

В. В. Бородин  
В. П. Гусин  
О. А. Ходяков

ПРОМЫШЛЕННИК

МЕТОДЫ  
ТЕХНИЧЕСКОГО  
СПЕКТРА

*В. В. Богородский*

*В. П. Гаврило*

*О. А. Недошивин*

# РАЗРУШЕНИЕ ЛЬДА

МЕТОДЫ,  
ТЕХНИЧЕСКИЕ  
СРЕДСТВА



Ленинград    Гидрометеиздат    1983

Рецензенты: чл.-кор. АН СССР В. М. Котляков,  
д-р техн. наук проф. А. Ф. Николаев.

Рассмотрено локальное по масштабам разрушение льда с применением, как правило, неледокольных технических средств, требующих сравнительно небольшого количества энергии.

Обобщены сведения о современных физических методах и технических средствах разрушения льда. Приводятся развернутые описания механического, термического, химического, электрофизического и комбинированного способов разрушения льда. В таблицах даются необходимые для использования в инженерно-технической практике сведения о производительности и эффективности технических средств, основанных на этих способах, а также об изобретениях, запатентованных в СССР и за рубежом.

По характеру помещенного материала книга представляет собой логическое продолжение справочника «Ле. Физические свойства. Современные методы гляциологии», выпущенного в 1980 г., и предназначается для специалистов в области ледотехники, работников научно-исследовательских институтов и проектно-конструкторских бюро.

In the book "Ice destruction" by V. V. Bogorodsky, V. P. Gavrilov, O. A. Nedoshivin discusses in detail methods of ice destruction on a local scale without ice breaking, but using other highly efficient methods requiring less energy.

The book summarizes the present state-of-art stressing physical methods and technical means of ice destruction. Detailed description is given of mechanical, thermal, chemical, electric and combined methods proposed for ice destruction. The Tables included in the book present all necessary information on the efficiency of discussed technical tools and methods. New discoveries made in this country and abroad and patented which are pertinent to the ice destruction are discussed by the authors.

The book does not address those problems which are related to the ice decay in nature due to solar radiative effects and tidal and wave impact.

The book can be regarded as a kind of handbook in a series together with the earlier published handbook "Ice, physical properties: modern glaciology methods" (1980). It is meant for engineers and scientists concerned with ice engineering.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . .   | 4   |
| 1. МЕХАНИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЛЬДА . . . . .   | 5   |
| 1.1. Пробивающие и проламывающие средства . . . . .                                   | 7   |
| 1.2. Режущие, фрезерующие и скалывающие средства . . . . .                            | 29  |
| 1.3. Буровые средства . . . . .   | 58  |
| 1.4. Гидроструйные средства . . . . .   | 98  |
| 1.5. Взрывные средства . . . . .  | 102 |
| Изобретения для механического разрушения льда . . . . .                               | 119 |
| 2. ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЛЬДА . . . . .  | 135 |
| 2.1. Зачерняющие средства . . . . .   | 135 |
| 2.2. Пневматические и гидродинамические средства . . . . .                            | 141 |
| 2.3. Паро-водовоздушные средства . . . . .  | 163 |
| 2.4. Газотермические средства . . . . .   | 171 |
| 2.5. Электротермические средства . . . . .  | 176 |
| Изобретения для термического разрушения льда . . . . .                                | 184 |
| 3. ХИМИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЛЬДА . . . . .   | 196 |
| Изобретения для химического разрушения льда . . . . .                                 | 203 |
| 4. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЛЬДА . . . . .  | 205 |
| 4.1. Электроимпульсные средства . . . . .   | 205 |
| 4.2. Электрогидравлические средства . . . . .   | 207 |
| 4.3. Лучевые средства . . . . .   | 208 |
| 4.4. Электромагнитное поле, радиационное облучение, ультразвуковые<br>волны . . . . . | 209 |
| Изобретения для электрофизического разрушения льда . . . . .                          | 212 |
| 5. КОМБИНИРОВАННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЛЬДА . . . . .  | 213 |
| Изобретения для комбинированного разрушения льда . . . . .                            | 218 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .   | 221 |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

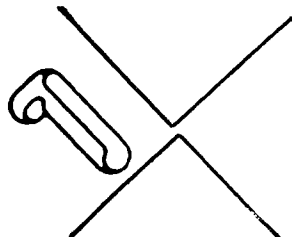
В инженерной гляциологии и ледотехнике проблема разрушения льда является одной из наиболее актуальных: с ней связано решение многих задач в полярных областях Земли.

Разрушение льда (как в принципе и разрушение любых других материалов) — комплексная проблема, лежащая на стыке физики твердого тела, механики сплошных сред и материаловедения. Лед, особенно морской, обладает известными аномалиями, которые объясняются наличием в нем одновременно твердой, жидкой и газообразной фаз. Даже небольшие колебания температуры приводят к изменению соотношений этих фаз и как следствие — к изменению физико-механических свойств льда. Новые гидротехнические задачи, связанные с разрушением такого сложного материала, требуют непрерывного совершенствования методов и технических средств. Их обобщение в форме, удобной для широкого круга потребителей, — цель настоящей книги. В ней рассмотрено лишь *локальное* по масштабам разрушение с применением, как правило, неледokoльных технических средств, требующих сравнительно небольших энергозатрат, пропорциональных объему и массе разрушаемого льда. Вопросы естественного разрушения льда в природе под влиянием солнечно-радиационных, приливных и ветро-волновых факторов в книге не рассматриваются. Механический и термический методы ранее других стали применяться для разрушения льда, их использование позволило опробовать больше разработанных технических средств, что, естественно, отразилось на объеме первых двух глав книги. В конце каждой главы приводятся таблицы с перечнем изобретений для разрушения льда, запатентованных в различных странах. Такой подход к освещению материала следует считать особенно ценным, открывающим новые перспективы при решении практических задач. Кратко изложив сложные вопросы разрушения льда с современных физико-технических позиций, авторы — чл.-кор. АН СССР В. В. Богородский, канд. физ.-мат. наук В. П. Гаврило и канд. геогр. наук О. А. Недошивин — сделали очень важную и полезную работу.

Книга «Разрушение льда. Методы, технические средства», несомненно, вызовет большой интерес у широкого круга читателей и будет служить дальнейшему прогрессу в инженерной гляциологии и ледотехнике.

Д-р физ.-мат. наук, проф. Ю. С. Седунов

# МЕХАНИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЛЬДА



Средства механического разрушения льда: пробивающие и проламывающие (7); режущие, фрезерующие и скалывающие (29); буровые (58); гидроструйные (98); взрывные (102).

Разрушение любого твердого тела в первую очередь связано с понятием о его прочности — свойством материала в определенных условиях и пределах, не разрушаясь, воспринимать различные механические нагрузки и неравномерные воздействия физических полей. Прочность льда, в частности, в значительной степени зависит от многообразия его структурных особенностей. На прочность льда сильно влияют внешние условия — характер нагрузок, тепловой режим, агрессивность окружающей среды, поверхностные эффекты и т. д.

Природный лед содержит многочисленные повреждения — от субмикроскопических и микроскопических дефектов до крупных пор и магистральных трещин.

Особенность льда по сравнению с другими материалами заключается в том, что в естественных условиях лед находится при температуре, близкой к температуре плавления, не вступает в химическое взаимодействие с примесями и имеет сравнительно крупнокристаллическую структуру. Исследования показывают, что лед обладает низким пределом упругости и даже при малых нагрузках обнаруживает ярко выраженные реологические свойства, проявляющиеся в виде снижения во времени прочности, релаксации напряжений и развития деформаций ползучести.

Вследствие многообразия факторов, определяющих физические свойства льда, данные по его прочностным характеристикам, полученные исследователями многих стран по результатам многих тысяч экспериментов за предшествующие 100 лет, имеют большой диапазон значений. Например, прочность на сжатие изменяется примерно от  $4 \cdot 10^5$  до  $130 \cdot 10^5$  Па (и даже больше), а прочность на изгиб — от  $3 \cdot 10^5$  до  $30 \cdot 10^5$  Па.

К сожалению, практически во всех случаях до недавнего времени эти результаты приводились без достаточной информации о структуре льда и условиях приложения нагрузки, так что они не могут быть использованы для установления общих закономерностей прочностных свойств льда. Основной результат обобщения этих данных может быть сведен к тому, что, если известны струк-

тура, соленость и температура льда, прочность его как материала может быть оценена.

В настоящее время проблема прочности рассматривается с позиций механической и кинетической концепций.

Согласно механической концепции, разрушение есть результат потери устойчивости твердого тела. Считается, что для каждого материала имеется определенное пороговое напряжение. При напряжении ниже порога тело устойчиво и может сохранять целостность под нагрузкой сколь угодно долго. Это пороговое напряжение принимается за меру прочности тела.

В кинетической концепции основным является процесс развития разрушения. Разрушение происходит постепенно вследствие развития и накопления субмикроскопических трещин. Этот процесс развивается в напряженном теле под действием тепловых флуктуаций. Вводится понятие о долговечности под нагрузкой, т. е. времени, необходимом для развития процесса от момента нагружения тела до его разрушения. Вопрос о том какую нагрузку способно выдержать тело, т. е. какова его прочность, без указания времени, в течение которого оно должно сохраниться неразорванным, не имеет однозначного ответа. Это показывает, что термины «предел прочности», «предельное разрывное напряжение» условны. Они теряют смысл при суждении о физической природе прочности твердых тел, но вполне удобны для практики.

Под механическим разрушением льда будем понимать макроскопическое нарушение его сплошности в результате тех или иных контактных воздействий на него. Разрушению льда предшествуют упругие и пластические деформации. Различают начальное разрушение, связанное с развитием пор, трещин и других нарушений сплошности, и полное разрушение, характеризующееся разделением тела на две или более частей; хрупкое (без значительной пластической деформации) и пластическое (или вязкое); усталостное; длительное и другие виды механических разрушений.

Основы физических теорий текучести и разрушения твердых тел стали успешно развиваться лишь в последние годы, поэтому сейчас не всегда возможно даже количественно объяснить некоторые особенности процесса разрушения твердых тел вообще и, в частности, такого сложного тела, как лед.

Эффективность (а следовательно) и экономическая целесообразность применения) тех или иных технических средств разрушения льда определяется в первую очередь такой их важной характеристикой как удельная энергия разрушения, т. е. затраты энергии на разрушение единицы объема или массы льда.

При разработке и совершенствовании средств разрушения льда с технической точки зрения обоснованным является направление

на уменьшение удельной энергии при разрушении, ведущее к уменьшению общих энергетических затрат и, как следствие, к уменьшению массы, габаритов разрушающего устройства.

Представляется целесообразным рассматривать энергетические характеристики процессов разрушения льда, исходя из следующих соображений: во-первых, энергетический подход позволяет провести анализ методов механического разрушения льда (хрупкого или с развитием в нем прогрессирующей ползучести) для выбора оптимальных в конкретной ситуации. Расчеты показали, что энергозатраты при разрушении льда с выводом его на прогрессирующую ползучесть существенно выше (на несколько порядков) энергозатрат при хрупком разрушении.

Во-вторых, учитывая, что сравнительно легко можно получить энергетику внешних фоновых процессов (связанных, например, с дрейфом, ветровыми нагрузками, течением), можно построить и их «проекцию» на механическое поведение ледяного покрова, т. е. оценить поток энергии воздействия льда на сооружение и определить запас его прочности.

### 1.1. Пробивающие и проламывающие средства

В зависимости от направления воздействия на ту или другую поверхность льда можно рассматривать два аспекта этого процесса: пробивание льда ударом по поверхности и пролом ледяного покрова при всплытии технических средств.

Удар твердого тела о лед и его пробивание с давних пор являются проблемой практики. Выяснение законов взаимодействия твердого тела с ледяным покровом при ударе представляет интерес при решении вопросов сбрасывания груза, разрушения льда ледоколом, посадки самолетов и т. д. С этой целью еще в 1932 г. были поставлены три опыта, при которых на лед сбрасывался груз 57 кг с высоты 2 и 3 м. Отмечалось возникновение быстро затухающих колебаний с периодом около 0,1 с, но полученных результатов было недостаточно для разработки методики расчета предела прочности ледяного покрова при ударе и пробивании. Аналогичные эксперименты по изучению удара груза о лед Ладожского озера выполнены в 1967—1969 гг. [86, 162, 163].

На стальных полусферических отливках массой 300 и 156 кг, сбрасываемых на озерный лед, устанавливались тензометрические датчики перегрузок, с помощью которых записывались осциллограммы ударного импульса. Записывались также упругие колебания ледяного покрова, вызванные ударом. Контактное давление превышало 15 МПа, что значительно больше предела прочности льда при сжатии кубических образцов [86].



Наиболее существенным изменением структуры льда в зоне контакта после удара является образование зоны мелкозернистого льда, отделенного от основной массы четко выраженной поверхностью разрушения, а также зоны со значительными сдвигами по базисным поверхностям и неравномерным смещением по границам между кристаллами [163]. Характер такого изменения структуры льда в зоне контакта сохраняется независимо от температурного режима льда и начальной скорости удара в диапазоне 1—5 м/с.

Определена удельная энергия механического дробления  $\epsilon_k$ , т. е. энергия разрушения, отнесенная к единице массы раздробленного вещества [162]. Среднее значение этого параметра, сравнительно стабильное для каждого типа льда, зависит от его структуры и температуры, изменяясь от  $3 \cdot 10^{-3}$  Дж/г для весеннего до  $14 \cdot 10^{-3}$  Дж/г для зимнего льда. Энергия разрушения, приходящаяся на единицу объема, определяется по формуле

$$\epsilon_v = \sigma_c^2 / 2E,$$

где  $\sigma_c$  — соответствующая прочность льда при ударе;  $E$  — модуль нормальной упругости.

С учетом выражения  $\epsilon_v = \epsilon_k \rho$  для пресного льда  $\epsilon_v = 3 \times 10^3$  Дж/м<sup>3</sup>.

Д. Е. Хейсиным с соавторами рассмотрена также математическая модель внедрения твердого тела в поверхность льда при ударе, с помощью которой определяются контактные давления в зоне удара, оказывающиеся прямо пропорциональными удельной энергии раздробления льда. Н. Г. Храпатым и В. Г. Цуприком также ставились эксперименты по изучению пробивания льда и возникновения изгибных колебаний в ледяном покрове при ударных воздействиях [38, 164—169]. Ударные нагрузки создавались при сбрасывании сферического груза в 300 кг со скоростью 1—6 м/с (рис. 1.1).

При небольшой нагрузке лед деформируется упруго, и после снятия нагрузки никаких видимых следов удара нет (рис. 1.1 а). Дальнейший рост нагрузки вызывает образование и развитие концентрических трещин, обособляющихся в конус (рис. 1.1 б), раскалывающийся в глубину.

После того, как осевые трещины достигают боковой поверхности конуса, под площадкой контакта происходит образование зоны мелкораздробленного льда, вызывающего скол боковых консолей. По окончании процесса разрушения образуется лунка, заполненная продуктами дробления и сохраняющая остатки трещин конической и осевой системы (рис. 1.1 г). Осевые трещины распро-

страняются на гораздо большую глубину, чем зона мелкого дробления.

Основную роль в этом процессе играют растягивающие напряжения, которые приводят к образованию конических и радиальных трещин. Они обуславливают образование мелкодробленой зоны льда. Таким образом, при внедрении тела в лед под площадью контакта перед разрушением льда в направлении действия

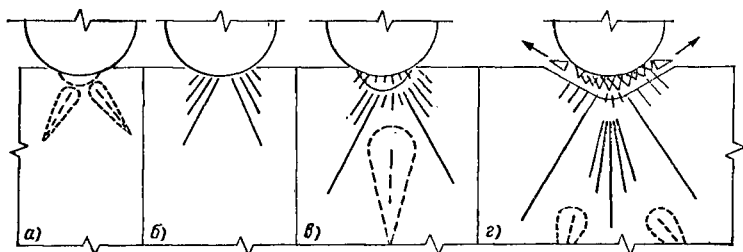


Рис. 1.1. Стадии разрушения льда при действии сферического тела на его поверхность [38].

*а* — упругое погружение; *б*, *в* — образование конических и осевых трещин соответственно; *г* — скол боковых консолей.

нагрузки развиваются сжимающие напряжения, а в направлениях, перпендикулярных действию силы, — растягивающие.

Внешние части конуса представляют собой жесткую оболочку, удерживающую перенапряженную внутреннюю область, в которой господствуют растягивающие напряжения. Благодаря разрыву этой оболочки системой трещин внутренняя перенапряженная область соединяется с областью внешнего низкого давления. В результате внутренние напряжения резко снижаются, а высвободившаяся часть потенциальной энергии переходит в кинетическую энергию обломков разрушения.

Начало трещинообразования при различных скоростях внедрения наблюдается при постоянном контактном давлении, равном статическому пределу прочности образцов льда при одноосном сжатии в условиях проведенных опытов.

Последней стадии разрушения, т. е. сколу боковых консолей, соответствуют максимальные контактные напряжения, которые значительно превосходят статический предел прочности при одноосном сжатии.

При больших скоростях падения груза, малой его опорной площади, отсутствии снежного покрова возможно пробивание льда по периферии груза. В этом случае прочность льда лимитируется в основном прочностью льда при скалывании.

Если пробивания не произойдет, то после удара груз будет совершать вертикальные движения, находясь в контакте с прогибающимся ледяным покровом до тех пор, пока не будет достигнут наибольший прогиб льда.

Показатели динамических испытаний сравнивались со значениями характеристик статических испытаний.

Выяснены зависимости удельной энергии механического дробления льда от температуры и скорости нагружения, номинальных контактирующих напряжений, и рассматривается процесс внедрения тела в лед в координатах «усилие—деформация» [168]. Исследован прогиб бесконечной плавучей пластины и время его наступления в зависимости от мощности удара, геометрии и упругих характеристик плиты [169]. Предложена методика расчета глубины внедрения твердого тела в ледяной покров [165], разработан критерий и определена удельная энергия механического разрушения льда (УЭМРЛ) — энергия, необходимая и достаточная для раздробления единицы массы льда. Количественно УЭМРЛ определяется по методике работы [165] как отношение необратимо затраченной энергии удара к массе льда в объеме образовавшейся лунки.

Удельная энергия механического разрушения льда является функцией его температуры, не зависит от начальной энергии удара и является достаточно стабильной величиной.

За рубежом также проводились опыты по изучению пробивания ледяного покрова и возникающих при этом колебаний. В США [255, 256] для пробивания льда при температуре от 0 до  $-20^{\circ}\text{C}$  применялись сферические ударники из различных материалов (нейлон, сталь). В результате опытов получены экспериментальные данные о коэффициенте восстановления при соударении сферического ударника с поверхностью массивного ледяного блока. Коэффициент восстановления определяется отношением скоростей сферы до и после соударения. Отмечено уменьшение коэффициента восстановления с ростом скорости соударения и с увеличением радиуса сферы — ударника [256]. Янг описал исследование параметров, влияющих на пробивную способность подледного радиогидроакустического буя [189]. Буй состоит из ударника для пробивания льда, контейнера с аппаратурой и антенны (рис. 1.2). Ударник должен пробивать лед толщиной 3 м при перпендикулярном ударе о его поверхность со скоростью 131 м/с. Контейнер проникает в лед на 25 см, оставляя антенну на поверхности. Если лед имеет толщину только 30 см, наконечник должен пробивать его и входить в воду со скоростью 130 м/с. Контейнер должен отделиться от наконечника, погрузиться на глубину 2 м и всплыть обратно к поверхности раздела между льдом и водой. Антенна оста-

ется на поверхности воды в отверстии или воронке, образованной при пробивании льда. Результаты испытаний показали, что влия-

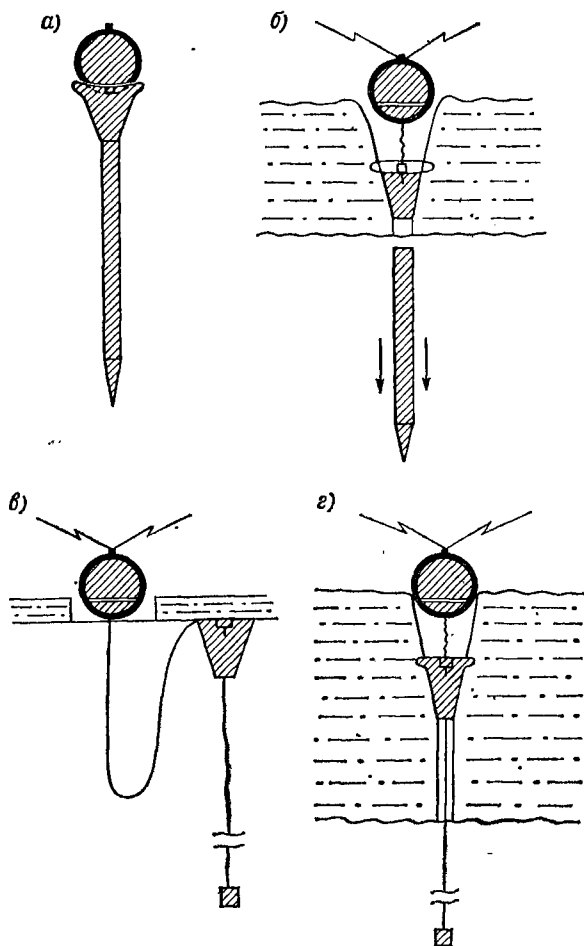


Рис. 1.2. Пробивание ледяного покрова ударником подледного радиогидроакустического буя [189].

*a* — конфигурация в полете; *б* — отделение контейнера и отска антенны; *в*, *г* — пробивание тонкого и толстого льда соответственно.

нием снежного покрова можно пренебречь. Установлено также, что, хотя морской и пресноводный льды различны по своим физико-механическим свойствам, коэффициенты пробивания того и

другого весьма близки. Оптимальная форма ударника — конус, длина которого превышает его диаметр в 3 раза.

Получены уравнения для расчета глубины проникновения ударника в лед и коэффициента пробивания в случае пробивания льда насквозь:

$$D = 3,1 \cdot 10^{-3} SN (V_i - 100) \sqrt{W/A} \text{ для } V_i \geq 200 \text{ фут/с;}$$

$$D = 11,7 \cdot 10^{-3} SN (V_i - 30,5) \sqrt{W/A} \text{ для } V_i \geq 61 \text{ фут/с,}$$

$$S = \frac{TV_i^2}{(V_i^2 - V_e^2) [3,1 \cdot 10^{-3} N \sqrt{W/A} (V_i - 100)]} \text{ для } V_i \geq 200 \text{ фут/с;}$$

$$S = \frac{TV_i^2}{(V_i^2 - V_e^2) [11,7 \cdot 10^{-3} N \sqrt{W/A} (V_i - 30,5)]} \text{ для } V_i \geq 61 \text{ фут/с,}$$

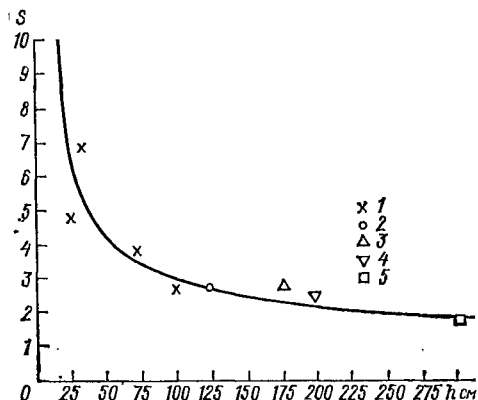


Рис. 1.3. Пробиваемость льда в зависимости от его толщины [189].

