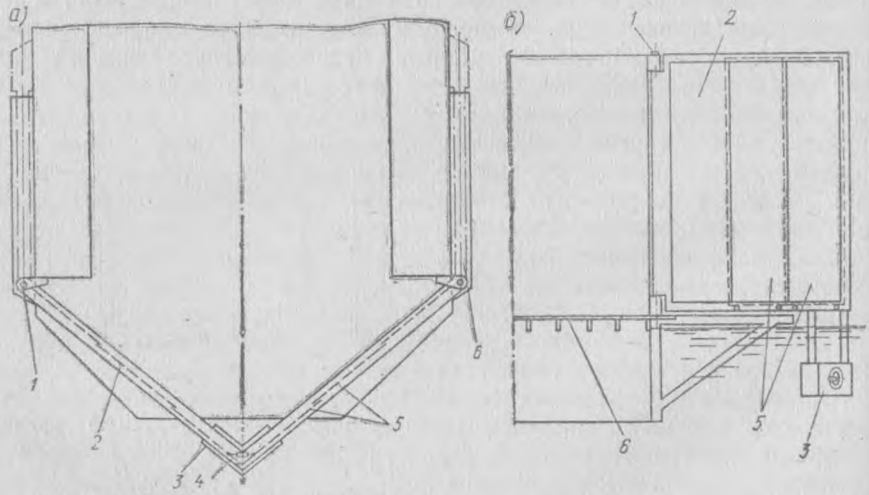


Рис. 77. Двустворчатое закрытие:

а — план; *б* — боковой вид; *1* — ось; *2* — створка; *3* — понтон со встроенным гребным движителем; *4* — талреп; *5* — сдвигающиеся щиты; *6* — продольный выступ

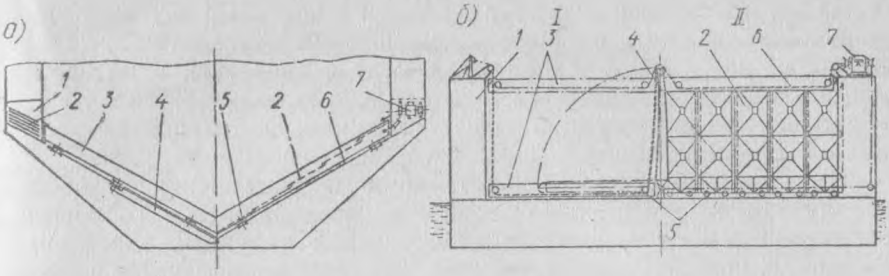


Рис. 78. Раздвижное закрытие:

а — план; *б* — вид на торец дока; *I* — в нерабочем положении; *II* — в рабочем положении; *1* — ниша для хранения раздвижных щитов; *2* — раздвижные щиты; *3* — верхняя направляющая балка; *4* — поворотная опора; *5* — ролики; *6* — цепь; *7* — брашпиль

блоков соединяется с поворотной опорой, установленной на кринолине дока. Гибкая связь (трос или цепь) одним концом закреплена на левой башне дока, а другой ее конец соединен с механизмом передвижения балки, который расположен на правой башне дока. К торцам башен пристроены специальные ниши, в которых в нерабочем положении размещаются выдвижные щиты. Балка и поворотная опора в нерабочем положении располагаются на кринолине дока и не возвышаются над линией кильблоков.

Для приведения закрытия в рабочее положение включают механизм передвижения балки, который выбирает гибкую связь (цепь) и посредством направляющих блоков разворачивает центральную опору из горизонтального положения в вертикальное. При дальнейшем выбирании цепи балка поднимается за три точки: по концам в вертикальных направляющих и в средней части по опоре. Во избежание перекоса и заклинивания балка связана со стапель-палубой дока двумя парами шарнирно-параллельных тяг. Когда балка доходит до верхнего рабочего положения, происходит автоматическое ее стопорение в трех точках. После этого включают привод передвижения выдвижных щитов, нижняя кромка которых оснащена ходовыми колесами, а верхняя — направляющими роликами. При выдвижении из ниш ведущих щитов происходит последовательное выдвижение остальных щитов посредством их поочередного зацепления друг с другом, и раздвижное закрытие, вверху опираясь на балку, а внизу — на направляющие рельсы, перекрывает все пространство между башнями дока. Приведение закрытия в нерабочее положение осуществляется в обратной последовательности. В отличие от предыдущего закрытия (см. рис. 77), данное устройство может применяться на плавучих доках при их близком взаимном параллельном расположении. Общая масса закрытия рабочего торца плавучего дока подъемной силой 30 000 тс составляет около 80 т. Выполнена эскизная проработка и изготовлена модель в масштабе 1 : 25 аналогичного устройства, в котором отсутствует верхняя опорная балка. Закрытие выполнено в виде двух вертикальных складывающихся ширм,

щиты которых соединены друг с другом с помощью петель. Устойчивость закрытия в рабочем положении обеспечивается тем, что на кринолине дока укреплен фундамент с прорезью, в которой с помощью роликов движутся и защемляются ширмы закрытия. В нерабочем положении ширмы в сложенном виде хранятся в специальных нишах, пристроенных к торцам башен дока.

С целью облегчения конструкции и повышения удобства эксплуатации предложено торцовое ветрозащитное закрытие, выполненное из соединенных между собой надувных эластичных резино-капроновых элементов (рис. 79). Концы надувных элементов оснащены жесткими вставками, оборудованными роликами, которые осуществляют подвижное соединение надувных элементов с вертикальными направляющими, укрепленными на торцах башен дока. Нижний элемент прочно соединен со стапель-палубой, а верхний — снабжен жесткой балкой коробчатого сечения [1, 79].

Для приведения закрытия в рабочее положение от доковой системы сжатого воздуха через редукционный клапан и воздухораспределительное устройство к надувным элементам последовательно, начиная с нижнего элемента, подают сжатый воздух. Под действием сил упругости элементы, раздуваясь, двигаются по вертикальным направляющим, закрывая пространство между башнями дока на всю их высоту. В нерабочее положение устройство приводится последовательным стравливанием воздуха из надувных элементов. Под тяжестью верхней жесткой балки устройство плавно опускается на стапель-палубу, где закрывается от механических повреждений коробчатой балкой и не возвышается над линией кильблоков.

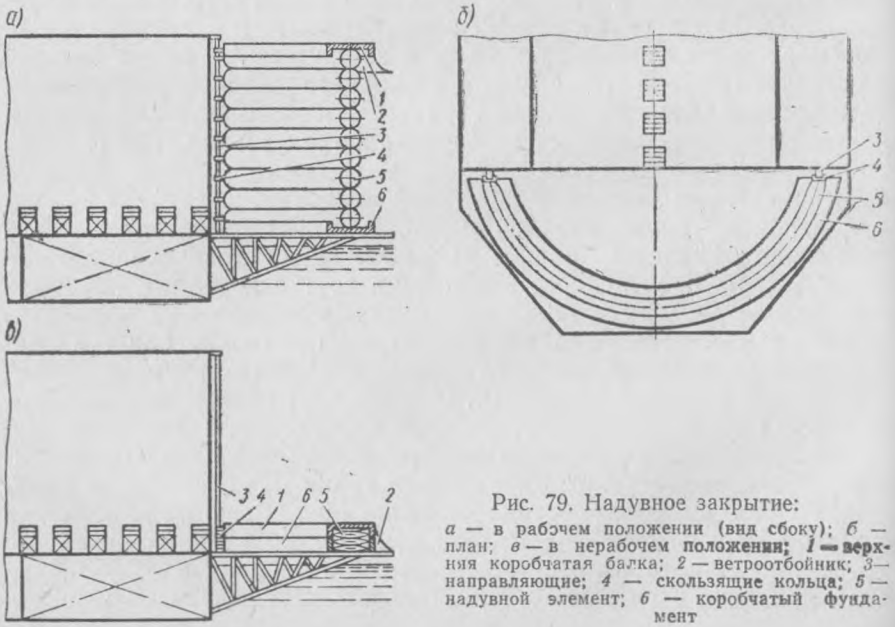


Рис. 79. Надувное закрытие:

а — в рабочем положении (вид сбоку); *б* — план; *в* — в нерабочем положении; *1* — верхняя коробчатая балка; *2* — ветроотбойник; *3* — направляющие; *4* — скользящие кольца; *5* — надувной элемент; *6* — коробчатый фундамент

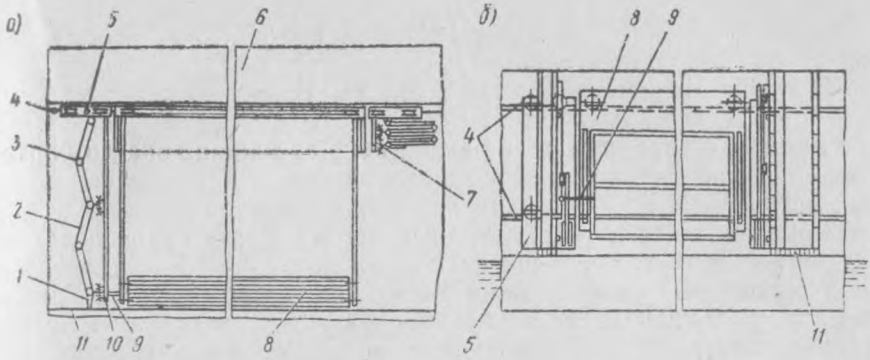


Рис. 80. Раздвижная промежуточная преграда:

а — план; *б* — вид на башню дока; *1* — уплотняющий элемент; *2* — вертикальные щиты; *3* — шарниры; *4* — направляющие рельсы; *5* — каретка преграды; *6* — башня дока; *7* — ролики; *8* — самоходные леса; *9* — поводок; *10* — направляющая поворотная штанга; *11* — борт судна

Верхние кромки торцовых закрытий с целью повышения эффективности ветрозащиты рекомендуется оборудовать ветроотбойниками, размеры конструктивных элементов которых приведены в ОСТ 5.1054—73 «Устройства ветрозащитные надводных кораблей и судов». Для улучшения сообщения между башнями дока верхняя кромка закрытий может быть оборудована настилом и складным леерным ограждением в виде переходного мостика.

Аэродинамические исследования ветрозащитных устройств на модели судна в доке показали, что при значительной длине плавучих доков (150—200 м и более) эффективное гашение ветрового потока с помощью торцовых ветрозащитных экранов наблюдается только в оконечностях доков. В средней части дока скорость воздушного потока восстанавливается, а в некоторых его районах даже превышает скорость набегающего потока.

Для устранения сквозняков, возникающих в междубашенном пространстве доков значительной длины даже при наличии торцовых закрытий, предложены некоторые конструкции преград, располагающихся по длине башен дока между бортами ремонтируемого судна и внутренними стенками башен.

В доках, не оборудованных самоходными лесами, преграды выполняются в виде щитов, поворотно монтируемых на вертикальных осях, укрепленных на внутренних стенках башен дока. Для установки и фиксации щита в рабочее и нерабочее положения устройство снабжается приводом поворота и стопорным приспособлением. Щит выполняется раздвижным по ширине с приводом регулирования ширины, а его кромка, обращенная к корпусу судна, оснащается уплотняющим элементом.

Для плавучих доков, оборудованных самоходными лесами, предложена раздвижная преграда, состоящая из вертикальных, шарнирно соединенных между собой секций, устанавливаемая с помощью каретки на рельсах самоходных лесов и взаимодействующая с последними (рис. 80).

Перед вводом судна в док преграда в сложенном состоянии вместе с самоходными лесами располагается в носовой части дока. В таком положении преграда не выступает за габариты лесов и не препятствует постановке судна в док. Перемещение преграды по длине дока и ее раздвигание от башни дока до борта стоящего в нем судна производится с помощью привода самоходных лесов посредством соединительных элементов-поводков. При выдвижении платформы самоходных лесов к борту судна поводок раздвигает вертикальные ширмы-секции до упора кромки преграды, оснащенной уплотняющим элементом, в борт судна. Таким образом, раздвижной щит образует жесткую, регулируемую по ширине преграду, перекрывающую по высоте все пространство между башней дока и бортом судна, полностью защищая от ветра работающих в доке в районе нахождения самоходных лесов. Сдвигание щита от борта судна в башне дока происходит совместно с перемещением платформы самоходных лесов [I, 78].

Аэродинамические исследования ветрозащитных свойств промежуточных вертикальных щитов, устанавливаемых между башнями дока и бортами судна, показали, что для устранения сквозняков щиты необходимо устанавливать на расстоянии 30—40 м друг от друга по длине дока. Однако оборудование дока вертикальными преградами, даже легко и быстро убираемыми, препятствует применению средств катучей механизации, не защищает рабочую зону дока от атмосферных осадков и не может быть использовано в целях сокращения теплопотерь при тепловоздушном способе создания зон микроклимата в доках.

Для защиты от атмосферных осадков рабочей зоны доков испытывались пленочные светопроницаемые секционные закрытия, натягиваемые между бортом судна и башнями дока. Были опробованы однослойные, многослойные армированные тросом и надувные закрытия. К недостаткам такого рода закрытий относятся сложность крепления к борту судна (особенно в районе надстроек), провисание под тяжестью осадков, трудоемкость и длительность установки и уборки, недолговечность применявшихся пленочных материалов.

С целью устранения недостатков, выявленных в процессе испытаний, разработаны два типа устройств для защиты рабочей зоны доков от ветра и осадков, выполненных в виде жестких выдвижных щитов из прозрачного материала, закрывающих сверху пространство между башнями дока и бортами судна.

Устройство, изображенное на рис. 81, выполнено из отдельных секций, каждая из которых подвижно смонтирована на внутренней стенке башни дока посредством тросовых растяжек, блоков и вертикальных направляющих. Для подъема и опускания каждый щит оборудован ручным тросовым приводом с управлением как с топ-палубы, так и со стапель-палубы дока. Плотность прилегания закрытия к борту судна достигается оснащением верхней кромки щитов упругим уплотнением. В нерабочем положении все щиты закрытия располагаются вертикально вдоль стенки башни до-

ка и не выступают за габарит привального бруса топ-палубы дока. Для установки закрытия в рабочее положение щиты, снабженные тросовыми растяжками, опирающимися на ходовые блоки, поочередно поднимают с помощью тросовых приводов. При этом ролики, укрепленные на нижних кромках щитов, перемещаются вверх по направляющим, верхняя кромка щита, оснащенная упругим уплотнением, выходит за габарит привального бруса топ-палубы и плотно прижимается к борту судна, а щиты занимают наклонное положение в сторону башни дока. Между нижней кромкой щита и башней дока образуется зазор для вентиляции и удаления атмосферных осадков с поверхности щита. Уборка щитов осуществляется в обратном порядке [I, 69].

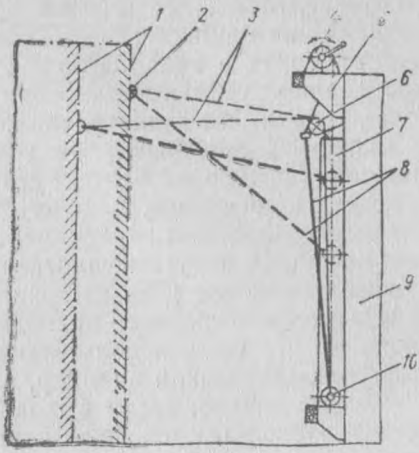


Рис. 81. Подъемно-выдвижное секционное закрытие:

1 — борт судна; *2* — уплотняющий элемент; *3* — тросовая растяжка; *4* — механизм подъема и опускания щита; *5* — трос; *6* — ходовой блок; *7* — направляющие; *8* — щит; *9* — башня дока; *10* — ролики

Недостатком этого устройства является необходимость оборудования каждого щита закрытия автономным приводом подъема и опускания.

Этот недостаток устранен в устройстве, изображенном на рис. 82. Закрытие выполняется в виде жестких продольных пластин из прозрачного материала, шарнирно смонтированных посред-

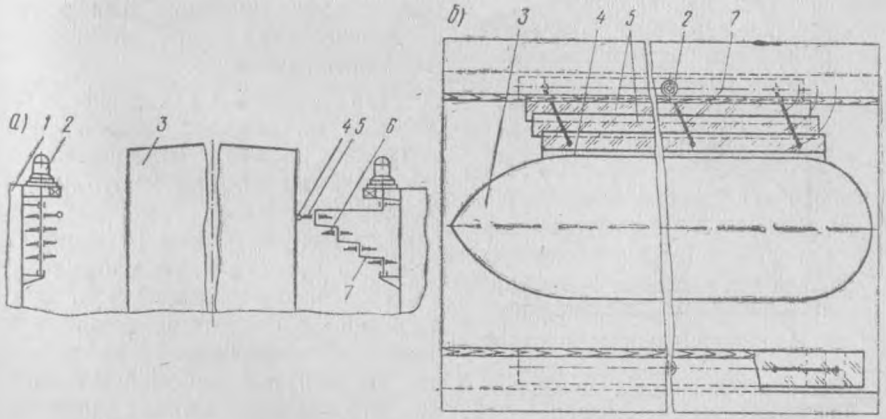


Рис. 82. Поворотно-раздвижное закрытие:

а — поперечный разрез; *б* — план; *1* — башня дока; *2* — механизм поворота; *3* — судно; *4* — уплотняющий элемент; *5* — пластины; *6* — вертикальный штырь; *7* — поворотный кронштейн

ством вертикальных штырей на поворотных кронштейнах, укрепленных на башнях дока. Пластины связывают все кронштейны одного борта в виде шарнирного параллелограмма и смонтированы на кронштейнах таким образом, что каждая последующая (от башни дока) пластина расположена с зазором выше предыдущей и частично перекрывает ее в плане. Для лучшего стока осадков по направлению от борта судна к башне дока закрытию придан уклон к башне дока, для чего оси вращения кронштейнов укреплены с наклоном к вертикали, а внешняя кромка верхней пластины оснащена упругим уплотнением. Для уборки закрытия в нерабочее положение один из поворотных кронштейнов (ведущий) соединен с реверсивным приводным механизмом, в качестве которого могут быть использованы мотор-редуктор, пневматический или гидравлический цилиндр, а также доковые шпили.

В том случае, когда выходные отверстия палубных шпигатов судна располагаются ниже линии примыкания щитов к борту судна, организованный спуск воды, стекающей с палубы судна, обеспечивают путем оборудования выходных отверстий шпигатов пробками с вставленными в них сточными патрубками или шлангами.

Следует отметить, что любое из двух устройств совместно с торцовыми ветрозащитными закрытиями способно надежно защитить рабочую зону дока от ветра при нахождении в нем одного судна. Однако при групповой постановке судов в доке эффективность защиты от ветра и атмосферных осадков резко снижается. Кроме этого, описанные устройства не обеспечивают защиты от осадков оконечности судна, где защита от ветра и осадков может осуществляться путем дооборудования металлических лесов, предназначенных для работ в оконечностях судов, локальными закрытиями.

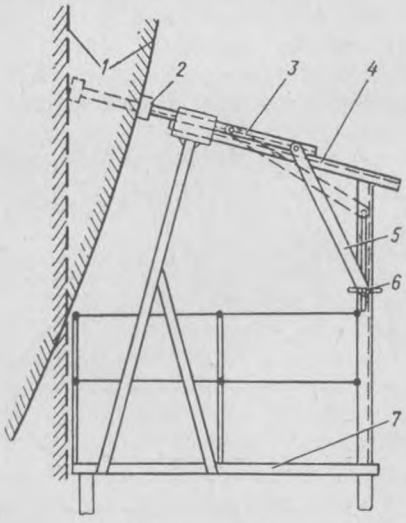


Рис. 83. Раздвижной навес над судокорпусными лесами:

1 — борт судна; *2* — уплотняющий элемент; *3* — выдвижная часть навеса; *4* — неподвижная часть навеса; *5* — привод раздвигания; *6* — фиксатор; *7* — верхняя площадка лесов

Для защиты от атмосферных осадков на каркасе лесов над верхней рабочей площадкой в специальных опорах монтируется раздвижной навес (рис. 83), которому придан уклон от корпуса судна, а кромка навеса, прилегающая к борту судна, имеет криволинейное очертание в плане и оснащена эластичным уплотнением. На верхней рабочей площадке установлены привод перемещения навеса и устройство для фиксации его в рабочем положении.

Защита от ветра рабочих, работающих на лесах в холодное время года, осуществляется закрытием лесов с боковых сторон жесткими щитами или брезентовыми полотнищами. Однако эти мероприятия затрудняют подачу материалов и оснастки к месту работы, ухудшают освещенность рабочих мест, ограничивают рабочее пространство.

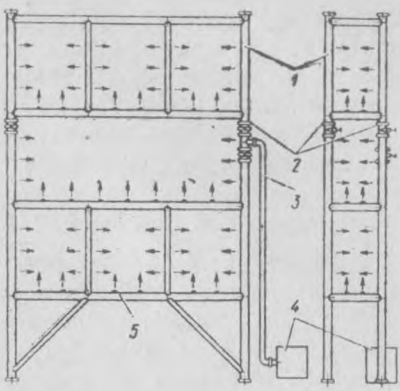


Рис. 84. Леса с тепловоздушной завесой:

1 — трубчатый каркас; *2* — распределительные клапаны; *3* — подводящий патрубок; *4* — калорифер (вентилятор); *5* — выпускные отверстия

Для защиты работающих на лесах от ветра, для обогрева в холодное и улучшения вентиляции в жаркое время года внутренние полости труб каркаса лесов предложено выполнять сообщающимися между собой и снабжать их воздуховыпускными отверстиями, ориентированными в плоскости наружного контура лесов (рис. 84). Трубы каркаса снабжают запорными клапанами, позволяющими разделить весь каркас на отдельные секции, соединенные с раздаточной трубой-коллектором, также являющейся несущим конструктивным элементом лесов, а коллектор с помощью шланга присоединяют к тепловоздушному калориферу (в холодное время года) или к вентилятору (в летнее время) [I, 75].

Все защитные устройства разрабатывались для оснащения эксплуатирующихся доков. Наибольшая эксплуатационная надежность и экономическая эффективность предложенных ветрозащитных устройств может быть достигнута при оборудовании доков на стадии их проектирования и строительства.

Для защиты окрашиваемых поверхностей судов от атмосферных осадков и мороза в ряде стран применяются рамные передвижные перекрытия [II, 28], закрытия из стеклопластика, подвешиваемые над сухим доком на мачтах, шторные передвижные конструкции с обогревом [II, 6, 30, 73]. В СССР построен плавучий ангар для исключения влияния неблагоприятных метеорологических факторов на производительность труда и качество достроечных работ на судах. Корпус ангара состоит из двух понтонов с водонепроницаемыми отсеками. Понтоны, расположенные параллельно друг другу, соединены арочными фермами, которые служат каркасом перекрытия и стен ангара. Кровля и торцовые стены ангара выполнены из прозрачного стеклопластика толщиной 3 мм. Для удобства выполнения работ ангар оборудован двумя ярусами галерей, соединенными переходными трапами. Согласно расчетам, расходы на строительство плавучего ангара окупаются за 5 лет [42].