1 — сморозы в каналах; 2, 3 — однолетний морской лед (2 — Порт-Кларенс, Аляска, 3 — Туле, Гренландия); 4 — пресноводный лед (оз. Дамбелл, Канада); 5 — многолетний лед.

где  $D$  — глубина проникновения (без перфорации), фут (1 фут = 0,305 м);  $S$  — коэффициент пробивания, безразмерный;  $N$  = 0,7... 1,31 — коэффициент работоспособности носа ударника, безразмерный;  $W$  — масса пробивающего устройства, фунт;  $A$  — площадь поперечного сечения, дюйм<sup>2</sup>;  $V_i$  — скорость удара, фут/с;  $T$  — толщина, фут;  $V_e$  — скорость пробивающего устройства на выходе из слоя льда, фут/с.

Из уравнений, которые справедливы для  $W \geq 22,7$  кг и  $W/A \geq 0,35$  кг/см<sup>2</sup>, видно, что толщина льда и коэффициент пробивания — взаимосвязанные величины: предельная толщина льда 3 м определяет нижний предел коэффициента пробивания, равный 2, тогда как для самого мягкого льда он равен 8 (рис. 1.3). Подробно рассмотрены параметры удара о лед: скорость удара (91—183 м/с), угол наклона траектории, угол удара (между

траекторией движения устройства и поверхностью льда), угол атаки. Показано, что при углах удара  $40^\circ$  устройство проникает в лед, а при углах  $36^\circ$  — рикошетирует. При необходимости создать более высокие скорости удара, чем это позволяет ускорение свободного падения, предложено устройство с ракетным двигателем, стоимость которого, естественно, выше.

В докладе [257], прочитанном на международной конференции «Инженерные исследования природной среды океана» (Осеп 74), сообщается о результатах трех серий опытов по пробиванию морского льда устройствами, сброшенными с самолета. Устройства, снабженные телеметрической аппаратурой, позволяли не

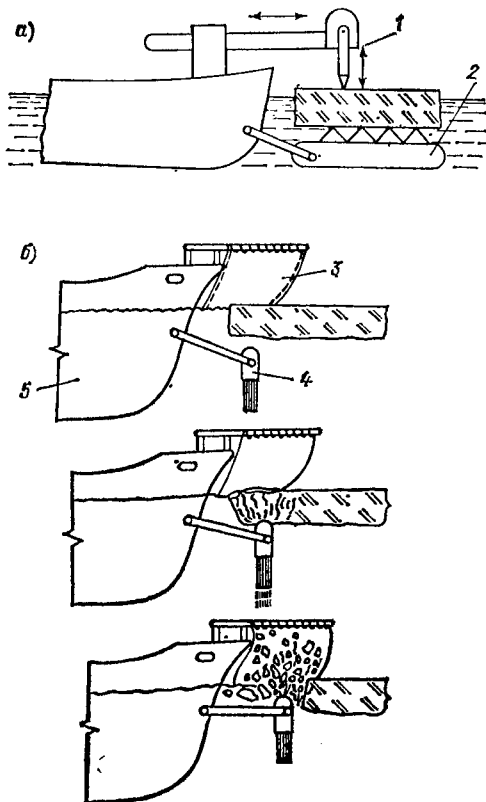


Рис. 1.4. Ледокольные системы для разрушения льда ударом по его верхней (а) и нижней (б) поверхности [80, 84].

1 — долбежный элемент; 2 — балка с пилообразными зубьями; 3 — защитная штора; 4 — плунжер; 5 — носовая часть судна.

только вести запись ускорений при пробивании льда, но и получать информацию о параметрах состояния океана после пробивания. На факультете инженерных и прикладных наук университета г. Сент-Джонс (Ньюфаундленд, Канада) в процессе выполнения темы «Механика разрушения льда» Легерер исследовал теоретические аспекты разрушения льда и получил, в частности, выводы об эффекте сдвиговых напряжений под воздействием удара [227].

Ряд технических решений воплощен в устройствах, разрушающих лед многократными ударами по его поверхности.

Судостроителями разработана судовая ледокольная система (пат. 3.670.681 США), состоящая из двух ледокольных элементов.

Один из них расположен подо льдом и снабжен вилообразными зубьями, прижатыми к нижней поверхности льда. Над верхней поверхностью льда расположен опускаемый вертикально вниз регулируемый долбежный элемент, разрушающий лед (рис. 1.4). Запатентована ледокольная приставка для судов (пат. 3.698.340 США). На подводной части судна устанавливается плунжер, приводимый в действие сжатым воздухом. Лед разрушается ударами

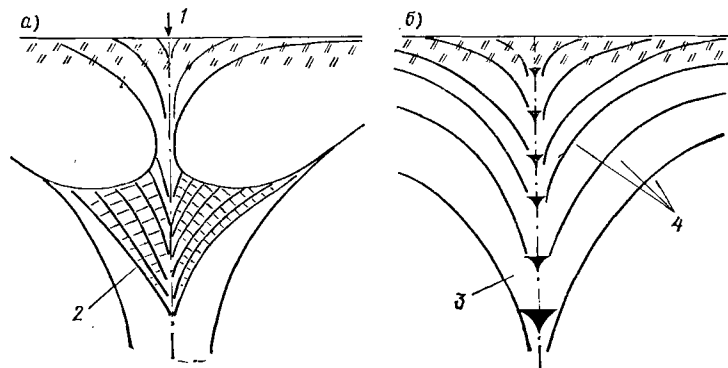


Рис. 1.5. Схема зон разрушения льда (а) и поверхностей (воронки скола), соответствующих минимальной энергии разрушения (б) [32].

1 — направление удара; 2 — зона интенсивного крошения льда; 3 — начальный угол скола; 4 — воронки скола.

плунжера по его нижней поверхности, что сопровождается гидравлическим ударом при быстром качании плунжера [80, 84].

Анализ существующих схем разрушения льда привел к необходимости развить ударный способ как весьма перспективный [32].

Внедрение разрушающего органа в лед сопровождается созданием и развитием множества трещин, зависящих как от физических свойств льда, так и от угла внедрения разрушающего органа, его геометрических и технических характеристик. Было установлено, что существует поверхность разрушения, определяемая свойствами льда, ударное развитие трещин по которой обеспечивается минимальным количеством энергии (рис. 1.5). Формирование волн напряжения необходимого направления и интенсивности накладывает жесткие условия на геометрические и физические параметры разрушающего органа, а также на генератор волн — вибрационную или виброударную систему.

Максимальный градиент напряжений в вершине трещины возникает при распространении упругой волны сжатия лишь по од-

ному ее краю. Концентрация напряжений превышает предел прочности материалов, что способствует быстрому распространению трещины нормально к основной.

Атака трещины импульсом растяжения под углом  $90^\circ$  создает в ее вершине максимальную концентрацию напряжения.

Атака границы трещины из среды с большим модулем упругости вызывает увеличение интенсивности напряжения в ее вершине.

При угле падения волны  $180^\circ$  не возникает такой концентрации напряжений, как при угле падения волны  $0^\circ$ .

Упругими волнами напряжения, направленными по границе раздела лед—металл можно осуществить их взаимное расслаивание, однако дальнейший процесс дробления льда представляет некоторую сложность. Удачным техническим решением при создании ручного механизированного инструмента является трехрядная

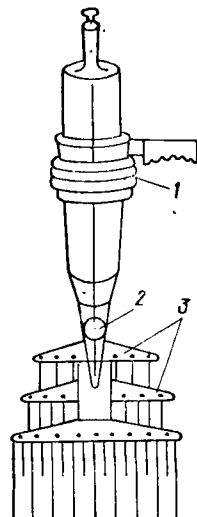


Рис. 1.6. Ручной механизированный виброударный инструмент для скола льда [7].

1 — виброударный узел; 2 — пневмоотсос; 3 — трехрядная интерференционная гребенка.

интерференционная гребенка, охватываемая пневмоотсосом и получающая ударную энергию от виброударного узла (рис. 1.6). При мощности привода 0,8 кВт ожидаемая производительность инструмента составляет 4—6 т/ч.

Большую группу изобретений составляют судовые вибрационные устройства. Устройство в виде вращающихся неуравновешенных масс запатентовано в ФРГ (пат. 10923336) и в других странах. Виброустановка в виде силового цилиндра со свободно движущейся массой разработана в СССР (а. с. 217222). Такие установки создают инерционные силы, возбуждающие колебательное движение судна, вследствие чего ледяной покров испытывает периодическое воздействие разрушающих изгибающих моментов. Устройство предлагается устанавливать на ледокольных приставках, чтобы не подвергать вибрации судно. В СССР разработана [84] и запатентована в ведущих капиталистических странах ледокольная приставка с раскачивающим устройством (а. с. 287532). Соединение судна-толкача с приставкой осуществляется шарнирно скользящим замком, обеспечивающим линейные вертикальные



и угловые вертикальные и горизонтальные перемещения приставки относительно судна-толкача (рис. 1.7). Это изобретение реализовано при строительстве ледокольных приставок в проектах 1713 и 1749 [84]. При опытной эксплуатации приставки в составе с буксиром-толкачом РБТ-300 лед толщиной 45 см разрушался со скоростью 0,4 км/ч, а при работе с разбегами при толщине льда 70 см средняя скорость составляла 0,1 км/ч. Маневровые качества сос-

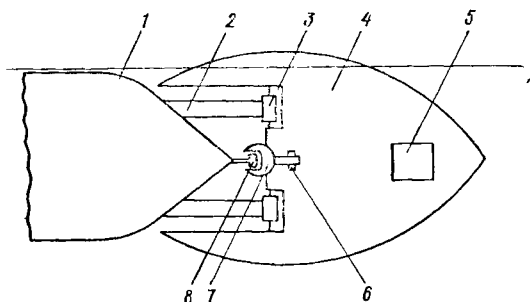


Рис. 1.7. Толкаемая ледокольная приставка с раскачивающим устройством [84].

1 — носовая оконечность судна-толкача; 2 — упоры; 3 — свободно вращающиеся ролики; 4 — приставка; 5 — раскачивающее устройство; 6 — ось муфты замка; 7 — муфта; 8 — рельсы шарнирно скользящего замка.

тава, проведенные на циркуляции и околке судов, оказались удовлетворительными [84].

Опыт использования вибрационных установок в речном судоходстве показывает, что они являются эффективным средством для повышения ледопроходимости судов. Предельная толщина ломаемого льда значительно увеличивается, если период вибрации установок равен периоду собственных колебаний судна.

Характерная особенность этого способа заключается в том, что ломка льда осуществляется на малой скорости. В речном судоходстве при очистке устьев рек ото льда и выводе судов из затонов, эта особенность не имеет большого значения, а вот при проводке судов в Арктике она нежелательна, поэтому в морском ледоколостроении вибрационные установки распространения не получили.

Вибрационный способ разрушения ледяной чаши на подводной части судна [31] основана на использовании вибрации корпуса, создаваемой воздействием на него колебаний, возникающих 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, отде-

лившиеся от корпуса части ледяной чаши, оставаясь под днищем, могут снова примерзнуть к обшивке днища.

Много патентов относится к способу ломки льда усилиями, направленными снизу вверх. При этом обеспечивается отвод взломанных льдин с целью получения чистого канала ее ледоколом. Преимуществом такого способа является значительное уменьшение сил трения, так как форштевень ледокола, взламывая лед снизу, отводит затем обломки в стороны, и борта судна не соприкасаются с ними.

Этот способ в нескольких вариантах разработан в Канаде и ФРГ. Канадская фирма «Алексбау» получила три патента на различные конструкции форштевня ледокола для взламывания льда снизу вверх. В одном из них (пат. 1267079 Канада) предусматривается использование каплеобразной формы носовой оконечности. «Канадский бульб» имеет значительную ширину и носовой «резак» на высоте, равной  $\frac{3}{4}$  осадки. Испытания показали, что такой бульб дает возможность получить выигрыш в скорости 0,4—0,5 уз, а коэффициент трения льда по стали в подводном положении уменьшить до 0,01. Кроме того, при этом способе исключается прилипание льда к корпусу.

Такие конструкции запатентованы в Англии (пат. 1215529 и 1215530), США (пат. 3521590), Франции (пат. 1577665), Японии (пат. 33901/71) и СССР (пат. 315341).

Задача повышения ледопроеходимости судна за счет, например, уменьшения сил, необходимых для взламывания льда, и получения более чистого от льда канала может решаться и путем изменения традиционной геометрии форштевня и формы корпуса. При этом предполагается, что толщина разрушаемого льда будет больше, а его обломки не попадают под корпус, что повышает ледопроеходимость судна [80].

Западногерманский вариант корпуса ледокольного судна (пат. 2206472 ФРГ) отличается специально отработанными обводами корпуса (рис. 1.8).

Наклоненный книзу подводный бульб переходит в закругленную среднюю часть. Действующая ватерлиния расположена на наклонных бортовых скосах. Лед взламывается снизу давлением верхней поверхности бульба и отводится в стороны скосами, которые заканчиваются в кормовой части корпуса козырьком, защищающим гребной винт и руль. Ледовый пояс наружной обшивки имеет вогнутую форму, плавно переходящую вниз в скосы, и защищает верхнюю палубу от напоязания на нее битого льда. Выпуклая часть корпуса уменьшает площадь действующей ватерлинии, что снижает сопротивление льда движению судна и повышает его маневренность [80, 85].

Для взламывания речного льда разработана ледокольная приставка (пат. 2229621 ФРГ). Приставка (рис. 1.9) выполнена в виде понтона, счаливаемого с толкачом. Понтон в плане имеет трех-

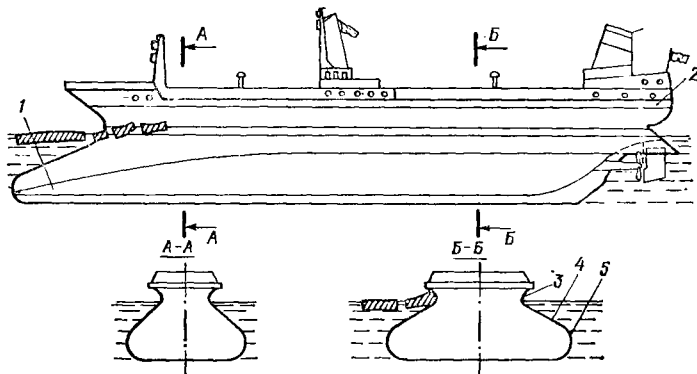


Рис. 1.8. Взламывание льда снизу подводным бульбом ледокольного судна с переменным углом наклона бортов [80].

1 — подводный бульб; 2 — козырек защиты винта и руля; 3 — ледовый пояс обшивки; 4 — наклонные бортовые скосы; 5 — выпуклая подводная часть корпуса.

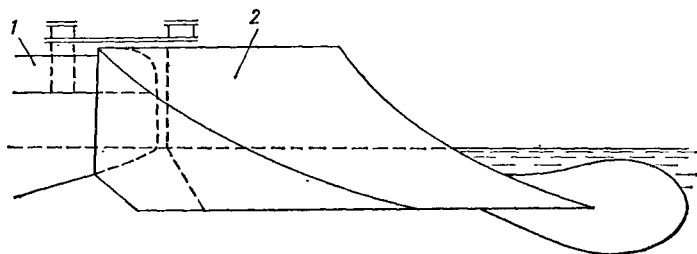


Рис. 1.9. Ледокольная приставка для взламывания льда снизу [84].

1 — толкач; 2 — понтон.

гранную форму, а его носовая оконечность представляет собой грушевидный бульб. При движении судна бульб создает подпорную волну, которая взламывает ледяной покров снизу и горизонтальные усилия для разрушения льда уменьшаются.

Один из механических способов разрушения льда основан на принципе лишения его упругого гидравлического основания — воды (пат. 3.808.897 США). Он заключается в том, что ледоразрушающее устройство осуществляет подачу сжатого воздуха, оттесняя воду из-под нижней поверхности льда. Лишенный опоры ледя-

ной покров разламывается под собственной тяжестью. Другой способ (пат. 3.841.252 США) отличается тем, что гидравлический понор снимают закачиванием газа под ледяной покров и, приложив затем силу, раскалывают его. В Юго-западном научно-исследовательском институте США (Сан-Антонио, Техас) было разработано принципиально новое устройство (пат. 3572273 США) для разрушения льда [141]. На носу самоходной баржи устанавливается

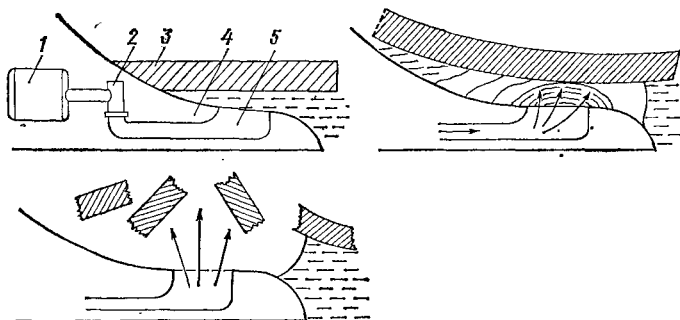


Рис. 1.10. Схема разрушения льда воздушным пузырем подледного газового выхлопа [245].

1 — камера сгорания; 2 — быстродействующий выпускной клапан; 3 — ледяной покров; 4 — наклонная площадка для облегчения входа под лед; 5 — выходной канал газа.

прямоугольный металлический понтон, в передней части которого смонтирован огромный цилиндр «двигателя внутреннего сгорания». «Поршнем» этого цилиндра служит льдина. Баржа вплотную подходит к ледяному полю и погружает под него понтон. Устройство работает следующим образом (рис. 1.10). Смесь воздуха и пропана (соотношение 30:1) под давлением 0,4 МПа вводится в камеру сгорания и воспламеняется с помощью запальной свечи. После того как давление в камере повысится в 6—8 раз, открывается выпускной клапан. Сжатые газы со взрывом выбрасываются через выпускную трубу, создавая воздушную подушку, которая поднимает лед и разрушает его. На рис. 1.10 показаны последовательные стадии разрушения ледяного покрова. Аналогичное устройство, в котором выхлоп через выходные отверстия повторяется каждые 10 с, предназначалось для защиты от льда плавучих сооружений и морских буровых вышек в Арктике [245].

В стационарных гидротехнических сооружениях может быть применено навесное устройство, основной элемент которого — создающий подводный управляемый взрыв газовой смеси — подвешивается на кронштейне с помощью шарнира для того, чтобы устра-

нить передачу усилия при взрыве на подвесное приспособление (рис. 1.11).

Система, использующая новый принцип взламывания льда, была предложена в США для ледокольной приставки. По внешнему виду эта приставка (рис. 1.12) напоминает «ледовый плуг»,

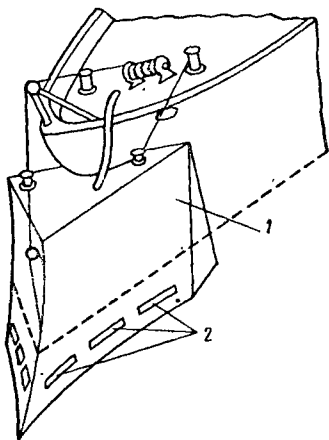
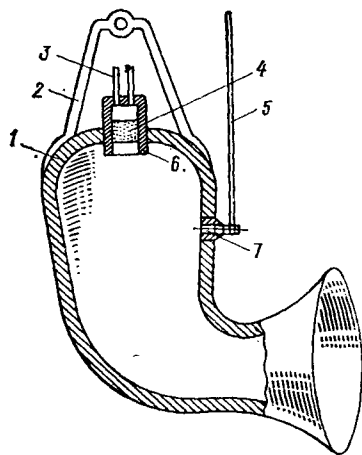


Рис. 1.11. Устройство для разрушения льда стоячей волной подводного газового выхлопа [141].

1 — корпус; 2 — подвеска; 3 — трубки для подачи горючей смеси; 4 — антитетонатор; 5 — электропитание; 6 — выпускной патрубок; 7 — запальная свеча.

Рис. 1.12. Ледокольная приставка для разрушения льда повторяющимися подводными газовыми выхлопами [249].

1 — плугообразный корпус приставки; 2 — выхлопные отверстия.

не связанный жестко с корпусом судна. В приставке находится камера сгорания, работающая на углеводородном топливе, которая обеспечивает периодический выброс газа под большим давлением в воду под лед. Установка испытана в натурных условиях. В трех камерах сгорания объемом по  $0,14 \text{ м}^3$  создавалось давление  $2,8\text{—}4,2 \text{ МПа}$ . При каждом выпуске газового пузыря лед толщиной  $30 \text{ см}$  взламывался на площади  $9,3 \text{ м}^2$ . Береговой охраной США, финансировавшей разработку этой системы, планировалось получить установку, способную прокладывать канал шириной  $12,2 \text{ м}$  во льду толщиной  $61 \text{ см}$  со скоростью  $9 \text{ км/ч}$ . Для обеспечения ее работы потребуется дополнительная мощность  $300\text{—}400 \text{ кВт}$  [249].

К эффективным способам повышения ледопроеходимости судов следует отнести способы, основанные на уменьшении силы трения

между корпусом и льдом. Устройство, имеющее целью уменьшить коэффициент трения между льдом и корпусом судна с помощью воздушных пузырьков, выпускаемых вдоль борта и создающих эффективную воздушную смазку, разработано финской судостроительной фирмой «Вяртсиля» [61, 221].

Канадские судостроители разработали проект балкера ледокольного типа, ледвейтом 28 000 т, имеющего скорость 15,5 уз. Барботажная воздушно-пузырьковая камера уменьшает трение корпуса о лед, а гребные винты с регулируемым шагом увеличивают упор на малых скоростях.

Разработка месторождений нефти и газа на дне покрытых льдом арктических морей заставила изучать прогибание и разрушение ледяного покрова подводным газовым пузырем, возникшим в результате нефтяного или газового выброса.

Топхэм из группы морских ледоисследователей Управления контроля природной среды океана (Виктория, Канада) предложил аналитическое решение выгибания безграничной ледяной пластины в центре и по краям подводного пузыря и проверил его на модели [250].