Наиболее полно вопрос защиты судов и рабочего контингента от непогоды решен в крытых судостроительных эллингах [I, 30, 76].

Весьма привлекательной является идея полного закрытия группы плавучих или сухих доков с установленными в них судами с помощью воздухоопорных, пневмокаркасных и воздухоплавательных оболочек больших пролетов [38]. Однако строительство такого закрытия в условиях действующего предприятия и эксплуатирующихся доков является весьма трудно осуществимым мероприятием.

§ 15. ОБОГРЕВ РАБОЧИХ ЗОН НА ДОКАХ

Эффективный обогрев рабочих мест, подогрев и сушка корпуса судна перед окраской и ускорение процесса сушки наносимого на корпус судна лакокрасочного покрытия могут быть достигнуты при условии изоляции обогреваемого объема от окружающей атмосферы. В общем случае, эта изоляция междубашенного пространства плавучего дока должна содержать ветрозащитные экраны по торцам дока, закрытие проемов в оконечностях башен и перекрытия между бортами корпуса судна и башнями дока.

До последнего времени основным направлением создания зон микроклимата на доках являлся местный обогрев с помощью газовых инфракрасных излучателей, основной функцией которых является терморадиационная сушка окрашиваемых поверхностей подводной части корпусов судов в доках. В связи со сложностью хранения емкостей с газом и подачи газа на док к горелкам, опасностью использования в доках открытого огня, а также из-за односторонности обогрева работающих этот метод не получил распространения.

В крытых доках и эллингах обогрев рабочей зоны эффективно решается с помощью системы парового отопления. В обычных сухих и плавучих доках, оборудованных закрытиями от ветра и осадков, наилучшим методом обогрева рабочих мест и сушки окрашиваемых поверхностей судов признан тепловоздушный метод [I, 10]. Однако производство большого количества нагретого воздуха и обеспечение достаточно равномерной его раздачи в доке являются сложной задачей. В качестве агрегатов для подогрева воздуха обычно используются электрические или паровые калориферы. В связи с тем что калориферы имеют значительные габариты, их установка на доках затруднена.

Впервые тепловоздушной установкой был оборудован в СССР плавучий док подъемной силой 5000 тс. Установка состояла из четырех газовоздушных теплогенераторов, работающих на природном газе, установленных на специально смонтированных площадках на одной из башен дока, вентиляторов, системы подводящих и горизонтальных раздаточных трубопроводов подогретого воздуха. Вентиляторы предназначены для нагнетания под корпус стоящего в доке судна зимой подогретого воздуха, а летом — свежего атмосферного воздуха (рис. 85). Температура в доке в зимнее время была повышена на 8—12° С, что позволило на 25—30% сократить время сушки лакокрасочных покрытий наружной обшивки корпусов судов, провести гидравлические испытания цистерн и отсеков кор-

пусов без подогрева воды и повысить производительность труда доковых рабочих.

К недостаткам установки относятся громоздкость конструкции теплогенераторов и заполнение подводящих горизонтальных ветвей воздухопроводов водой в период доковой операции. В настоящее время система микроклимата на этом доке находится в стадии дальнейшего совершенствования [47].

Ленморниипроектом разработана доковая энергетическая установка, предназначенная для создания микроклимата в доке и защиты дока от льда [I, 49].

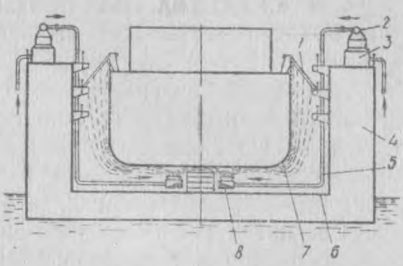


Рис. 85. Тепловоздушная сушка наружной поверхности корпусов судов в доке:

1 — закрытие; *2* — вентилятор; *3* — тепловоздушный генератор; *4* — башня дока; *5* — подводящие воздухопроводы; *6* — стапель-палуба дока; *7* — корпус судна; *8* — воздухораздаточные коробы

К преимуществам установки относятся компактность теплогенератора, автоматизация его работы, большая мощность в одном агрегате при малой стоимости, надежность и простота эксплуатации. Регулировка раздачи подогретого воздуха осуществляется с помощью запорно-эжекционных насадков, в верхней части которых предусмотрен конусный регулятор расхода, одновременно формирующий струю и являющийся запорным устройством (рис. 86).

В районе, подлежащем воздушному обогреву, открывают определенное число эжекционных насадков вращением конфузора. Горячий воздух через выпускной патрубок протекает через кольцевой зазор между верхней кромкой насадка и конусным распределителем, образуя равномерный широкий факел. При этом в нижней части насадка создается разрежение и происходит подсос наружного воздуха, понижающего температуру и увеличивающего общий расход теплоносителя. Объем подсасываемого воздуха регулируется вращением конфузора. Потоки теплого воздуха омывают корпус ремонтируемого судна и обогревают его, ускоряя процесс сушки и повышая качество окраски наружной обшивки судна. Одновременно в районе выпуска теплого воздуха улучшается вентиляция и повышается температура рабочей зоны, что улучшает условия труда в доках. Перед погружением дока насадки закрывают [I, 63].

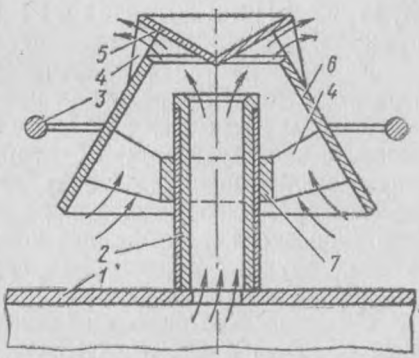


Рис. 86. Газовоздушная эжекционная насадка:

1 — раздаточный трубопровод; *2* — выпускной патрубок; *3* — рукоятка; *4* — пластины; *5* — распределитель; *6* — конфузор; *7* — ходовая гайка

§ 16. СРЕДСТВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫХ РАБОТ В ПОРТАХ ПРИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ ПОГОДЫ

Атмосферные осадки увеличивают время простоя судов под обработкой в портах. Только по портам Владивосток и Находка в 1970 и 1971 гг. они составили 11,9 и 12,6% от всего стояночного времени [46]. Взаимодействуя с некоторыми грузами, они являются причиной самовозгорания, выделения вредных газов, коррозии [16].

Для защиты грузов от осадков на пути перемещения груза между складом и судном защитным покрытием снабжается груз или участок причала. Используются закрытые транспортеры, а над открытыми монтируют легкие переставные перекрытия. При перегрузке грузов кранами над люковыми закрытиями судов в период снегопада или дождя устанавливают экранирующие устройства различных конструкций. Таким образом, все локальные укрытия можно условно разделить на береговые и судовые.

За последние годы во многих странах разработаны и запатентованы устройства для производства погрузочно-разгрузочных операций при дожде и снегопаде. При разработке устройств, препятствующих попаданию атмосферных осадков в трюмы, должны быть предусмотрены:

надежность защиты открытых грузовых люков от осадков и возможность производства погрузочно-разгрузочных операций;

устойчивость устройства при ветровой нагрузке;

легкость и быстрота монтажа и демонтажа устройства;

возможность разборки устройства на составные части и его перевозки.

Во многих устройствах основными элементами закрытий являются грузовые мачты и стрелы, съемные каркасы и натягиваемые на них с помощью тросов гибкие водонепроницаемые полотнища. Такого типа устройства описаны в авторских свидетельствах СССР [I, 17, 32, 51] и в патентах ФРГ [II, 37], Швеции [II, 68, 71, 72], Норвегии [II, 8], Японии [II, 75—77] и других стран.

У большинства этих устройств, в полотнищах над трюмами, предусмотрены прорези для прохода грузового троса. Однако установка этих устройств в рабочее положение связана с затратами времени, а эксплуатация — с необходимостью весьма точной подачи груза в определенную точку закрытия. У некоторых из этих устройств предусмотрены дополнительные перегрузочные механизмы, что удорожает и утяжеляет конструкцию закрытия, а необходимая в этих случаях перестропка груза увеличивает время погрузочно-разгрузочных работ.

С целью повышения надежности защиты трюмов от атмосферных осадков в СССР, США и Франции запатентованы трюмные закрытия, имеющие отверстия для прохода груза, открытие или закрытие которых осуществляется автоматически в зависимости от поворота грузового крана [II, 25] или положения грузового троса [I, 17; II, 44, 67].

Фирма «Мак-Грегор» поставляет устройства для оборудования судов тентовыми укрытиями, позволяющими избежать попадания

дождя и снега в трюм во время погрузочно-разгрузочных работ. Устройство состоит из двух шарнирно закрепленных на комингсе люка брезентовых тентов. Открытие или закрытие просвета над люком выполняется за 5 с с помощью пневматических домкратов, управляемых ручным рычагом или педалью. Стык на соединении тентов оборудован резиновыми полосами, укладываемыми внахлестку. По-походному тент укладывается вдоль комингса люка.

В ряде стран (СССР, Франции, Швеции, Японии и др.) запатентованы устройства для защиты грузовых трюмов с помощью воздушных завес, создаваемых вентиляционными установками. Устройства включают систему раздаточных сопл, смонтированных вместе с вентилятором на раме переносного закрытия, устанавливаемого над трюмом [I, 36, 40; II, 45, 70, 78]. Создаваемая над люком воздушная завеса защищает трюм от попадания атмосферных осадков (дождя, снега) и не препятствует выполнению грузовых операций.

В порту Владивосток создано эффективное судовое влагозащитное устройство «Морось-3». Оно состоит из рамы с прорезью, расширяющейся на конце. К раме прикреплены водонепроницаемые полотнища, соединяемые с палубой или комингсом люка. На раме установлен вентилятор с воздуховыпускным соплом, направляющим воздушный поток вдоль прорези рамы. Рама оснащена тросовыми растяжками, с помощью которых устройство поддерживается над люком судовой стрелой (рис. 87).

Рама устройства выполнена из двух параллельных двутавровых балок длиной по 5000 мм. Свободные концы балок оборудованы направляющими отростками длиной по 700 мм, расширяющимися под углом 30° и обеспечивающими беспрепятственную заводку грузовых канатов в прорезь устройства. С обратной стороны рамы установлен вентилятор с соплом.

Устройство позволяет обслуживать трюмы с механическими или обычными люковыми закрытиями шириной до 11 м, раскрытыми на длину до 12 м при ветре не свыше 6 баллов. В собранном виде установка весит 1850 кг [46].

Для защиты от атмосферных осадков влагобоящихся грузов при выгрузке их из железнодорожных вагонов разработан проект тамбура для обработки вагонов в дождливую погоду. На горизонтальной платформе размерами в плане 3500×2000 мм смонтирован каркас из металлического уголка. Две боковые стороны каркаса зашиты листовой сталью толщиной 2 мм. Крыша

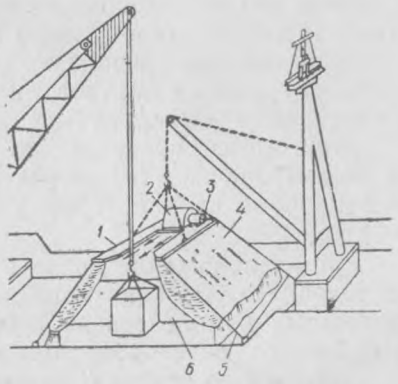


Рис. 87. Устройство для защиты грузового трюма от осадков:
1 — рама; *2* — вентилятор; *3* — строп; *4* — водонепроницаемое полотнище; *5* — оттяжки; *6* — люк трюма

тамбура плоская, с уклоном в сторону от вагона, имеет козырек шириной 300 мм, входящий в дверной проем вагона. В платформе имеются гнезда для вил автопогрузчика. На ней размещаются стандартный поддон и 2—3 рабочих. Сформированный поддон накрывают чехлом из водонепроницаемой ткани и в таком виде транспортируют на судно или в склад. Однако эти местные закрытия не обеспечивают полное решение проблемы влияния атмосферных осадков на простои судов и сохранность грузов. Поэтому во многих странах изучается вопрос о целесообразности применения крытых причалов для проведения погрузочно-разгрузочных операций, стоимость возведения которых примерно в 2 раза выше, чем стоимость обычных. Очевидно, что на решение вопроса о целесообразности строительства крытого причала будут оказывать влияние конкретные условия работы порта: климат, в том числе продолжительность периода с осадками, объем и сезонность поступления влагорежимных и влагобоящихся грузов, число дней с ветром при скоростях, препятствующих работе кранового оборудования, а в северных районах должны приниматься во внимание сочетания ветра и мороза, при которых ограничиваются или прекращаются работы на открытых площадках.

Крытые причалы построены и эксплуатируются в речных портах Базель (Швейцария), Тионвиль-Иланж (Франция) и Вальзум (ФРГ) [66], в Миллуоллских доках Лондонского морского порта [62], разрабатываются проекты строительства крытых причалов над доками в Ливерпуле, Манчестере, Глазго, Гулле (Англия) и в Сиднее (Австралия) [53, 60]. При этом рассматриваются две схемы устройства крытых причалов, имеющих: сплошное двухопорное перекрытие над судном или двумя судами [II, 74] и одностороннее консольное перекрытие [48].

Однако все известные перегрузочные комплексы, как построенные, так и проектируемые, не предназначены и не способны обеспечить увеличение периода погрузочно-разгрузочных операций в суровых климатических условиях северных портов при продлении там навигации по следующим причинам:

строение над причалами, выполняемое в виде перекрытия для защиты грузов от осадков, лишено торцовых закрытий, что не позволяет создать микроклимат;

отсутствуют средства для поддержания акватории у причала в незамерзающем состоянии, предотвращения туманообразования и попадания на акваторию у причала битого льда с акватории порта;

при расположении порта в устьевых районах северных рек, отличающихся высоким паводком и мощным ледоходом, причалы известных комплексов во избежание разрушения перегрузочных механизмов ледоходом должны иметь повышенную прочность и возводиться до отметки, возвышающейся над наивысшим уровнем паводка и ледохода.

При проектировании и строительстве перегрузочных комплексов в районах с суровыми климатическими условиями должны пре-

дусматриваться специальные мероприятия, направленные на обеспечение скоростной обработки судов и сохранности грузов, улучшение условий швартовки судов в ледовых условиях и работы людей и механизмов при сильных морозах, ветре, снегопаде. Этим требованиям в наибольшей степени отвечают перегрузочные комплексы, размещаемые в ангарах.

Для этого пространство, образованное перекрытием над причалами, должно быть выполнено замкнутым и снабжено воротами с тепловоздушными завесами, а бассейн, образуемый причалами, должен поддерживаться в незамерзающем состоянии путем сброса в его тупиковой части подогретой воды. Для предотвращения туманообразования и сокращения теплопотерь водная поверхность бассейна может быть покрыта теплоизоляционным слоем, а вход в бассейн оборудован барботажной установкой, предотвращающей вынос из бассейна теплоизоляционного покрытия и попадание в бассейн с акватории порта битого льда.

Безопасность и быстрота ввода и вывода судов обеспечиваются установкой на входе в бассейн направляющих палов и оборудованием причальных стенок бассейна вращающимися кранцами и тяговыми тележками.

Обогрев помещения крытого перегрузочного комплекса, снабжение подогретым сжатым воздухом тепловоздушных завес проемов ворот и барботажной установки на входе в бассейн, а также поддержание акватории бассейна в незамерзающем состоянии могут осуществляться от одного источника — тепловоздушного генератора, выполненного на базе авиационного двигателя.

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСА ПРОТИВОЛЕДОВЫХ СРЕДСТВ

§ 17. СУДОХОДНЫЕ ШЛЮЗЫ И КАНАЛЫ

На результаты работы шлюзов, подходных каналов, портовых и судоподъемных сооружений, эксплуатирующихся в зимний период, оказывают влияние четыре основных климатических фактора: прочный ледяной покров, битый дрейфующий лед, обледенение конструкций и метеорологические элементы (ветер, температура воздуха, атмосферные осадки). Поэтому при конкретном проектировании важно, с экономической точки зрения, выбрать из существующего арсенала средств такие, которые в наибольшей степени соответствовали бы климатическим условиям проектируемого объекта и с наименьшими затратами обеспечивали комплексное решение защиты объекта от воздействия присущих ему природных явлений и порождаемых ими эксплуатационных затруднений.

Выбору средств комплекса должны предшествовать сбор, изучение и анализ исходных данных, характеризующих конкретные условия и затруднения, возникающие в зимний период, с выделением основных факторов, оказывающих решающее значение на эксплуатационную деятельность конкретного объекта проектирования. Общим принципом проектирования и строительства является такая работа комплекса защитных средств, которая способна преодолеть самые тяжелые затруднения, проявляющиеся в наиболее суровые зимы. Стоимость и экономическая эффективность защитных мероприятий тем выше, чем суровее климатические условия и чем на больший срок увеличивается период работы объекта.

Судоходные шлюзы, построенные в СССР до Великой Отечественной войны, не имели устройств, предназначенных для обеспечения их нормальной работы при отрицательных температурах воздуха. На шлюзах, построенных позднее, был предусмотрен электромасляный обогрев уплотнений на воротах. Однако один он был не в состоянии обеспечить бесперебойную работу шлюза при отрицательных температурах, а другие мероприятия и устройства на вновь проектируемых и строящихся шлюзах не предусматривались.

Наиболее приспособлены для зимней эксплуатации шлюзы Сайменского канала. На верхней голове шлюза предусмотрен обогрев всего контура уплотнения путем пропуска электрического тока непосредственно по закладным частям. Для предотвращения пример-

зания льда к затвору используется пневматическая установка. На нижней голове, со стороны камеры, предусмотрен обогрев ворот и стенок шкафных ниш, который исключает примерзание к ним льда на уровнях верхнего и нижнего бьефов. Для удаления битого льда из шкафной части и для обеспечения маневрирования двустворчатых ворот установлены потокообразователи, которые представляют собой глубинные погружные насосы, размещенные в специальной нише шкафа.

Основным затруднением при шлюзовании в ледовых условиях является постоянное попадание в камеру шлюза битого льда, заталкиваемого судами из верхнего и нижнего подходных каналов. При опорожнении камеры, особенно в шлюзах с головной системой опорожнения, находящийся в камере битый лед течением подгоняется к воротам нижней головы, в результате чего участок камеры и шкафная часть двустворчатых ворот сплошь заполняются битым льдом. Для отгона такой массы льда струями потокообразователей необходимо создать на сравнительно большом расстоянии от агрегата скорость потока не менее 1,1 м/с. Мощность такого потокообразователя должна быть не менее 300 кВт. Поэтому защита участка камеры шлюза в районе ворот обеспечивается комплексом средств.

Для обеспечения работы в ледовых условиях один из шлюзов канала им. Москвы оборудован экспериментальным комплексом противоледовых устройств, состоящим из двух погружных ледоудерживающих запаней и двух пар потокообразователей, в качестве которых применены погружные насосы марки ЭЦВ-12-210-25 (рис. 88). Ледоудерживающие запани изготовлены из металли-

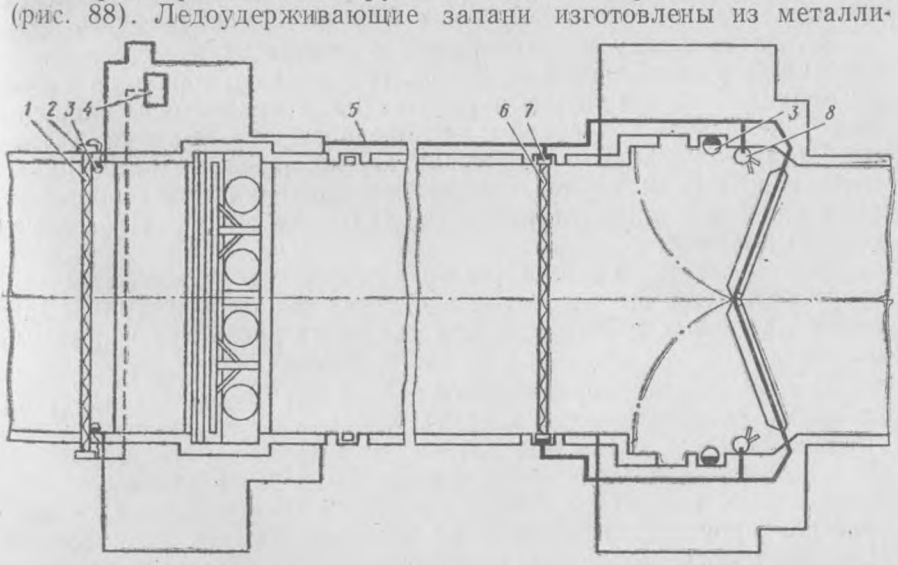


Рис. 88. Схема оснащения шлюза противоледовыми устройствами:

1 — подвижная ледоудерживающая запань (ПЛЗ) верхней головы; *2* — подъемный механизм ПЛЗ; *3* — погружные насосы; *4* — пульт управления; *5* — воздухопровод; *6* — ПЛЗ нижней головы; *7* — понтоны с подъемными механизмами; *8* — выпускные сопла

ческой сетки с размерами ячеек 60×60 мм, окаймленной стальными тросами диаметром 14,5 мм. Сетка имеет высоту 1,8 м и в рабочем положении в середине пролета между стенками шлюза возвышается над уровнем воды на 15—20 см. Запань, установленная перед воротами нижней головы, крепится к поплавкам, размещенным в пазах плавучих рымов, что дает ей возможность следовать за уровнем воды в камере.

При наполнении камеры запань верхней головы находится в верхнем (рабочем) положении и удерживает битый лед от попадания в зону движения сегментного затвора. При подходе судна запань с помощью электрических лебедок опускают на дно камеры. После захода судна в шлюз включают потокообразователи верхней головы, отгоняющие битый лед от затвора. Затем запань поднимают в рабочее положение, а потокообразователи выключают.

Запань нижней головы при заходе судов в камеру находится в рабочем положении, при опорожнении камеры она самостоятельно опускается вместе с поплавками и уровнем воды в камере, предохраняя от заполнения битым льдом пространство перед двустворчатыми воротами. После открытия ворот запань принудительно опускают на дно камеры, и суда выходят из шлюза. Затем двустворчатые ворота закрывают, включают потокообразователи и устанавливают в рабочее положение запань нижней головы.

Кроме запаней и потокообразователей, в состав противоледового комплекса для шлюзов входят обогревающие устройства плавучих рымов, ворот и механизмов, в качестве которых могут использоваться рефлекторные лампы или электрокалориферы.

В период между шлюзованиями в камере рекомендуется поддерживать уровень верхнего бьефа, при котором напорная сторона верхних ворот, их пазы и уплотнения, а также пазы плавучих рымов находятся под водой и не обледеневают. Верхний затвор находится в судоходном положении, запани перед верхними и нижними воротами находятся в рабочем положении, потокообразователи при необходимости работают для поддержания майн перед воротами шлюза.

Достоинством предложенного комплекса противоледовых средств является его универсальность, так как он может быть применен на любых действующих, а также на вновь проектируемых шлюзах.

Для отгона льда из шкафных частей двустворчатых ворот на шлюзах Волго-Балтийской системы первоначально применяли погружные насосы, затем водометные установки, но эти устройства не дали желаемого результата и были заменены пневматическими установками. Воздух в установки подается от передвижных компрессоров производительностью 5—9 м³/мин (марок ЗИФ-55 или ДК-9М), а сосредоточенные воздуховыпускные отверстия подводящих трубопроводов расположены в углах шкафных частей.

Для устранения примерзания уплотнений ворот к закладным частям предложено устройство для наружного обдува их нагре-

тым воздухом [I, 14], воздуходувно-нагревательные элементы которого выполнены в виде перфорированных труб, устанавливаемых непосредственно на затворе вдоль его кромок. Воздуховыпускные отверстия перфорированных труб снабжаются соплами, направленными на закладные части и уплотнения. Для этой же цели используется индукционный обогрев уплотнений посредством укладки четырех витков электрического кабеля КВВГ 7×6 в трубы или коробки, укрепленные в непосредственной близости от уплотняющих элементов.

С целью повышения надежности защиты ниш створчатых ворот шлюзов предложено автоматически действующее устройство, содержащее сетчатые шторки, отдельные для каждой створки ворот [I, 13]. Один конец шторки закреплен на плавучем рыме, перемещающемся по вертикальным направляющим, установленным на створном конце створки ворот. Второй конец шторки закреплен на катушке, свободно посаженной на оси второго плавучего рыма, расположенного в направляющем колодце, который устроен в конце ниши створок ворот. Второй плавучий рым снабжен опорными роликами, перемещающимися по вертикальным направляющим, укрепленным на стенке колодца. На одной оси с катушкой установлен жестко с ней соединенный барабан с тросом, соединенным через систему направляющих роликов с грузом-противовесом, чем обеспечивается постоянное натяжение шторки как при открытой, так и при закрытой створке ворот (рис. 89). При полностью открытых воротах вся шторка навернута на катушку и груз опущен в самое нижнее положение. При закрывании ворот шторка разматывается с катушки, груз поднимается в верхнее положение, а плавучие рымы, следуя за уровнем воды в камере или бьефе, все время удерживают шторку в зоне уровня воды так, что битый лед из камеры не проникает в ниши створок ворот.

Работоспособность плавучих рымов в условиях обледенения обеспечивается индивидуальным обогревом корпуса рыма с помощью электропечей и выпуска сжатого воздуха у дна ниши рыма.

На шлюзах Волго-Балтийской системы отрабатывается специальный режим работы судопропускных сооружений, где с целью

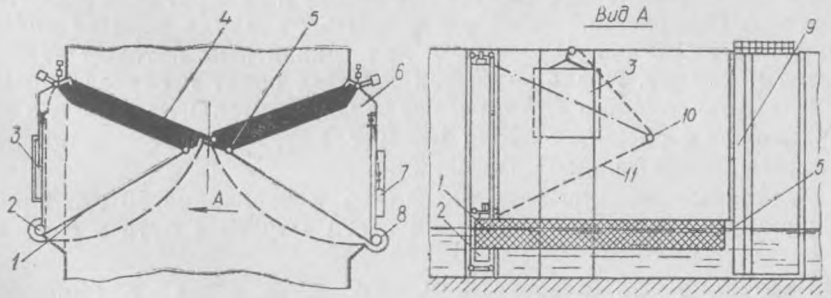


Рис. 89. Сетчатая защита створчатых ворот от битого льда:
1 — сетка; *2* — плавучий рым с барабаном; *3* — груз; *4* — створка ворот, *5* — плавучий рым; *6* — ниша створки; *7* — ниша для груза; *8* — колодец с направляющими; *9* — направляющие; *10* — блок; *11* — трос

освобождения камер от льда применяют их промывку пропуском воды в количестве 60 м³/с через верхнюю голову шлюза при полностью открытых воротах нижней головы. Ранней весной проводится специальная подготовка шлюзов к навигации. Камеры, ворота и затворы освобождаются от льда созданием постоянного пропуска воды с расходом 15—20 м³/с через клинкеты ремонтных ворот верхней головы при полностью закрытых воротах нижней головы и открытых затворах галерей. Лед в камере и на затворах разрушается полностью за 3—4 сут. Кроме того, ниже шлюза образуется полынья длиной до 70—150 м [10].

Одним из мероприятий по продлению эксплуатации шлюзов при отрицательных температурах воздуха является обогрев тяговых цепей подъемно-опускных ворот верхней головы частичным закрытием пазов ворот и подачей в ниши пазов теплого воздуха от калориферов.

Внедрение комплекса противоледовых мероприятий на шлюзах Волго-Балтийской системы повысило надежность и увеличило срок их работы в ледовых условиях на 1 мес [22].

Обеспечению эксплуатации судоходных шлюзов в ледовых условиях уделяется большое внимание и за рубежом. На морском пути Св. Лаврентия проводятся работы как на шлюзах, так и на самом пути. Для обеспечения надежного действия двустворчатых ворот шлюзов при отрицательных температурах наружного воздуха на пяти шлюзах смонтированы пневматические установки, состоящие из двух стационарных компрессоров производительностью по 14 м³/мин и раздаточных трубопроводов с электроприводными задвижками, управляемыми из ЦПУ. С помощью этих установок в камере у ворот поддерживаются незамерзающие участки акватории и обеспечивается отгон плавающего битого льда из шкафной части ворот. Для облегчения отгона льда из шкафной части ее стенка на уровне нижнего бьефа имеет нишу с плавным переходом к лицевой поверхности камеры.

Для пропуска битого льда в осенне-весенний период в шлюзах устраиваются дополнительные водопроводные галереи в стенке падения верхней головы с выпусками из нее в камеру. Для пропуска льда при наполненной камере и открытых верхних воротах поднимаются затворы опорожнения, и лед транзитным потоком затягивается в камеру. После закрытия верхних ворот и сброса призмы открываются нижние ворота и через дополнительную галерею подается вода с расходом около 100 м³/с, которой лед выгоняется из камеры в нижний подходный канал.

Указанные мероприятия позволили в последние 10 лет продлить навигацию на шлюзованной части морского пути в среднем на 1 мес.

Навигация на участке морского пути ниже г. Монреаля продолжается целый год. Это стало возможным после постройки выше города специального ледоудерживающего сооружения в виде плотины с низким флютбетом и плавающими в пазах устоев шан-

дорами, которые не препятствуют пропуску воды, но задерживают лед.

Для предотвращения выноса ледяных полей с пойм и из боковых притоков на наиболее затруднительных в ледовом отношении участках вдоль судового хода устанавливаются плавучие боны или возводятся намывные защитные острова. Благодаря этим мероприятиям в осеннее время обеспечивается более раннее и устойчивое образование ледяного покрова за пределами судового хода [11].

Увеличение сроков навигации в ледовых условиях вплоть до осуществления круглогодичной навигации и проводка транспортных судов без сопровождения ледоколов успешно решаются в портах, расположенных в устьях рек, акватория морского бассейна перед которыми периодически очищается от льда под воздействием отжимных ветров, течения и отливных явлений. В этих условиях эффективным средством продления навигации служит взлом ледяного покрова по трассе судового хода с последующим сплавом битого льда в море.

Причалы архангельских лесозаводов и районов морского торгового порта расположены на многих рукавах и протоках дельты р. Северной Двины. До 1969 г. проводка транспортных судов в зимний период осуществлялась в сопровождении ледокола, на швартовку и перестановку судов затрачивалось по 10—12 ч. С осени 1969 г. были начаты работы по спуску льда из реки в Белое море. Спуск льда осуществляется последовательно, начиная с устья, с постепенным подъемом буксирно-ледокольных судов вверх по реке на 35—40 миль от приемного буя. Применяется способ параллельного движения двух буксиров вдоль обеих кромок канала во льду. Успех операции достигается быстрой ликвидацией ледяных заторов, образующихся при спуске льда в узостях и на поворотах русла реки.

Операции по спуску льда весной и осенью осуществляются по 2 раза в сутки в промежутках между приливами и отливами со сдвигом по времени на 1 ч, когда битый лед под воздействием отлива уже приобрел движение и еще не потерял инерцию. Образующийся в канале тонкий ледяной покров не оказывает существенного препятствия самостоятельному передвижению транспортных судов.

В последние годы Архангельский порт работает до конца января и принимает первые суда в конце марта — начале апреля. Мероприятия по взлому и спуску льда способствуют значительному сокращению времени на проводку, швартовку и перестановку судов.

В зимнюю навигацию 1976—1977 гг. спуск льда осуществлялся в течение 60 сут. За это время в порт самостоятельно зашло 164 и вышло 170 судов, а навигация закончилась 22 января, что позволило значительно сократить время нахождения судов в порту и уменьшить расходы на работу буксирно-ледокольного флота. Эти же мероприятия позволяют и судам Северного речного пароходства работать в черте города более продолжительное время. Кроме

этого, спуск льда в осенне-зимний период исключил возможность образования заторов и вероятность затопления низменных районов Архангельска во время весеннего паводка.

§ 18. ПРИЧАЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Глубоководный нефтяной причал на р. Св. Лаврентия. Причал предназначен для приема сырой нефти, привозимой танкерами грузовместимостью 100 000 т, и для погрузки очищенных нефтепродуктов на суда грузовместимостью от 2500 до 20 000 т в течение всего года [65].

Зимняя эксплуатация причального сооружения в этом месте осложняется дрейфом ледяных полей, достигающих толщины 1 м и размеров в плане до 100×600 м. Эти льдины образуются в связи со взломом берегового припая под воздействием юго-западных ветров и отливных течений, причем направление дрейфа льда изменяется в широких пределах под влиянием ветра и приливно-отливных явлений.

При проектировании причальных сооружений учитывались требования по обеспечению круглогодичной эксплуатации причалов и надежной защиты сооружений и стоящих у причала судов от повреждений дрейфующими льдинами.

В результате тщательного изучения гидрометеорологических условий и ледового режима было решено построить сооружение открытого типа из массивных бетонных ледоотражателей круглого поперечного сечения диаметром 24,1 м на значительном расстоянии от берега за пределами зоны постоянного берегового припая шириной около 250 м.

Исследованиями было установлено, что наибольшие динамические нагрузки при ударе плывущей льдины составляют 14 кгс/см^2, а при ее остановке статическая нагрузка достигает 28 кгс/см^2.

Подвергающиеся ударам льдин гравитационные бетонные массивы-ледоотражатели были рассчитаны на динамическую нагрузку льда от 4,1 млн. кгс, а более укрытые причальные палы — на 3 млн. кгс. Эти силы были приложены на высоте 23,5 м от основания подводных частей сооружения, имеющих общую высоту 27,4 м. При расчетах на устойчивость был принят коэффициент запаса, равный 2 как при скольжении, так и при опрокидывании.

Конструкция массивов представляет собой цилиндр с днищем и вертикальными внутренними перегородками, причем в местах, подверженных ударам льдин, стенки массивов имеют утолщения с внутренней стороны. На прибрежной низменности был сооружен приливный сухой док, массивы возводились до высоты 4,6 м, после они выводились из дока и буксировались к месту установки, где раскреплялись с помощью трех якорных систем. Затем возобновлялась непрерывная укладка бетона со скоростью 15—20 см/ч. Остойчивость массивов на плаву поддерживалась посредством запрограммированной последовательности приема балласта. После завершения строительства массивы устанавливались во время отлива на заранее подготовленное основание и заполнялись водой.

Окончательная балластировка заключалась в заполнении всего внутреннего объема массивов щебнем и песком до среднего уровня воды на реке.

Для восприятия ударов дрейфующих льдин причалы оборудованы японскими плавучими пневматическими резино-кордовыми кранцами диаметром 3,6 м, снабженными предохранительными воздуховыпускными клапанами. Во избежание вмерзания кранцев в ледяной покров и их отрыва во время подвижек и естественной очистки акватории от льда на причалах имеются механизмы для подъема кранцев над уровнем полной воды, когда у причалов нет судов.

Автомобильная паромная переправа Щецинской ремонтной верфи. Поскольку верфь расположена на острове в устье р. Одры, ее транспортные связи с материком осуществляются автомобильными паромами и катерами. Зимой, когда замерзает р. Одра, возникают ледовые затруднения, которые в основном заключаются в осложнении швартовной операции из-за скопления льда в районе паромного причала.

Институтом морской гидравлики Польской академии наук в 1966 г. была разработана пневматическая установка для удаления плавающего битого льда из ложа, образованного причальными сооружениями переправы [64].

Установка (рис. 90) выполнена в виде коллектора длиной около 15 м и диаметром 80 мм, размещенного на причале. К коллектору присоединены три отводящих трубопровода диаметром 50 мм, горизонтальные участки которых укреплены с помощью метал-

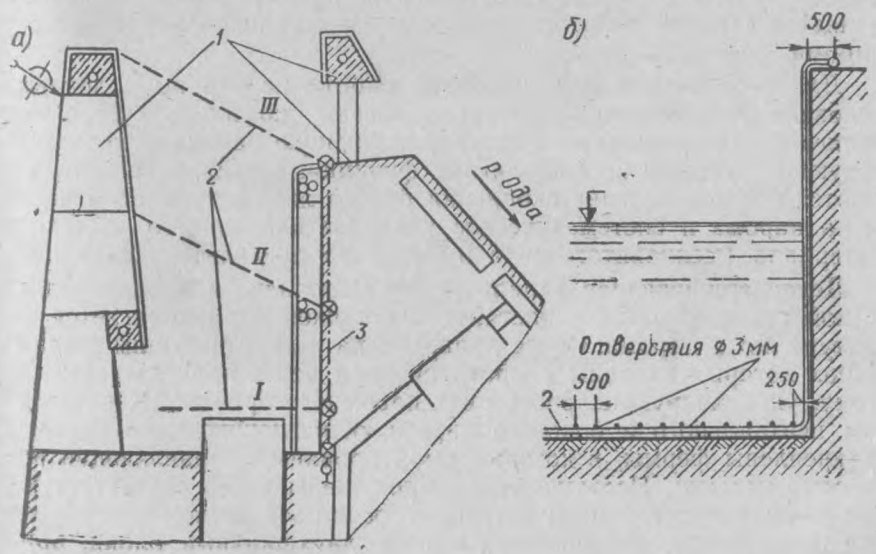


Рис. 90. Схема размещения пневматической противоледовой установки в ложе парома Щецинской паромной переправы:

а — план; *б* — поперечное сечение; *1* — причальные сооружения; *2* — перфорированный воздухопровод; *3* — воздушный коллектор

лических опор на дне ложа парома между причальными стенками и снабжены воздуховыпускными отверстиями диаметром 3 мм с шагом 500 мм. Коллектор соединен воздухопроводом с компрессором, а отводящие трубопроводы снабжены запорными клапанами, обеспечивающими автономную работу каждого трубопровода.

Потребный расход воздуха составляет: на участки *I* и *II* — 1,5 м³/мин, на участок *III* — 2 м³/мин (при атмосферном давлении).

В зависимости от сложности ледовой обстановки пневматическая установка работает на различных режимах. При незначительной толщине и плотности льда предусматривается последовательная работа участков воздухопровода, начиная с участка *I*. Восходящий водовоздушный поток создает направленное поверхностное течение и перемещает битый лед за ось участка *II*, после чего подается воздух в участок *II*. После удаления льда за ось участка *III* воздух подают в этот последний участок. В период тяжелой ледовой обстановки предусмотрены постоянная работа участка *III* и периодическое включение участков *I* и *II*.

Натурные опыты, проведенные в зиму 1966 г., показали, что установка в начальный период эффективно защищала ложе парома от скопления льда, а заталкиваемые входящим паромом льдины успешно удалялись из ложа. После образования на реке сплошного ледяного покрова установка оказалась не в состоянии выталкивать лед из ложа, однако ее работа значительно облегчила эксплуатацию паромного причала.

Керченская морская железнодорожная паромная переправа. Основным видом ледовых затруднений на Керченской переправе является скопление битого льда и шуги в тупиковой части ложа парома.

Для обеспечения бесперебойной работы переправы в ледовых условиях Ленморниипроектом разработан комплекс устройств, включающий подвижную ледоудерживающую запань и потокообразующие установки. Основными функциями этих устройств являются предотвращение скопления битого льда в тупиковой части ложа парома и систематическое удаление плавающего ледяного материала (мелкобитого льда и шуги) за пределы ложа парома.

Ледоудерживающая запань [I, 33] выполнена в виде металлической сетки, которая в растянутом положении располагается по контуру ложа парома. Сетка прикреплена к двум несущим тросам, концы которых связаны с противовесами через полиспастную систему, укрепленную на ростверках паромного причала. К ростверкам центрального и бокового пирсов, образующих ложе парома, прикреплены фермы, в которые вмонтированы направляющие роликовые кассеты. Несущие тросы пропущены через соответствующие ролики кассет. Концы несущих тросов посредством многократных полиспастов, включающих в себя двухшкивные блоки, прикреплены к грузам-противовесам (см. рис. 38). На тросы с помощью свободно скользящих колец подвешена сетка, концы которой закреплены за сваи. Сетка снабжена поплавками, укрепленными под наинизшим уровнем воды со стороны защищаемой акватории.

При входе парома в ложе он своей оконечностью вступает в контакт с сеткой и при последующем продвижении вперед вместе со льдом толкает и сетку. При этом сетка, скользя по несущим тросам своими кольцами, вытягивается, все время являясь преградой для заталкиваемого паромом льда. Благодаря грузам-противовесам, несущие тросы все время находятся в натянутом положении. Многократные полиспасты дают возможность тросам удлиняться на необходимую величину. Направляющие кассеты все время поддерживают сетку в вертикальном положении. При выходе парома из ложа под действием грузов-противовесов сетка возвращается в первоначальное положение и удаляет из ложа битый лед.

Но даже при наличии сетчатого заграждения шуга и мелкобитый лед могут проникать сквозь сетку, а перед запанью вдоль причального пирса могут скапливаться льдины. Для удаления этих видов льда с акватории ложа в составе комплекса предусмотрена установка в береговой оконечности ложа двух потокообразователей типа ПОЗ-28.

Первоначально потокообразователи устанавливались на плотиках и раскреплялись цепными растяжками. Натурные опыты по их применению, проведенные в тяжелых ледовых условиях в феврале — марте 1972 г. при отсутствии ледоудерживающей запани, показали, что при подходе парома и создаваемом им навале льда потокообразователи разворачиваются в вертикальной плоскости и выталкиваются льдом, а их сопла забиваются шугой. Во избежание этого Ленморниипроектом разработано специальное устройство, обеспечивающее надежную работу потокообразующих установок при возможных навалах на них масс льда.

Для этой цели на тупиковой стенке ложа парома укреплены направляющие криволинейной конфигурации, на которых посредством роликов смонтированы потокообразователи подводного исполнения. Потокообразователи обладают запасом избыточной плавучести и снабжены трособлочным приводом принудительного погружения (см. рис. 58).

При отсутствии парома потокообразователи за счет собственной плавучести находятся на поверхности водоема и создают направленный поверхностный поток, препятствующий образованию ледяного покрова и очищающий ложе парома от шуги и битого льда. При подходе парома посредством дистанционного электрического управления или автоматически с помощью фотоэлемента включаются приводные механизмы (шпили) привода погружения и потокообразователи, продолжая работать, перемещаются по направляющим и погружаются под уровень воды. Плавающий ледяной материал, который частично может проникнуть сквозь сетчатую запань, в этот период размещается над потокообразователями и не оказывает на них разрушающего воздействия, так как они в это время находятся под уровнем воды у дна водоема.

После окончания погрузочно-разгрузочной операции, одновременно с отходом парома, фотоэлемент подает команду приводным механизмам на подъем и потокообразователи поднимаются к по-

верхности водоема. Благодаря криволинейной конфигурации направляющих, создаваемые потокообразователем струи сначала отгоняют дальние льдины, которые выталкиваются в освободившееся за паромом пространство. По мере всплытия потокообразователей их струи воздействуют на ближние льдины, которые удаляются в освобожденное ранее от льда пространство. Вернувшись в исходное положение, потокообразователи создают поверхностный поток, освобождающий ложе парома от битого льда и шуги. При этом предотвращается образование льда на акватории как за счет механического воздействия, так и за счет подъема на поверхность более теплых придонных слоев воды.

Этот комплекс противоледовых устройств предназначен для защиты причальных сооружений Керченской переправы при самых тяжелых ледовых условиях.

Сахалинская морская железнодорожная паромная переправа. В 1973 г. введена в строй одна из важнейших транспортных линий — морская железнодорожная паромная переправа Ванино — Холмск, обеспечивающая бесперевалочную перевозку народнохозяйственных грузов между материком и о. Сахалин. Пять мощных ледокольных паромов круглогодично курсируют на линии Ванино — Холмск с интервалом 5—6 ч.

В период строительства переправы Ленморниипроектом выполнялось исследование методов ликвидации затруднений для обеспечения работы Сахалинской морской железнодорожной паромной переправы в зимний период.

Поскольку в порту Холмск из-за теплого Цусимского течения ледообразования не происходит и ледовые явления бывают только эпизодически при нагоне дрейфующего льда, образующегося в северной части Татарского пролива, а также в период сильных снегопадов, основное внимание было обращено на изучение метеорологических условий и зимнего гидрологического режима водоема конечного пункта переправы в бухте Ванино, характеризующейся суровыми климатическими условиями и тяжелой ледовой обстановкой.

Отрицательные температуры воздуха в районе порта Ванино наблюдаются с третьей декады октября до середины апреля, в среднем в течение 175 сут колеблются от —10 до —20° С, достигая временами —35° С. Колебания уровня воды в бухте Ванино обусловлены приливно-отливными и сгонно-нагонными явлениями.

В районе причала паромной переправы течение на поверхности определяется интенсивностью стока р. Чистоводной и направлено вдоль бухты к выходу из нее. Пресные воды р. Чистоводной оказывают значительное влияние на термический режим водоема в районе причальных сооружений переправы.

На протяжении 4—4,5 мес бухта покрывается льдом, средняя толщина которого составляет 80—100 см, а в наиболее суровые зимы достигает 150 см. В районе причалов порта ледяной покров постоянно взламывается транспортными судами и буксирами, образует подсовы и торосы, и значительную часть времени сплочен до

10 баллов. Под воздействием сильных ветров западного направления основная масса битого льда иногда выносится из бухты в Татарский пролив, а под воздействием восточных — набивается в бухту.

Инженерно-гидрологические изыскания, выполненные в зимние периоды по специальной программе в бухте Ванино, показали, что водоем практически лишен естественных запасов тепла, в связи с чем обычный метод барботирования для поддержания незамерзающей акватории в этих условиях был признан неприемлемым, что было подтверждено натурным экспериментом.