Результаты моделирования показали, что разрушение ледяного покрова может произойти в центре пузыря или над его краем, в зависимости от толщины льда и пузыря, а также свойств льда. Целом ледяного покрова толщиной 1 м газовым пузырем толщиной более 100 мм наиболее вероятен по периферии последнего. Критический радиус пузыря, при котором происходит разрушение льда, зависит от его толщины, а также физико-механических свойств льда.

В основу работы средств разрушения льда с помощью подледного газового пузыря положено свойство несжимаемости воды, благодаря чему давление, создаваемое между водой и льдом, передается на ледяной покров. А так как лед обладает сравнительно небольшим сопротивлением напряжениям изгиба, применение таких средств разрушения льда представляется достаточно обоснованным.

В Дании запатентован ледолом (пат. 95983), принцип действия которого заключается в том, что под лед заводится тело переменной плавучести с максимальной подъемной силой, достаточной для приподнимания и разрушения льда. Ледолом (рис. 1.13) состоит из верхнего понтона постоянного объема, имеющего продолговатую форму с несколько опущенным носом, и надувного нижнего элемента, закрепленного под верхним понтоном и соединенного шлангом с компрессорной установкой. Обе емкости соединены с ведущим судном, содержащим компрессор или насос для откачки балласта.

Перед началом работы устройство обладает плавучестью, необходимой лишь для поддержания его на поверхности. Затем ледолом заводится под лед, в нижний элемент подается сжатый воздух, который максимально увеличивает плавучесть ледолома, и лед над ним ломается. После этого газ выпускается и операция повторяется. Выпускаемый газ может быть использован как реактивный двигатель, а верхняя часть ледолома может быть выпол-

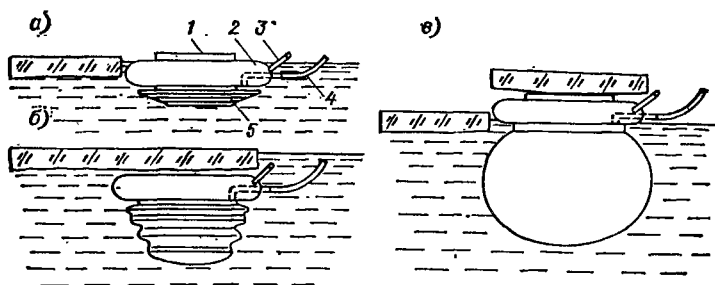


Рис. 1.13. Передвижной ледолом [14].

а, б, в — этапы взламывания льда; 1 — ребро жесткости; 2 — верхний баллон; 3, 4 — выпускной и впускной патрубки; 5 — нижний баллон.

нена жесткой (из стали или армированной резины) и снабжена гребнями или ножами, облегчающими взламывание льда. Ледолом может работать автоматически, если внутри него встроить управляющий наполнением клапан и устройство срабатывающее от определенного усилия контакта ледолома со льдом, находящимся над ним. Ледолом может быть выполнен с использованием принципа изменения его плавучести за счет подачи и последующей откачки водяного балласта.

Аналогичный погружаемый под лед аппарат, устанавливаемый в носовой части судна (рис. 1.14) запатентован и в США (пат. 3130701).

Эффективным оказался и способ взламывания льда воздушными пузырями, заключенными в погруженные гибкие оболочки. При подаче сжатого воздуха оболочки всплывают и воздействуют на лед с силой, равной весу вытесняемой ими воды. Оболочка объемом  $50 \text{ м}^3$  создает подъемную силу  $500 \text{ кН}$ . Радиус проломанной майны в несколько раз превышает размеры оболочки [14].

Устройство состоит из гибких оболочек с горловинами и гибкими рукавами (рис. 1.15). Оболочки соединены с источником сжатого воздуха и между собой гибким трубопроводом. Оболочки могут быть соединены с механизмом перемещения, например, с ле-

оболочкой посредством каната. После проламывания льда производится операция по освобождению оболочек от воздуха. Оболочки под действием силы тяжести погружаются в водоем. Ускорить

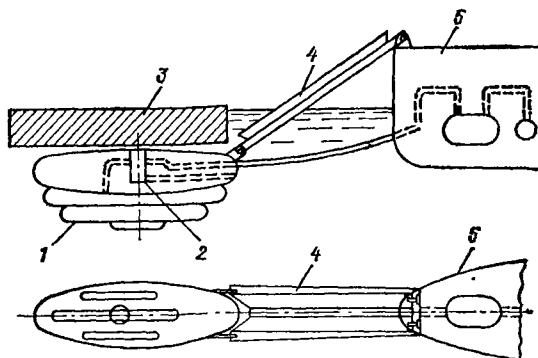


Рис. 1.14. Схема погружаемого аппарата для взламывания льда [80].

1 — погружаемый аппарат; 2 — система плавучести; 3 — ледяное поле; 4 — консоль; 5 — носовая оконечность судна.

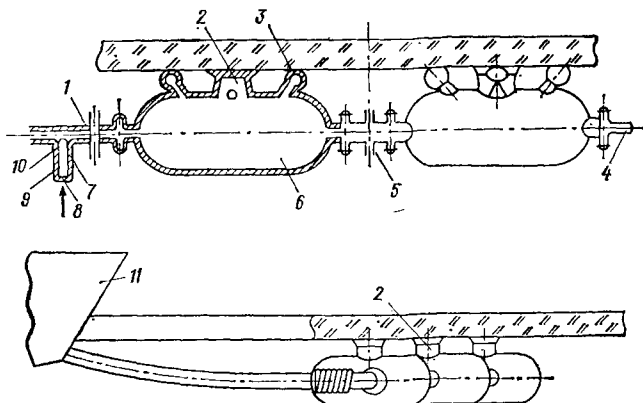


Рис. 1.15. Схема устройства и соединения гибких оболочек для взламывания льда сжатым воздухом [14].

1, 5 — гибкие трубопроводы; 2 — горловины; 3 — гибкие рукава; 4 — канат к лебедке; 6 — гибкие оболочки; 7, 8 — каналы; 9 — поршень; 10 — управляющий обратный клапан; 11 — корпус судна.

этот процесс можно с помощью вакуум-насоса. Гибкие оболочки с помощью каната можно переместить на новую позицию и повторить цикл.

В некоторых случаях (например, при повышении эффективности работ земснарядов в зимних условиях) этому устройству по сравнению с вышеописанными, по-видимому, следует отдать предпочтение из-за его простоты и сравнительно низкой стоимости.



*Суда на воздушной подушке (СВП) как средства разрушения льда стали применяться сравнительно недавно, с тех пор как зимой 1972 г. при буксировке ледокольной приставки на воздушной подушке АСТ-100 со скоростью 6,4 км/ч через Большое Невольничье озеро в Иеллоуснайф (Канада) было обнаружено, что за приставкой оставался канал в ледяном покрове толщиной 68 см [252].*

В 1972 г. в заливе Тандер-Бей (Онтарио, Канада) проводились испытания легкого ледокола «Александр Генри» с той же приставкой на воздушной подушке АСТ-100 (рис. 1.16). Скорость судна

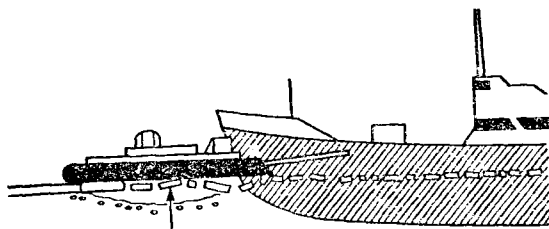


Рис. 1.16. Схема разрушения льда ледокольной приставкой на воздушной подушке.

без приставки при толщине льда 36,5 см составляла 3,7 км/ч, а с приставкой при толщине льда 43, 60 и 78 см — соответственно 16,7; 9,2 и 3,7 км/ч [45, 138, 197]. В 1975 г. на испытаниях в заливе Тандер при движении перед ледоколом со скоростью 12 км/ч платформа ломала лед толщиной 40 см [212]. Испытания транспортного средства на воздушной подушке проводились и на льду Антарктиды [211].

Модернизация платформы АСТ-100 позволила создать средство, названное «ледоедом» [179, 220]. На корме платформы вырезана V-образная выемка, куда входит нос судна. По заключению некоторых специалистов причиной ломки ледяного покрова под приставкой явилось то обстоятельство, что по мере того, как вода вытесняется давлением воздуха из-под льда, последний, лишенный опоры, разрушается [196, 220, 222, 239].

Весной и летом 1974 г. проводились арктические испытания СВП «Вояжер», в ходе которых было пройдено 1600 миль по рекам Аляски и прибрежным районам Северного Ледовитого океана [192, 233, 253]. Судно имеет две газовые турбины мощностью 250 кВт, давление подушки 24 кПа. Стоимость такого СВП достигает 1,25 млн. долл. Разрушая ледяной затор на р. Прэри севернее Монреаля, «Вояжер» затрачивал по 12 ч на 1 милю. Толщина

льда была 45 см. Режим работы по разрушению льда был следующий: сначала СВП создавало на скорости 10 уз серию волн на мелкой воде, затем скорость снижалась так, чтобы одна из волн предшествовала судну при выходе на паковый лед. Многократно повторяя этот маневр, СВП разрушало ледяное поле на куски (рис. 1.17). Более тонкий лед «Вояжер» разрушал на ско-

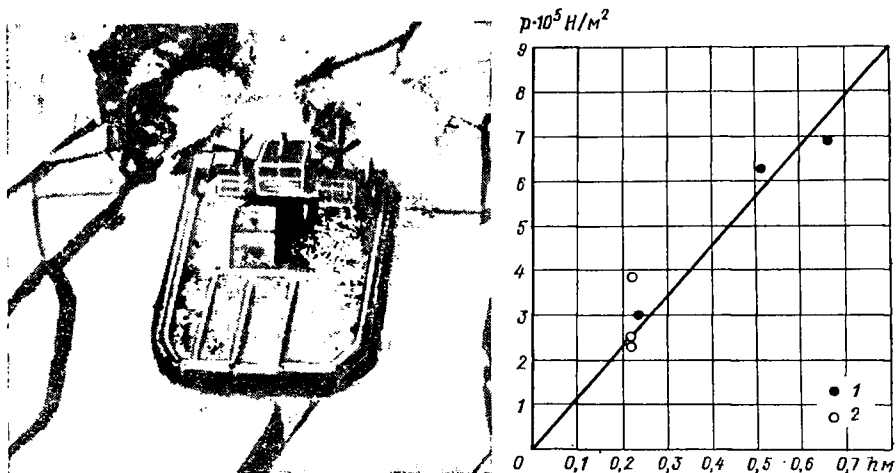


Рис. 1.17. Разрушение ледяного поля СВП «Вояжёр».

Рис. 1.18. Зависимость толщины разрушаемого льда от давления воздушной подушки ПВП и СВП [62]

1 — ПВП АСТ-100; 2 — СВП «Вояжёр».

рости около 15 уз, зигзагообразно перемещаясь по его поверхности поперек трещин [192, 233, 239, 254].

Дополнительные испытания, проведенные в том же месяце в Торонто, показали, что при наибольшей скорости 15 уз амплитуда стоячей волны за кормой составляла 1,6 м и лед непрерывно разрушался, хотя и был толщиной 38 см. Ширина оставляемого за кормой канала была больше, чем при движении на малых скоростях, зато размеры битых льдин были велики. Современная техника позволяет использовать давление подушки, эквивалентное давлению водного столба равное 135 кПа [252]. Пока отработаны два метода разрушения льда: следуя первому, СВП на малой скорости загоняет сжатый воздух под лед и тот, лишенный упругого гидравлического основания, ломается. Толщина льда, взломанного на скорости до 6,5 уз, составляла 40 см [254]. По другим сведе-

ниям на скорости 4 уз СВП ломало лед толщиной 80 см. При маневрировании вторым методом лед взламывается системой волн за кормой СВП, идущего со скоростью 13,5 уз [204].

Сводные данные о результатах разрушения ледяного покрова с помощью СВП приводятся на рис. 1.18 и в табл. 1.1.

Таблица 1.1

### Результаты разрушения ледяного покрова с помощью СВП

| Тактико-технические данные ПВП/СВП |                            |                                       |   | Параметры состояния разрушаемого ледяного покрова |                                    |                               |   |
|------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---|---|------------------------------------|-------------------------------|---|
| Тип или наименование ПВП (СВП)     | Масса ПВП (СВП), $10^3$ кг | Мощность пропульсивной установки, кВт | Давление в воздушной подушке, $10^5$ Н/м <sup>2</sup> | Толщина, м  | Прочность, $10^5$ Н/м <sup>2</sup> | Несущая способность, $10^4$ Н | Модуль упругости, $10^8$ Н/м <sup>2</sup> |
| АСТ-100                            | 263                        | 941                                   | 0,07  | 0,68  | 8,79                               | 193,4                         | 35 100                                    |
| Н-119                              | 13,4                       | 144                                   | 0,027   | 0,23  | 7,03                               | 24,2                          | 24 600                                    |
| НУ-15                              | 16,5                       | 262                                   | 0,030   | 0,25  | —                                  | —                             | —   |
| „Вояжер”                           | 40,8                       | 1912                                  | 0,025   | 0,23  | 7,03                               | 41,3                          | 24 600                                    |

По данным Уэйда, секретаря Канадской специальной межведомственной комиссии по изучению возможности разрушения льда с помощью СВП, предельная толщина льда, который может быть разрушен этим судном на скорости 20 уз, равна 1 м. За 1 ч можно разрушить ледяной покров на площади 15 км<sup>2</sup> [137, 252].

В перспективном плане научных исследований по ледотехнике в Канаде на одном из первых мест стоит тема «Разрушение льда с помощью СВП» (обобщение результатов многочисленных натуральных полевых испытаний, моделирования и теоретического изучения разрушения льда). Ожидаемый результат — оценка экономических и технических возможностей привлечения СВП к операциям по разрушению льда [253], а также рекомендации по оптимальному маневрированию судном для достижения наибольшего эффекта разрушения [89, 252].

Исследования возможности применения ледокольных приставок на воздушной подушке и судов на воздушной подушке проводились отделом безопасности мореплавания Министерства транспорта Канады в широком диапазоне скоростей движения, давления в воздушной подушке и толщины льда. В процессе испытаний, как отмечалось выше, выявились два направления возмож-

ного использования СВП в качестве разрушающих средств — на низких либо высоких скоростях.

Низкоскоростным ледоразрушающим средством служила несамостоятельная платформа на воздушной подушке (ПВП), а высокоскоростным — СВП «Вояжер».

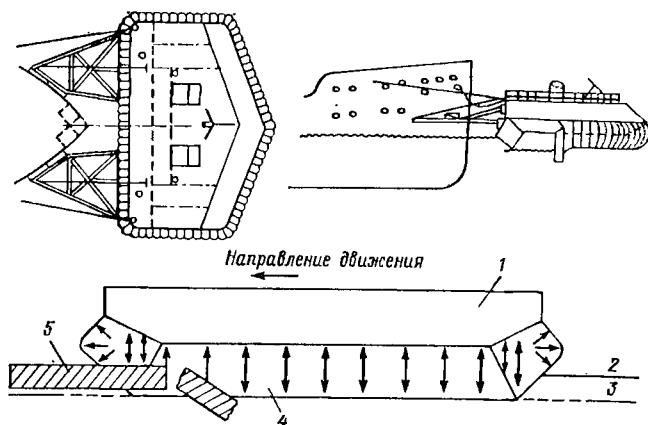


Рис. 1.19. Схема взаимодействия со льдом приставки на воздушной подушке [179].

1 — ПВП; 2 — уровень воды; 3 — впадина в воде; 4 — воздушная подушка; 5 — лед.

При малых скоростях движения (до 4—5 уз) разрушение льда происходит вследствие статического изгиба ледяного поля давлением в воздушной подушке у кромки ледяного поля.

Физика разрушения ледяного покрова на малых скоростях заключается в следующем. В процессе движения давление подушки опускает уровень воды под устройством ниже внутренней поверхности ледяного покрова. Под льдом образуется воздушная полость, выходящая за габариты СВП. Ледяной покров консольно висит над водой. Когда длина ледяной консоли достигнет критического значения, происходит излом поля под действием собственной тяжести (рис. 1.19).

При больших скоростях движения СВП (до 10—15 уз) лед разрушается в результате возникновения изгибных колебаний под воздействием перемещающегося источника давления, вызывающего волновые деформации поверхности льда и воды.

Предельная толщина, которую может разрушить СВП в статическом режиме, пропорциональна глубине впадины, образующейся под судном в условиях чистой воды, и обратно пропорциональна

прочности льда на изгиб. Предельная толщина льда, разрушаемого СВП, не является исчерпывающей его характеристикой. Критерий оценки эффективности СВП выражается формулой

$$k = N / (h^2 V b_k C_k),$$

где  $k$  — критерий оценки эффективности;  $N$  — мощность судна;  $h$  — толщина разрушаемого льда;  $V$  — скорость судна;  $b_k$  — ширина канала;  $C_k$  — коэффициент чистоты канала (изменяется от 1 до 0).

Для СВП с критической скоростью за ширину канала можно принять ширину зоны, на которую распространяется разрушение льда воздушной подушкой [62].

Лед, намерзающий на судах и гидротехнических сооружениях, разрушают с помощью противообледенительных систем.

*Пневматические противообледенительные системы* представляют собой протекторы (чаще всего резиновые), плотно прилегающие к поверхности защищаемого объекта. При включении противообледенителя протектор вздувается сжатым воздухом и ломает образовавшийся лед. Пневматические ПОС обычно применяются для защиты крыльев и стабилизатора винтомоторных самолетов. Противообледенитель фирмы «Палмер» для защиты передней кромки крыла весит 30—35 кг, расход сжатого воздуха 0,4 кг/мин.

В пневматических ПОС применяются подвижные оболочки, изготовленные из полиэтилена, полиуретана и т. д. (пат. 1354875 Великобритания), из морозостойкой эластичной резины (пат. 3744690 США, 2091955 Франция, 1331698 Великобритания).

Использование кремнийорганических, фторкаучуковых и армированных морозостойких резин позволит значительно снизить массу и повысить эффективность и надежность пневматических ПОС [134].

Существуют пневматические противообледенительные устройства, успешно прошедшие испытания в морских условиях. Так, на английском траулере «Бостон Фантом» в районе Исландии в 1969 г. испытывалось противообледенительное устройство пневматического типа, приводимое в действие сжатым воздухом. Оно представляло собой чехлы из неопренового каучука, которые закреплялись на мачтах, вантах, штагах и лобовых стенках рубок и надстроек. Внутри чехлов находились небольшого диаметра резиновые трубки, соединенные с центральным источником воздуха, подающегося под давлением 0,105 МПа. После поступления воздуха в трубки чехол надувался и лед, образовавшийся на его поверхности, отпадал. Управление всей системой было дистанционным, с мостика. Не все судовые поверхности могут быть защищены подобным об-

разом. Такое оборудование, например, сложно установить на траловой лебедке. Испытания в лабораторных условиях, показали, что слой льда, образовавшийся при атмосферном обледенении, толщиной 23 мм разрушается и удаляется с макета мачты и лобовой стенки рубки при температуре  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Пока пневматический метод предпочтителен для удаления льда атмосферного происхождения. По данным В. В. Панова [120] льды морского брызгового обледенения, вследствие их вязкости и рыхлости, при включении пневматической ПОС труднее опадают с обледеневшей поверхности. По-видимому, поэтому на морских судах подвижные оболочки не нашли широкого применения, несмотря на их широкую пропаганду.

### 1.2. Режущие, фрезерующие и скалывающие средства

Ледорезные машины различных типов применяются для разрушения льда в тех случаях, когда из-за малых глубин невозможно применение ледоколов, или в комплексе с другими методами. Ледорезные машины бывают трех типов: ледовые пилы (с цепями или барами), ледорезные машины и ледовые струги.

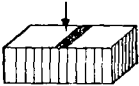

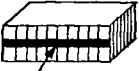
Установлено, что в режимах работы ледорезных машин с концевыми фрезами, разрушение льда носит хрупкий характер [97]. Причинами возникновения и развития хрупкого разрушения являются скопления дислокаций преимущественно на границах зерен, обуславливающие концентрацию напряжений в этих местах и вызывающие возникновение микросдвигов в кристаллах, которые в свою очередь приводят к образованию микротрещин. Трещины распространяются не прямолинейно, поскольку, встречая препятствия в виде аномалий волнового сопротивления среды, трещина от них отражается.

Реальная возможность образования трещин определяется уровнем местных перенапряжений и числом возникающих одновременно сдвигов. Поэтому в предельно напряженном льде возникающие пластические деформации приводят к образованию трещин, размеры которых быстро возрастают до критических. Если плоскости скольжения перпендикулярны направлению сжатия, сдвиги и образование трещин затруднены. По экспериментальным данным Пейтона [241] при изменении направления сжатия морского льда предел прочности на сжатие увеличивается в 4 раза (от 2 до 8 МПа). К аналогичным выводам пришел и В. В. Лавров (табл. 1.2).

Темная полоса на рисунках в таблице условно обозначает ту металлическую накладку, через которую производилось давление на лед. Видно, что сопротивление льда срезу вдоль направления

Таблица 1.2

Сопротивление срезу поликристаллического пресноводного льда при температуре  $-3^{\circ}\text{C}$  в зависимости от направления приложения силы [78]

| Размеры образца |             |  | Скорость деформирования, см/с | Время нагружения, с | Сопротивление срезу, МПа | Условия нагружения  |
|-----------------|-------------|--|-------------------------------|---------------------|--------------------------|---|
| ширина, см      | толщина, см | площадь поперечного сечения, см <sup>2</sup> |                               |                     |                          |   |
| 10,6            | 10,7        | 113  | 0,06                          | 3,5                 | 0,34                     |  |
| 10,9            | 10,0        | 110  | 0,06                          | 2,0                 | 0,72                     |  |
| 10,5            | 9,0         | 95   | 0,06                          | 2,0                 | 1,22                     |  |

оптических осей, показанных тонкими линиями, существенно меньше, чем при испытаниях на срез поперек этих осей.

В свете изложенного интересно сравнение работы ледорезных машин с концевой и дисковой фрезами [185]. У дисковой фрезы в начальный момент, когда толщина стружки еще не велика, усилие резания направлено поперек кристаллов (рис. 1.20); далее, когда толщина стружки достигает максимальных размеров, резание происходит в наиболее благоприятном с точки зрения сопротивления льда направлении ( $\sigma_{\text{срез}}=0,34$  МПа). Надрезы радиальных размеров и периодичности не только снижают усилие резания, но и облегчают выход резца на свободную поверхность льда, тем самым уменьшается пульсация нагрузок на фрезу и в деталях трансмиссии ледорезных машин (рис. 1.21). Концевая фреза осуществляет резание в поперечных плоскостях, когда усилие резания в течение всего цикла резания направлено соответственно второму случаю нагружения в табл. 1.2 ( $\sigma_{\text{срез}}=0,72$  МПа). Поэтому сопротивление льда резанию, при работе концевой фрезой должно быть значительно больше, чем для дисковой. При проектировании и эксплуатации ледорезных машин, естественно, необходимо учитывать проявление анизотропии механических свойств льда.

**1.2.1. Режущие средства.** Ледовые пилы с цепями имеют простую конструкцию и обладают высокой производительностью. Соз-

дано несколько типов таких машин на базе бензопилы «Дружба», машины ДЛН-1; ЛМ-3. Однако, как показал опыт, при значительной отрицательной температуре воздуха узкие щели, пропиливаемые этими машинами во льду, очень быстро снова смыкаются, и лед смерзается, восстанавливая свою первоначальную способность сопротивляться прилагаемой нагрузке.

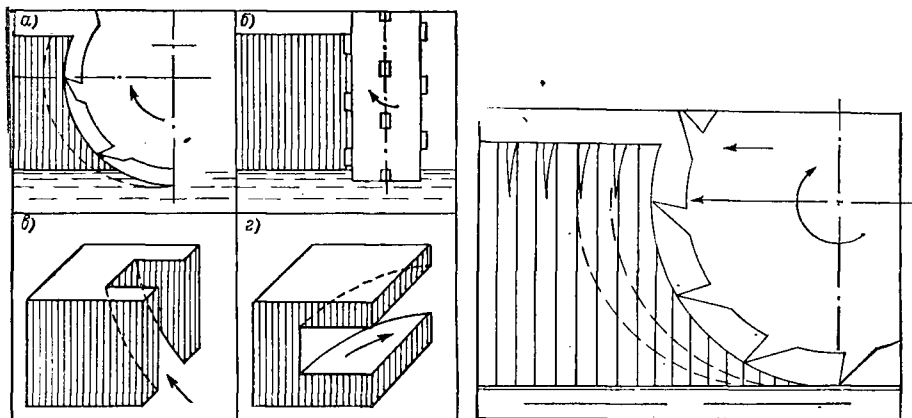


Рис. 1.20. Направление резания относительно ориентации кристаллов льда [185]. а, в — для дисковой фрезы; б, г — для концевой фрезы.

Рис. 1.21. Фрезерование льда с искусственными поперечными надрезами дисковой фрезой [185].

Ледорезная машина конструкции Н. Ф. Харламова была одним из первых механизмов такого рода [147]. Она представляет собой передвижную несамоходную установку на лыжах, состоящую из бензомотора «Дружба», промежуточной связи и пильного аппарата с цепью, натянутой на звездочки. Масса машины 30 кг. Пильный аппарат может наклоняться вокруг горизонтальной оси и производить пропил льда без предварительной подготовки. Испытания такой машины дали обнадеживающие результаты, вместо круглой во льду выпиливалась четырехугольная прорубь, а лед в виде призмы высотой, равной толщине льда, извлекался на поверхность. Основное достоинство машины — ее портативность.

Широкий комплекс исследований процесса резания льда цепными пилами с целью изучения физической сущности резания льда, обоснования геометрии резца и нахождения оптимальных режимов резания выполнил В. Ф. Овчинников [148]. Мощность



при пилении льда цепным пильным аппаратом определялась по формуле

$$N = k_1 P V_p / 102 \eta,$$

где  $N$  — мощность, кВт;  $k_1 = 1,5 \dots 2,0$  — коэффициент, учитывающий кратковременные перегрузки, возникающие от попадания ледяной стружки в пространство между цепью и зубцами звездочек, от попадания крупинок ледяной стружки между боковыми звеньями цепи и стенками пропила и других факторов;  $P$  — окружное усилие тяги на ведущей звездочке пильной цепи, зависящее от технологических параметров и физико-химических свойств льда, кг;  $V_p$  — скорость резания, м/с;  $\eta$  — КПД передачи от двигателя к ведущей звездочке пильной цепи с учетом потерь, возникающих при обгибании ведущей звездочки цепью.

С точки зрения физической сущности процесса резания интересны исследования скорости распространения трещин впереди режущей кромки зубца. Можно предположить, что если скорость резания больше скорости распространения трещины, то затрата энергии на процесс резания будет выше оптимальной; если же скорость резания ниже скорости распространения трещин, то, хотя затрата энергии на резание будет малой, но и скорость резания и соответственно производительность машины будут ниже оптимальных. Задача состоит в том, чтобы найти оптимальную скорость резания, при которой затрата энергии была бы минимальной, а скорость резания и производительность машины наивысшими. С помощью оригинальных методик и скоростной киносъемки определена скорость распространения трещин во льду в зависимости от различных условий приложения нагрузки — от нескольких метров в секунду до значений скорости сдвиговых волн во льду [16, 147].

Ледорезная машина, разработанная на основе исследований В. Ф. Овчинникова (рис. 1.22), может делать квадратные проруби в ледяном покрове толщиной до 120 см с последующим удалением призмы льда из проруби. Мощность бензомотора при номинальной части вращения — 3,2 кВт, его моторесурс 500 ч. Скорость резания 4,5—5,2 м/с. Машину подводят к месту, включают бензомотор, подают пильную шину вниз. Пильная цепь начинает резать лед, постепенно заглубляясь в пропил. Когда нижняя кромка пильной шины дойдет до воды, шину поднимают по направляющим в верхнее исходное положение. Затем разворачивают поворотный сектор на ободу на  $90^\circ$  и делают следующий пропил. Аналогичным образом делаются еще два пропила. Затем машину отводят и крючками вытаскивают призму льда на поверхность. Машина позволяет сделать прорубь площадью  $35 \times 35$  см<sup>2</sup> при толщине

льда 0,6—1,0 м за 1—1,5 мин, при этом расход бензина составляет 40—50 г. При вместимости бензобака двигателя 1,5 л одной заправки хватает на 30 прорубей. Длина машины (по саням) 130 см, ширина 86 см, высота 168 см. Масса машины около 40 кг. Машина была принята к серийному выпуску.

Согласно имеющимся данным [14], резание льда *баровым* исполнительным органом характеризуется относительно небольшими значениями потребляемой мощности и тягового усилия, что делает возможным создание малогабаритных ледорезных устройств с использованием непотопляемых саней. И, действительно, по эксплуа-

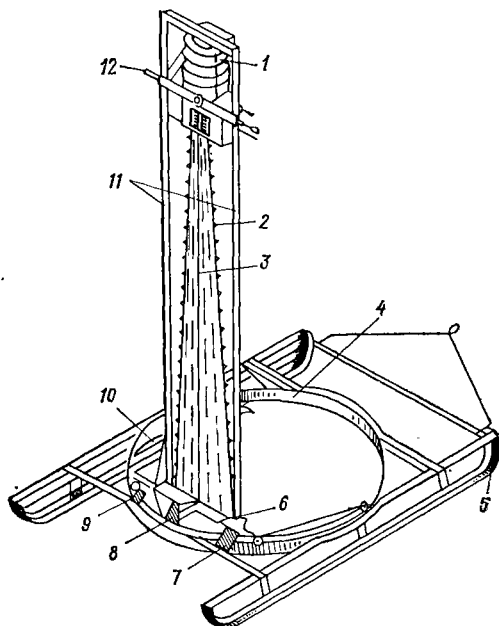


Рис. 1.22. Ледорезная машина для квадратных майн [148].

1 — бензодвигатель; 2 — пильная цепь; 3 — пильная цепь; 4 — направляющий обод; 5 — сани; 6 — опорная рама; 7, 8, 9 — педали отключения стоек, направляющей вилки, поворотного сектора; 10 — поворотный сектор; 11 — направляющая стойка; 12 — рукоятки подачи.

тационным данным при резании льда толщиной 0,95—1,0 м при температуре воздуха от  $-12$  до  $-24^{\circ}\text{C}$  баровым исполнительным органом минимальное значение расходуемой мощности составляет 12,9 кВт при скорости движения цепи 1,3—1,5 м/с. При скорости подачи 120 м/с необходимое тяговое усилие не превышало 22 Н. При проектировании цепных ледорезных машин рекомендуется осуществлять встречное резание сверху вниз с целью удаления стружки в воду. Возникающая возможность быстрого повторного смерзания прорези, заполняемой всплывающей стружкой, ликвидируется установкой шнеков на оси нижней звездочки ледорезного устройства (рис. 1.23). Последнее состоит из непотопляемого шасси, приводной лебедки с канатом, червячного редуктора с колесом управления, рабочего органа с режущей цепью, рамы, шнеков и высокомоментного гидродвигателя. На шнеках укреплены резцы. Посредством колеса управления через червячный редуктор и соединительную муфту производится поворот и заглубление ра-

бочего органа. Резцы на шнеках облегчают врезание в лед. После этого включается привод лебедки, и устройство, перемещаясь, образует во льду прорезь.

Для подготовки в ледяном покрове широких протяженных майн разработан ряд ледорезных устройств, основанных на одновременной работе двух дисковых фрез или двух баров. Одно из таких

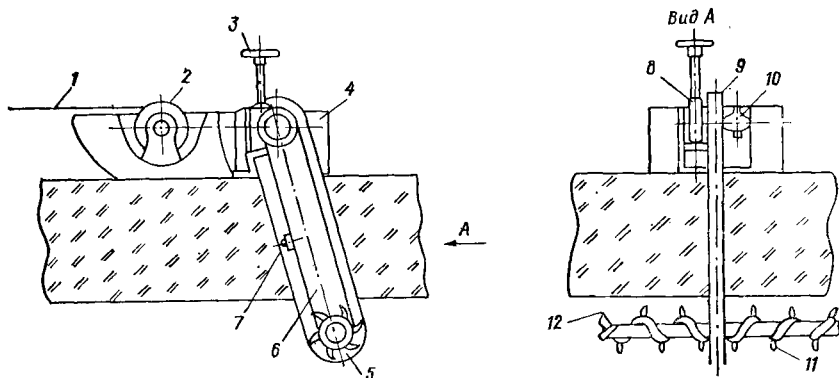


Рис. 1.23. Схема ледорезного устройства [14].

1 — канат; 2 — приводная лебедка; 3 — колесо управления; 4 — непотопляемое шасси; 5, 11 — шнеки; 6 — рама; 7 — режущая цепь; 8 — червячный редуктор; 9 — рабочий орган, 10 — гидродвигатель, 12 — резцы на шнеках.

устройств разработано в НИИЖТе [13]. С помощью этого устройства можно вырезать из массива льда трапецидальную призму, разрушать ее на отдельные блоки и удалять последние из траншеи в сторону на ледяной покров при помощи клина-скалывателя. Устройство может быть использовано как для околки судов и караванов, так и для выморозочных работ. Непрерывность процесса резания и удаления льда дает значительное повышение производительности по сравнению с производительностью других подобных машин. Устройство состоит из трактора с установленным на нем цилиндрическо-коническим редуктором и шарнирно навешенным на редуктор баром (рис. 1.24). Баровая цепь на передней и задней кромках оснащена резцами. Бар имеет форму неравнобокой трапеции в сечении, перпендикулярном продольной оси трактора и связан с последним гидродомкратами. К трактору прицеплен клин-вытеснитель, имеющий в концевом сечении форму образующего бара канала.

После установки бара в исходное рабочее положение агрегат начинает движение вдоль трассы прорезаемого канала, при этом

клин-вытеснитель ломает образующийся консольный брус льда на отдельные глыбы и вытесняет их по скошенной кромке канала на поверхность льда. Согласно расчетам, производительность агрегата может быть доведена до 300 м/ч при толщине льда 1,5 м.

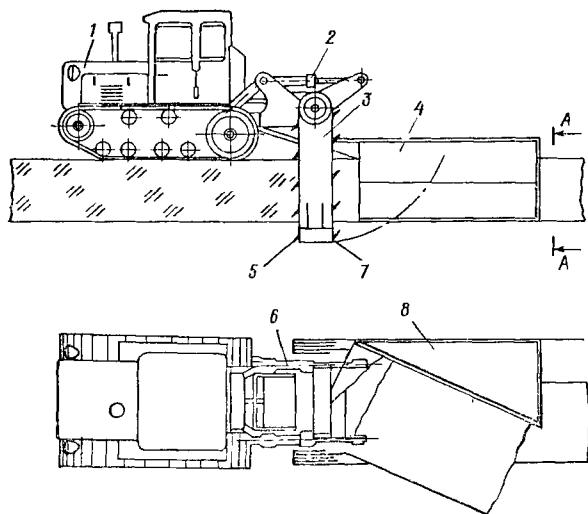


Рис. 1.24. Машина ледорезная баровая на тракторе Д-75 [13].

1 — трактор; 2 — гидродомкраты; 3 — баровая цепь; 4, 8 — клин-вытеснитель; 5, 7 — резцы цепи; 6 — цилиндрическо-конический редуктор.

При подледной укладке трубопроводов диаметром 70 см могут быть полезны экспериментальная баровая установка «Мороз» на базе многокошшового экскаватора ЭТУ-353 и баровая машина БЭТН на базе колесного шасси экскаватора ЭТН-124. Эти устройства позволяют прорезать щели шириной 14 см во льду толщиной 1,0 м и вынимать ледяные блоки размером  $1,5 \times 1,0$  м. Производительность резания до 130 м/ч. Скорость резания 1,5 м/с при минимальной мощности 11—12,5 кВт [2].

Для околки караванов судов предложена конструкция устройства на основе гибкого режущего органа, который выполнен из стального троса, оснащенного круглыми фрезами (рис. 1.25). Вместо троса может быть использована круглозвенная цепь.

Движение режущего органа длиной до 100 м и более осуществляется от вала отбора мощности. Ширина прорезаемых двух щелей по 2—5 см. Производительность нарезания майн в 5—

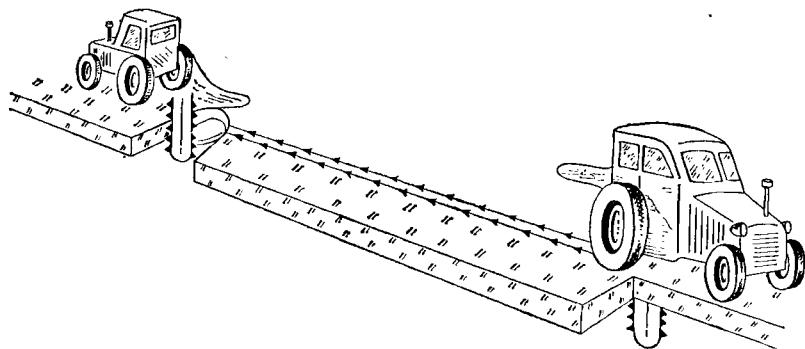


Рис. 1.25. Резание льда гибким режущим органом из стального троса с круглыми фрезами [98].

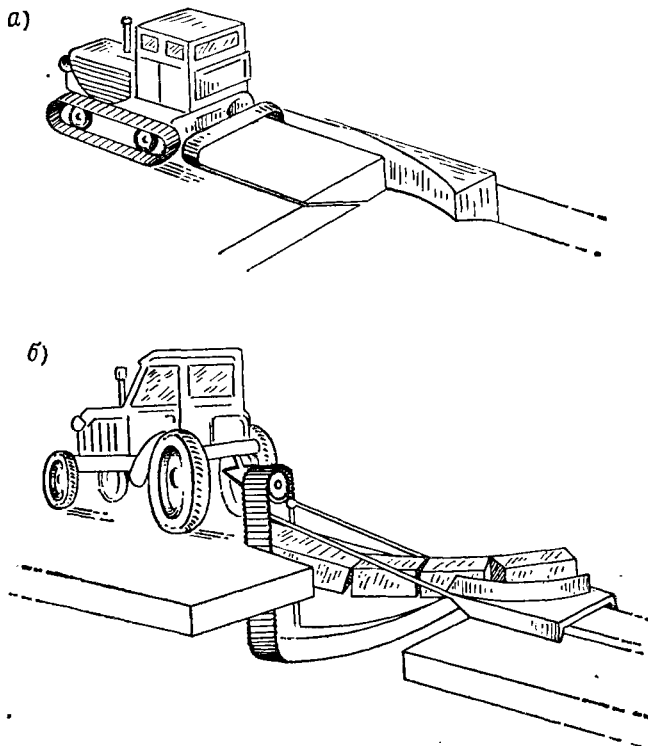


Рис. 1.26. Навесные устройства с гибким режущим органом [98].

*а* — калиброванная круглозвенная цепь с гибкими фрезами; *б* — гибкая лента, сплетенная из стального троса.

6 раз выше по сравнению с устройствами, в которых используются баровые цепи от горных машин, так как процесс резания осуществляется одновременно по всей длине гибкого режущего органа. Удаление под лед оставшейся призмы после пропила производится наклонной плоскостью перемещающегося клина.

Гибкий режущий орган является основой навесных устройств на тракторах для околки судов (рис. 1.26). Большая производительность резки льда (500—600 м/ч) достигается главным образом

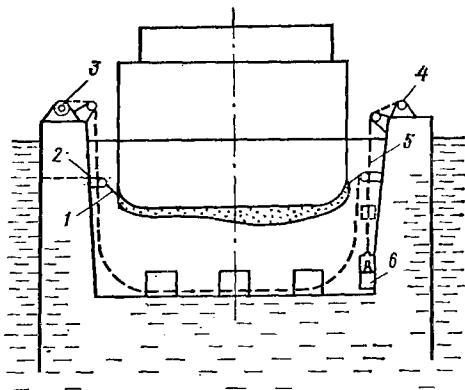


Рис. 1.27. Устройство для удаления намерзшей ледяной чаши с днища судна [50].

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

за счет того, что не весь лед разрушается, а прорезаются две узкие щели; причем, удаление льда, оставшегося между щелями, осуществляется с помощью гибкой ленты, сплетенной из стального троса или калиброванной круглозвенной цепи с круглыми фрезами. Удаление льда из майны, как видно из рисунка, производится клином, причем призма отколотого льда скользит по наклонной плоскости, что требует значительно меньше усилий.

Устранение ледяной чаши с подводной части судна предлагается осуществлять с помощью устройства, смонтированного непосредственно в доке (рис. 1.27). В процессе докования судна намерзший лед срезается бесконечным гибким режущим элементом (тросом, цепью), натянутым 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.

Большой интерес представляет использование двухбаровых машины БР-00-00 для резки льда толщиной 2—2,2 м [29]. Эта ма-

шина, представляющая собой навесное и встраиваемое оборудование на тракторе Т-100М (рис. 1.28), предназначена для прорезания щелей в мерзлых и твердых грунтах, для рытья траншей и котлованов.

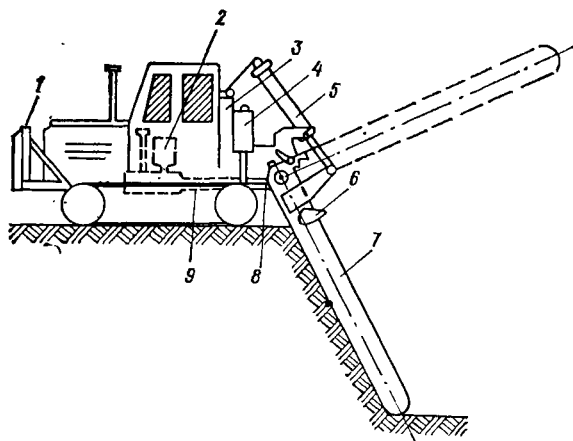


Рис. 1.28. Схема двухбараковой машины БР-00-00 [29].

1 — противовес; 2 — гидромеханический ходоуменьшитель; 3 — гидрооборудование; 4 — масляный бак; 5 — механизм управления барами; 6 — зачистное устройство; 7 — бар; 8 — редуктор; 9 — соединительный вал.

### Технические характеристики БР-00-00

|  |                |
|--|----------------|
| База машины  | трактор Т-100М |
| Рабочий орган  | бар            |
| Число баров  | 2              |
| Общая длина баров, мм  | 2800           |
| Глубина прорезаемой щели во льду, мм                                     | до 2200        |
| Ширина прорезаемой щели, мм  | 140            |
| Расстояние между барами (при работе двумя барами), мм                    | 700            |
| Производительность (при прорезании щели во льду толщиной 2,2—2,4 м), м/ч |                |
| максимальная   | 90             |
| средняя  | 50             |
| Скорость цепи рабочего органа (скорость резания), м/с                    | 2,5            |
| Размеры, мм  |                |
| длина  | 7000           |
| ширина (по трактору)   | 2460           |
| масса, т   | 16,4           |

Для прокладки тягового троса через реку прорезали во льду толщиной 2,2—2,4 м щель шириной 140 мм.

Прорезание щели бараковой машиной и укладка троса на дно осуществлялись одновременно.

Работа выполнялась следующим образом. Тяговый трос разложили на льду вдоль створа перехода на расстоянии 2 м от него. Баровую машину установили по линии створа, обозначенного вешками. К поднятому (нерабочему) бару подвесили блок, через который пропустили тяговый трос. При движении баровой машины тяговый трос под действием собственной тяжести опускался в готовую прорезь и укладывался на дно реки.

При одновременной работе двух баров образовывались две параллельные узкие щели. Для образования майны лед между этими щелями разрезался одним баром на отдельные карты, которые извлекались трубоукладчиком.

Опыт использования баровой машины позволил дать некоторые рекомендации по обеспечению безопасных условий работы [29].

Учитывая значительную массу машины, ледорезные работы следует выполнять после проверки прочности льда в соответствии с «Временными указаниями по технологии и организации строительства подводных переходов магистральных трубопроводов в зимних условиях» (ВНИИСТ 1968 г.).

При одноразовой проходке баровой машины для устройства прорези шириной 140 мм (работает один бар) или 800 мм (работают два бара) приведенная толщина льда в соответствии с «Временными указаниями» должна быть не менее 60 см.

При устройстве широких майн, требующих двух или нескольких последовательных проходов баровой машины по ослабленному ледяному покрову, допустимая приведенная толщина льда должна быть увеличена в зависимости от температуры наружного воздуха. При средней температуре воздуха за последние трое суток  $-5^{\circ}\text{C}$  минимальную приведенную толщину льда, допускающую работу баровой машины при устройстве широких прорезей, следует увеличить до 1 м. В северных районах толщина льда, как правило, значительно превышает 1 м, поэтому использование баровой машины в этих районах наиболее эффективно.

При разработке льда баровая машина не должна подходить к кромке майны ближе, чем на 0,5 м.

Не следует оставлять бары в прорезаемых щелях при выключенной цепи рабочего органа. Цепь можно выключать лишь после подъема баров.

При подъеме льда трубоукладчик надо устанавливать от кромки майны на расстоянии не менее 1 м.