Анализ зимних гидрометеорологических условий позволил составить прогноз ледовых затруднений, которые возникнут при работе переправы в зимний период, и установить, что для обеспечения эффективной и бесперебойной работы переправы в суровые зимы необходимо создать комплекс противоледовых средств, способных защитить ложе парома от заполнения битым льдом, поддерживать незамерзающей акваторию ложа парома, предотвратить обледенение элементов причальных сооружений и устройств и ликвидировать скопление битого льда под подъемно-опускным мостом.

Другим направлением исследования были поиск современных, наиболее эффективных и экономичных средств борьбы с различными видами ледовых затруднений и определение их применимости в конкретных условиях, заканчивающихся строительством сооружений паромной переправы. В результате этой работы было разработано несколько вариантов комплекса новых противоледовых средств, из которых с помощью технико-экономического анализа был выбран для проектирования и строительства оптимальный вариант.

Основными функциями экспериментального противоледового комплекса для паромной переправы в порту Ванино (рис. 91) являются: защита ложа парома от дрейфующего льда, поддержание незамерзающей акватории ложа парома, защита элементов сооружения от обледенения, ликвидация скопления льда под подъемно-опускным мостом и предохранение палов от давления ледяного поля при его температурном расширении.

Комплекс включает три основных вида устройств: механические ограждения, гидродинамические и теплоэнергетические установки.

Механическое ограждение ложа парома состоит из палов, соединенных переходными мостиками с корневым выступом. Между палами, на цепях, смонтировано бревенчатое боновое заграждение. Вход в ложе парома перекрывается плавающей фермой, смонтированной между головой причального пирса и соединительным сдвоенным палом. Ферма (см. рис. 42) постоянно плавает, следуя за уровнем воды, и защищает ложе от попадания плавающих льдин. На период входа парома в ложе и выхода из него ферму погружают на дно водоема посредством одновременно опускаемых на ее концы грузов, приводимых в движение электролебедками.

Группа гидродинамических устройств для задержания и на-

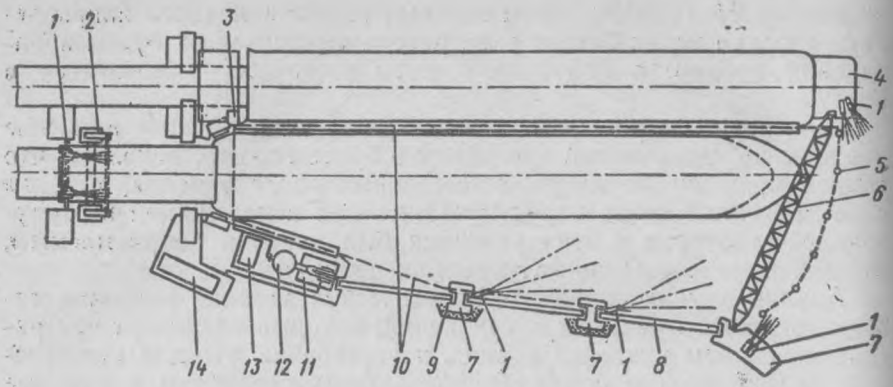


Рис. 91. Схема комплекса противоледовых средств Сахалинской морской железнодорожной паромной переправы:

1 — потокообразователи; *2* — волногенератор; *3* — пульт управления комплексом; *4* — голова причального пирса; *5* — импульсная пневматическая система; *6* — ледоудерживающая погружная ферма; *7* — палы; *8* — переходный мостик; *9* — теплоизоляционная защита пала от вмерзания в ледяной покров; *10* — пневмогидравлическая система; *11* — помещение теплогенератора на базе авиадвигателя; *12* — теплообменник; *13* — пульт управления теплогенератором; *14* — склад топлива

правленного перемещения битого льда включает: импульсную пневмозащиту, задерживающую лед на входе в ложе парома в период погружения фермы, волногенератор для удаления льдин, а также потокообразующие установки на входе в ложе и внутри него, которые задерживают и удаляют льдины из ложа.

Поддержание незамерзающей акватории осуществляется искусственным обогревом. Для этого предусмотрен теплоэнергетический комплекс, включающий теплогазогенераторную установку на базе авиадвигателя АИ-20 с агрегатом запуска, топливохранилище с топливной системой и теплообменник барботажного типа с водяным насосом. Раздача горячего сжатого воздуха, вырабатываемого теплогазогенераторной установкой, и подогретой воды, подготавливаемой в теплообменнике, осуществляется по пневмогидравлической системе перфорированных трубопроводов. С целью наилучшего способа подвода и утилизации тепла трубы для выпуска подогретой воды укрепляются вдоль пирсов под самым низким уровнем воды, а воздухопровод устанавливается на опорах у самого дна водоема (см. рис. 23). Выпускаемый горячий воздух обеспечивает подъем и раздачу подогретой воды по поверхности акватории, препятствует смерзанию льдин под подъемно-опускным мостом, предотвращает обледенение отбойно-причальных устройств и способствует отгону льдин от пирса. Этот же воздух поступает к импульсной пневмозащите, установленной на входе в ложе, и предотвращает вмерзание заградительной фермы и потокообразующих установок в ледяной покров, а во время погружения фермы задерживает битый лед на входе в ложе парома.

Комплекс включает также специальную защиту палов от давления льда при его термическом расширении, представляющую собой плавающие коробы, смонтированные по периметру палов и

прикрепленные к палам гибкими связями, причем водная поверхность между коробом и палом засыпана слоем подвспененного гранулированного пенополистирола [I, 23].

Управление всеми устройствами комплекса осуществляется дистанционно из центрального поста управления (ЦПУ). Устройства снабжены элементами блокировки и сигнализации. Периодичность и продолжительность работы отдельных устройств обусловливаются метеорологическими условиями и этапами технологического цикла паромов: подход, вход в ложе, стоянка в период погрузки-выгрузки и выход из ложа. Комплекс предусматривает надежное обеспечение работы сооружений переправы в наиболее тяжелых ледовых условиях.

§ 19. СУДОПОДЪЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Вертикальные судоподъемники. В связи с перспективой строительства вертикальных судоподъемников (ВСП) в настоящее время перед проектантами стоит задача оборудования ВСП надежными и экономичными средствами противоледовой защиты. Опыт применения специальных устройств для защиты от льда сухих и плавучих доков показывает, что судоподъемные сооружения могут надежно эксплуатироваться в ледовых условиях.

Основными видами ледовых затруднений, которые могут возникнуть при эксплуатации ВСП в период отрицательных температур, являются: образование ледяного покрова и скопление битого льда в ковше судоподъемника, обледенение направляющих и подъемных элементов. Разнообразие характера и видов ледовых затруднений обусловливает необходимость комплексного решения задачи обеспечения эксплуатации ВСП в суровых климатических условиях.

Поддержание поверхности воды в ковше в незамерзающем состоянии может быть обеспечено различными методами: тепловыми, гидродинамическими или теплоизоляционными.

Тепловой метод в условиях судоремонтного завода может быть осуществлен сбором и последующим равномерным распределением по длине ковша теплых очищенных промышленных вод. Наибольшая эффективность этого метода достигается в случае сплошной (шпунтовой) конструкции оградительного сооружения ковша судоподъемника, сокращающей потери тепла при массообмене со всей акваторией завода. Если оградительное сооружение выполнено из свай-оболочек, т. е. с проницаемыми проемами, то для повышения эффективности использования теплового метода может быть рекомендована установка между рядами свай от поверхности до дна водоема вертикального экрана из полиэтиленовой пленки. Для этого нижний конец пленки снабжается равномерно распределенным грузом, например стальным тросом, а ее верхний конец подвешивается на бревенчатых бонах, укрепляемых с помощью цепей между сваями. Боны в этом случае служат также для предотвращения попадания в камеру ВСП битого льда, дрейфующего на акватории.

Пневматические установки применимы только при наличии постоянных в течение зимы запасов тепла в придонных слоях водоема.

Гидродинамический метод может осуществляться с помощью потокообразователей, при этом в водоемах с незначительными запасами тепла может применяться подогрев потока паром, выпускаемым через пароводяной эжектор в район работы винта насоса с расходом пара около 0,5 т/ч (см. рис. 28).

При поддержании поверхности воды в камере ВСП в незамерзающем состоянии с помощью теплоизоляционного покрытия следует предусмотреть на входе в камеру раздвижную или погружную преграду, которая одновременно будет служить средством защиты ковша от попадания с акватории битого льда и предотвращать вынос покрытия (шариков полистирола) на акваторию судоремонтного завода.

Задержание битого льда перед ковшом судоподъемника и удаление попавших в камеру льдин при вводе судна может быть обеспечено с помощью механической преграды или гидродинамическим методом. В качестве механической преграды могут быть рекомендованы два устройства: заграждение телескопическое и в виде погружной балки.

Телескопическое заграждение (см. рис. 43) следует монтировать на входе в камеру судоподъемника на внешних торцах устоев. При значительных колебаниях уровня воды должны быть предусмотрены направляющие и каретки для того, чтобы заграждение, обладающее положительной плавучестью, постоянно находилось на поверхности воды.

Другим типом заграждения может служить погружная балка (см. рис. 42), которая за счет воздушных емкостей плавает у входа в камеру, опираясь на внешние торцы устоев. Перед вводом судна в камеру на концы балки одновременно опускают грузы и она погружается на дно водоема. После входа судна грузы с помощью лебедок одновременно поднимают, балка всплывает и надежно защищает камеру ВСП от дрейфующего на акватории битого льда и предотвращает вынос теплоизоляционного покрытия из ковша ВСП.

Поскольку при вводе судна в ковш может проникнуть некоторое количество битого льда, необходимо предусмотреть средства для его удаления. Наиболее простым средством для направленного перемещения битого льда являются потокообразователи, которые следует установить в тупиковой части камеры.

Для того чтобы потокообразователи надежно и эффективно работали в условиях переменного уровня воды, они должны монтироваться на тупиковой стенке посредством тяг, выполненных в виде шарнирного параллелограмма, снабженных пружинным стабилизатором осадки (см. рис. 55).

Предотвращение и ликвидация обледенения направляющих и подъемных элементов судоподъемника могут быть выполнены с помощью электромасляного или индукционного обогрева. Элементы, которые требуется предохранить от обледенения, снабжаются

замкнутыми полостями, которые заполняются трансформаторным маслом. В этих полостях монтируются трубчатые электронагреватели (ТЭН), мощность которых определяется расчетом. Автоматизация их работы достигается включением в цепь питания теплового реле, которое включает ТЭН при понижении температуры масла до заданной величины.

В основу индукционного обогрева элементов положен принцип использования тепловой энергии активных и реактивных токов промышленной частоты. На защищаемый от обледенения элемент укладывается обмотка кабеля марки КНР, образующая индуктор. Один конец кабеля подключается на корпус, другой — к цепи питания обмотки индуктора током от низковольтного трансформатора. При прохождении тока по индуктору выделяется тепло, предотвращающее образование льда на защищаемом элементе.

Выбор необходимого и достаточного комплекса устройств, их типов и компоновочные решения должны определяться в зависимости от конструкции элементов ВСП, климатических условий района его строительства и наличия энергоресурсов на судоремонтном предприятии.

Слипы. Большая исследовательская работа выполнена Ленинградским институтом водного транспорта [6, 7] по обеспечению продленной работы слипов в условиях замерзающих акваторий. Решению проблемы зимней эксплуатации слипов посвящены и другие работы более позднего периода [15, 29].

Необходимость продления работы слипов диктуется стремлением к выполнению ремонта флота в межнавигационный период и необходимостью круглогодичного спуска построенных судов, их испытаний и сдачи в условиях ледостава [20]. Продление работы слипов может осуществляться как в осенний или весенний период, так и в течение всего зимнего периода.

Комплекс мероприятий, обеспечивающий эксплуатацию слипа в ледовый период, включает средства по созданию и поддержанию акватории перед слипом в незамерзающем состоянии. В зависимости от метеорологических условий и зимнего термического режима водоема для этой цели могут быть использованы как метод подъема теплых глубинных вод с помощью пневматической установки, так и комбинированный метод, сочетающий подъем глубинных вод с искусственным обогревом акватории, осуществляемый с помощью паровоздушной установки [26]. Применение паровоздушной установки перед слипом для создания незамерзающей акватории одновременно позволяет решить и такие проблемы, как предотвращение образования и растопление ледяной чаши и удаление битого льда из-под днища судна перед подъемом его на слип. При проектировании промышленной паровоздушной установки следует особое внимание обратить на материал трубопроводов, так как традиционные стальные трубы подвергаются сильной коррозии и срок их использования по этой причине невелик. Очевидно, необходимо использовать антикоррозионные покрытия или стойкие по отношению к коррозии материалы. С этой

точки зрения наиболее перспективными материалами являются полимерные пластмассы, в частности полипропилен. Отечественной промышленностью уже освоен выпуск полипропиленовых труб, способных пропускать рабочую среду с температурой 120—130° С. Основными преимуществами полипропиленовых труб являются коррозионная стойкость и низкий коэффициент теплопроводности.

Для предотвращения образования ледяных пробок в подводящем трубопроводе в районе уреза воды должны быть предусмотрены обогревающие устройства, обратные клапаны или гидравлический затвор (см. рис. 21). Выпускные отверстия раздаточной ветви системы должны оборудоваться клапанами, предохраняющими перфорированные трубопроводы от загрязнения.

Незамерзающий участок акватории перед слипом целесообразно защитить от заполнения битым дрейфующим льдом с помощью одного из типов раздвижных механических заграждений. В последнем случае создаются благоприятные условия для применения теплоизоляционных покрытий [I, 35] на незамерзающем участке акватории, что позволит сократить эксплуатационные расходы по поддержанию акватории в незамерзающем состоянии.

Другой вид ледовых затруднений при работе слипа в период отрицательных температур воздуха заключается в обледенении его наклонной части, что особенно проявляется при систематическом изменении уровня воды в связи с приливно-отливными явлениями. Эта проблема успешно решена монтажом под рельсовыми путями наклонной части слипа коллектора с отростками у каждого рельса. На причале находится бойлерная, в которой размещены насос для прокачки воды и два паровых бойлера. Для нагрева воды из заводской системы подается насыщенный пар давлением 2 кгс/см² с температурой +132° С.

При расходе пара около 1000 кг/ч температура выходящей из бойлера воды составляет около +60° С. Забор воды производится насосом из залива. Расход нагреваемой воды через систему составляет 11 м³/ч. Теплая вода через коллектор подается на наклонную часть слипа и стекает в водоем (рис. 92).

При температуре воздуха —20° С и ниже установка эксплуатируется круглосуточно, а при более высокой температуре для поддержания слипа в работоспособном состоянии она работает периодически. Внедрение установки позволило условно высвободить 60 вспомогательных рабочих, занятых на околке льда, исключило срывы операций по подъему и спуску судов [15].

Сухие доки. В связи с увеличением числа судов и возросшей потребностью в доковых ремонтах весьма актуальной является проблема обеспечения круглогодичной эксплуатации сухих доков.

Ленморниипроектом разработан комплекс противоледовых средств для обеспечения зимнего докования судов в сухих доках в климатических условиях Балтийского морского бассейна [12].

В процессе изучения условий зимней эксплуатации сухих доков были выделены следующие основные виды ледовых затруднений:

наличие прочного ледяного покрова перед батопортами и за-

творами доков со стороны акватории, что осложняет подготовительные работы и процесс ввода судов в док;

попадание в камеру дока плавающего битого льда с акватории, а также замерзание водной поверхности в камере дока в процессе ее наполнения и опорожнения, причем в зависимости от продолжительности доковой операции толщина образующегося в камере льда достигает 10 см и более. Наличие льда в камере осложняет центровку судов и посадку их на кильблоки, а уборка льда, осевшего на подошву дока, вызывает увеличение срока и стоимости докового ремонта судна. При этом следует отметить, что уборка льда очень трудоемкая операция, связанная с применением тяжелого ручного труда, повышающая вероятность производственного травматизма;

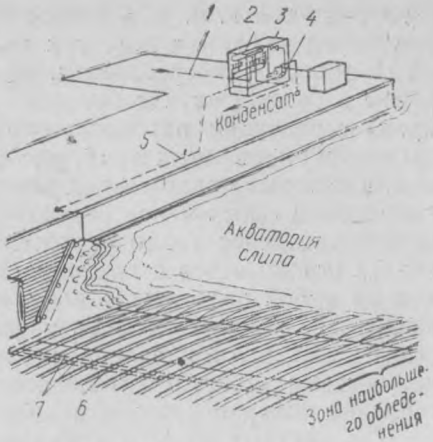


Рис. 92. Схема установки для борьбы с ледообразованием на слипе:
1 — магистраль подачи пара; *2* — бойлер; *3* — бойлерная; *4* — водяной насос; *5* — магистраль подогретой воды; *6* — коллектор; *7* — раздаточные патрубки

попадание битого льда под днище судна при его буксировке к доку;

обледенение подошвы дока вследствие фильтрации воды через днище, стенки и батопорт, а также сброса воды с ремонтирующихся судов;

лед, образующийся на водной поверхности и стенках ниши откатного затвора в промежутках между доковыми операциями мешает движению затвора. Удаление же этого льда представляет собой сложный и трудоемкий процесс.

Анализ применяемых средств борьбы с ледовыми затруднениями показал, что они неэффективны, неэкономичны, не отвечают современным требованиям и в целом не могут обеспечить надежную и бесперебойную эксплуатацию сухих доков в зимний период.

В связи с многообразием ледовых затруднений при проектировании противоледовых мероприятий был применен комплексный подход к решению проблемы в целом, основанный на изучении местных гидрометеорологических факторов и возможности использования в этих условиях известных противоледовых средств.

Для растопления ледяного покрова перед входом в док исследовались возможности применения различных устройств с искусственным подогревом воды в водоеме.

Были спроектированы и опробованы паровые потокоподогреватели, представляющие собой мощные насосы с обогреваемой всасывающей полостью. Однако было установлено, что эти установки

имеют низкий к. п. д. и мешают свободному перемещению буксиров перед входом в док, так как имеют значительные габариты.

Наиболее универсальным, эффективным и относительно недорогим в данном случае оказался способ растопления ледяного покрова с помощью паровоздушной установки, состоящей из системы перфорированных труб, уложенных на дно водоема перед доком, в которые подается под давлением паровоздушная смесь. При вытеснении смеси через раздаточные отверстия пар конденсируется и отдает свое тепло окружающей воде. Находящийся в смеси воздух поднимается к поверхности отдельными пузырьками, увлекая за собой подогретую воду, что вызывает таяние льда на поверхности. Универсальность и экономичность этого устройства состоит в том, что в начале зимы, пока в водоеме имеется запас тепла, система может быть использована для подъема глубинного тепла на поверхность с помощью только сжатого воздуха.

Для защиты дока от попадания в его камеру плавающего битого льда было признано целесообразным использовать потокообразующие установки. В данном случае применение их имеет ряд особенностей, так как позволяет решить одновременно три задачи: задержание битого льда перед доком, удаление из камеры льда, попавшего туда при вводе судна, и предотвращение образования ледяного покрова на поверхности воды в камере в процессе ее наполнения или опорожнения.

Для решения этих задач были спроектированы специальные установки (см. рис. 54—56), содержащие потокообразователи типа ПОЗ-28 и различные устройства для их установки в камере, отвечающие следующим требованиям: потокообразователи должны следовать за изменяющимся уровнем воды в камере в процессе ее наполнения или опорожнения и должны иметь возможность изменять направление создаваемых ими турбулентных струй, причем в одном случае струи должны быть направлены навстречу вводимому судну, в другом — обеспечивать движение воды на поверхности камеры с целью предотвращения ее замерзания; при навале судна на потокообразователи устройства должны обеспечивать их безопасность и эксплуатационную надежность.

Для удаления битого непримерзшего льда из-под днища судна перед его постановкой в док была разработана подводная установка, содержащая потокообразователь типа ГУК-28, изображенная на рис. 64. Большим преимуществом установки является полная автоматизация удаления битого льда из-под днища при различиях в килеватости, дифферентах и осадках вводимых в док судов. Этот лед, всплывая на поверхность, удаляется надводными потокообразующими установками за пределы дока.

Одним из частных вопросов борьбы с обледенением подошвы дока являются различные способы борьбы с обмерзанием сточных кюветов. Для решения этой задачи было разработано устройство для обогрева кюветов с помощью гибких электронагревательных элементов и проведен опыт по определению эффективности работы этого средства. Для избежания повреждений электронагреватели

помещали в стальные трубы, торцы которых были герметически закрыты, а питающий кабель подводили через герметичный сальник. Нагреватели укладывали на дно кювета для предотвращения образования в нем льда.

Однако отсутствие льда в сточных кюветах не исключает образования льда на подошве дока. Часть фильтрующей из грунта и спускаемой с ремонтируемых судов воды замерзает, образуя на подошве ледяной покров, достигающий толщины 30—40 см. Это затрудняет работы по перестановке докового набора и применению средств механизации.

С целью облегчения перестановки доковых опор был рассмотрен вопрос о внедрении кильблока для судоподъемных сооружений с обледеневающими стапельными местами [I, 20]. Однако в связи с большим объемом работ по дооборудованию существующих доковых клеток и кильблоков системой электромасляного обогрева это предложение не было реализовано.

Натурные опыты по растоплению льда на днище сухого дока с помощью газопламенной установки показали неэффективность ее применения в связи с затруднениями ее передвижения и опасностью теплового разрушения облицовки камеры дока.

Так как эти устройства не решают полностью проблему ликвидации ледообразований на подошвах сухих доков, была разработана установка для подогрева всей подошвы. Опыт применения аналогичных установок для обогрева тротуаров, площадей в аэропортах и на автостоянках имеется в нашей стране и за рубежом. Установка (см. рис. 68), предназначенная для обогрева подошвы дока с размером камеры 210×22 м, имеет замкнутую систему труб, уложенных в подошве в период капитального ремонта дока. Расстояние между осями труб составляет 600 мм. Система соединена с паровым подогревателем, площадь поверхности нагрева которого равна 4,32 м^2. В качестве теплоносителя использован антифриз марки «40». Нагретый в подогревателе антифриз (средняя температура в системе +52° С), поступая в систему труб, отдает там свое тепло. Температура на поверхности мокрого бетона подошвы с помощью датчиков и регулятора температуры антифриза постоянно поддерживается равной +2° С, несмотря на изменение температуры наружного воздуха. Циркуляция теплоносителя в системе осуществляется центробежным насосом марки 2К-6а производительностью 30 м^3/ч. Установка полностью автоматизирована.

В процессе разработки комплекса было установлено, что в зимний период затруднено функционирование откатного затвора в связи с образованием льда в его нише и на подводной части устоев дока.

Для предотвращения обледенения подводной поверхности устоя со стороны ниши затвора разработано обогревающее устройство. Оно состоит из цилиндрической металлической оболочки, которая помещена в скважине, пробуренной в устое дока в непосредственной близости к затвору. Внутрь оболочки, заполненной теплопередающей жидкостью, помещен трубчатый электронагреватель и

термодатчик, соединенные с пускорегулирующей аппаратурой, которая содержит тепловое реле, магнитный пускатель, автоматический выключатель и поддерживает температуру теплопередающей жидкости в оболочке в заданном пределе. Тепло от трубчатого электронагревателя передается к оболочке и далее к устою дока. При этом для лучшего обеспечения передачи тепла от оболочки к устою дока зазор в скважине заполняется отходами нефтепродуктов.