**1.2.2. Фрезерующие средства.** «Конструкторское бюро, организованное д-ром техн. наук А. Ф. Николаевым, за полтора десятка лет разработало и внедрило оригинальные машины, давшие уже свыше 80 миллионов рублей экономии» — так писал журнал «Изо-



бретатель и рационализатор» в 1974 г. о работах ОКБ «Ралспемг» при Горьковском политехническом институте им. А. А. Жданова. Большинство машин, предназначенных для разработки льда, снега

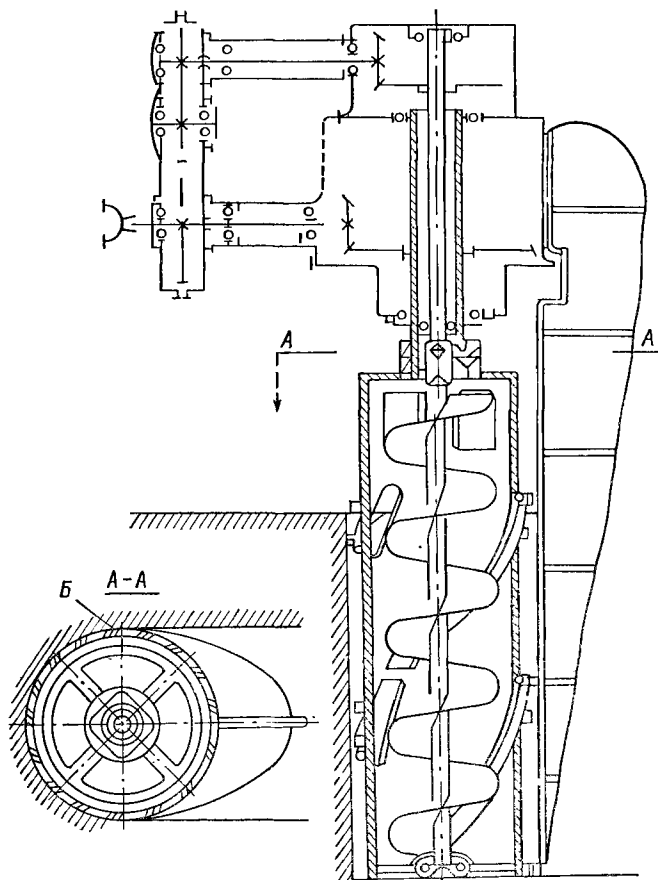


Рис. 1.29. Устройство ЛФМ-ГПИ-1 для проходки траншей во льду [105].

и мерзлых грунтов, сконструировано на базе изобретений, сделанных в этом ОКБ и использующих принцип фрезерования льда [105—109, 114, 118].

Машина ЛФМ-ГПИ-1 (рис. 1.29) выполнена на базе автомобиля ГАЗ-69, компактна и может разрушать ледовые неровности в виде ропаков и торосов высотой до 1,5 м при взаимно перпен-

дикулярном расположении спиральных лопастных фрез диаметром 0,5 м. Расположение привода вертикальной фрезы в мертвом пространстве за горизонтальной фрезой обеспечивает разработку льда при ширине захвата 2 м. Масса машины 1700 кг, мощность двигателя 51,5 кВт, скорость рабочего хода при фрезеровании льда 90—250 м/ч, производительность машины (разрушение ледовых неровностей и отведение ледяной фрезерной крошки за пределы аэродрома) 120 м<sup>3</sup>/ч, удельная энергоемкость 0,2 кВт·ч/м. После государственных испытаний на дрейфующей станции СП-6 эта машина была принята на серийное производство.

**ЛФМ-ГПИ-34.** Предназначена для производства ледорезных работ при околке судов во время зимней стоянки в затонах и судоремонтных заводах, при наведении плавучих переправ через замерзшие реки и при подледном рыбном промысле. Она обеспечивает не только резку льда, но и очистку трассы работ и пожарных проездов между судами от снега с помощью шнекороторной установки.

Оригинальная конструкция рабочего органа — пальцевая спиральная фреза, оснащенная резами с режущей кромкой из твердого сплава ВК-8 — при своем вращении и соответствующем перемещении машины — обеспечивает прорезание во льду сквозной щели и отбрасывает шугу под лед, где течение воды уносит ее в сторону.

В целях безопасности работы предусмотрена непотопляемость машины. Корпус ее герметичен, имеет большое водоизмещение и хорошую остойчивость на воде.

#### Технические характеристики ЛФМ-ГПИ-34

|   |      |
|---|------|
| Масса машины, кг  | 2450 |
| Мощность двигателя, кВт   | 36,5 |
| Толщина прорезаемого льда, м  | до 1 |
| Ширина прорези, м   | 0,25 |
| Скорость проходки при прорезании сквозной щели во льду, м/ч                                       |      |
| на первой передаче  | 125  |
| на второй передаче  | 300  |
| на третьей передаче   | 470  |
| Скорость вращения фрезы, об/мин   | 300  |
| Удельная энергоемкость по резанию льда, кВт·ч/м <sup>3</sup>                                      | 0,5  |
| Ширина захвата шнекороторной установки для расчистки снега, м                                     | 1,6  |
| Производительность шнекороторной установки (при расчистке снега высотой 0,3 м), м <sup>3</sup> /ч | 100  |

ЛФМ-ГПИ-34 заменяет труд 80—100 человек. При применении машины работы по резке 1 м длины обходятся в 10—12 раз дешевле и осуществляются в 80—100 раз быстрее, чем при использовании ручного труда.

*Снегоочистительная ледово-фрезерная машина ЛФМ-ГПИ-41. Выполнена на базе гусеничного транспорта ГАЗ-47 (а. с. 134275 СССР).*

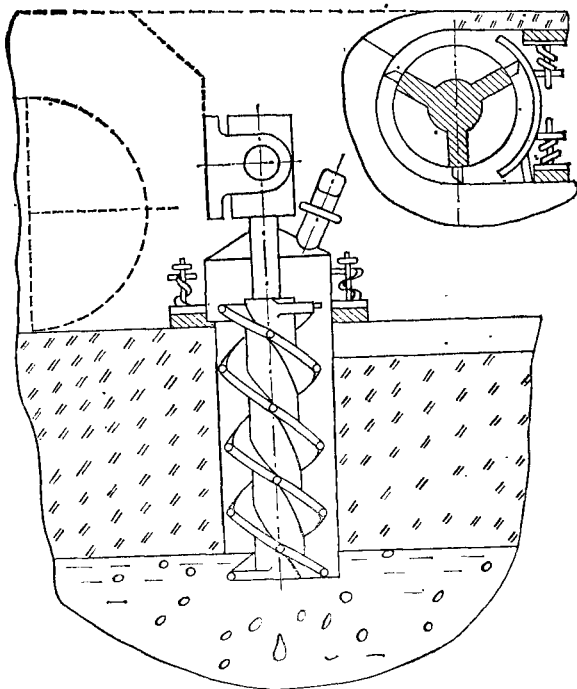


Рис. 1.30. Агрегат для прорезания канала во льду [105].

Суть изобретения заключалась в том, что в корпусе фрезы возле резцов делались карманы — отверстия, куда и уходила ледяная крошка (не затрудняя процесса резания льда), а шнек, размещенный внутри трубы, опускался под лед. Машина с такой фрезой может за час прорезать во льду траншею глубиной до 1 м и шириной 0,4 м, длиной 300 м. Масса машины 4670 кг.

*Агрегат для прорезания канала во льду (а. с. 138627 СССР) (рис. 1.30).* Включает в себя самоходную машину (автомобиль, трактор и т. п.), снабженную в передней части приводным шнеком для снятия снега с поверхности льда и подвешенной сзади поворотной из горизонтального в вертикальное положение фрезы, отличающейся тем, что с целью снижения расхода энергии на про-

резание канала, фреза заключена в открытый снизу и со стороны ее режущей части кожух. Последний снабжен сверху патрубком для подачи сжатого воздуха, служащего для удаления из фрезы в воду ледяной стружки. Для герметизации кожуха в рабочем положении в верхней части его приварен фланец с отверстиями,

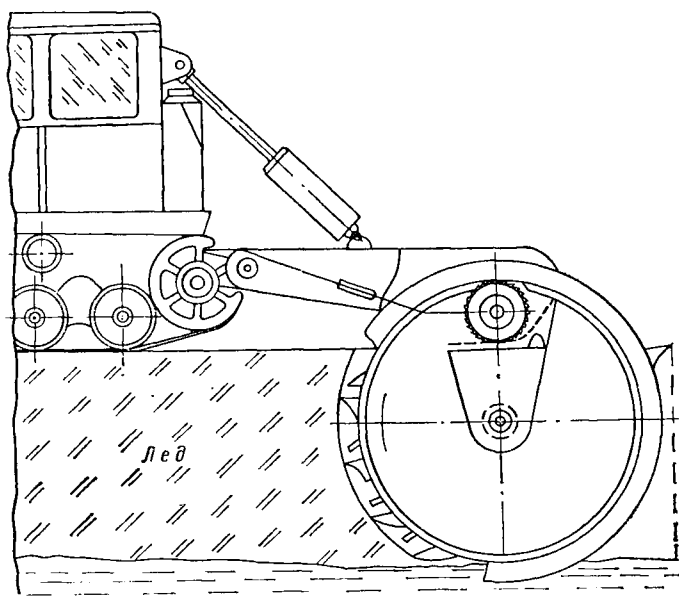


Рис. 1.31. Устройство для прорезания щелей и траншей во льду [105].

в которые свободно вставлены штыри, жестко связанные с подпружиненным кольцом, облицованным снизу резиновой прокладкой.

Устройство для образования щелей и траншей во льду (а. с. 134816 СССР) с применением фрезы (рис. 1.31). Состоит из диска и расположенных по его окружности резцов и рамы, снабженной опорами для установки и привода фрезы. С целью увеличения производительности при одновременном уменьшении удельного расхода мощности фреза выполнена полый в виде двух закрепленных в ступице дисков и укрепленного на них обвода с венцом зубчатого цилиндрического зацепления на внутренней стороне и двумя рядами резцов, устанавливаемых на наружной его стороне.

Устройство для образования траншей во льду (а. с. 142310 СССР) (рис. 1.32). Для прорезания льда применяется полая труб-

чатая фреза. Для удаления ледяной стружки — воздуха имеет шарнирно укрепленный на ледорезной машине корпус, выполненный в виде цилиндра для размещения в нем приводного механизма с горловиной для забора воздуха и заслоном со стороны

неработающей части фрезы. Корпус фрезы присоединен к полуму вертикальному валу. На наружной его поверхности расположены спирали-гребни, в гребнях так же, как и в торцах корпуса, установлены резцы, а на вертикальной поверхности — направляющие лопасти воздушной для удаления из отрываемой траншеи ледяной стружки.

*Ледорезная машина ЛФМ-ГПИ-75 (а. с. 327289 СССР).* Предназначена для разрушения льда перед плотинами. Режущим органом машины является дисковая фреза, прорезывающая шель во льду глубиной в 1,5 м и шириной

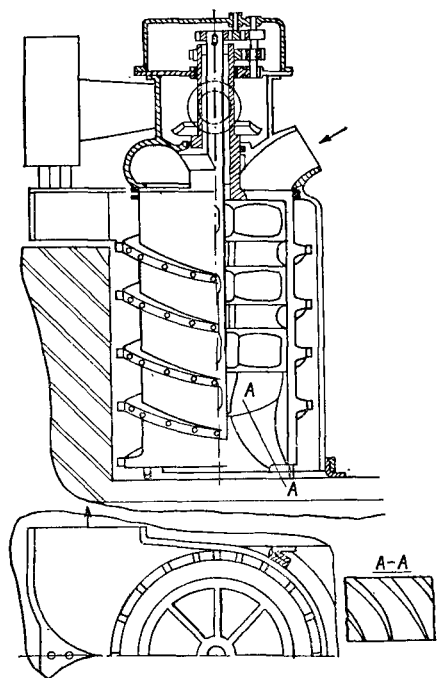


Рис. 1.32. Устройство для прорезания траншей во льду [105].

0,15 м. Двигатель мощностью в 85 кВт обеспечивает производительность до 112,5 м<sup>3</sup>/ч, масса машины 5,5 т.

*Малогабаритная самоходная ледорезная установка СЛУ-80 (а. с. 195473 СССР). (рис. 1.33).* Предназначена для резки льда вокруг судов, производства майн и выполнения других ледорезных работ. Установка разработана и изготовлена в двух вариантах: с двигателем внутреннего сгорания и с электродвигателем. В первом варианте установка автономна и может работать без дополнительной заправки топливом в течение 10 ч. Установка обслуживается одним человеком. СЛУ-80 смонтирована на герметичных саях, которые представляют собой сварной каркас из углового профиля, обшитый снаружи листовой сталью. В передней части саян расположен мотоциклетный двигатель марки М-72 стационарного исполнения с принудительным воздушным охлаж-

дением. Крутящий момент двигателя, преобразованный в трансмиссии, передается на фрезерную головку. Во фрезерной головке

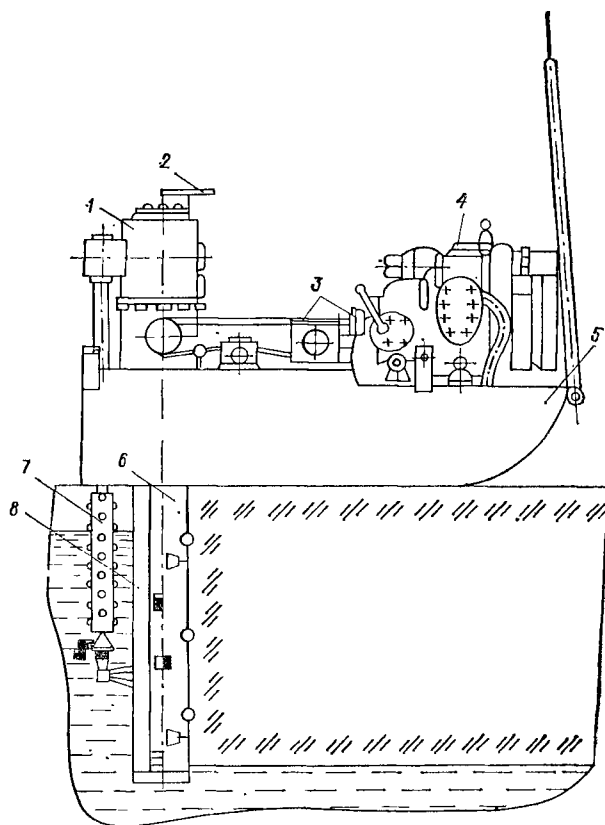


Рис. 1.33. Малогабаритная самоходная ледорезная установка СЛУ-80 [109].

1 — фрезерная головка; 2 — штурвал червячной передачи; 3 — трансмиссия; 4 — мотоциклетный двигатель; 5 — герметичные сальники; 6 — концевая трубчатая фреза со шнековым транспортером; 7 — валики с шипами; 8 — кошу.

передаваемая мощность разделяется по трем направлениям: к фрезе, к шнековому транспортеру и к движителю.

Рабочий орган — концевая трубчатая фреза со встроенным внутри ее шнековым транспортером, который удаляет шугу, попадающую внутрь фрезы через окна перед резцами. В период заглубления фрезы шуга проходит вверх, на поверхность льда, а по-

сле заглабления в процессе резания льда — вниз, под лед. Благодаря этому водная поверхность ледяной прорези получается чистой.

Поступательное движение установки при резке льда осуществляется посредством движителя оригинальной конструкции. На кожухе позади фрезы укреплены два валика, вращающихся от того же двигателя, снабженных острыми шипами. В момент заглабления фрезы валики развернуты таким образом, что свободно вхо-

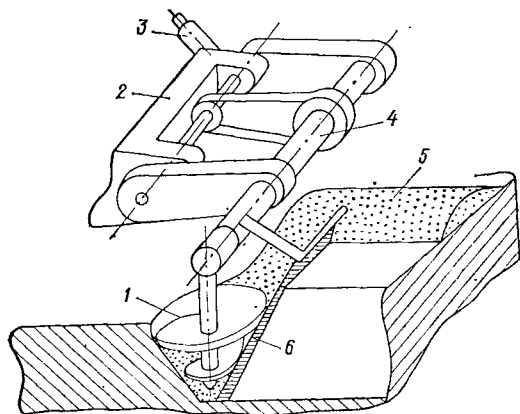


Рис. 1.34. Навесное устройство с конической фрезой для нарезки траншей во льду [63].

1 — коническая фреза; 2 — переходник трактора; 3 — домкрат разворота; 4 — навесное устройство; 5 — отвал льда; 6 — кожух фрезы.

дят вместе с ней в прорезаемую щель. По окончании заглабления фрезы валики разворачиваются специальным ручным механизмом так, чтобы шипы внедрились в стенки ледяной прорези. Перекачиваясь без скольжения по ее стенкам, валики через кожух сообщают поступательное движение всей установке. Движитель подобного типа характерен тем, что его опорной поверхностью являются ровные стенки прорезаемой щели.

По окончании работы фреза с помощью червячной передачи, вращаемой штурвалом, убирается в походное положение и установка готова к транспортировке.

Второй вариант малогабаритной самоходной ледорезной установки СЛУ-80 снабжен электродвигателем мощностью 7 кВт, который подключается к трехфазной сети напряжением 380 В, частотой 50 Гц [109].

*Коническая фреза (рис. 1.34).* Использована в навесном устройстве для нарезки траншей во льду [63].

Ледорезно-фрезерные машины могут использоваться также в транспортном строительстве. Удаление речного льда при зимней отсыпке подтопляемых насыпей [152] производилось с помощью трехбаровой машины РРМЗ на базе трактора Т-130. Лед толщиной до 2,2 м прорезается со скоростью до 300 м/ч.

К работе по разрезанию ледяного покрова приступают в сроки, исключаящие промерзание ледорезных майл более чем на  $\frac{1}{3}$  глубины. Для р. Северная Двина, например, эти сроки наступают за 1,5—2 мес до ледохода. Трехлетний опыт использования ледорезно-фрезерных машин для расчленения ледяного покрова с целью предупреждения заторо-зажоров у гидроузла вблизи тепловой ГЭС в Сибири, когда было сделано 54 км прорезей, показал [118] техническую и экономическую целесообразность таких работ. Оптимальная схема разрезов представляла собой сетку продольно-поперечных рядов через 200 м.

Достоинства ледорезно-фрезерных машин: возможность производства работ на обширных пространствах; возможность разрушения толстого льда; надежность действия, независимо от условий погоды; возможность работы на мелководных участках.

Недостатки: нельзя создавать обширные водные поверхности, свободные от льда; невозможно применять на тонком льду (до 30 см); узкие щели, пропиливаемые машинами, быстро смерзаются и сплошность ледяного покрова восстанавливается.

**1.2.3. Ледорезно-фрезерные судовые устройства.** Ниже приводится краткая характеристика ледорезных судовых устройств, основанная лишь на материалах патентно-информационного исследования. Сведений о внедрении этих устройств пока не имеется. Некоторые из них вызывают сомнение в целесообразности их практического применения. Особенно это касается тех устройств, которые их изобретатели предназначают для использования с движущегося во льдах ледокола (например, устройства по патентам № 3768428, 3913511). Однако более полный материал о результатах уже выполненных разработок (в том числе и тех, которые еще не достаточно проверены на практике, или вовсе не проверялись, а лишь защищены авторскими свидетельствами и патентами), будет способствовать пробуждению новых идей у всех, кто интересуется проблемами разрушения льда вообще и созданием технических средств его разрушения в частности.

*Вращающийся барабан с сотнями режущих ножей длиной 1,2—1,8 м.* Использован в устройстве для самоходных плавучих буровых установок. Барабан с частотой вращения 10—15 об/мин (мощность привода 441 МВт.) устанавливается на стабилизированной колонне. Оборудованная таким устройством плавучая буровая может продвигаться во льду толщиной до 1,8 м со скоростью 5 уз и удерживаться над точкой бурения при подвижках льда [80].

*Ледорезное устройство для образования канала (пат. 3768428 США (рис. 1.35)).* Устанавливается на ледоколе при движении судна боковые резак прорезают границы канала, а перемещающийся зигзагообразно средний резак режет внутреннее поле льда



на участки, легко разрушаемые на небольшие льдины и раздвигаемые корпусом ледокола. Боковые резак выполнены в виде набора дисковых фрез, закрепленных на вертикальных валах. Средний резак состоит из двух наборов дисковых фрез, вращающихся в противоположные стороны. Привод фрез осуществляется от электродвигателей

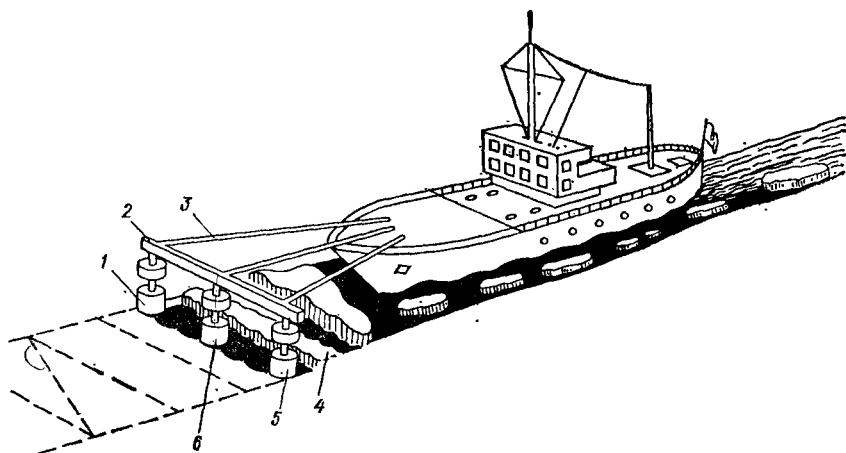


Рис. 1.35. Ледорезное устройство для образования канала [80].

1 и 5 — боковые резак; 2 — поперечина несущей рамы; 3 и 4 — боковые раскосы несущей рамы; 6 — средний резак.

В конструкциях устройств, разрушающих ледяной покров способом резания, часто предусматриваются элементы, позволяющие очистить канал от битого льда. Обломки в этом случае могут транспортироваться на нетронутое ледяное поле под кромку канала.

*Плавучее ледорезное средство (пат. 3913511 США).* Представляет собой платформу, установленную на герметичных барабанах, обеспечивающих ледорезу плавучесть, и вращаемых электродвигателями (рис. 1.36). В носовой части установлены дисковые фрезы с приводами. Лед распиливается фрезами на полосы, которые разламываются передним барабаном. Обломки захватываются продольным наклонным транспортером и подаются на поперечные транспортеры, которые сбрасывают их затем по обе стороны канала на ледяное поле.

*Ледорезоход, созданный под руководством И. С. Песчанского [124, 125].* В начале 60-х годов в опытном бассейне ААНИИ проведены модельные испытания ледорезохода. Это судно, предназначенное для создания чистого от льда канала, при работе

в неподвижных (припайных) льдах, имеющих сравнительно небольшую толщину, оказалось весьма эффективным средством преодоления льдов. Предпроектная проработка подтвердила принципи-

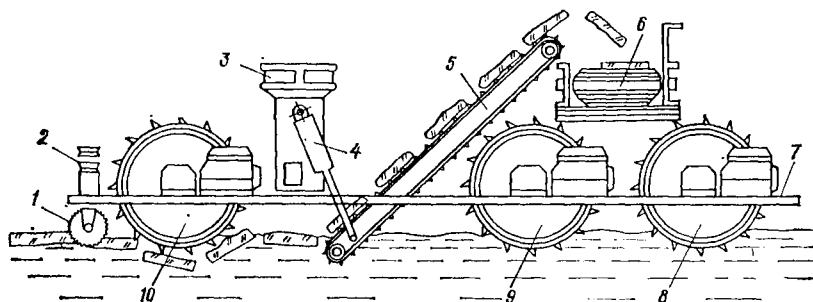


Рис. 1.36. Ледорезное устройство для очистки канала от льда [80].

1 — дисковые фрезы; 2 — приводы; 3 — рубка; 4 — гидроцилиндр; 5 — продольный наклонный транспортер; 6 — поперечные транспортеры; 7 — платформа; 8—10 — барабаны плавучести.

альную возможность и экономическую целесообразность создания такого судна для работы на подходах к портам, в устьевых участках рек и т. д.

*Ледорез, сконструированный специалистами США (рис. 1.37).* Представляет собой понтон с прямой носовой частью. В носовой

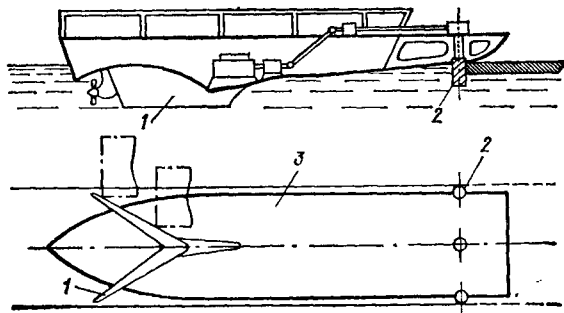


Рис. 1.37. Модель ледореза с вертикальными фрезами [80].

1 — V-образный киль; 2 — вертикальные фрезы; 3 — понтон.

части установлены вертикальные фрезы, которые при движении судна прорезают в ледяном поле три продольные щели, в результате чего образуются две консольные ледяные балки, ширина каждой вдвое уже ширины канала. Балки изгибаются вниз под действием наклонной части днища и ломаются на прямоугольные плиты, которые проходят под корпусом и разводятся за кромки

ненарушенного ледяного покрова, благодаря V-образной форме киля. Устройство оставляет за собой чистый ото льда канал.

*Судно для перевозки грузов подо льдом (пат. 3768427 США) (рис. 1.38).* Имеет подводную часть, в которой размещены грузовой и машинный отсеки. Надводная часть содержит ходовой мостик, соединенный с подводной частью с помощью мачты, предназначенной также для раскалывания льда и прокладки в нем узкого канала.

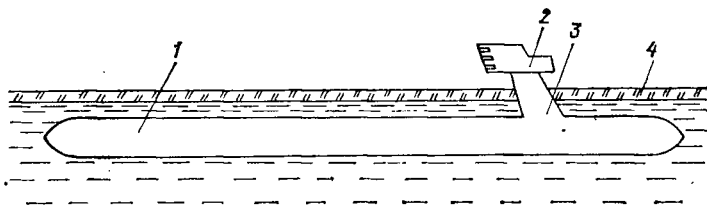


Рис. 1.38. Проект подводного ледорезного танкера [80].

1 — подводный цилиндрический корпус; 2 — ходовой мостик; 3 — режущая мачта; 4 — ледяное поле.

*Ледокольный танкер (пат. 3754524 США).* Представляет собой полупогружной катамаран. Корпус танкера имеет носовой бульб, в корме расположен винто-рулевой комплекс. Оба борта танкера в средней части переходят в наклонные наружные борта, которые вместе с внутренними бортами образуют два корпуса, соединенные между собой надстройкой. Между надстройкой и корпусом танкера предусмотрено свободное пространство. Корпуса катамарана имеют ледокольную носовую часть. На чистой воде танкер идет как обычное судно с надводным бортом. При ходе во льдах в цистерны принимается водяной балласт и корпус танкера уходит под воду. Разрушение льда осуществляется носовой частью корпусов катамарана.

*Судовое ледорезное устройство (пат. 4.005.666 США).* Имеет ряд вращающихся режущих элементов с несколькими режущими кромками, расположенных вокруг общей оси; режущие кромки врезаются в лед и удаляют его. Имеется устройство для подачи жидкости под давлением в пространство между каждой из режущих кромок и льдом. Благодаря эжектирующему действию лед расслаивается.

*Усовершенствованная модель такого устройства (пат. 1.284.868 Англия).* На носу ледокола устанавливается ряд геликоидальных винтов, работающих от силовой установки. У каждого винта резцы расположены вдоль края лопасти. Спиральная форма режущих

винтов обеспечивает уборку льда в верхней или нижней части поверхности участка по направлению движения ледокола.

*Выносное ледорезное устройство (рис. 1.39).* На кронштейне, закрепленном на судне, перемещается шток, соединенный с подъ-

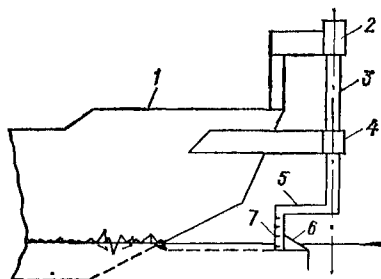


Рис. 1.39. Судовое ледорезное устройство [84].

1 — носовая часть; 2 — гидроцилиндр подъемного механизма; 3 — шток; 4 — кронштейн; 5 — флюгерное приспособление; 6 — резец; 7 — датчики уровня.

емным механизмом, например с гидроцилиндром. На нижнем конце штока установлено флюгерное приспособление с резцом. В нижней части флюгерного приспособления установлены датчики уровня. Флюгерное устройство обеспечивает работу резца при циркуляции судна, а датчики — заданный режим работы (заданную глубину резания) ледорезного устройства.

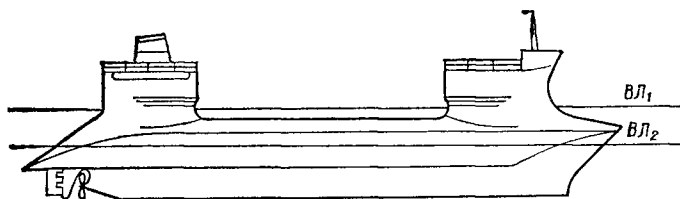


Рис. 1.40. Конструкция судна для разрушения льда форштевнем копьевидной формы сверху или снизу за счет переменной осадки [80].

$ВЛ_1$  — максимальная осадка;  $ВЛ_2$  — минимальная осадка.

*Конструкция грузового судна, предназначенного для работы во льдах (пат. 131283 Норвегия) (рис. 1.40).* Корпус этого судна имеет такую форму, что он может разрушить лед как сверху, так и снизу, что достигается за счет его переменной осадки. Форштевень имеет копьевидную форму и при максимальной осадке  $ВЛ_1$  взламывает лед снизу, а при минимальной  $ВЛ_2$  — сверху. Борты в районе переменных ватерлиний имеют значительный развал в целях повышения ледопроеходимости.

*Ледокольно-ледорезный танкер (пат. 3780687 США).* В его конструкции нашел отражение принцип совмещения способов разрушения льда сверху и снизу для судов с переменной осадкой.

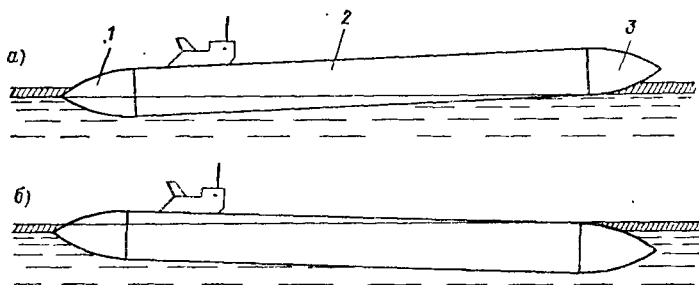


Рис. 1.41. Ледокольно-ледорезный танкер с переменной осадкой [80].

1 — корма; 2 — средняя цилиндрическая часть; 3 — коническая носовая часть.

Корпус судна (рис. 1.41) состоит из средней цилиндрической части, носовой конической и кормы с гребными винтами и рулями. Балластная система рассчитана на создание необходимой осадки и дифферента для плавания во льдах без груза, когда носовая часть выходит из воды и лед разрушается под действием ее

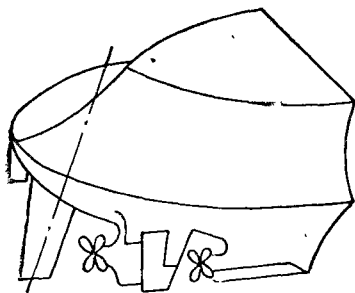


Рис. 1.42. Конструкция кормы ледокола в форме лемеха плуга [80].

собственной тяжести (рис. 1.41, а), и для плавания с грузом, когда судно режет лед снизу клиновой кромкой носовой части (рис. 1.41, б).

*Принцип ледового плуга* использован в конструкции кормы ледокола, обеспечивающей резание льда и очистку канала при движении судна задним ходом (пат. 3690281 США). Выше ватерлинии, проходящей через наиболее широкую часть кормовых шпангоутов и расположенной ниже грузовой ватерлинии, корма имеет форму лемеха с вогнутыми бортами (рис. 1.42).

Уширенная часть кормы находится ниже плавающих обломков льда. При движении судна задним ходом ее острая кромка раздвигает лед, предохраняя гребные винты и рули от повреждений. Вогнутые борта обеспечивают перемещение битого льда к кромкам канала. Такая конструкция запатентована также в Финляндии.

*Конструкция ледокола*, у которого носовая часть находится под нижней поверхностью ледяного покрова и снабжена устрой-

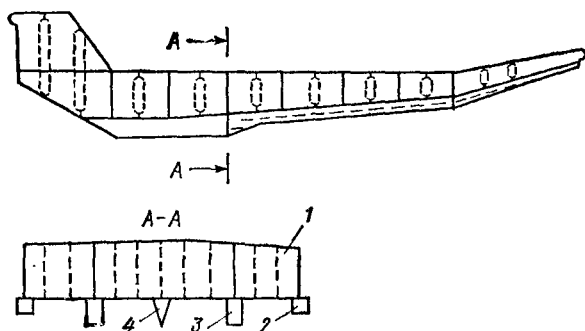


Рис. 1.43. Ледокольная приставка ЛПС [50].

1 — корпус; 2 — боковые полозья; 3 — средние полозья; 4 — нож-резец.

ством для резки льда и его транспортировки, защищена в СССР (а. с. 147 468).

Относительно низкая стоимость и возможность использования на обычных судах стимулировали разработку ледорезных приставок.

Ледокольно-ледорезная приставка, использующая эффект скольжения при выходе на лед (рис. 1.43), 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 корпус приставки, выходящий из воды, давит 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 все набегавшей частью днища. Центральный нож-резец, который к корме приставки расширяется, измельчает лед. При движении приставки большинство разрушенных льдин с обоих бортов отводится под лед за кромку канала.

Испытания приставок 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 1177 кВт. 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.

В сочетании с ледорезными машинами ледоколы могут преодолевать в 2—3 раза более мощные льды.

**1.2.4. Скалывающие средства.** Для разрушения льда издавна широко применяются в практической деятельности человека наиболее удобные и выигрышные в энергетическом отношении обычные ручные скалывающие инструменты: лом, кайло, пешня, топор.

Применение скалывающих средств основано на свойстве льда хрупко разрушаться под действием волн напряжений достаточной интенсивности, которые могут быть введены в лед с помощью либо концентрированной в пространстве и во времени динамической нагрузки, либо медленно прилагаемой статической нагрузки с интенсивностью (в обоих случаях), достаточной для образования трещин.

Независимо от того, медленно или быстро прикладывается сила к хрупкому телу, стоит только начаться разрушению — трещины будут распространяться в нем с большой скоростью. Максимальная скорость, с которой нагрузка может передаваться через лед, равна скорости звука в нем.

Согласно известным теоретическим положениям, подтвержденным экспериментально [67], после появления в твердом теле хотя бы одного разрыва дальнейшее развитие трещинообразования в нем стимулируется всегда имеющимся в теле запасом потенциальной энергии упругих связей, которая при распаде тела на части превращается в поверхностную энергию образовавшихся обломков. Вследствие явления отражения от границ с окружающими средами (вода, воздух или металлическое тело разрушающего средства) и интерференции упругих волн в некоторых критических зонах тел конечных размеров в зависимости от их формы (ледяном поле, имеющем сравнительно небольшой вертикальный размер, или его обломках), может произойти фокусировка волн, которая и вызовет прогрессирующий рост напряжений в этих местах вплоть до разрушения. В связи с этим заслуживают внимания рекомендации по разрушению льда кратковременными мно-

гократно повторяемыми динамическими нагрузками, содержащиеся в работе [17]. Эти рекомендации основаны на эффекте отвода энергии упругих волн.

Теоретические и экспериментальные результаты показывают, что на формирование напряжений в вершине трещины определяющее влияние оказывают смещения частиц среды, направленные вдоль трещины. С ростом угла ввода волн уменьшается компонента продольных смещений, соответственно уменьшается концентрация напряжений в вершине трещины.

Анализ характера и особенностей разрушения льда дает возможность сделать заключение о существовании поверхностей скола (воронок скола), соответствующих минимальной энергии разрушения для какого-то определенного типа резца, физико-механических свойств льда, характеристики упругих волн напряжений [7, 72].

Как следует из работы [32], увеличение начального угла скола влечет за собой существенное уменьшение удельной энергии разрушения, однако выполнение данного условия требует радикальной перестройки геометрии существующих конструкций резцов и изменения характера его взаимодействия с материалом. Выявились два направления: отвод суспензии, состоящей из мелкодробленого льда и воды, из зоны разрушения за счет создания на резце продольных канавок; применение уголкового резца, увеличивающего начальный угол скола за счет эффективного внедрения боковых граней в лед и перехода на поверхность более пологих воронок. Рекомендуемый развал граней  $92-96^\circ$ . Упругая волна с левой грани резца является оптимальной для развития трещины вдоль правой грани и наоборот, что хорошо согласуется с экспериментом. От уголкового резца идет скол по воронке без развития трещин в глубь ледового массива, резец же с сечением по треугольнику создает множество трещин в глубь льда, что отнимает значительную часть энергии упругих волн. Не встретив отражающей границы вблизи резца, эти волны не будут участвовать в разрушении льда.

Таким образом, удельная энергия при разрушении льда с использованием упругих волн напряжений значительно меньше, чем удельная энергия на разрушение льда резанием.

Ледовые струги, в отличие от перечисленных выше машин, не пилят и не фрезеруют лед, а скалывают его клином, ориентированным горизонтально и прицепленным, наподобие плуга, к плавающему тягачу или трактору-амфибии [171—173].

Лабораторные и полевые испытания струга были проведены в отделе гляциологии Института географии АН СССР [171, 173]. При испытаниях было выявлено, что оптимальная скорость резания находится в пределах 1 м/с (при меньшей скорости увеличи-



вается тяговое усилие). Затраты энергии на разрушение льда составляют около  $0,03 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ , или в 100 раз меньше, чем у ледофрезерных устройств.

Резец выполнен в виде усеченной пирамиды, расширяющейся вперед по ходу движения, а рабочая поверхность образована плоскостью, расположенной под углом резания приблизительно  $25^\circ$  при угле наклона тыльной части стержня относительно ледяного поля приблизительно  $3^\circ$ . Сзади струга смонтировано приспособление, выбрасывающее снежно-ледяную крошку из проклады-

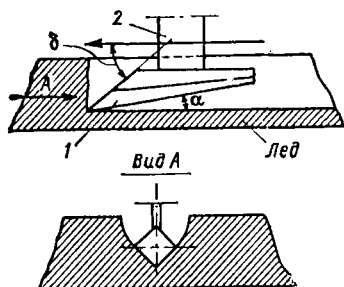


Рис. 1.44. Оптимальная форма клина для крупного скола льда [84].

1 — резец; 2 — держатель резца;  $\delta$  — угол скола.

ваемой 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 (рис. 1.44).

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.

Расчленение ледяного покрова площадью  $10 \text{ км}^2$  на блоки  $25 \times 25 \text{ м}$  [173], может быть выполнено при двухсменной работе за 5 дней. Благодаря высокой производительности, ледовый струг с плавающим тягачом ГТ-Т может, например, за 15 дней расчленить на блоки указанных размеров всю площадь ледяного покрова водохранилища. В портах после ослабления льда стругами производительность судов возросла в 3 раза [174].

Борозды, проложенные ледовым стругом, даже при отрицательной температуре воздуха за 2—4 недели протанвают, превращаясь в сквозные каналы. Если работу ледовых стругов сочетать с искусственным усилением таяния химическим или радиационным методами, то этот процесс можно значительно ускорить.

В практике судоремонта приходится принимать меры к удалению битого льда из-под днища судна перед докованием.

К механическим относятся так пазываемые 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

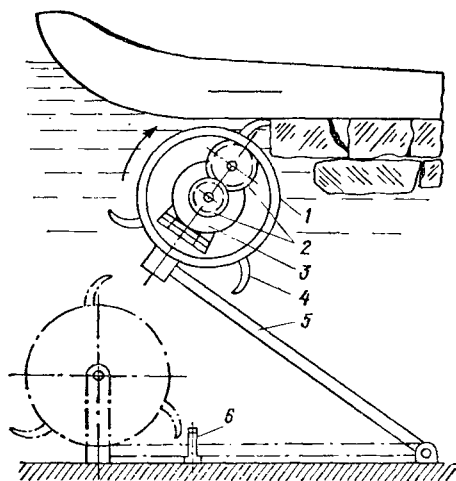


Рис. 1.45. Вращающийся скребок для скалывания льда с днища судна [50].

1 — барабан; 2 — зубчатая передача; 3 — электродвигатель; 4 — зубья; 5 — тяга; 6 — стопор.

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.

При значительном дифференте, 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 (а. с. 357 114 СССР) способна работать при значительной разнице осадок судов. Устройство (рис. 1.45) содержит тяги, один конец которых шарнирно соединен со ста-

пель-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 плавучесть, 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 герметизация элементов [50].

Производительность и эффективность некоторых средств резания, фрезерования и скола льда приводятся в табл. 1.3.

### 1.3. Буровые средства

Технология механического вращательного бурения непрерывно совершенствуется. Его производительность (глубина погружения сверла за минуту непрерывного бурения) зависит от твердости льда, частоты вращения бура, осевой нагрузки, типа режущего инструмента и состояния его поверхности. Мощность, затрачиваемая в буровых механизмах при вращательном бурении, расходуется на разрушение льда, на трение бурового инструмента о лед, и на подъем керна.

Накоплен большой экспериментальный материал, на основе которого сформулированы некоторые положения теории бурения льда. Разрешен ряд сложных задач конструирования режущих инструментов и машин для бурения льда, что имеет существенное

Таблица 1.3  
Эффективность и производительность некоторых механических средств резания, фрезерования и скола льда

| Средства разрушения льда   | Мощность, кВт | Обслуживающий персонал, чел. | Скорость при работе на льду различной толщины, м/ч |       |       | Ширина бо-розлы (м) | Удельная энергоемкость, кВт·ч/м³ | Производи-тельность, м³/ч | Характер выработки  | Источник све-дений |
|--|---------------|------------------------------|--|-------|-------|---------------------|----------------------------------|---------------------------|---|--------------------|
|  |               |                              | 0,5 м  | 1,0 м | 1,5 м |                     |                                  |                           |   |                    |
| Ручное прорезание ка-налов   | 0,04          | 1                            | 7  | 3     | 2     | 0,3                 | 0,04                             | 0,9—1,0                   | Сквозной канал  | [88]               |
| Несамоходная ледофре-зерная машина Лименд-ского завода МРФ                                     | 51,5          | 3                            | 80   | 30    | —     | 0,25                | 6,87                             | 7,5                       | То же   | [88]               |
| Малогобаритная само-ходная ледорезная уста-новка СЛУ-80  | 16,2          | 1                            | —  | 75    | —     | 0,2                 | 0,81                             | 15                        | Сквозная щель   | [109]              |
| Самоходная ледофрезер-ная машина ЛФМ-ГПИ-41 с вертикальными но-жевыми или кулачко-выми фрезами | 54,5          | 2                            | 160  | 100   | 70    | 0,35                | 1,7                              | 14—45                     | Сквозной ка-нал   | [88, 105]          |
| Ледовый струг с трак-тором-амфибией ТП-90  | 66,2          | 2                            | 4 500  | 2 000 | —     | 0,6—1,5             | 0,03                             | 1 200—3 400               | Борозда, не до-ходящая до нижней поверх-ности льда на 20 см | [88, 171—174]      |
| Ледофрезерная машина ЛФМ-ГПИ-1   | 51,5          |                              | 250  | 120   | 50    | 2,0                 | 0,2                              | 240—270                   | Ровная поверх-ность   | [105]              |
| Ледофрезерная машина ЛФМ-ГПИ-34  | 36,5          |                              | 300  |       |       | 0,25                | 0,5                              | 75                        | Сквозная щель   | [105]              |

| Средства<br>разрушения льда  | Мощность,<br>кВт | Обслуживаю-<br>щий персо-<br>нал, чел. | Скорость при работе<br>на льду различной<br>толщины, м/ч |       |       | Ширина ро-<br>зды (мая-<br>ны), м | Удельная<br>энергоёмкость<br>кВт·ч/м³ | Прокладыва-<br>емость,<br>м³/ч | Характер<br>выработки   | Источник све-<br>дения |
|--|------------------|--|--|-------|-------|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|---|------------------------|
|  |                  |  | 0,5 м  | 1,0 м | 1,5 м |                                   |                                       |                                |   |                        |
| Самоходная ледофре-<br>зерная машина ЛФМ-66<br>с концевой фрезой   | 62,5             |  |  | 300   |       | 0,35                              | 0,6                                   | 105                            | То же   | [105, 190]             |
| Ледовый струг с пла-<br>вающим тягачем ГТ-Т  | 147              | 2                                      | 12 000   | 5 000 | —     | 0,6—1,5                           | 0,03                                  | 2206—6000                      | Борозда, не<br>доходящая до<br>нижней поверх-<br>ности льда на<br>20 см | [171—<br>174]          |
| Самоходная ледофре-<br>зерная машина ЛФМ-РВД-<br>ГПИ-72 с трубчатой<br>фрезой  | 85               | 2                                      | —  | 400   |       | 0,36                              | 0,6                                   | 140                            | Сквозная щель   | [105—<br>109]          |
| Самоходная ледофре-<br>зерная машина ЛФМ-ГПИ-<br>75 с дисковой фрезой  | 85               | 2                                      | —  | —     | 500   | 0,15                              | 0,76                                  | 112,5                          | Сквозная щель   | [105, 190]             |
| Несамоходная фрезер-<br>ная машина   | 22               | 1                                      | —  | 75    | —     | 0,20                              | 1,47                                  | 15                             | Сквозная тран-<br>шея   | [105, 190]             |
| Баровая установка «Мо-<br>роз» на базе многоков-<br>шового экскаватора<br>ЭТУ-353 и баровая ма-<br>шина БЭТН на базе ко-<br>лесного экскаватора<br>ЭТН-124 | 12,5             | 2                                      | —  | 130   | —     | 0,14                              | 0,7                                   | 18                             | Сквозная щель   | [2]                    |

значение для повышения долговечности и надежности этих технических средств.