С появлением отрицательных температур воздуха устройство подключается к электросети, и трубчатый электронагреватель через теплопередающую жидкость передает тепло оболочке, которая создает вокруг себя тепловое поле по всей высоте устоя дока. Созданное тепловое поле препятствует проникновению «холода» к стенке устоя дока, которая соприкасается с затвором, и тем самым исключает возможность образования на ней льда. Система автоматического регулирования, содержащая термодатчик, реле и магнитный пускатель, осуществляет включение и отключение электропитания, поддерживая температуру теплопередающей жидкости в заданном интервале.

Однако это устройство требует значительных затрат для своего осуществления и относительно большого расхода электроэнергии при эксплуатации.

Для ликвидации ледяного покрова в нише затвора рассматривалась возможность применения потокообразователя. Натурный опыт его использования показал удовлетворительные результаты. Однако при длительной работе потокообразователя в результате интенсивного перемешивания воды и, следовательно, при увеличении теплоотдачи с поверхности воды появляется опасность переохлаждения весьма ограниченного объема воды в нише с последующим его промерзанием на значительную глубину.

Более надежным средством по борьбе с ледообразованием в нише затвора было признано применение паровоздушной установки, содержащей перфорированную трубу для выпуска на дне ниши паровоздушной смеси. Система в состоянии одновременно ликвидировать наледи на стенках ниши и растопить ледяной покров, образующийся на поверхности воды в нише затвора. Система может включаться за некоторое время перед проведением доковой операции, определяемое опытным путем в зависимости от метеорологических условий и количества образовавшегося в нише льда.

С целью повышения экономичности работы паровоздушной установки предложено засыпать поверхность воды в нише затвора слоем подвспененного полистирола марки ПСБ-С.

Плавучие доки. Основным отличием плавучих доков от сухих, с точки зрения процесса проникновения битого льда в междубашенное пространство, является то обстоятельство, что битый лед стремится попасть в плавучий док с самого начала погружения его стапель-палубы. Наибольшая скорость и влекущая сила потока, заполняющего междубашенное пространство плавучего дока, возникают в момент «смачивания» стапель-палубы и появления

над ней слоя воды толщиной до 1—1,5 м. В этот период наилучшим средством защиты торцов следует считать механические заграждения. При дальнейшем погружении плавучего дока поверхностная скорость вливающегося потока убывает, и с этого момента до полного погружения дока наиболее удобным и эффективным средством, с эксплуатационной точки зрения, являются потокообразующие установки. Из всех известных средств они же наиболее надежно защищают плавучий док от битого льда и в период ввода судна. В период центровки судна в доке достаточным по эффективности средством защиты могут быть торцовые пневматические или механические заграждения.

Таким образом, с точки зрения надежности, защита плавучего дока должна включать все три вида взаимодействующих между собой заграждений: механические, гидродинамические и пневматические.

В качестве одного из возможных вариантов компоновки средств защиты плавучего дока от битого льда может быть рекомендована принципиальная схема, изображенная на рис. 93.

Пневматические заграждения, содержащие перфорированные трубы, следует устанавливать на дне котлована перед доком или монтировать с помощью кронштейнов на уровне днища понтонов дока. Для создания перед рабочим торцом дока свободной от льда акватории и предотвращения попадания битого льда в междубашенное пространство в период ввода судна в оконечностях башен рабочего торца дока целесообразно предусмотреть потокообразующие установки. С целью защиты от навала льдин и судов эти установки или должны монтироваться внутри башен дока (с незначительным переоборудованием ферм в оконечности башни), или должны быть снабжены прочным выносным стационарным ограждением в виде шахты.

В качестве механического заграждения рабочего торца плавучего дока можно рекомендовать заграждение в виде опускной бал-

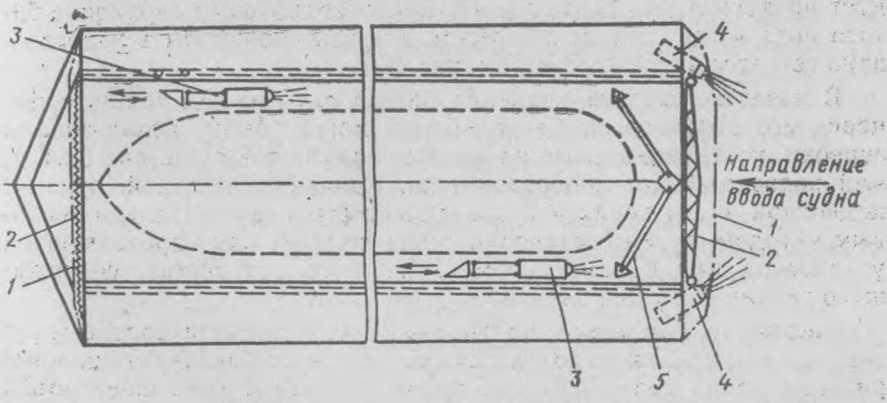


Рис. 93. Схема оснащения плавучего дока противоледовыми устройствами:
1 — пневматические заграждения; *2* — механические заграждения; *3* — передвижные потокообразующие установки; *4* — потокообразующие установки на рабочем торце башен дока; *5* — балансирный скребок

ки (см. рис. 42), телескопического заграждения (см. рис. 43) или заградительного экрана (см. рис. 35), а также прочные убирающиеся ветрозащитные экраны (см. рис. 72—76).

Для защиты от битого льда нерабочего торца дока могут быть рекомендованы прочные щитовые ветрозащитные заграждения. При установке плавучего дока вдали от берега рекомендуется монтировать на акватории непосредственно перед его нерабочим торцом боновое заграждение.

Фермы в оконечностях башен дока и лацпорты рекомендуется оборудовать с наружной стороны защитными экранами в виде сетки или съемных жестких щитов.

Для удаления битого льда, проникшего в междубашенное пространство, могут быть применены потокообразующие установки (см. рис. 49, 50). Выбор тех или иных типов установок и параметров потокообразователей определяется ледовыми условиями и конструктивными особенностями каждого дока в отдельности. Для этой же цели на новых доках могут быть применены устройства (см. рис. 52), использующие гидравлический подпор, создаваемый насосными средствами дока.

Определяющее влияние на установление необходимого и достаточного комплекта противоледовых устройств оказывают: ледовая обстановка на акватории перед доками, габаритные размеры, тип и материал дока, конструкция башен плавучего дока, наличие штатных самоходных лесов и кринолинов, производительность насосных средств дока и т. п.

При выборе места установки доков на акватории завода необходимо учитывать скорость и направление естественного течения и преобладающее направление ветра в зимний период, и по возможности, использовать ограждающие акваторию сооружения (молы, дамбы, пирсы) таким образом, чтобы предотвратить дрейф битого льда со стороны ввода судов в док. При необходимости отвода дока от пирса на котлован на период доковой операции следует предусмотреть заграждения, предотвращающие скопление битого льда между доком и берегом, для чего может быть использовано сетчатое заграждение (см. рис. 37).

В качестве средств удаления битого льда из-под днища судна перед его постановкой на кильблоки могут быть использованы скребки, устанавливаемые на стапель-палубе дока (см. рис. 62, 63), или подводный потокообразователь. Удаление ледяной чаши с подводной части корпуса судна может быть осуществлено тепловым методом, путем постановки судна с чашей над паровоздушной установкой или с помощью механического устройства, содержащего гибкий режущий элемент (см. рис. 65).

Внедрение комплекса противоледовых устройств способствует сокращению сроков ремонта судов, снижает эксплуатационные расходы на их содержание во время ремонта и уменьшает объем капитальных вложений на приобретение флота. Одновременно применение противоледовых устройств увеличивает пропускную способность судоподъемных средств, сокращает себестоимость доко-

вых операций и уменьшает объем капитальных вложений на строительство или приобретение судоподъемных средств. Величина годового экономического эффекта от внедрения противоледовых средств находится в прямой зависимости от климатических условий данного судоремонтного завода, количества и подъемной силы доков.

Поскольку в производственном цикле большинства судоремонтных заводов имеется недостаточная обеспеченность судоподъемными средствами, увеличение пропускной способности доков за счет внедрения комплекса противоледовых устройств способствует увеличению производственной мощности завода и повышению общей фондоотдачи основных производственных средств.

Помимо непосредственной денежной экономии, внедрение новых противоледовых средств создает равномерную в течение года загрузку цехов судоремонтного завода, сокращает применение тяжелого ручного труда по уборке льда из доков, уменьшает опасность производственного травматизма и позволяет шире использовать средства механизации доковых работ.

Натурные опыты по защите от льда плавучего дока подъемной силой 6000 тс Совгаванского судоремонтного завода с помощью надводных потокообразователей типа ПОЗ-28 мощностью 30 кВт показали, что в тяжелых ледовых условиях эти потокообразователи не эффективны.

Основным средством защиты доков этого завода от битого льда служат пневматические установки, монтированные как на торцах доков, так и на их стапель-палубах. Кроме того, перед рабочими торцами на глубине около 14 м на дне котлована установлены дополнительные ветви перфорированных трубопроводов. При тяжелой ледовой обстановке на акватории в период проведения доковой операции в перфорированные трубы подается сжатый воздух как от доковых компрессоров, так и от заводской сети с общим расходом около 150 м³/мин (при атмосферном давлении).

Кроме задержания битого льда перед доком и удаления льдин, проникших в междубашенное пространство дока при вводе судна, пневматические установки способствуют удалению битого непримерзшего льда из-под днища судна. Для полного его удаления рабочие торцы доков оборудованы скребками, выполненными в виде прочных балок, укрепленных между башнями дока, снабженных откидной верхней частью.

Для предотвращения замерзания воды в трубопроводных системах доков предусмотрена их продувка сжатым воздухом, а приемные патрубки зачистной системы оборудованы индукционным обогревом.

Кроме противоледовых мероприятий, повышение производительности и улучшение условий труда на доках достигаются путем создания микроклимата. С этой целью плавучий док подъемной силой 5000 тс был оборудован двумя торцовыми ветрозащитными закрытиями (стационарным носовым и складывающимся кормовым), пленочными закрытиями пространства между башня-

ми дока и бортами стоящего в доке судна и газовоздушными теплогенераторами с системой воздухопроводов для подачи подогретого воздуха в рабочие зоны дока [36].

Экономическая эффективность внедрения средств микроклимата складывается из экономии, получаемой за счет повышения производительности труда, увеличения числа доковых операций, сокращения дополнительных перерывов на обогрев работающих на доках, уменьшения эксплуатационных расходов и капитальных вложений по флоту и доку.

Из всех устройств, необходимых для оборудования плавучего дока с целью обеспечения регулярного зимнего докования судов, каждое предназначено для выполнения конкретной задачи, чем и обусловлена их многочисленность. В свою очередь, большое число устройств узкого специального назначения загромождает дефицитную площадь плавучего дока и увеличивает потребность в техническом обслуживании оборудования. Эти обстоятельства диктуют необходимость создания единого многофункционального устройства, способного заменить, если не все, то хотя бы основные защитные устройства. Таким устройством может служить энергетическая установка.

§ 20. ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА НА БАЗЕ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

С целью комплексного решения проблемы защиты доков от льда и обледенения, а также обогрева рабочей зоны в междубашенном пространстве дока Ленморниипроектом предложено оборудовать плавучие доки энергетическими установками, выполненными на базе авиационных двигателей. Для этой цели разработан теплогенератор, головной образец которого выполнен на базе авиадвигателя АИ-20, являющийся основным агрегатом доковой энергетической установки. После относительно несложного дооборудования двигателя теплогенератор одновременно может производить до 200 м³/мин сжатого горячего воздуха с температурой около 270° С и горячие газы с теплосодержанием около 6 млн. ккал/ч. Эти два вида энергоносителя используются для решения различных задач, возникающих как в период доковой операции, так и в период ремонта судна в доке.

Кинетическая энергия вырабатываемого установкой сжатого воздуха в период доковой операции используется для задержания и удаления из дока плавающего битого льда, а тепловая энергия воздуха и газового потока в период ремонта судна используется для обогрева рабочей зоны дока с целью подогрева и осушки обшивки корпуса судна перед окраской, ускорения и улучшения качества окраски наружной обшивки корпуса судна, обогрева балластных систем и отсеков дока, образования незамерзающей майны перед доком и создания местных тепловоздушных завес в определенных районах междубашенного пространства дока.

Потребность в энергоносителе. Одной из причин, сдерживающих широкое внедрение мероприятий по защите доков от льда и созданию в них микроклимата, является отсутствие в составе оборудования доков достаточно мощных энергетических источников, способных обеспечить потребности зимнего докования в теплоносителе и сжатом воздухе. Получение этих видов энергоносителя в рабочее время зимой от заводских береговых средств ограниченно в связи с недостаточной мощностью заводских установок и увеличением потребления энергии в этот период, береговыми производственными подразделениями.

Традиционный способ борьбы с ледообразованием подачей потребного расхода пара или горячей воды для обогрева элементов судоподъемных сооружений, поддержания незамерзающей майны перед доками и для других нужд зимнего докования связан со строительством высокопроизводительных и, следовательно, сложных дорогостоящих парокотельных и водоподогревательных установок. Отрицательными факторами в этом случае являются: большие капитальные вложения на технологическое оборудование и строительство зданий, низкий коэффициент использования установок, обусловленный сезонностью работы, а также значительные эксплуатационные расходы на содержание обслуживающего персонала и ремонтные работы в связи с интенсивным загрязнением твердыми осадками пароводяного пространства котлоагрегатов вследствие незамкнутого цикла работы систем обогрева. Предварительная водоочистка связана с оснащением установок сложным и энергоемким дополнительным оборудованием.

Другим источником получения тепла является электроэнергия. Но высокая стоимость, дефицитность в зимние месяцы и низкий к. п. д. при преобразовании электрической энергии в тепловую являются объективными препятствиями ее использования для решения данной проблемы.

Кроме теплоносителя (пара или подогретой воды), для ликвидации ледовых затруднений необходимо расходовать значительное количество сжатого воздуха как с целью поддержания незамерзающей акватории в районе доков, так и с целью задержания и удаления битого плавающего льда. Однако выполнение этого условия связано со строительством высокопроизводительных компрессорных станций, ибо производительность существующих заводских компрессорных установок с трудом обеспечивает технологическую потребность в сжатом воздухе береговых подразделений судоремонтного производства. Производительность же доковых компрессорных установок недостаточна для эффективной борьбы со льдом.

Получение теплоносителя и сжатого воздуха от традиционных источников (котлов и компрессоров) требует не менее двух типов агрегатов специального назначения и соответствующей численности обслуживающего персонала.

В качестве агрегатов для получения теплого воздуха могут использоваться калориферы: электрические, паровые и с камерами

сжигания мазута, дизельного топлива, керосина и природного газа. При рассмотрении возможности их применения для комплексного обеспечения нужд зимнего докования судов обнаруживаются два недостатка: большие масса и габариты, что требует выделения на доках дефицитных производственных площадей, а также относительно низкое давление вырабатываемого воздуха, исключающее возможность его использования в барботажных системах, для транспортировки и раздачи вдоль доков значительной протяженности. Поэтому большинство выпускаемых промышленностью калориферов может использоваться только для обогрева небольших замкнутых пространств (машинных отделений, трюмов, выгородок).

В последние годы в СССР и за рубежом широкое применение на транспорте, в сельском хозяйстве, в энергетике и других отраслях промышленности получают газоструйные, теплогенераторные и другие установки, основу которых составляют авиационные газотурбинные двигатели [18]. Наиболее экономичным средством производства обоих видов энергоносителя может служить газотурбинный авиационный двигатель, переоборудованный таким образом, что от него одновременно можно получать теплоноситель (газообразные продукты сгорания) и сжатый воздух. Особенно целесообразным является использование для этой цели авиадвигателей, отработавших установленный для них срок службы на самолетах и вертолетах. Такое техническое решение в наибольшей степени отвечает основным требованиям, предъявляемым к установкам для получения различных видов энергоносителя, и характеризуется компактностью, малыми капитальными вложениями и эксплуатационными расходами. Использование авиадвигателя в качестве источника энергии для нужд зимнего докования является новой областью его наземного применения и имеет свои специфические особенности.

Энергетическая установка на базе авиадвигателя, независимо от типа и климатических условий района расположения судоподъемного средства, включает три группы элементов: энергоагрегаты, системы обеспечения работы энергоагрегатов и системы использования получаемых энергоносителей для нужд зимнего докования. Взаимодействие этих элементов показано на схеме (рис. 94).

В состав энергоагрегатов входят теплогенератор (ТГ) на базе авиадвигателя и агрегаты преобразования энергоносителей — струйный компрессор (СК) и теплообменник (ТО). Применение агрегатов-преобразователей обусловлено многофункциональностью установки и необходимостью максимально использовать получаемые от ТГ энергоносители. Поэтому для получения большого количества газообразного теплоносителя повышенного давления по сравнению с давлением выхлопных газов авиадвигателя в энергетической установке применен СК, дающий смесь воздуха, отбираемого от двигателя, и части выхлопных газов. Для утилизации тепла выхлопных газов авиадвигателя применен ТО, обеспечивающий получение подогретой воды для нужд зимнего докования.

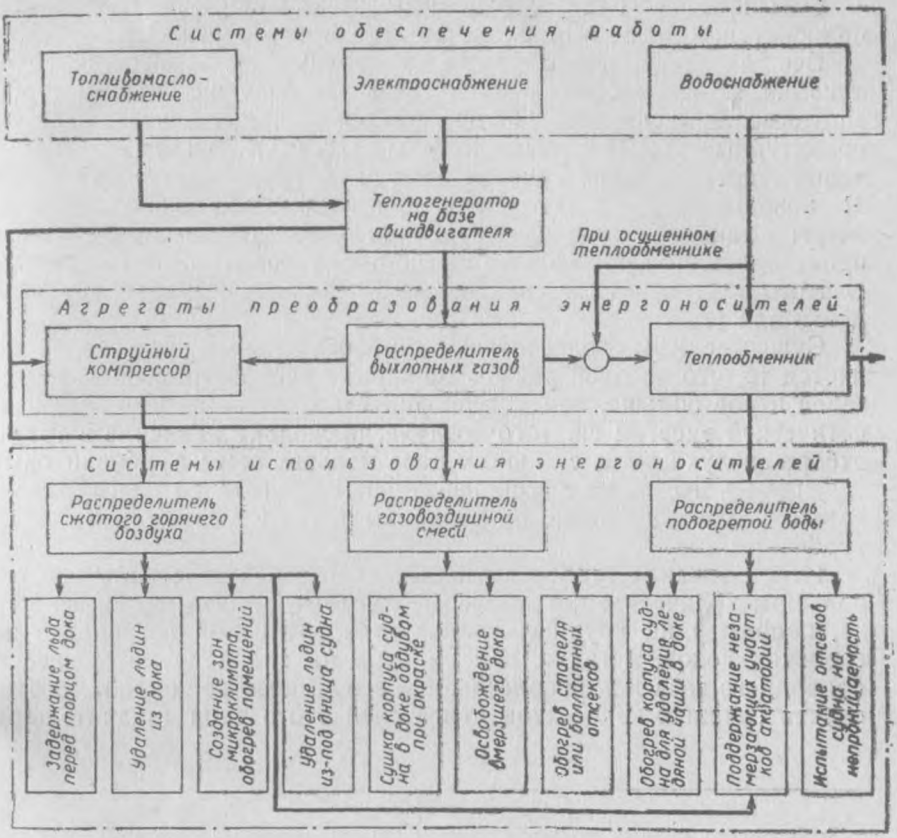


Рис. 94. Принципиальная схема доковой энергетической установки

ТГ на базе авиадвигателя. ТГ является основным агрегатом доковой энергетической установки и предназначен для получения энергоносителей: горячего воздуха, отбираемого за компрессором авиадвигателя, и горячего газа. Разработке конструкции ТГ предшествует выбор типа авиадвигателя.

Авиадвигатель, используемый в теплогенераторе доковой энергетической установки, должен отвечать следующим требованиям:

расходовать наименьшее количество топлива при устойчивой работе в наземных условиях;

производить достаточное количество тепловой и кинетической энергии для комплексного обеспечения потребностей зимнего докования;

иметь минимальные массу и габариты;

после несложного переоборудования устойчиво работать на дизельном топливе или природном газе;

быть широко распространенным в авиации, доступным для приобретения после выработки летного моторесурса.

Все двигатели, используемые в настоящее время в гражданской авиации, можно по типу разделить на две большие группы: турбовинтовые авиадвигатели (ТВД); турбореактивные двигатели — одноконтурные (ТРД) и двухконтурные (ДТРД). Анализ и сопоставление основных характеристик этих двух групп двигателей (табл. 3) показывают, что с точки зрения количества вырабатываемой энергии наиболее подходят турбовинтовые двигатели. Они могут производить в 5 раз больше выхлопных газов и в 2 раза больше сжатого воздуха на 1кг сжигаемого топлива, чем турбореактивные двигатели (табл. 3).

Существенным недостатком турбореактивных двигателей является то, что часовой расход топлива у распространенных двигателей втрое больше, чем у турбовинтовых, а также мал запас кинетической энергии сжатого воздуха, поскольку давление в тракте отбора воздуха в два с лишним раза меньше, чем у турбовинтовых.

Кроме того, масса турбореактивных двигателей и, что более важно в условиях дока, их габариты значительно больше, чем у турбовинтовых.

Использование турбореактивных двигателей целесообразно при большом количестве потребителей сжатого воздуха и горячего газа, например на крупных слипах, при групповой постановке нескольких доков, а также при наличии на предприятии дешевого природного газа для использования его в качестве топлива. В этом случае главный недостаток двигателей этого типа (значительный

Таблица 3

Характеристики наиболее распространенных двигателей	Тип двигателя	
	ТВД	ТРД и ДТРД
Расход топлива, кг/ч	350—750	2000
Масса двигателя, кг (в среднем)	600—1000	2000 и 3000
Габариты, мм (в среднем)	2500×1000	4000×1000
Расход газа на 1 кг сжигаемого топлива, кг	120	25
Температура газа, °С	460	500 и 600
Давление газа, кгс/см²	1,05	1,20
Скорость истечения газа, м/с	300	500
Расход обтираемого сжатого воздуха (наибольший) на 1 кг сжигаемого топлива, кг	18	8
Давление воздуха в тракте отбора, кгс/см²	6,0	3,5 и 1,5
Температура воздуха в тракте отбора, °С	280	250
Возможные виды рабочего топлива при наземном использовании (кроме авиационного керосина)	Дизельное, природный газ	Дизельное, природный газ

часовой расход топлива) не является препятствием для их использования в доковых энергетических установках.

Среди турбовинтовых двигателей, используемых в настоящее время в гражданской авиации, по всем основным параметрам подходят для применения в теплогенераторах два типа двигателей: АИ-24 и АИ-20. Эти двигатели идентичны, имеют сходные основные характеристики: габариты, температуру, давление и скорость истечения выхлопных газов, температуру и давление в тракте отбора сжатого воздуха, способны работать на одинаковых сортах топлива. В то же время расход топлива двигателя АИ-24 составляет 375 кг/ч, а АИ-20 при тех же условиях — 636 кг/ч, или в 1,7 раза больше. Однако двигатель АИ-20 производит при этом в 1,5 раза больше выхлопных газов и сжатого горячего воздуха, поэтому с точки зрения энергообеспечения систем доковой энергетической установки этот двигатель использовать в теплогенераторе более целесообразно, тем более, что абсолютная величина часового расхода топлива у АИ-20 относительно невелика. Кроме этого, имеется богатый отечественный опыт использования двигателя АИ-20 в наземных установках, а средний моторесурс этого двигателя после списания с самолетов составляет около 2000 ч. Турбовинтовой двигатель АИ-20 при его наземном применении в качестве генератора тепла используется в безвинтовом варианте.

ТГ включает переоборудованный авиадвигатель АИ-20, установленный на подмоторной раме, входное и выхлопное устройства, устройство для отбора воздуха за компрессором, системы запуска

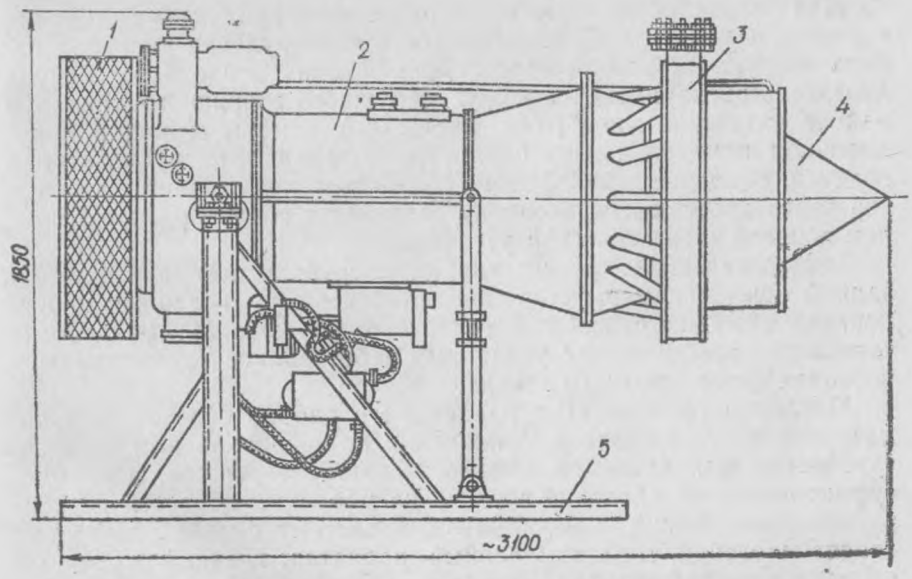


Рис. 95. Теплогенератор на базе авиадвигателя АИ-20:
1 — входное устройство; *2* — авиадвигатель; *3* — коллектор отбора сжатого воздуха; *4* — выходное устройство; *5* — подмоторная рама

и контроля работы двигателя, топливную и масляную системы (рис. 95). АИ-20 является одновальным ТВД, снабженным осевым компрессором, кольцевой камерой сгорания, реактивной турбиной и нерегулируемым выхлопным устройством.

Переоборудование АИ-20 для использования в ТГ заключается в демонтаже редуктора, регулятора оборотов Р-68 и стояночного тормоза, что обычно выполняется в течение непродолжительного времени слесарем средней квалификации.

На входной воздушный тракт двигателя устанавливают специально изготовленное профилированное входное устройство с защитной сеткой. Входное устройство предназначено для предотвращения попадания в воздушный тракт двигателя посторонних предметов и для организации входа в двигатель атмосферного воздуха. При этом профилированный вход способствует выравниванию скоростей в потоке перед компрессором, повышению расхода воздуха через двигатель и давления газа за турбиной. Каркас входного устройства крепится к фланцу лобового картера двигателя.

Выхлопное устройство двигателя (реактивное сопло) состоит из наружного и внутреннего кожухов, соединенных между собой полыми ребрами, и съемного конуса. На наружном кожухе сопла имеются четыре гнезда для установки термопар. К выхлопному устройству двигателя присоединяется газовый тракт ТГ. Газовый тракт крепится независимо от двигателя, стыкуется и уплотняется с затурбинным каналом посредством переходного кольца и зажимного хомута.

Для получения сжатого не загрязненного продуктами сгорания горячего воздуха от ТГ авиадвигатель дооборудован системой отбора воздуха за компрессором. Для организации отбора воздуха двигатель препарируют: в кожух наружного вторичного канала в районе вторичной зоны (зоны смешения) камеры сгорания в радиальном направлении по периметру вваривают патрубки отбора воздуха, объединенные общим кольцевым коллектором. Коллектор через дроссельную заслонку соединен с воздухораспределителем доковой энергетической установки.

Технологический процесс вварки патрубков отбора воздуха в задний кожух камеры сгорания относительно несложен и, как показал опыт изготовления головного образца ТГ, разработка технологии и выполнение указанных работ вполне осуществимы в условиях судоремонтного завода.

Масляная система ТГ в процессе его работы обеспечивает подачу масла для смазки и охлаждения подшипников компрессора, турбины и всех приводов вспомогательных агрегатов, а система суфлирования — удаление воздуха из масляных полостей и лабиринтных уплотнений подшипников. В систему смазки двигателя входят маслобак, топливомасляный радиатор, главный масляный насос, состоящий из двух секций — нагнетающей и откачивающей, насос подпитки, двухсекционный маслонасос откачки масла от подшипников турбины, масляный насос откачки масла из короб-

ки приводов, центробежный воздухоохладитель, масляные фильтры, трубопроводы и каналы масляной системы, жиклеры и форсунки подачи масла к местам смазывания, сливные краны.

Топливная система обеспечивает питание ТГ топливом и охлаждает масло (в топливомасляном радиаторе) на всех режимах работы двигателя и состоит из системы низкого давления, пусковой системы и системы высокого давления.

Все агрегаты и оборудование, кроме маслобака и топливных емкостей, поставляются вместе с двигателем.

Электрическая система запуска двигателя обеспечивает холодную прокрутку, запуск двигателя, подачу пускового топлива и его воспламенение при запуске, отключение стартеров (прекращение процесса запуска). Система запуска включает агрегаты, установленные на двигателе, элементы управления и приборы контроля, расположенные на пульте управления, а также агрегаты, находящиеся в силовой и коммутирующей коробках. На двигателе установлены два стартер-генератора для раскрутки ротора двигателя до момента вступления в работу турбины и сопровождения двигателя до 4500—5700 об/мин. Для воспламенения топлива в пусковых блоках предусмотрены две катушки зажигания со свечами. Кроме того, на двигателе имеется электрогидравлическое реле для подачи сигнала на отключение стартер-генераторов, электроклапан для управления подачей пускового топлива и электроклапан прекращения подачи рабочего топлива для остановки двигателя.

На пульте управления ТГ размещены следующие приборы-указатели: температуры и давления масла, давления топлива, температуры газов, оборотов двигателя и напряжения тока в электрических цепях. Кроме того, на пульте размещены кнопки, выключатели и сигнальные лампы наличия напряжения.

К приборам контроля работы ТГ относятся: термометр выходящих газов, сдвоенный измеритель температуры, тахометр, трехстрелочный электрический индикатор (показывает давление топлива, давление и температуру масла). Указатели всех приборов установлены на пульте управления, датчики — на двигателе.

Подмоторная рама предназначена для установки на ней двигателя АИ-20, газового тракта, тракта отбора воздуха, маслобака, агрегатов топливной и масляной систем и представляет собой жесткую конструкцию, выполненную из швеллеров.

Запуск ТГ производится с закрытой дроссельной заслонкой в тракте отбора воздуха. Воздух поступает через входное устройство в осевой компрессор и, проходя через ступени компрессора, постепенно сжимается от ступени к ступени и подается в камеру сгорания.

В камере сгорания воздух разделяется на два потока: первичный и вторичный. Первичный поток воздуха поступает в переднюю часть камеры сгорания, куда непосредственно впрыскивается через форсунки тонкораспыленное топливо.

Вторичный поток воздуха, омывая камеру сгорания снаружи и охлаждая ее стенки, поступает через отверстия и сопла во внутреннюю кольцевую полость камеры сгорания, где смешивается с горячими газами (продуктами сгорания топлива) и, охлаждая их, обеспечивает получение заданной температуры потока газа на входе в турбину.

Из камеры сгорания газ с высокими температурой и давлением поступает в трехступенчатую турбину, где определенная часть энергии горячих газов преобразуется в механическую работу, передаваемую на вал турбокомпрессора.

Выходящие из турбины газы, обладающие тепловой и кинетической энергией, поступают в газовый тракт ТГ, расход газового потока — от 17 до 20 кг/с при температуре около 400° С.

Изменение режима работы двигателя при постоянных оборотах ротора турбокомпрессора происходит, когда открывается дроссельная заслонка в тракте отбора воздуха за компрессором. При этом часть вторичного воздуха, пропорциональная величине открытия заслонки, из наружного вторичного канала направляется через коллектор отбора и дроссельную заслонку в тракт отбора. При этом мощность турбины вследствие уменьшения расхода газа через нее уменьшается, что приводит к уменьшению числа оборотов ротора турбокомпрессора. Однако, чтобы выполнять заданную для двигателя программу регулирования, необходимо восстановить мощность турбины. Это достигается за счет автоматического увеличения расхода топлива и повышения температуры газа перед турбиной. При этом повышается температура газа на выхлопе, за турбиной. В процессе эксплуатации ТГ в период отрицательных температур появляются особенности, вызванные использованием дизельного топлива.

Дизельные топлива, имеющие температуру замерзания от —10 до —15° С начинают загустевать при —5° С, что может привести к закупорке топливных фильтров и остановке двигателя. В связи с этим при температурах наружного воздуха ниже —5° С в качестве основного следует применять дизельное топливо с температурой замерзания выше —35° С.

При отсутствии зимних марок дизельного топлива запуск двигателя может осуществляться на керосине. После прогрева двигатель может работать на дизельном топливе любых марок, которое перед поступлением в топливную систему двигателя подогревается горячим маслом в топливомасляном радиаторе. Наилучшим видом топлива для стационарных энергетических установок с авиадвигателями является природный газ.

Испытания опытного образца ТГ выполнялись в два этапа: на первом проверялась его работоспособность и выявлялись конструктивные недостатки, на втором устанавливалось соответствие параметров ТГ техническим условиям и определялись возможные режимы работы ТГ.

Результаты испытаний подтвердили работоспособность в системе ТГ авиадвигателя АИ-20, дооборудованного системой отбо-

ра воздуха за компрессором, и показали, что при этом ТГ вырабатывает до 730 м³/мин газа с температурой около 400° С и при избыточном давлении 0,2 кгс/см², а также около 200 м³/мин сжатого воздуха с температурой 275° С и при избыточном давлении до 4 кгс/см². ТГ при этом работает на дизельном топливе с расходом 600—700 кг/ч.

Агрегаты преобразования энергоносителей. С целью получения повышенного количества газообразного теплоносителя с давлением, достаточным для преодоления гидравлического сопротивления в подводящем и раздаточных воздухопроводах, в составе доковой энергетической установки предусмотрен струйный компрессор (СК), который позволяет использовать имеющуюся энергию сжатого горячего воздуха для засасывания выхлопных газов и производить газовоздушную смесь с расходом около 300 м³/мин (при атмосферном давлении) при температуре 300° С и давлении 0,8 кгс/см².

Выбор типа теплообменника (ТО) для нагрева воды выхлопными газами ТГ основывался на требовании сокращения размеров ТО при максимально возможном охлаждении большого количества газов высокой температуры. На основании этих требований был принят тип ТО, в котором газ вступает в непосредственный контакт с нагреваемой водой, а минимальные размеры при этом дает ТО, работающий по принципу газлифта. Такой ТО позволяет при относительно небольших габаритах осуществить охлаждение горячего газа с к. п. д. = 80÷90%. Струя газа при входе в ТО встречается с погруженным в воду отражателем, дробится на отдельные пузырьки и смешивается с водой. Образующаяся при этом газоводяная смесь поднимается по газлифтной зоне ТО, осуществляя тепло- и массообмен между газом и водой. Охлажденный до +30° С газ уходит в атмосферу, а подогретая вода скапливается в сборнике, откуда поступает к местам потребления.

Системы обеспечения работы. Работу энергетической установки обеспечивают системы топливоснабжения, электроснабжения и водоснабжения.

Система топливоснабжения ТГ включает топливные емкости, топливопроводы пускового (керосина) и рабочего (дизельного) топлива, а также топливоподкачивающие насосы (рис. 96). В качестве главных топливных емкостей в большинстве случаев могут использоваться доковые цистерны основного запаса дизельного топлива объемом 120—150 м³, из которых с помощью докового топливоподкачивающего насоса топливо подается в расходную топливную цистерну, а оттуда самотеком поступает к топливным насосам, навешенным на авиадвигателе. Расходная цистерна оснащена датчиком уровня, сблокированным с топливоподкачивающим насосом и снабжена переливным трубопроводом.

Расход пускового топлива незначителен, запуск двигателя осуществляется в течение 2—3 мин при общем расходе керосина на один запуск 25 л. Поэтому для пускового топлива достаточно пре-

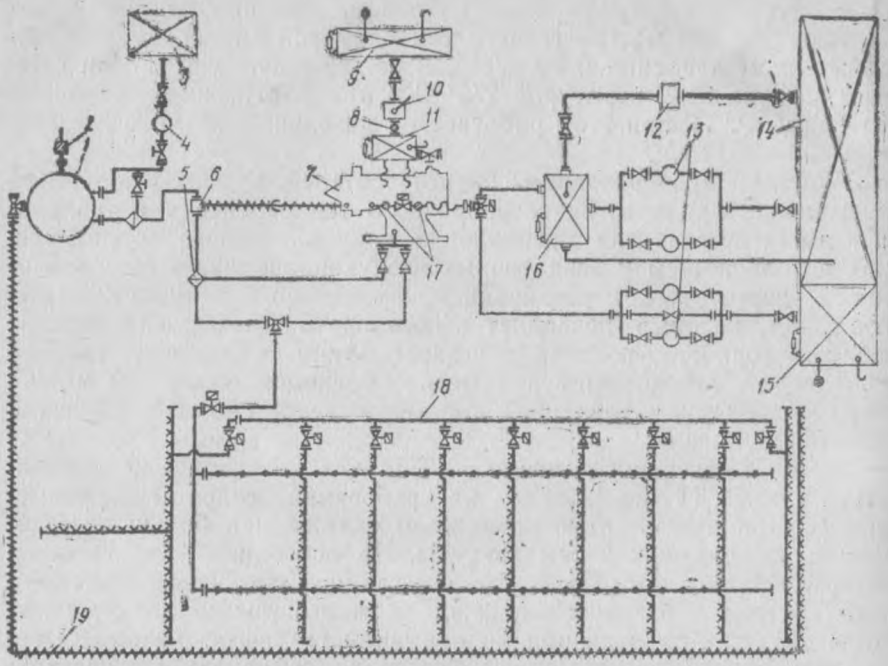


Рис. 96. Системы доковой энергетической установки:

1 — теплообменник; *2* — брызгоотбойник; *3* — водозаборник; *4* — водяной насос; *5* — газовоздушный смеситель; *6* — газораспределитель; *7* — теплогенератор на базе авиадвигателя; *8* — масляный фильтр; *9* — расходная масляная цистерна; *10* — ручной масляный насос; *11* — циркуляционная масляная цистерна; *12* — ручной топливный насос; *13* — топливный насос; *14* — цистерна рабочего топлива; *15* — цистерна пускового топлива; *16* — расходная топливная цистерна; *17* — топливный фильтр; *18* — пневматическая система; *19* — система подогретой воды

дусмотреть только расходную цистерну, пополняемую периодически, по мере расходования топлива на запуски.

Потребность установки в электроэнергии складывается из кратковременного расхода электроэнергии на запуск двигателя (30—60 кВт), управления насосами и клапанами систем обеспечения работы и использования энергоносителя. На авиационных газотурбинных двигателях для раскрутки ротора применяются электростартеры (или стартер-генераторы), турбостартеры. При использовании авиадвигателя в наземных установках раскрутку ротора можно производить от иных источников мощности (например, от автомобильного двигателя). В условиях плавучего дока в качестве пускового агрегата может использоваться сварочный выпрямитель или электромотор-генератор.

Система водоснабжения (см. рис. 96) включает трубопроводы и водяной насос, в качестве которого в условиях плавучего дока может использоваться резервный пожарный насос. С его помощью вода из коллектора забортной воды подается на впрыск в газовый тракт и в ТО системы утилизации тепла выхлопных газов, вырабатываемых ТГ.

Энергоагрегаты с системами обеспечения производят, таким образом, сжатый горячий воздух, газовоздушную смесь и подогретую воду. Эти энергоносители подаются в системы использования для нужд зимнего докования.

Системы использования энергоносителей. Кинетическая энергия сжатого воздуха используется для защиты дока от ледовых затруднений в период доковой операции. При этом осуществляется задержание плавающего битого льда перед торцом дока, удаление льдин из дока и из-под днища судна перед постановкой его в док.

Тепловая энергия сжатого воздуха может быть использована для создания микроклимата в междубашенном пространстве дока и обогрева помещений. Кроме того, сжатый воздух используется в качестве рабочей среды в струйном компрессоре, где инжектируются выхлопные газы и производится газовоздушная смесь. В основном эта смесь используется для обогрева корпуса судна в доке обдувом с целью сушки в процессе окраски. Кроме того, смесь можно использовать для растопления ледяного покрова по контуру вмерзшего плавучего дока перед доковой операцией с целью его освобождения, обогрева стапеля, балластных отсеков, удаления ледяной чаши с корпуса судна в доке. Удаление ледяной чаши может выполняться также с помощью подогретой воды, подаваемой от ТО в отсеки корпуса судна. Кроме этого, подогретая в ТО вода используется для поддержания незамерзающих участков акватории перед доками и для испытания отсеков ремонтируемого судна на непроницаемость, а также для подачи подогретой воды к гидравлическим установкам для очистки корпусов судов с помощью высоконапорной струи или гидропескоструйных аппаратов.

Энергоагрегаты и системы обеспечения работы являются обязательными элементами любой доковой энергетической установки, а подбор систем использования осуществляется в зависимости от гидрометеорологических условий района расположения дока и технологических особенностей зимнего докования.

Энергетическая установка дока подъемной силой 8500 тс (рис. 97) содержит все характерные энергоагрегаты и системы обеспечения работы. Системы использования имеют: пневматические установки для защиты дока от битого плавающего льда и удаления льдин из-под днища судна; систему поддержания незамерзающего участка акватории, включающую пневматическую ветвь и ветвь теплой воды; систему обогрева балластных отсеков дока и испытания отсеков судна наливом воды; газовоздушную систему сушки корпуса судна в доке в процессе окраски.

Для защиты дока от битого плавающего льда в период доковой операции перед торцом дока и на стапель-палубе смонтирована система перфорированных воздухопроводов, соединенных магистралью с воздушным коллектором ТГ. Истекающий из отверстий воздух создает на поверхности воды бурун и поверхностные течения, удерживающие битый лед перед торцом дока. Последователь-

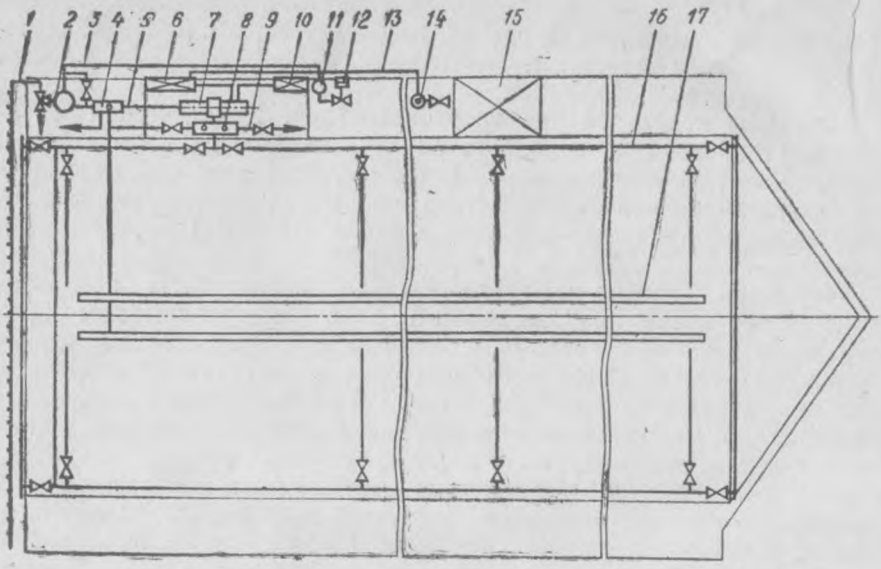


Рис. 97. Схема энергетической установки дока подъемной силой 8500 тс:
1 — трубопровод подогретой воды; *2* — теплообменник; *3* — трубопровод холодной воды; *4* — газораспределитель; *5* — газоход; *6* — расходная цистерна дизельного (рабочего) топлива; *7* — теплогенератор на базе авиадвигателя; *8* — воздухораспределитель; *9* — обогрев балластных отсеков; *10* — цистерна пускового топлива (керосина); *11* — водяной насос; *12* — водозаборник; *13* — топливопровод; *14* — топливный насос; *15* — доковая цистерна дизельного (рабочего) топлива; *16* — воздухопроводы; *17* — воздухогазопровод

ная подача воздуха в перфорированные участки для удаления льдин из дока осуществляется дистанционно из ЦПУ дока путем кратковременного открытия запорных клапанов. При поочередной подаче сжатого воздуха в перфорированные участки, начиная от одной оконечности дока, в междубашенном пространстве плавучего дока (или камере сухого дока) создается поверхностное течение с общим направлением к противоположной его оконечности. Это течение удаляет из дока плавающие льдины.

Кроме этого, кинетическая энергия сжатого воздуха может быть использована для удаления льдин из-под днища судна. Для этого перфорированный трубопровод, по длине соизмеримый с длиной ремонтируемых в доке судов, укладывается на дне водоема перед входом в док и является продолжением оси последнего. Перед постановкой в док судно подводят к его рабочему торцу и устанавливают над перфорированным трубопроводом. Истекающий из отверстий воздух создает восходящий водовоздушный поток, который, достигая днища судна, вымывает скопившиеся под днищем льдины. Этому в значительной мере способствует скапливающийся под днищем воздух, который отжимает льдины от обшивки судна и служит воздушной смазкой, облегчая удаление непримерзших льдин.