Обобщение имеющегося опыта подробно изложено в работах [147—151], откуда заимствованы некоторые теоретические положения и технические характеристики льдобурильных агрегатов.

Режущий инструмент для бурения льда с известными допущениями может быть уподоблен сверлу и соответственно этому общепринятые характеристики спиральных сверл могут быть использованы применительно к бурам. В режущем инструменте бура следует отличать угол при вершине  $2\varphi$ , передний угол  $\gamma$ , угол задней заточки  $\alpha$ , угол резания  $\delta$ , угол заострения  $\beta$ . Угол при вершине у буров обычно равен  $180^\circ$  или близок к нему. Передний угол, или угол наклона спирали сверла у буров может колебаться в широких пределах от 0 до  $60^\circ$ . Исследования буров с заданным углом показали, что наилучшие результаты дает бур с углом  $\gamma = 40^\circ$ .

Основными факторами бурения являются скорость резания  $V$ , подача бура  $S$ , площадь снимаемой стружки  $f$ , глубина бурения  $H$ , усилие подачи  $P$ , крутящий момент  $M$  и мощность  $N$ , затрачиваемая на процесс бурения.

Скоростью резания называется перемещение режущей кромки реза относительно обрабатываемой поверхности в единицу времени ( $V$  м/мин). Применительно к бурению льда скоростью резания будет скорость на периферии бура, т. е.

$$V = \pi D n / 1000,$$

где  $V$  — скорость, м/мин;  $D$  — диаметр бура, мм;  $n$  — частота вращения бура.

При различных скоростях вращения бура, но одинаковой подаче его осевое усилие и крутящий момент, как показывают опыты, изменяются незначительно.

Подачей бура называется расстояние, которое проходит бур вдоль оси за один оборот ( $S$  мм/об) или за единицу времени ( $S$  мм/мин).

Подача бура может осуществляться от руки или от механического привода. Поскольку подача при заданной мощности льдобура зависит от геометрии режущего инструмента и механических свойств льда, то весьма важно иметь возможность варьировать подачу, с тем чтобы ледобур все время работал в оптимальном режиме. Отсюда вытекает рекомендация о необходимости иметь в льдобурильных агрегатах несколько скоростей подачи бура.

Площадь снимаемой стружки  $f$  является функцией подачи. Чем меньше подача, тем площадь сечения стружки меньше и наоборот.

Площадь сечения стружки

$$f = SD/2,$$

где  $S$  — подача;  $D$  — диаметр бура.

По мере заглубления бура в лед стружка удаляется из лунки менее интенсивно, а усилие подачи, крутящий момент и мощность возрастают. В связи с этим в конструкции ледобуров стали предусматривать различные стружкоразбрасыватели, шнеки и другие устройства, которые способствуют удалению стружки из лунки.

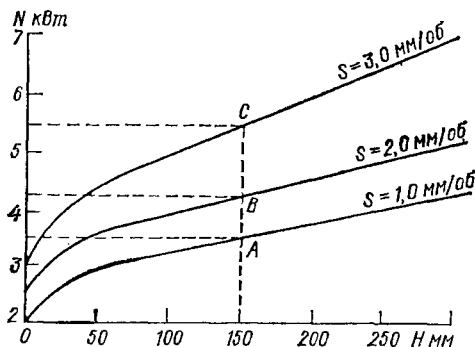


Рис. 1.46. Зависимость мощности привода ( $N$  кВт) от глубины бурения ( $H$  мм) и подачи ( $S$  мм/об) бура [148].

Проблема вывода стружки из лунки окончательно не решена, и это вносит свои особенности в процесс бурения.

В начальный период бурения образующаяся стружка полностью удаляется из лунки, при этом проходы в самом буре остаются свободными, стружка не мешает дальнейшему бурению. По мере заглубления бура в лед интенсивность выброса стружки уменьшается, и, наконец, наступает такой момент, когда вынос стружки полностью прекращается. Глубина, на которой прекращается выброс стружки, зависит от ряда факторов: частоты вращения бура и размеров стружки, состояния льда, конструкции бура и др. Зона, в которой происходит полный выброс стружки, названа зоной свободного бурения, а зона, в которой выброс стружки замедляется, а затем полностью прекращается — зоной несвободного бурения. Четкую границу между зонами установить трудно, тем не менее можно указать, что динамика процесса в каждой из них различна.

Влияние глубины бурения на изменение мощности исследовалось при бурении пресного льда на водоеме при температуре  $-27^{\circ}\text{C}$  и диаметре бура 250 мм (рис. 1.46, 1.47). Выброс слабый, увеличение мощности происходит быстро. Возрастание осевого усилия, крутящего момента и мощности можно объяснить тем, что

ухудшение выброса стружки из лунки, начинает препятствовать отходу вновь образующейся стружки от резцов бура. Стружка спрессовывается и по мере заглубления бура в лед все более забивает скважину.

Процесс бурения в зоне несвободного бурения во многом зависит от резерва мощности льдобурильной установки. При боль-

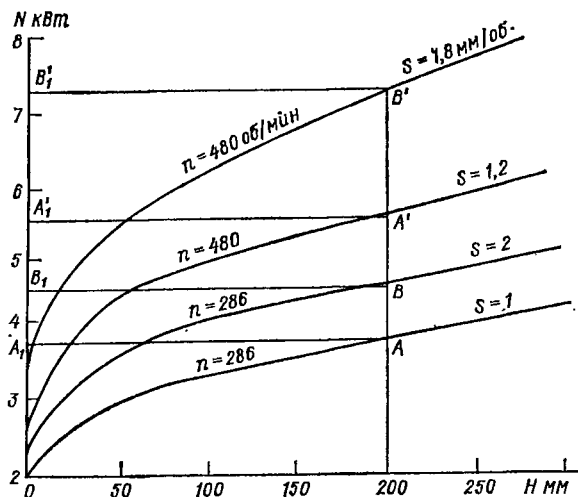


Рис. 1.47. Зависимость мощности привода ( $N$  кВт) от глубины бурения ( $H$  мм), подачи ( $S$  мм/об) и частоты вращения ( $n$ ) бура [148].

шой мощности установки стружка может настолько спрессовываться, что превратится в сплошную массу льда и, если резерв мощности будет исчерпан (до завершения бурения на проход), бур остановится во льду, т. е. произойдет авария. Известны случаи, когда приходилось пешнями скалывать лед вокруг бура, чтобы его освободить из лунки.

Пока окончательно не решен вопрос непрерывного отвода стружки из лунки, следует применять ступенчатый метод бурения.

При этом методе бурение лунки производится не за один проход, а за несколько, причем через определенные промежутки времени бур поднимают из лунки, выводя вместе с ним накопившуюся в лунке стружку. Естественно, чем больше ступеней, т. е. подъемов бура, тем силовые характеристики процесса ниже, но это связано с дополнительной затратой времени на подъемы и опускание бура. Поэтому нужно выбирать оптимальное решение,



т. е. должна быть установлена система ступенчатого бурения — для каждого льдобура в зависимости от его массы, мощности привода и условий работы. Для одних льдобуров подъем и вывод стружки должны осуществляться через 200—300 мм, для других (более мощных) — через 400—500 мм.

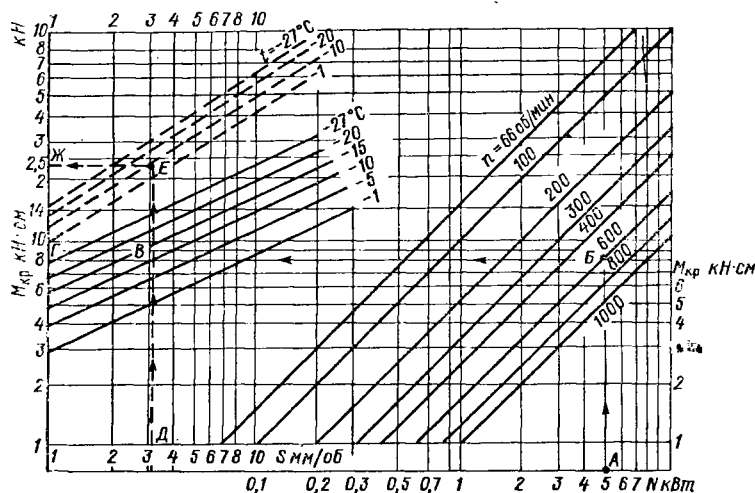


Рис. 1.48. Номограмма для выбора параметров процесса бурения: крутящего момента ( $M_{кр}$  кН·см); подачи ( $S$  мм/об) и осевого усилия ( $P$  кН) по заданным значениям мощности привода льдобура ( $N$  кВт); частоты вращения шпинделя ( $n$  об/м) и температуры льда ( $t$  °C) [148].

Номограмма (рис. 1.48) дает возможность по заданной мощности привода льдобура, числу оборотов шпинделя и температуре льда, определить крутящий момент, подачу и осевое усилие. На нижней шкале отмечаем мощность агрегата, например, 5 кВт (точка А). От точки А проводим вертикальную линию до пересечения с наклонной, указывающей на 600 об/мин (точка Б). От точки Б проводим горизонтальную линию влево до пересечения ее с наклонными линиями температуры льда. Допустим, что бурение производится при температуре льда  $-10$  °C (точка В). От этой точки продолжаем горизонтальную линию влево до ее пересечения с осью ординат, на которой отложено значение крутящего момента (точка Г). Эта точка соответствует  $M_{кр} = 8$  кН·см. От точки В опускаем вертикальную линию до пересечения с осью абсцисс, на которой отложено значение подачи (точка Д). Эта точка соответствует значению подачи 3 мм/об.

Определив значение подачи, проводим от этой точки вертикальную линию вверх до пересечения с наклонной штриховой линией  $t = -10^\circ\text{C}$  (точка  $E$ ). От точки  $E$  проводим горизонтальную линию влево до пересечения с осью ординат, на которой нанесены значения осевого усилия (точка  $Ж$ ). Эта точка соответствует  $P = 2,3 \text{ кН}$ . Таким образом, по данным  $N$ ,  $n$  и  $t$  найдены значения  $M_{кр}$ ,  $S$  и  $P$ .

Номограмма составлена для бура диаметром 250 мм, однако такие же номограммы могут быть составлены для буров любого диаметра. Следует учесть, что это лишь первая попытка систематизировать экспериментальные данные и представить их в виде, удобном для пользования.

При построении этой номограммы не полностью учтены геометрия инструмента, вывод стружки, глубина бурения и др. Накопление экспериментального материала позволит уточнить номограммы и грамотно вести процесс бурения льда [148].

Затрату энергии на образование лунки можно принять пропорциональной объему разрушаемого льда. Для того чтобы уменьшить эту затрату, следует делать лунки минимально необходимого диаметра, а также изыскивать новые методы образования лунок во льду.

Следует, в частности, обратить внимание на возможность бурения льда с помощью кольцевой фрезы. Целесообразность такого метода видна из следующего. Если принять глубину бурения  $H$ , диаметр лунки  $D$ , то объем льда, превращаемого в стружку, будет  $\pi D^2 H / 4$ . Между тем превращение в стружку всего объема льда не вызывается технической необходимостью, а является лишь следствием применения более упрощенной конструкции бура.

В случае применения кольцевой фрезы в ледяном покрове выпиливается пробка и в стружку превращается лишь очень небольшой объем льда

$$(\pi D^2 / 4 - \pi d / 4) H,$$

где  $D$  — внешний диаметр фрезы;  $d$  — внутренний диаметр фрезы.

Соотношение объемов льда, превращаемого в стружку, при том и другом методе бурения будет  $(D^2 - d^2) / D^2$ . При  $D = 350 \text{ мм}$ ,  $d = 330 \text{ мм}$  на подготовку одной лунки с помощью кольцевой фрезы затрачивается энергии примерно в 9 раз меньше.

В зависимости от применения ледобуров и условий работы с ними В. И. Федотов [160] выделил следующие группы: винтовые буры типа сверла; шлямбуровые буры или полые сверла; керновые буры; ручные ледобуры прочих конструкций; механические буры с собственным двигателем.

Для бурения во льду небольших скважин (диаметром до 50 мм) обычно применяют винтовые буры, они наиболее удобны благодаря непрерывной подаче стружки на поверхность и обеспечивают большую скорость бурения. Реже в этих целях используют различные типы ледовых сверл, позволяющие получать лишь неглубокие (до 1 м) скважины диаметром 120—150 мм. И винтовые буры и ледовые сверла не оправдывают себя в работе, так как превращают весь лед в скважине в стружку, на что уходит много энергии, особенно при бурении больших скважин.

**Прибор для сверления льда ГГИ.** Состоит из коловорота, стальной штанги диаметром 12 мм, размеченной на сантиметры с цифровыми клеймами, спирального сверла, диаметром 25 мм. Время проходки льда толщиной 0,5—0,6 м составляет 2—3 мин.

**Ледовый бур ГГИ.** Состоит из сверла диаметром 30 мм и металлической ручки, укрепленной в верхней части бура. Сверление льда происходит благодаря удару кувалдой по головке бура с последующим поворотом, как при использовании шлямбура.

**Ледовый бур ГР-7.** Спиральное сверло бура представляет собой длинный двухзаходный винт с шагом 200 мм при диаметре 63—64 мм. Вращение производится коловоротом, имеющим патрон для крепления сверла. Заточка винта вогнутая, треугольного профиля, образующая две режущих кромки, центральный угол между которыми равен  $130^\circ$ . В центре режущие кромки прерываются прямоугольным вырезом. Нижние плоскости режущих граней заточены под углом  $20^\circ$  по отношению к горизонтальной плоскости. Конец сверла на расстоянии 20—30 мм от режущих кромок имеет диаметр 69 мм, во избежание лишнего трения о стенки скважины при бурении.

#### Технические характеристики

Диаметр высверливаемой лунки, мм . . . . . 68—70  
Глубина сверления, см (при наличии дополнительного сверла) 12—180

Масса бура, кг

со сверлом диаметром 1200 мм . . . . . 6  
со сверлом диаметром 1800 мм . . . . . 8,5

Габариты, мм

со сверлом диаметром 1200 мм . . . . .  $70 \times 90 \times 1700$   
со сверлом диаметром 1800 мм . . . . .  $70 \times 290 \times 2300$

**Ледовый бур ГГИ-47 (рис. 1.49).** Сверло на всем протяжении изготовлено из полосовой стали. Длина сверла 105 мм и рассчитана на бурение льда толщиной 1 м. Диаметр режущих граней сверла на 2—3 мм больше диаметра его верхней части. Нижний конец сверла на расстоянии 25—30 см закален. Режущие грани сверла образуют угол в  $140^\circ$ . В верхней части сверло имеет нако-

печник с резьбой и гайкой. На верхнем и среднем плечах коловорота имеются деревянные ручки, в нижней части патрона, служащего для соединения коловорота со сверлом. В месте соедине-

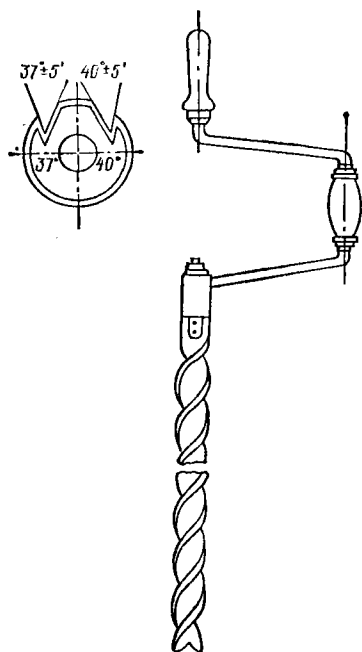
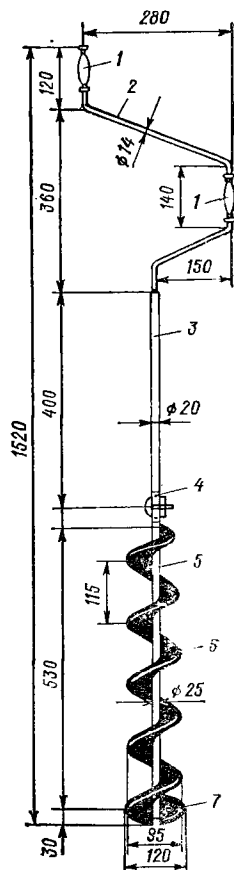


Рис. 1.49. Ледовый бур ГГИ-47 [160].

Рис. 1.50. Ледобур со шнеком [146].

1 — вращающиеся пустотелые пластмассовые ручки; 2 — вороток коловорота; 3 — трубка; 4 — запорное устройство; 5 — соединительная штанга; 6 — шнек; 7 — нож.



ния сверла с коловоротом под гайку при сборке бура крепится шайба шаблон, предназначенная для проверки правильности заточки режущего края сверла. Скорость бурения льда в средних условиях около 0,3—0,4 м/с мин. Диаметр лунки 42—45 мм. Габариты бура 70×254×1460 мм.

*Ледовый бур ГУ.* Диаметр бура 40—60 мм. К перу длиной 1000 м приварен стержень из железной трубы диаметром 25 мм. Бур имеет подставные штанги, длина каждой секции 1500 мм.

Бур вращается воротом или приспособлением Казанцева. Перо и режущая часть аналогичны соответствующим деталям бура ГГИ-47.

*Ручной ледовый бур конструкций ГИСУ «Торос».* Бур имеет диаметр 75 мм. Длина пера 800—1500 мм. Вращение бура коловоротом.

*Ледовый морской бур ААНИИ конструкции Сокольников и Мультановского.* Диаметр бура 50 мм. Длина пера 500—1500 мм. Общая длина со штангами 5—6 м. Вращение коловоротом.

*Ледобур со шнеком (рис. 1.50).* Выпускают предприятия системы Росохотрыболовсоюза. В транспортном положении он складывается примерно пополам [146]. Ледобур состоит из двух основных частей: коловорота и сверла (шнек с режущей частью). Сверло состоит из соединительной штанги — тонкостенной стальной трубки диаметром 25 мм. Вокруг штанги приварен шнек длиной 530 мм с шагом 115 мм, изготовленный из стальной полосы сечением 1,5×35 мм. Этим ледобуром можно сверлить лунки диаметром 120 мм.

Продолжением шнека и соединительной штанги служит нож. В середине лезвие ножа прерывается вырезкой длиной 10 мм, таким образом образуются две режущие кромки.

Нож не съемный (приварен к соединительной штанге и шнеку); изготовлен из стали толщиной 3 мм. Конструкция ножа такова, что его можно быстро заточить. Угол заточки фаски 20°. Размер лезвия (каждой из двух режущих кромок ножа) 10×60 мм. Режущие кромки расположены по радиусу около 60 мм. Центральный угол между ними в вертикальной плоскости около 230°.

#### Технические характеристики

Предельная глубина бурения, мм . . . . . 1050

Диаметр лунки, мм . . . . . 120

Вращение бура

правостороннее . . . . . по часовой стрелке

планетарное . . . . . круговое

Масса, кг . . . . . 2,7

Габариты, мм

в рабочем (сбранном) положении . . . . . 1520×320×120

в транспортном (походном) положении с пластмассовым наконечником) . . . . . 890×320×130

Ледобур со шнеком (по сравнению с пешней) примерно в 4 раза облегчает труд и имеет некоторые преимущества перед другими ледобурами. На бурение лунки глубиной 1 м затрачи-

ваится около 5 мин. Особенностью ледобура является то, что благодаря шнеку при бурении лунок в сухом льду толщиной даже более 500 мм (более длины шнека) ледяная крошка подается на поверхность льда, нет нужды часто очищать лунку. В сухом льду лунка глубиной до 1 м бурится за один прием, ледобур во льду не застревает.

При бурении мокрого льда ледобуром работать тяжело. Поэтому применяют многоступенчатый метод бурения, заключающийся в том, что толщину льда пробуривают не сразу, а за несколько приемов в зависимости от толщины, плотности льда и пр. Через каждые 20 см толщины льда ледобур вынимают из лунки для очистки от ледяной крошки.

Бурение шнековым ледобуром облегчается наличием двух ручек; коловорот вращают двумя руками. Кроме того, верхнее плечо воротка коловорота имеет увеличенную длину 280 мм, что также облегчает бурение (у ледобура СПЛ-1, например, это плечо равно 200 мм). Верхняя ручка смещена по отношению оси ледобура на 130 мм, потому нельзя бурить лунку вдвоем.

Перед бурением ледобур собирают в рабочее положение и закрепляют (фиксируют) гайкой с ручкой. Нож должен быть острым, не иметь забоин, заусенцев, завалов и других дефектов, затрудняющих бурение. Снег расчищают, если глубина его превышает 20 см. Вращать ледобур следует равномерно, без рывков, со скоростью 1—1,5 об/с.

Во избежание поломки ледобура нужно работать осторожнее при досверливании лунки, когда нож приближается к нижней поверхности льда. При этом необходимо медленнее и с меньшим усилием вращать ледобур. По окончании бурения, когда нож дойдет до нижней поверхности ледяного покрова, следует протолкнуть ледобур и придать ему несколько возвратно-поступательных движений для промывки лунки. От намерзающего льда ледобур периодически очищают легкими ударами по его нижней (рабочей) части.

Финские ледоисследователи применяли винтовые буры с оригинальной формой режущей части, имевшей выемку вместо выступа.

Обычно при промерных работах использовалось два бура; меньший диаметром 2,5 см и больший — 5,5 см. Режущий край бура малой модели начинается в центре режущей части (головки бура), тогда как у большой модели режущая часть в центре имеет слегка наклонный желоб (рис. 1.51). Скорость бурения таким буром достаточно высокая.