Для поддержания незамерзающего участка акватории от теплообменника подогретая вода поступает самотеком по специально-

му трубопроводу к оконечности дока и через перфорированную трубу, смонтированную на торце дока под уровнем воды, вытекает в водоем. Выпускаемый в этом же районе сжатый воздух создает восходящий и поверхностные потоки, распределяющие подогретую воду по акватории перед доком, предотвращая тем самым образование ледяного покрова и смерзание льдин перед торцом дока. Кроме этого, подогретая вода по специальному патрубку может подаваться на ремонтируемое в доке судно для испытания отсеков на непроницаемость в условиях отрицательных температур наружного воздуха или к гидроагрегатам для очистки корпусов судов.

Для сушки корпуса судна в процессе окраски на стапеле дока по обеим сторонам центральной килевой дорожки монтируются раздаточные трубопроводы с выпускными насадками, в верхней части которых смонтирован конусный регулятор расхода, являющийся одновременно распределителем струи и запорным устройством (см. рис. 86). В районе, подлежащем обогреву воздухом, открывают эжекционные насадки, вращая конфузор. Горячая газовоздушная смесь, подаваемая от СК, вытекает через зазор между верхней кромкой конфузора и конусным регулятором расхода, образуя равномерный широкий факел. При этом в нижней части насадки создается разрежение и происходит подсос наружного воздуха, понижающего температуру и увеличивающего общий расход теплоносителя. Объем подсасываемого воздуха и температура смеси регулируются вращением конфузоров. Восходящие потоки теплой газовоздушной смеси омывают корпус судна и обогревают его, ускоряя процесс сушки и повышая качество окраски наружной обшивки. Перед погружением дока насадки закрывают. Такая система применима в плавучих и сухих доках, на слипах.

При разработке энергетической установки значительное внимание уделено вопросу борьбы с шумом, возникающим при работе авиадвигателя, так как работа ТГ на базе авиадвигателей характеризуется высоким исходным уровнем шума, который отрицательно воздействует на рабочий персонал. Эта задача решена комплексом технических мероприятий, основными из которых явились звукоизоляция обшивки помещения ТГ и глушение шума на всасывании и на выхлопе авиадвигателя. При этом учитывалось, что вход в помещение ТГ во время работы авиадвигателя запрещен, а управление им осуществляется дистанционно.

Основным источником шума авиадвигателя АИ-20 является струя выхлопных газов и аэродинамический шум всасывания компрессора. Поскольку выхлоп в энергетической установке, как правило, осуществляется через ТО, шум выхлопа практически отсутствует. Кроме того, последние исследования Американского института аэронавтики и астронавтики в области снижения шума выхлопа авиадвигателей показывают, что очень эффективным для этой цели является впрыск воды в выхлопной тракт. Так как такое мероприятие предусмотрено в энергетической установке для снижения температуры газов перед подачей их в ТО, оно одновременно служит и дополнительным средством глушения шума.

Для снижения шума всасывания помещение ТГ оборудуется глушителями в шахте воздухозабора. Глушитель на входе должен обеспечить в основном снижение шума высоких частот, поэтому глушитель шума всасывания прост и выполняется в виде пластин с активным поглотителем типа шлаковой ваты, капронового волокна, поропласта, пенополиуретана и т. п. Оболочку звукопоглотителей следует изготовлять из перфорированного листа. Расчеты, проведенные для глушителей шума всасывания ТГ на базе авиадвигателя АИ-20, показывают, что шахта воздухозабора должна быть оборудована щитами, наполненными супертонким волокном, при этом площадь проходного сечения шахты составляет около 4 м^2. Организация забора воздуха авиадвигателем непосредственно из помещения ТГ, облицованного шумогасящими покрытиями, позволяет использовать помещение ТГ совместно с воздухозаборным устройством как эффективный двухкамерный активно-реактивный глушитель шума. Эти мероприятия обеспечили уменьшение уровня шума на выходе из воздухозаборной шахты до 28 дБ.

Снижение шума в соседних с ТГ служебных помещениях достигается тем, что внутренние поверхности переборок, бортов и палуб помещения ТГ облицованы звукопоглощающими панелями. Панели рекомендуется располагать в шахматном порядке с целью повышения эффекта шумопоглощения и выполнять из пористого звукопоглощающего материала (марки АТМ-1) в виде матов или плит, закрытых со стороны помещения перфорированными экранами, которые защищают звукопоглощающий материал от механических повреждений и обеспечивают удовлетворительный декоративный вид. Экраны выполнены из листов металла толщиной до 2 мм, процент перфорации не менее 20, диаметр отверстий от 3 до 5 мм. Толщина звукопоглощающего материала 50—100 мм. Чтобы волокнистые материалы не высыпались через перфорации, между экраном и материалом помещают слой тонкой ткани, например стеклоткань Э-0,1. Звукопоглощающая способность стальной обшивки помещения и описанных облицовок составляет 110 дБ.

Выполнение вышеперечисленного комплекса мероприятий обеспечивает требуемый уровень акустического комфорта как внутри производственных помещений, соседних с помещением ТГ, так и на рабочих местах в доке и на территории завода.

Варианты компоновки энергетических установок для доков. При компоновке энергетической установки для доков конкретного завода всегда возникает ряд требований, диктуемых местными условиями. К таким условиям относятся тип, количество, размеры доков и наличие в доке свободного помещения для ТГ, схема расстановки доков на акватории и ориентация относительно преобладающих зимних ветров, технология докования и докового ремонта, метеорологические характеристики района и др.

Энергетическая установка для одного плавучего дока. С целью сокращения протяженности трубопроводов и электрических коммуникаций целесообразно все элементы установки (теплогенератор, системы обеспечения работы и использования энергии) рас-

полагать на одной башне дока, по возможности в соседних помещениях. Кроме того, помещение ТГ желательно выбрать на той же башне, где находится ЦПУ дока, чтобы обеспечить установку пульта ТГ и всей установки в ЦПУ. При отсутствии свободного помещения внутри башни дока ТО и ТГ можно располагать в одной из оконечностей башни или в специальном помещении, монтируемом на кронштейнах на внешней стенке башни дока на уровне топ-палубы.

Все системы такой установки рассчитаны на работу ТГ для нужд только данного дока. Преимуществом этого варианта компоновки является то, что передача энергоносителей от распределителей в системы использования не вызывает технических трудностей, так как вся установка расположена на доке.

Энергетическая установка для группы плавучих доков. Главной особенностью такой установки является наличие автономных систем использования энергоносителей, повторяющихся на каждом доке, а ТГ, системы обеспечения работы установки и использования тепловой энергии отходящих газов для получения подогретой воды монтируются на одном из доков и остаются общими для остальных. Эта особенность вызывает появление дополнительных трубопроводов и, кроме того, ставит задачу передачи энергоносителей на соседние доки. Решение этой задачи в части транспортировки сжатого воздуха и подогретой воды не вызывает трудностей, а осуществление системы транспортировки горячего газа очень сложно из-за постоянных и значительных относительных перемещений доков и большого диаметра газопровода.

Энергетическая установка для группы плавучих доков может быть скомпонована в двух вариантах. При первом варианте ТГ, системы обеспечения работы и подогрева воды монтируют на одном из доков, который имеет также системы использования энергии горячего сжатого воздуха, горячего газа и подогретой воды. Такая установка полностью аналогична установке для одного дока, но воздух и подогретая вода от распределительных устройств транспортируются на доки, установленные рядом. Эти доки имеют свои системы использования энергии сжатого воздуха и подогретой воды.

Другой вариант установки для группы доков предусматривает автономное размещение ТГ с системами обеспечения работы установки и системой подогрева воды вне доков. При такой компоновке (рис. 98) ТГ и пусковой агрегат установлены в отдельном помещении на пирсе или понтоне, расположенном вблизи доков. Здесь же монтируется теплообменник и устройство для впрыска воды в газовый тракт. Вода в систему водоснабжения подается специальным водяным насосом. Пусковое и рабочее топливо поступает к ТГ из топливохранилища, которое предусмотрено на пирсе либо может быть выполнено плавучим и пришвартовано вблизи помещения ТГ. Подачу топлива обеспечивают специальные насосы, установленные в помещении топливохранилища и отделенные от топливных емкостей брандмауэром. Управление все-

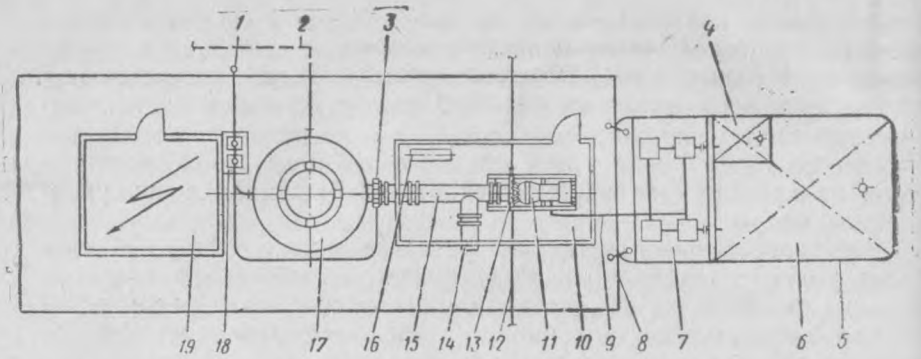


Рис. 98. Энергетическая установка для группы доков:

1 — водозаборник; *2* — подача подогретой воды на док; *3* — вырыск воды в газовый тракт; *4* — емкость пускового топлива; *5* — плавучее топливохранилище; *6* — емкость дизельного (рабочего) топлива; *7* — помещение топливных насосов; *8* — пирс (понтон); *9* — топливопровод; *10* — помещение ТГ; *11* — теплогенератор (ТГ); *12* — подача воздуха на док; *13* — коллектор отбора воздуха; *14* — выход отработанного газа в атмосферу; *15* — газоход; *16* — агрегат запуска; *17* — теплообменник; *18* — насосы холодной воды; *19* — пульт управления и электрощитовая

ми механизмами и агрегатами, включая распределительные устройства, осуществляется с пульта на пирсе, а доковыми системами использования энергии — из ЦПУ каждого дока.

Сопоставляя варианты компоновки энергетической установки для группы доков, можно заметить, что при расположении ТГ на пирсе или понтоне стоимость установки будет значительно выше из-за строительства специальных помещений и топливного склада. Кроме того, ограничена возможность использования энергии горячего газа. К недостаткам же докового варианта можно отнести тот факт, что возможности топливоснабжения ТГ ограничены объемом доковой цистерны основного запаса дизельного топлива, которую при работе установки на группу доков придется часто бункеровать. При проведении доковой операции на доке-носителе ТГ передача энергоносителей на другие доки практически исключена.

Энергетическая установка для сухих доков. Такая установка аналогична автономной установке для группы плавучих доков и отличается тем, что в этом случае появляется возможность использования горячего газа для обогрева подошвы дока с целью предотвращения образования на ней льда. При этом газ подается в систему труб, уложенную в толще покрытия днища дока. Кроме этого появляется возможность упростить установку, обеспечив подачу топлива к ТГ от заводского склада горюче-смазочных материалов (ГСМ). В этом случае топливохранилища может не быть вообще либо оно будет небольшим, только для пускового топлива. Групповое расположение сухих доков ничего не меняет в компоновке установки, лишь позволяет эксплуатировать ее с бо́льшим эффектом за счет повышения коэффициента использования установки.

Энергетическая установка, скомпонованная подобным обра-

зом, может быть использована для обеспечения работы в зимний период вертикальных судоподъемников, слипов и других типов береговых судоподъемных сооружений.

Плавучая доковая энергетическая установка. В том случае, когда на предприятии доки расположены на большом расстоянии один от другого, а иногда вне территории предприятия, появляется необходимость оснащения каждого из них своей энергетической установкой. Такой путь решения проблемы обеспечения зимнего докования является нерациональным из-за больших затрат на строительство, эксплуатацию и обслуживание нескольких установок. Более оптимальным в данном случае может явиться вариант компоновки автономной передвижной установки, размещенной на специальном плавсредстве (рис. 99). При этом на плавсредстве размещены: ТГ, топливные цистерны, системы обеспечения работы установки, системы подогрева воды, распределительные устройства, система запуска и контроля работы ТГ и всей энергетической установки. Как и в предыдущих вариантах, непосредственно на доках размещены только системы использования энергоносителей.

Такая энергетическая установка может быть отбуксирована и ошвартована у любого дока. Во время погружения дока трубопроводы использования энергоносителей должны быть отсоединены, а после погружения — вновь присоединены к раздаточным системам установки.

Управление всеми агрегатами, механизмами и арматурой установки осуществляется из пультовой, расположенной на плавсредстве, а регулирование доковых систем использования энергии производится из ЦПУ дока.

При наличии на предприятии нескольких доков, разобщенно установленных на акватории, использование плавучей энергетической установки наиболее целесообразно, тем более, что с помощью такой установки могут быть обеспечены сжатым горячим воздухом или подогретой водой и другие потребители, например

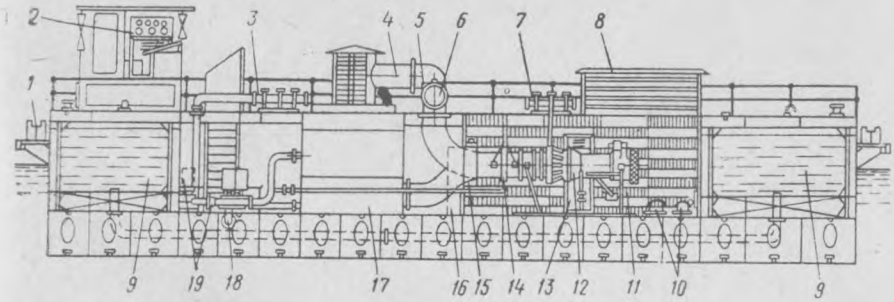


Рис. 99. Плавучая энергетическая установка:

1 — швартовное устройство; *2* — пульт управления; *3* — коллектор подогретой воды; *4* — газоход; *5* — задвижка; *6* — газопровод; *7* — коллектор сжатого воздуха; *8* — шахта воздухозабора; *9* — топливные цистерны; *10* — топливные насосы; *11* — звукопоглощающие панели; *12* — теплогенератор на базе авиадвигателя; *13* — агрегат запуска; *14* — коллектор отбора воздуха; *15* — газораспределитель; *16* — установка углекислотного пожаротушения; *17* — теплообменник; *18* — водозаборник; *19* — водяные насосы

причалы или отдельно стоящие ремонтируемые суда. К недостаткам плавучей установки следует отнести сложность ее буксировки при наличии льда на акватории.

Эксплуатация доковой энергетической установки. При ремонте судна в доке энергетическая установка выполняет следующие функции: сушку и обогрев наружной обшивки корпуса судна перед окраской и сушку слоев при окраске корпуса в условиях отрицательных температур наружного воздуха; обогрев балластных отсеков дока, включая стапель-палубу; поддержание в незамерзающем состоянии участков акватории перед торцами дока; подачу подогретой воды на судно при испытании его отсеков на непроницаемость и к гидроагрегатам для очистки корпуса судна перед окраской.

Установка работает в двух режимах: без подачи воды в теплообменник и с ее подачей. При осушенном теплообменнике установка производит газовоздушную смесь и сжатый горячий воздух. Эти теплоносители могут быть использованы для сушки корпуса судна, обогрева балластных отсеков дока и создания тепловоздушных завес.

Когда ТО заполнен водой, установка производит подогретую воду и сжатый горячий воздух. Вода используется для растопления льда или испытания отсеков судна, а воздух — для раздачи подогретой воды по поверхности водоема при поддержании незамерзающей акватории.

В обоих случаях запуск ТГ осуществляют при осушенном ТО, чтобы обеспечить свободный выпуск газа в атмосферу до выхода двигателя на рабочий режим.

В период проведения доковой операции установка работает в режиме осушенного ТО и вырабатывает максимально возможное количество сжатого воздуха (около 200 м^3/мин с давлением 4 кгс/см^2), который используется в системах защиты междубашенного пространства дока от дрейфующего льда. При этом во время погружения дока работают только системы защиты торцов, а затем, если при вводе судна в междубашенное пространство дока попадает битый лед, систему защиты одного из торцов временно выключают и, поочередно подавая воздух в трубопроводы, уложенные поперек стапель-палубы, удаляют из дока льдины. После этого вновь включают систему защиты торцов. Кроме того, воздух может подаваться в перфорированный трубопровод, уложенный на дне водоема перед кормовым торцом по продольной оси дока. Судно устанавливают над этим трубопроводом, и, подавая в трубопровод воздух, обеспечивают создание мощных восходящих потоков воды, удаляющих льдины, попавшие под днище судна.

Контроль за работой ТГ осуществляет оператор, а управление системами использования энергии как при ремонте судна, так и при доковой операции производится по указанию вахтенного начальника дока из ЦПУ.

Как уже отмечалось, наиболее целесообразно с экономической точки зрения для создания ТГ установки использовать авиадви-

гатели, отработавшие летный ресурс. Большим преимуществом при этом является то, что ремонт основного агрегата установки — авиадвигателя сводится к профилактическому обслуживанию и агрегатной замене двигателя.

Таким образом, энергетическая установка для судоподъемных сооружений, в качестве основного агрегата которой используется теплогенератор на базе авиационного двигателя, предназначена и способна обеспечить в комплексе основные технологические потребности зимнего докования. Оснащение ею действующих и строящихся доков отвечает возросшим требованиям к улучшению условий труда в доках, сокращению сроков и повышению качества докового ремонта судов.

Выбор той или иной схемы энергетической установки должен базироваться на глубоком технико-экономическом анализе, учитывающем конкретные условия эксплуатации, расположение и конструкцию судоподъемных средств.

Некоторым препятствием для широкого внедрения доковых энергетических установок является дефицитность авиационной аппаратуры управления ТГ. Эта сложность может быть преодолена в дальнейших разработках подбором распространенной общетехнической аппаратуры вместо авиационной.

Кроме этого, одним из путей повышения эффективности применения энергетических установок могут явиться разработки, направленные на максимально возможное использование доковых механизмов, оборудования и систем в составе доковой энергетической установки. С наибольшим успехом это может быть достигнуто при проектировании и строительстве новых доков. Разрабатываемые и осуществляемые совместно с энергетическими установками ветрозащитные устройства доков с еще большей полнотой позволяют создать в современных доках условия, близкие к условиям производственных цехов, и улучшить условия работы в доках в период ветров и отрицательных температур наружного воздуха.

Энергетическая установка для причальных сооружений. Для ликвидации ледовых затруднений, возникающих в период зимней эксплуатации причальных и других типов гидротехнических сооружений, появляется необходимость в источниках тепловой энергии и сжатого воздуха. С целью получения этих энергоносителей в портах целесообразно использовать энергетические установки, аналогичные доковым установкам и теплоэнергетическому комплексу Сахалинской паромной переправы в порту Ванино (см. рис. 91).

Энергетическая установка для гидротехнических сооружений может быть выполнена стационарной (см. рис. 98). Однако при большой длине причалов осуществление этого варианта связано с прокладкой разветвленной сети подводящих энергопроводов большой протяженности. Более целесообразно в этих случаях применение передвижной установки, содержащей турбокомпрессорный агрегат ТКУ-400. Установка разработана на базе модулей авиацион-

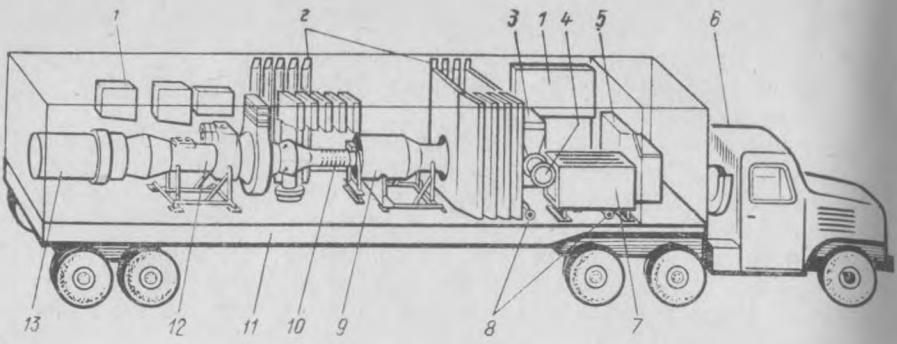


Рис. 100. Турбокомпрессорная установка ТКУ-400 (передвижной вариант):
1 — шкафы вспомогательного оборудования; *2* — щиты шумоглушения; *3* — теплообменник; *4* — труба отбора сжатого воздуха после теплообменника; *5* — пульт управления установкой; *6* — тягач; *7* — агрегат запуска; *8* — подвод и отвод воды; *9* — входной ресивер; *10* — компрессор; *11* — фургон; *12* — приводной двигатель АИ-20; *13* — выхлопной трубопровод

ных двигателей и подает 400 м³/мин сжатого воздуха, имеющего температуру +260°С и давление 6—7 кгс/см². Приводным двигателем установки является ТВД АИ-20, работающий на керосине, дизельном топливе или природном газе. В передвижном варианте установка (рис. 100) вместе со вспомогательным оборудованием, теплообменником и пультом управления монтируется в фургоне, прицепляемом к тягачам марок КРАЗ-228, КРАЗ-268 или МАЗ-215. Подача горячего сжатого воздуха и подогретой воды в пневмогидравлические системы трубопроводов, уложенные в водоеме вдоль нескольких причалов (см. рис. 23), может осуществляться последовательно при перемещении установки по причалу от приемных патрубков одной системы к приемным патрубкам другой. Кроме этого, передвижная установка может использоваться как для разогрева смерзшихся частиц сыпучих грузов на складских площадках, так и с целью очистки полувагонов от остатков сыпучих грузов.

АВТОРСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА (СССР)

№ п/п.	Номер авторского свидетельства	Класс, группа, подгруппа	Дата приоритета	Опубликовано в бюллетене государственного Комитета СМ СССР по делам изобретений и открытий, №, год
1	127191	84a, 5/01	10.06.1959	6,1960
2	127192	84a, 5/01	10.06.1959	6,1960
3	127193	84a, 5/01	10.06.1959	6,1960
4	136676	84a, 3	25.07.1960	5,1961
5	165978	84a, 15/02	04.10.1963	20,1964
6	195910	65a[1], 19	06.12.1965	10,1967
7	203494	65a[1], 3	21.06.1965	20,1967
8	217979	65a[1], 8	16.01.1967	16,1968
9	227117	65a[1], 3	13.06.1967	29,1968
10	234171	65a[1], 19	23.01.1967	3,1968
11	242691	E02в 15/02	07.03.1968	15,1969
12	244901	B63c 1/02	21.03.1968	18,1969
13	255849	E02в 15/02	23.10.1968	33,1969
14	258121	E02в 15/02	24.12.1968	36,1969
15	260442	B63в	17.03.1967	3,1970
16	266608	B63c 1/02	06.02.1969	11,1970
17	270521	B63в 19/28	10.07.1967	15,1970
18	279446	E02в 15/02	07.03.1968	26,1970
19	280250	B63в 59/00	24.03.1969	27,1970
20	281196	B63c 5/04	15.05.1969	28,1970
21	290991	E02в 15/02	06.02.1969	3,1971
22	293723	B63c 1/02	10.01.1969	6,1971
23	293922	E02d 5/60	13.04.1969	6,1971
24	297751	E02в 15/02	01.06.1968	10,1971
25	300378	B63в 59/00	20.09.1969	13,1971
26	308913	B63c 1/02	11.09.1969	22,1971
27	310837	B63в 35/08	15.10.1969	24,1971
28	312786	B63c 1/08	13.03.1970	26,1971
29	318509	B63c 1/02	29.09.1970	32,1971
30	318510	B63c 1/08	06.10.1967	32,1971
31	319671	E02в 15/00	14.04.1970	33,1971
32	328029	B63в 27/08	08.09.1969	6,1972
33	337295	B63c 35/54	19.01.1971	15,1972
34	341709	B63c 1/02	18.01.1971	19,1972
35	341906	E02в 15/02	21.11.1969	19,1972
36	356192	B63в 11/02	22.01.1970	32,1972
37	357112	B63в 35/12	25.11.1970	33,1972
38	357114	B63c 1/02	18.01.1971	33,1972
39	367212	E02в 15/02	11.08.1969	8,1973
40	379446	B63в 27/00	29.03.1971	20,1973
41	379447	B63в 35/12	13.05.1971	23,1973
42	381573	B63c 1/02	28.12.1970	22,1973
43	385816	B63c 1/00	22.12.1971	26,1973
44	387082	E02в 15/02	23.03.1971	21,1973
45	388093	E02в 15/02	22.03.1971	28,1973
46	394494	E02в 15/00	30.09.1970	34,1973
47	398446	B63c 1/08	26.10.1970	38,1973
48	402489	B63в 35/32	23.10.1970	42,1973
49	404701	B63c 1/00	29.10.1971	44,1973
50	445728	E02в 15/02	07.12.1971	37,1974

Продолжение

№ п/п	Номер авторского свидетельства	Класс, группа, подгруппа	Дата приоритета	Опубликовано в бюллетене государственного Комитета СМ СССР по делам изобретений и открытий, №, год
51	448982	B63в 27/00	13.09.1970	41,1974
52	448983	B63c 1/08	26.10.1970	41,1974
53	455041	B63c 1/02	29.10.1971	48,1974
54	461859	B63c 1/08	11.02.1972	8,1975
55	468832	B63c 1/02	12.04.1972	16,1975
56	470433	B63c 1/02	12.07.1972	18,1975
57	472856	B63c 1/02	22.12.1971	21,1975
58	484126	B63c 1/00	25.06.1973	34,1975
59	485908	B63в 35/54	26.11.1973	36,1975
60	486952	B63в 59/00	27.07.1973	37,1975
61	486953	B63c 1/02	04.04.1973	37,1975
62	487026	C02d 1/04	11.04.1972	37,1975
63	489679	B63c 1/00	03.08.1973	40,1975
64	491533	B63c 1/02	28.03.1973	42,1975
65	493400	B63c 1/02	12.04.1973	44,1975
66	497192	B63c 1/02	13.05.1974	48,1975
67	499379	E02B 15/02	21.07.1972	2,1976
68	500117	B63C 1/02	10.08.1973	3,1976
69	500118	B63C 1/02	11.03.1974	3,1976
70	507486	B63C 1/02	05.08.1974	11,1976
71	507487	B63C 1/02	25.11.1974	11,1976
72	509490	B63C 1/02	11.12.1974	13,1976
73	512105	B63B 35/08	08.12.1969	16,1976
74	512111	B63C 1/02	08.12.1974	16,1976
75	514745	B63C 5/02	16.12.1974	20,1976
76	516569	B63C 1/08	21.12.1974	21,1976
77	537893	B63C 1/02	05.04.1976	45,1976
78	539807	B63C 1/02	24.11.1975	47,1976
79	543547	B63C 1/02	22.01.1976	3,1977

ПАТЕНТЫ

№ п/п	Страна	Номер патента	Класс, группа, подгруппа	Дата приоритета	Полное описание изобретения, год опубликования
1	Австрия	228720	84,6	1960	1962
2	Великобритания	805789	113	1957	1958
3	То же	894878	113	1961	1962
4	„	967543	E1H	1959	1964
5	„	1,072,370	B7A	1963	1967
6	„	1,398,492	B7S	1973	1975
7	Дания	95983	65a[1],3	1961	1963
8	Норвегия	123558	65a 17/02	1968	1972
9	США	2,417,519	61—1	1945	1947
10	То же	2,449,963	61—1	1945	1948
11	„	2,991,662	61—1	1960	1961
12	„	3,068,655	61—6	1959	1962
13	„	3,083,538	61—1	1958	1963
14	„	3,109,288	61—1	1960	1963
15	„	3,148,509	61—6	1960	1964
16	„	3,170,299	61—1	1962	1965
17	„	3,180,099	61—54	1963	1965
18	„	3,193,260	261—64	1961	1965
19	„	3,295,326	61—1	1964	1967
20	„	3,318,098	61—1	1964	1967
21	„	3,324,661	61—1	1964	1967
22	„	3,350,314	252—70	1964	1967
23	„	3,370,432	61—54	1965	1968
24	„	3,405,527	61—1	1965	1968
25	„	3,405,814	214—15	1965	1968
26	„	3,470,700	61—48	1967	1969
27	„	3,477,233	61—1	1966	1969
28	„	3,628,338	61/67	1969	1970
29	„	3,698,340	114—40	1971	1972
30	„	3,724,594	182/36	1971	1973
31	„	3,877,407	114—40	1972	1975
32	„	3,889,573	61/1	1974	1975
33	ФРГ	859173	19c	1952	1953
34	То же	1,075,507	84a, 5/01	1957	1960
35	„	1,119,175	84a, 15/04	1960	1961
36	„	1,166,706	84a, 15/04	1959	1964
37	„	1,250,291	65a[2], 33	1963	1968
38	Франция	1,179,893	E02в	1957	1959
39	То же	1,205,025	E02в	1957	1959
40	„	1,211,708	E02в	1958	1959
41	„	1,237,407	E02в	1959	1960
42	„	1,322,234	E02в	1962	1963
43	„	1,391,356	E02в	1964	1965
44	„	1,518,466	B63в	1967	1968
45	„	2,094,516	E02в, 1/00	1970	1972
46	Финляндия	20789	45f, 18/02	1939	1945
47	То же	22110	45f, 18/02	1942	1947
48	„	22876	84a, 1	1945	1948
49	„	22879	84a, 1	1945	1949
50	„	24994	45f, 18/02	1948	1951
51	„	26501	84a, 1	1949	1954

Продолжение

№ п/п	Страна	Номер патента	Класс, группа, подгруппа	Дата приоритета	Полное описание изобретения, год опубликования
52	Финляндия	27407	45f, 18/02	1952	1955
53	То же	27432	45f, 18/02	1952	1955
54	"	28039	45f, 18/02	1951	1956
55	"	28059	84a, 1	1952	1956
56	"	28282	84a, 1	1953	1956
57	"	29262	45f, 18/02	1952	1958
58	"	30303	84a, 1	1955	1959
59	"	32261	84a, 1	1958	1962
60	"	33382	84a, 15/02	1960	1964
61	Швеция	101262	81a, 76	1938	1941
62	То же	117807	84a, 1	1944	1946
63	"	118188	84a, 1	1944	1946
64	"	146029	81e, 76	1950	1954
65	"	149075	81e, 76	1950	1955
66	"	150894	81e, 76	1951	1955
67	"	193951	$65a^2$, 33	1962	1965
68	"	197604	$65a^2$, 33	1958	1965
69	"	224439	81e, 76	1964	1968
70	"	226226	$65a^2$, 33	1964	1969
71	"	301919	B63в 19/26	1967	1970
72	"	327961	B63в 19/36	1966	1970
73	"	343026	B63c 5/02	1970	1972
74	"	344049	B65g 63/00	1970	1972
75	Япония	16893	84C4	1964	1967
76	То же	17544	84A29	1964	1968
77	"	4687/43	84A29	1964	1968
78	"	15048/45	84A29	1966	1970

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович Г. Н. Турбулентные свободные струи жидкостей и газов. М.—Л., Госэнергоиздат, 1948. 288 с.

2. Алейников С. М., Щербакова О. М. Использование электропроводящих материалов для борьбы с обледенением конструкций гидротехнических сооружений. — В сб.: Тезисы докладов к научно-техническому совещанию. Применение активных методов борьбы с ледовыми затруднениями и защиты от обледенения металлических и бетонных поверхностей на гидротехнических сооружениях. 28 сент. — 1 окт. 1970 г. Л., 1970, с. 21—23. (ВНИИГ. Гидропроект — Волгоградское отд.).

3. Альбом средств механизации доковых работ. Л., 1968. 211 с. (Главремфлот МРХ СССР. Гипрорыбпром).

4. Баланин В. В. Построение поля скоростей в плоской свободной турбулентной струе при неравномерном начальном распределении скоростей по сечению. — Труды ЛИИВТа, 1952, вып. XIX, с. 32—48.

5. Баланин В. В., Бородкин Б. С., Мелконян Г. И. Использование тепла глубинных вод водоемов (для поддержания незамерзающих акваторий). М., «Транспорт», 1964. 273 с.

6. Баланин В. В., Бородкин Б. С., Жидких М. И. Натурные испытания опытной установки для обеспечения продленной работы слипа. — Труды ЛИИВТа, 1965, вып. 83, с. 65—72.

7. Баланин В. В. Обеспечение продленной работы слипов. — Труды ЛИВТа, 1965, вып. 83, с. 7—18.

8. Борисевич К. К. Незамерзающие причалы и каналы в замерзающих портах. — Техн.-экон. информ. ЦБНТИ ММФ, серия «Порты и морские пути», 1968, № 13 (169), с. 2—6.

9. Бородкин Б. С. Изучение зимней термики водоемов в целях использования тепла глубинных вод. — Труды координационных совещаний по гидротехнике. Дополнительные материалы (к вып. 81). Л., «Энергия», 1973, с. 3—5.

10. Быкадоров Н. Эксплуатация судопропускных сооружений в ледовых условиях. — «Речной транспорт», 1973, № 3, с. 46.

11. Быков Л., Клюев В. Судоходные шлюзы на морском пути Св. Лаврентия. — «Речной транспорт», 1976, № 2, с. 53—55.

12. Виноградов Е. С. Оснащение сухих доков противоледовыми устройствами. — «Судоремонт флота рыбной промышленности», 1972, № 20, с. 36—41.

13. Воронин Ф. И. Докование судов в плавучих доках. М., «Морской транспорт», 1962. 84 с.

14. Гибкий нагревательный элемент. Инструкция по монтажу и эксплуатации. Л., «Недра», 1970. 13 с. (Главнефтеснаб РСФСР. СКБ «Транснефтьавтоматика»).

15. Горелов С. Установка для уменьшения ледообразования на слипе.— «Судоремонт флота рыбной промышленности», 1973, № 21, с. 59—60.

16. Горюнов Б. Ф. Специализированные причалы морских портов. М., «Транспорт», 1968. 312 с.

17. Дворов И. М., Дворов В. И. Термальные воды и их использование. М., «Просвещение», 1976. 128 с.

18. Доброхотов А. Н., Томилин В. Н. Теория и практика наземного применения авиадвигателей. Часть I. Учебное пособие. Вып. 1. Рига, 1972. 114 с. (Межотраслевой институт повышения квалификации специалистов народного хозяйства Латвийской ССР).

19. Донченко Р. В. Ледовый режим водохранилищ СССР. — Труды государственного гидрологического института, 1971, вып. 187, с. 3—108.

20. Дусеев В. М. Особенности и способы сохранения акватории в незамерзающем состоянии. — «Технология судостроения», 1972, № 6, с. 55—58.

21. Иванов Л. В. Методика расчета потокообразующего комплекса для защиты плавучих доков от попадания битого льда при доковании судов. — «Судоремонт флота рыбной промышленности», 1969, № 12, с 33—40.

22. Клюев В. Эксплуатация шлюзов при отрицательных температурах. — «Речной транспорт», 1977, № 2, с. 40—41.

23. Коновалов И. М. Турбулентные струи. — Труды Академии речного транспорта, 1952, вып. 1, с. 125—140.

24. Коновалов И. М., Емельянов К. С., Орлов П. Н. Основы ледотехники речного транспорта. Л.—М., Речиздат, 1952. 264 с.

25. Латышенков А. М. Исследование ледозащитных запаней. — «Гидротехническое строительство», 1946, № 4, с. 13—19.

26. Лупа А. Т. Исследование параметров и условий работы паровоздушной установки для растопления ледяного покрова. — Труды координационных совещаний по гидротехнике. Дополнительные материалы (к вып. 81). Л., «Энергия», 1973, с. 45—49.

27. Невский А. С., Малышева А. И. Массообмен и теплопередача при плавлении льда в растворах солей — «Инж.-физ. журнал», 1970, том XIX, № 4, с. 652—658.

28. Никеров П. С. Пневматический волнолом. М., «Транспорт», 1965, 136 с.

29. Ободов В. Очистка слипа ото льда. — «Речной транспорт», 1971, № 6, с. 52—53.

30. Паншин А. Ф., Зиневич Д. И. Очистка наружной обшивки корпуса судна от ледяной чаши вибрацией. — Труды ЛИВТа, 1969, вып. 114, с. 27—32.

31. Панюшкин А. В., Розенцвейг В. Б., Петров Ю. Б. Натурные испытания покрытий, уменьшающих адгезию льда к защищаемым поверхностям. — Труды ААНИИ, 1972, т. 298, с. 83—90.

32. Песчанский И. С. Ледоведение и ледотехника. Л., Гидрометеоиздат, 1967. 461 с.

33. Пехович А. И., Шаталина И. Н. Экспериментальное исследование льда в водном растворе NaCl. — В сб.: «Тепло- и массоперенос». Том 2. Минск, 1968, с. 98—104.

34. Поданев Ф. И., Шувалов В. П., Пименов В. П. Швартовка судов в ледовых условиях. — «Морской флот», 1975, № 3, с. 34.

35. Применение водовоздушных пен в качестве теплоизоляции при отрицательных температурах. (Рекомендации). Иркутск, 1972. 27 с. (Минцветмет СССР. Иркутский ГосНИИ редких и цветных металлов «Иргиредмет»).

36. Создание микроклимата в доках (опыт Ждановского СРЗ). — Экспресс-информация ЦБНТИ ММФ, серия «Судоремонт», 1976, № 13 (362). 42 с.

37. Сокольников А. С. Ветрозащитное устройство дока. — «Судоремонт флота рыбной промышленности», 1976, № 30, с. 59—60.

38. Сообщения ДВВИМУ по судовым мягким оболочкам. Вып. 32. Владивосток, 1975. 94 с. (ДВВИМУ).

39. Танхельсон Г. В., Загорская Е. П., Билянский М. Х. Железобетонные плавучие доки. Л., Судпромгиз, 1960. 195 с.

40. Тезисы докладов на Всесоюзной межведомственной научно-технической конференции по перспективам развития судоподъемных средств. Л., «Судостроение», 1976. 118 с. (НТО им. акад. Крылова).

41. Теоретические и экспериментальные исследования условий обледенения судов. Под ред. д-ра физ.-мат. наук Е. П. Борисенкова. Л., Гидрометеоиздат, 1976. 205 с. (ААНИИ).

42. Тимошин С. Плавучий ангар. — «Речной транспорт», 1975, № 12, с. 49—50.

43. Трусов А. А., Сапожников З. А. Индукционный обогрев приемных патрубков плавучих доков. — Техн.-экон. информ. ЦБНТИ ММФ, серия «Судоремонт», 1969, вып. № 7 (185), с. 3—6.

44. Уоррен Т. Исследование структуры потока и эффективности воздушных барьеров для задержания нефтепродуктов на поверхности воды. Перевод с англ. — Экспресс-информация ВИНИТИ, серия «Подводно-технические, водолазные и судоподъемные работы», 1972, № 38, с. 1—18.

45. Файко Л. И. Ледяной покров и способы управления его режимом (на примере рек и водоемов Якутии). Новосибирск, «Наука», 1975. 138 с. (АН СССР. Якутский филиал. Ин-т физ.-техн. проблем Севера).

46. Филимонов Б. В., Доценко А. Г. Снижение непроизводительных простоев судов и портовых перегрузочных машин при работе в неблагоприятных климатических условиях. — Экспресс-информация ЦБНТИ ММФ, серия «Морские порты», 1972, № 24 (270), с. 1—9.

47. Финкель Г. Н. Создание микроклимата в доках. — «Судоремонт флота рыбной промышленности», 1974, № 24, с. 19—22.

48. Эффективное транспортирование материалов — ключ к успеху комбината Фукуяма. Часть II. — Бюллетень «Производство стали, тяжелая индустрия и судостроение в Японии», 1974, № 29, с. 311.

49. Air Bubbles. — «Engineering News — Record», December 1, 1966, p. 26—28.

50. Andersen F. Ice free harbours. — «Eng. J.» (Can.), 1972, 55, № 7—8, p. 23—31.

51. Beating Arctic Ice. — «Marine News», June, 1959, p. 30, 34, 50.

52. Boyc U. Isfritt med Tryckluft — «Tryckluft», 1961, № 1, p. 21—22.

53. Candlish J. D. The Shelter Dock. — «Fairplay International Shipping Journal», May, 1966, № 4318, p. 37.

54. Carstens T. Prevention of Ice Formation by Forced Mixing. — Proceedings from the First International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, Trondheim, Norway, 1971, vol. 1, p. 140—151.

55. Clark A. F., Moulder J. C., Reed R. P. Ability of a CO_2 Laser to Assist Ice Breakers. — «Applied Optics», June, 1973, vol. 12, № 6, p. 1103—1104.

56. Defeating the freeze-up. — «Canadian Shipping and Marine Engineering News», 1960, vol. 31, № 10, p. 28—29.

57. Ice breaking with high pressure gas bubbles. — «Motor Ship», 1973, vol. 53, № 631, p. 496.

58. Ince S. Air Bubbles for Protecting Wharf Structures in the Arctic. Study of the Winter Regime of a Tidal Inlet in North Canada. — «The Dock and Harbour Authority», January, 1964, p. 291—295.

59. Jasinska E. Badanie pradów powierzchniowych generowanych działaniem przegród powietrznych w warunkach naturalnych na wiekszych glebokosciach. — «Rozprawy Hydrotechniczne». Zeszyt 29, 1971, p. 91—104. (Gdansk. Instjtut Budownictwa Wodnego Polskej A. N.).

60. Jellett J. H. Handling Cargoes On and Off Ships. — «Engineering», Sept., 1964, vol. 198. № 5136, p. 405—407.

61. Kobus H. Berechnungsmethode für Luftschleier — Stömungen zur Auslegung von Pressluft — Olsperren. — «Wasserwirt — schaft», 1972, № 6, p. 159—165.

62. Le port de Londres doté d'un quai aux aciers couvert. — «Rev. navig. fluv. eur. Port et ind.», 1976, 48, № 10, p. 328—329.

63. Paunder E. R. Thermodynamic Considerations on the Use of Air Bubbling Systems in Salt Water. — Proceedings of the Symposium on Air Bubbling. Technical Memorandum № 70. Ottawa, 1961, p. 41—46.

64. Robakiewicz W. Przegrody powietrzne jako ohrona przystani przomowych przed naptywem lodu. — «Technika gospodarska morska», 1967, № 3, 5, p. 126—127.

65. Saunders T. F., Timascheff M. Ice Effects on Planning, Design and Operation of a Major Oil Terminal. — XXIII International Navigation Congress. Section II. Subject 4. Ottawa, 1973, p. 5—20.

66. Schiffe werden unter Dach beladen. Neuartige Verladehalle im Walsumer Hafen. — «Stadt und Hafen», 1971, 22, № 18, p. 744.

67. Ullman S. Isundanhallning med tryckluft, erfarenheter av fösö i Mälaren. — «Tryckluft», 1961, № 1, p. 23—28.

68. Vadot R. Rapport. — XXIII Congrés International de Navigation. Section II. Sujet 4. Ottawa, 1973, p. 63—79.

69. Wegener P. P., Sundell R. E., Parlange J.-Y. Spherical Cap Bubbles Rising in Liquids. — «Z. Flugwiss», 1971, № 19, Heft 8/9, p. 347—352.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От автора 3
Глава 1. **Влияние климатических факторов на эксплуатацию объектов водного транспорта** 6
§ 1. Условия эксплуатации судоходных каналов, шлюзов и портов в зимний период 6
§ 2. Условия эксплуатации судоподъемных сооружений в зимний период 12
§ 3. Основные предпосылки противоледовых и ветрозащитных мероприятий 18
Глава 2. **Поддержание акваторий в незамерзающем состоянии** . . 22
§ 4. Особенности зимнего термического и ледового режимов пресноводных и морских водоемов 22
§ 5. Механические средства разрушения ледяного покрова . . . 29
§ 6. Тепловые способы создания незамерзающих акваторий . . . 38
§ 7. Теплоизоляционный способ поддержания акваторий в незамерзающем состоянии 70
Глава 3. **Задержание и направленное перемещение битого льда** . . 79
§ 8. Механические заграждения 79
§ 9. Пневматические заграждения 92
§ 10. Гидродинамические заграждения 93
§ 11. Удаление битого льда из-под днища судна 119
Глава 4. **Борьба с обледенением элементов сооружений** 126
§ 12. Ликвидация ледяной чаши у судов 126
§ 13. Предотвращение обледенения конструктивных элементов судоподъемных сооружений 132
Глава 5. **Создание микроклимата на доках и в портах** 137
§ 14. Защита доков от ветра и атмосферных осадков 137
§ 15. Обогрев рабочих зон на доках 152
§ 16. Средства обеспечения погрузочно-разгрузочных работ в портах при неблагоприятных условиях погоды 154
Глава 6. **Опыт проектирования и осуществления комплекса противоледовых средств** 158
§ 17. Судоходные шлюзы и каналы 158
§ 18. Причальные сооружения 164
§ 19. Судоподъемные сооружения 171
§ 20. Энергетическая установка на базе авиационного двигателя . 182
Приложение I. **Авторские свидетельства (СССР)** 203
Приложение II. **Патенты** 205
Список литературы 207

ЛЕВ ВИТАЛЬЕВИЧ ИВАНОВ

ЗИМНЯЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Редактор *Н. Н. Ермаков*
Обложка художника *Е. Н. Волкова*
Технический редактор *С. В. Доронина*
Корректор *В. А. Спиридонова*

ИБ № 1451

Сдано в набор 15 XI.77. Подписано к печати 16.V.78. Т-06674. Формат бумаги 60×90 1/16, тип. № 2, гарн. литературная, печать высокая. Печ. л. 13,25, уч.-изд. л. 15,45. Тираж 1200 экз. Зак. 196 Цена 90 коп. Изд. № 1-3-1/12 № 6893
Изд-во «Транспорт», 107174 Москва, Басманный туп., 6а

Калужское производственное объединение «Полиграфист», пл. Ленина, 5.