*Винтовой ледобур (рис. 1.52.)* Сконструирован в Лаборатории научного и инженерного исследования полярных районов США.

Этот бур, имея диаметр 25,4 мм, легко режет морской и глетчерный лед со скоростью 0,5 об/мин. Спираль бура нарезана, а не изготовлена из полосовой стали. Как внешний диаметр, так и на-

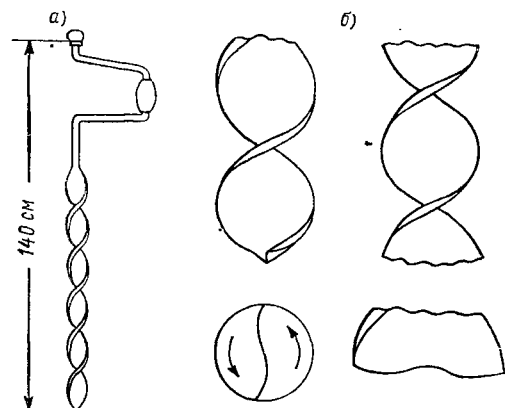


Рис. 1.51. Финский ледобур [160].

а — общий вид; б — режущая часть бура.

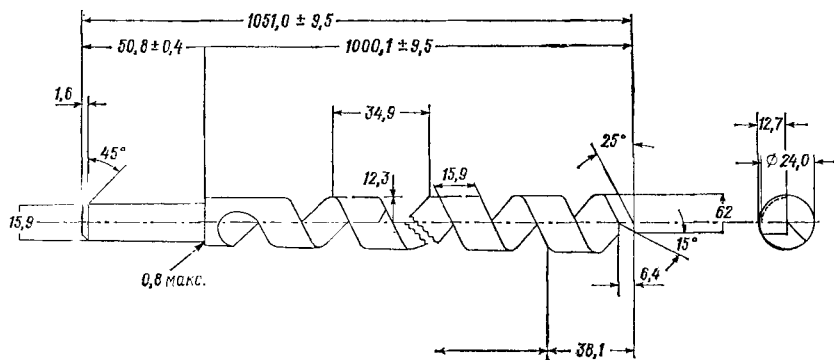


Рис. 1.52. Американский винтовой ледобур (размеры в мм) [160].

резанный желоб шлифованы. Перо бура изготовлено из нержавеющей стали. Бур имеет насадные штанги, вращается коловоротом. В некоторых случаях в процессе бурения в скважину добавляется метиловый спирт для уменьшения примерзания бура к стенкам скважины.

*Ледобур со шнеком.* За рубежом запатентованы также шнек для бурения льда (пат. 3.929.196 США), ручная шнекобурильная машина (пат. 4.057.114 США) и ледовый бур с регулируемыми режущими кромками (пат. 978.180 Канада).

Шлямбуровые буры, или полые сверла, как их называют зарубежные ледоисследователи, представляют собой полые трубы,

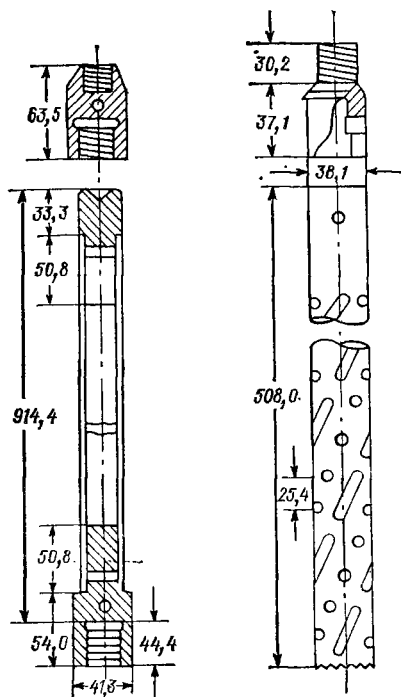
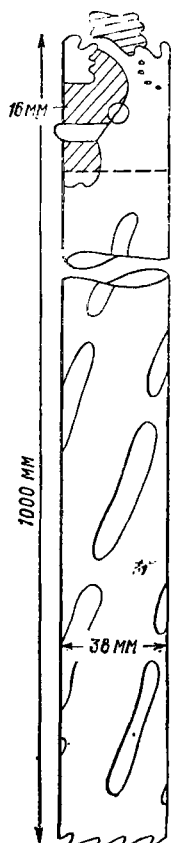


Рис. 1.53. Трубчатый полый бур с продольными отверстиями [160].

Рис. 1.54. Трубчатый полый бур с продольными и круглыми отверстиями в комплекте с насадной штангой [160].

нижний конец которых имеет слегка разведенные пилообразные зубья.

*Американский трубчатый полый бур (рис. 1.53).* По конструкции можно отнести к шлямбуровым. Предназначен для бурения фирнового и морского тающего льда, но может бурить и твердый лед при низкой температуре.

На рис. 1.54 изображен вид этого ледобура и насадных штанг после некоторой модернизации. Корпус ледобура изготовлен из



стальной трубы длиной 508 мм. Минимальный диаметр, позволяющий выталкивать лед из полости бура, составляет 44,5 мм. 12 зубцов вырезаны и направлены вручную. Во льду зубцы работают без заточки длительное время. Чтобы иметь свободное пространство для удаления ледяной стружки из скважины, в корпусе бура имеется большое количество отверстий ( $d=11,1$  мм) и щелей. Коловорот и насадные штанги соединяются с корпусом бура винтовой нарезкой.

При плотности льда больше 800 кг/м<sup>3</sup> работа затруднена, а при бурении еще более плотного льда требуются значительные усилия и большой практический опыт. Максимальная глубина бурения с 20 насадными штангами составляет 18 м. Поэтому плотный лед до глубины 45 м разумно бурить вдвоем. Для более глубокого бурения требуется усиленное подъемное устройство. Масса всего бурового оборудования при бурении на глубину 18 м составляет 36 кг, масса метровой дюралевой насадной штанги 1 кг.

*Керновый бур.* Представляет собой полый стальной стакан длиной до 100—110 см, на наружной части которого располагается винтовой шнек для подачи стружки. Режущая часть керновых буров состоит из нескольких ножей (до 6—8). Изготовление керновых буров сложно, масса даже самых облегченных из них, позволяющих получить керн диаметром 7—8 см, 20 кг и более. В некоторых случаях в корпусе пробоотборника имеется вырез для более удобной выемки керна льда.

Бур сконструирован в Лаборатории научного и инженерного исследования полярных районов США и предназначается для поверхностного и глубинного бурения лунок диаметром 11 см и для взятия вертикальных колонок фирна и льда на анализ. Внутренний диаметр пробоотборника 7,62 см, длина 0,5 м. Глубина бурения до 31 м. Все детали бура, исключая насадные метровые штанги, изготовлены из нержавеющей стали. Коронка и резцы съемные. По внешнему диаметру цилиндра бура наварен винтообразный шнек. Для выхода воздуха и стружки имеются отверстия в корпусе цилиндра бура. Керна льда вынимается через верхнюю часть цилиндра, так как штангодержатель (приспособление для крепления штанг в верхней части бурового стакана) снабжен специальным замком. Насадные штанги представляют собой алюминиевые трубы с переходными втулками и стопорами из нержавеющей стали. Вращается бур воротом [170].

Бур был надежно испытан в полевых условиях и в лаборатории на влажном льду. Таким буром на шельфовом леднике у о. Элсмira брали пробы льда с глубины 24 м, а на «ледяном» острове Т-3 — с глубины 32 м. Правда, в этих случаях бур поднимался на поверхность или при помощи специальной складной тре-

ноги и ручных талей, или при помощи лебедки с бензиновым мотором. Диаметр керна 7,62 см, длина до 85 см. Для более удобного взятия керна имеется вырез. От коронки до выреза приварен винтообразный шнек. Коронка имеет два основных рабочих резца с пластинками из твердых сплавов на концах и два дополнительных резца, вмонтированных в коронку для подрезания и подъема

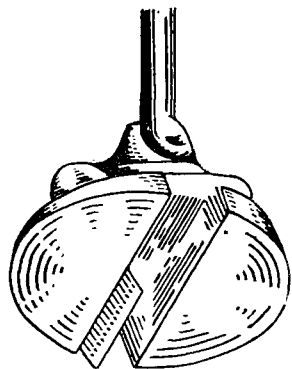


Рис. 1.55. Режущая часть японского бура [160].

керн на поверхность. Диаметр отверстия, благодаря выступающим основным резцам, больше, чем диаметр цилиндра бура с наваренным шнеком. Дополнительные, подрезающие, резцы при бурении спрятаны в коронке бура и не мешают его поступательному движению. При обратном вращении ленточные пружины заставляют резцы принять положение, перпендикулярное стенкам, в котором они подрезают и затем удерживают керн льда.

*Керновый бур-пробоотборник японских ледоисследователей.* Бур представляет собой стальную трубу с наваренным шнеком и выступающими резцами в торцевой части. Длина корпуса бура 40 см, диаметр 10 см. Вращение бура коловоротом, скорость бурения 1 см/с [160].

*Ручной японский бур (рис. 1.55).* Конструкция этого бура оригинальна. Он состоит из ручки-коловорота, штанги и режущей части. Режущая часть приварена к штанге. Лезвия прикреплены к полукруглым дискам толщиной в 1 см и направлены в разные стороны; они скалывают лед и подают ледяную стружку на верхнюю поверхность полукруглых дисков. Таким образом, режущая часть бура врезается в лед, оставляя за собой уже выработанную ледяную стружку. Диаметр бура 10 см. Если этот бур поднимать на поверхность, он будет действовать как поршень и выбросит отработанный лед. Имеются ссылки на более совершенные

ледобуры шведского типа, работающие по типу планетарного вращения. Опыт показывает, что высверливать отверстие — это наименее экономичный способ, гораздо экономичнее — растачивать отверстие меньшего диаметра. При планетарном бурении долото растачивает скважину.

Ручными ледобурами с двумя ножами можно просверлить лунки диаметром 100—130 мм. Однако зачастую, особенно в толстом льду, необходимо иметь лунки большего диаметра.

*Ледобур Вологодского областного добровольного общества охотников и рыболовов (рис. 1.56).* Используется для сверления лунок диаметром 170 мм. Ледобур разбирается и состоит из двух основных частей: коловорота типа СЛК-2 и сверла [33].

Сверло состоит из соединительной штанги (цельнотянутая стальная трубка диаметром 18 мм и толщиной стенок 2 мм), на торец (конец) которой крепится втулка. К этой втулке электросваркой привариваются две желобчатого сечения скобы с ребрами жесткости, которые штампуются из двухмиллиметровой стальной полосы шириной 38—40 мм. Во избежание перекоса электросварку втулки со скобами производят в специальном приспособлении (шаблоне).

К скобам электросваркой приваривается «тарелка». «Тарелка» представляет собой конический диск диаметром 160 мм и толщиной 3 мм, изготавливаемый из стали марки СТ-3. К «тарелке» крепятся четыре съемных стальных ножа размером примерно 50×30 мм и толщиной 2—3 мм в зависимости от качества стали. Сначала ножи выпускались с тремя-четырьмя зубьями; сейчас для лучшего измельчения льда ножи имеют по пять-шесть режущих треугольных зубов. Ножи делаются из стали марки У-8.

Коловорот со сверлом соединяется с помощью направляющей шпонки и запорной чеки с разводным кольцом.

Ледобур имеет следующие стандартные размеры: длина в собранном виде 1450 мм, ширина (по коловороту) 350 мм, высота (диаметр «тарелки» с выпущенными наружу ножами) 170 мм. Предельная глубина бурения 1000 мм; общая масса ледобура 2,5 кг.

Для того чтобы пробурить лунку глубиной в 1 м, требуется затратить в среднем 5—10 мин. Часто приходится регулировать наклон ножей, подкладывая под заднюю их часть стальную пластинку длиной 50 м, шириной и толщиной 0,5—1 мм. Нормальный угол наклона ножей по отношению к плоскости «тарелки» около 10°. Крутой наклон ножей затрудняет сверление лунки, а очень пологий хоть и облегчает сверление, но требует больше времени.

Сверло имеет левостороннее (против часовой стрелки) круговое вращение.

Кольцевой ледовый бур ПИ-8 (рис. 1.57). Разработан в ААНИИ Н. В. Черепановым и широко внедрен в практику

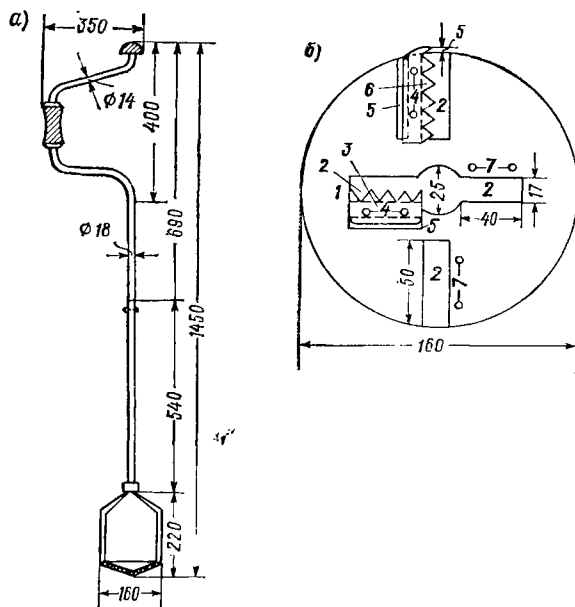


Рис. 1.56. Ручной ледобур с четырьмя ножами [33].

а — общий вид; б — вид «тарелки» снизу (из четырех ножей показаны два); 1 — «тарелка»; 2 — прорез в «тарелке»; 3 — съемный стальной нож с пятью зубьями; 4 — болтики; 5 — стальная пластинка; 6 — съемный стальной нож с шестью зубьями; 7 — отверстия под болтики.

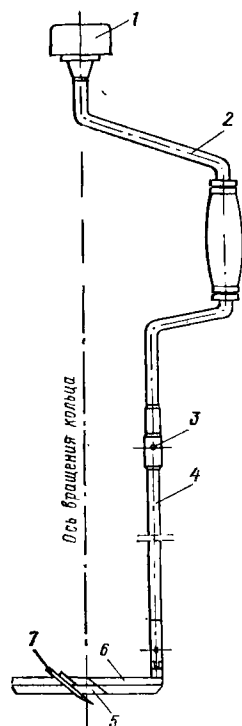


Рис. 1.57. Схема кольцевого бура [178].

1 — ручка коловорота; 2 — коловорот; 3 — фиксатор с чекой; 4 — штанга; 5 — паз; 6 — кольцо; 7 — зубчатый резец.

(а. с. 472. 237 СССР). Это новый тип кернового бура с диаметром кольца 180, 220 и 320 мм [116, 131, 178]. Бур предназначен для ручного бурения во льду скважин различного диаметра с получением образцов в виде керна. От существующих типов керновых

буров он отличается тем, что в нем нет основной части керновых буров — металлического стакана и шнека.

Кольцевой бур состоит из массивного металлического кольца 6, нижняя часть которого представляет собой острый торцевой нож клинообразного профиля, который придает ему устойчивое положение при вращении и обеспечивает автоматическую регулировку скорости резания.

Для крепления ножа в кольце сделан паз 5 под углом 40—45° шириной 25—30 мм. Этот паз обеспечивает свободный выход стружки на верхнюю плоскую поверхность кольца. На одной из сторон паза укреплен зубчатый резец 7, положение которого можно регулировать с помощью двух стопорных винтов. Кольцо с помощью штанги (4), фиксатора и чеки 3 соединено с коловоротом 2.

Штанга и коловорот изготавливаются из пустотелых трубок для облегчения бура. Увеличение диаметра кольца без существенного увеличения общей массы бура позволяет получать скважину во льду любого размера.

Общая длина бура около 140 см, но его конструкция позволяет использовать дополнительные штанги для бурения скважин до 3—4 м глубиной.

Для хорошей работы кольцевого бура необходимо соблюдение следующих условий: 1) штанга 4 должна быть расположена строго перпендикулярно верхней плоскости кольца 6; 2) верхняя направляющая ручка коловорота 1 должна совпадать с осью вращения кольца и его центром; 3) резец 7 должен выступать под нижним направляющим торцевым ножом на 2—3 мм; 4) острие резца в рабочем положении должно быть на 5—6 мм больше ширины кольца, причем нижняя часть резца должна выступать на 2—3 мм с каждой стороны кольца. Верхняя часть резца не должна выступать за край кольца и царапать стенку скважины или керна.

Несоблюдение первого условия приводит к тому, что при бурении льда на глубине 40—60 см и ниже вращение штанги постепенно затрудняется из-за трения о стенку скважины или керна. Если угол плоскости кольца со штангой более 90°, то штангу прижимает к стенке, а если менее, то, наоборот, к керну.

В полевых условиях это устраняется следующим образом: сверлят новую скважину глубиной 3—4 см, в нее вставляют и слегка примораживают кольцо, а затем легким нажимом выпрямляют штангу, контролируя ее положение по отвесу и уровню или угольнику.

Несовпадение центра ручки коловорота с осью вращения кольца связано с пробуксовкой кольца при вращении и скалыванием верхних слоев керна. Далее с углублением кольца в лед

штангу бура и ручку коловорота будет сильно водить в разные стороны, что затрудняет бурение. Небольшие (до 3—5 см) отклонения ручки коловорота от центра кольца можно устранить, изогнув верхнее или нижнее плечо коловорота. При больших отклонениях необходимо менять коловорот.

Иногда из-за недостаточно прочного крепления стопорных винтов может нарушиться правильное положение резца 7, и он может сместиться вверх или вниз. При малом зазоре бур легко вращается, но не углубляется. Наоборот, увеличение зазора очень затрудняет вращение коловорота. Для регулирования положения резца и его закрепления в пазе кольца имеются три поперечные прорези, а на резце соответствующий выступ. Закрепление резца осуществляется двумя стопорными винтами.

Часто неисправности в работе кольцевых буров связаны с нарушением четвертого условия; бур легко работает только вначале, у поверхности. При углублении на 1—2 см кольцо проворачивается с большим трудом, и бур не углубляется. До того, как сменить резец, необходимо проверить зазор между керном и кольцом, а также зазор между кольцом и стенкой скважины. В ту и другую сторону от кольца зазор должен быть не менее 2—3 мм. При меньшем зазоре работа затрудняется, так как кольцо или заклинивается, или, садясь на керн, вращается вхолостую. В этих случаях необходимо установить новый резец.

Качество работы кольцевых буров зависит от физико-механических свойств льда: при одних и тех же температурных условиях бур значительно легче входит в морской лед, чем в пресный.

При понижении температуры, когда резко возрастает твердость льда, резец должен быть очень острым, а зазор — особенно точным.

Работа кольцевым буром, в отличие от остальных, не требует большого практического навыка и значительных физических усилий. Даже при бурении скважин диаметром до 320 мм работу может легко производить один человек.

Чтобы привести кольцевой бур в рабочее состояние, нужно присоединить ручку коловорота к штанге, причем грибок должен находиться на одной линии с осью вращения кольца. Затем с помощью фиксатора и чеки закрепить коловорот и поставить в рабочее положение резец. Для этого нужно ослабить стопорные винты, выдвинуть на 2—3 мм резец над нижней плоскостью кольца и затем плотно закрепить резец винтами.

Перед началом бурения следует очистить от снега ровную площадку льда, установить кольцо на поверхности льда и медленно вращать против часовой стрелки коловорот, сохраняя вертикальное положение штанги. Верхняя ручка коловорота (1)

должна все время находиться в центре оси вращения кольца. По мере углубления кольца в лед следует усиливать нажим на ручку коловорота. Когда кольцо достигнет глубины 5—10 см, нужно поднять бур и удалить стружку. Эту операцию следует повторять через каждые 5—6 см проходки скважины. Нельзя допускать скопления большого количества стружки — это препятствует свободному вращению штанги. Уплотнившаяся стружка может привести даже к заклиниванию кольца в скважине.

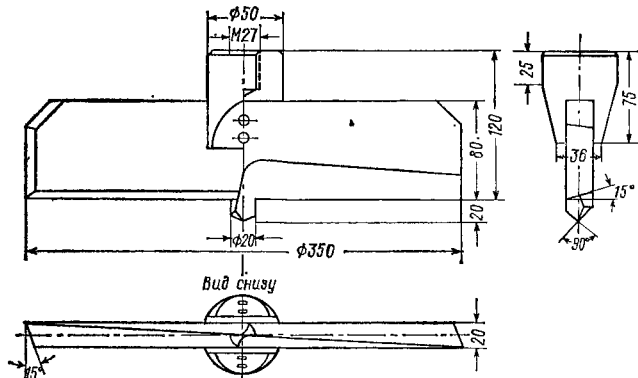


Рис. 1.58. Бур конструкции МВТУ им. Н. Э. Баумана

До конца бурения не рекомендуется подламывать керн. Это затруднит удаление стружки, особенно если стружка сухая и не удерживается на кольце. При случайном подломе керна его следует немедленно вынуть. Для лучшего удаления стружки можно понемногу подливать в скважину раствор поваренной соли, который, смачивая стружку, делает ее вязкой. Тогда она легко удерживается на кольце. Нельзя использовать бур для подлома и подъема керна из скважины. Это приводит к порче бура, так как его штанги изготавливаются из тонких труб. Подлом керна, если в этом возникает необходимость, производится легким ударом по деревянному клину, вставленному в кольцевую канавку, а его подъем — с помощью специального штока, который прикрепляется к запасной штанге. Если толщина льда более 1 м, то используются основная и запасная штанги, причем предварительно снимают коловорот, на его месте укрепляют шток, а бур переворачивают кольцом вверх.

*Буры конструкции МВТУ им. Н. Э. Баумана (рис. 1.58).* Экспериментальные буры МВТУ диаметром 250 и 350 мм представляют собой перку с горизонтальной режущей кромкой, направ-

ленной к центру бура. Бур имеет, кроме главной режущей кромки, боковые и верхние режущие кромки, предусмотренные для улучшения вывода сго из лунки при возможных смещениях бура относительно лунки.

В центре бура имеется центрирующее сверло. Диаметр сверла у 250-миллиметрового бура 26 мм, а у 360-миллиметрового — 20 мм. Перемычка центра у 250-миллиметрового бура 2 мм, а у 350-миллиметрового — 4 мм.

#### Геометрия бура (углы), °

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Главный задний — $\alpha_1$  | 15 |
| Торцовый задний — $\alpha_2$ | 10 |
| Заострения — $\beta$         | 75 |
| Передний — $\gamma$          | 0  |
| Резания — $\delta$           | 90 |

*Трехперовой бур конструкции ВНИРО (рис. 1.59).* Этот бур представляет собой трехлопастную конструкцию со сменными ножами и забурником. Режущие ножи могут быть установлены под разными углами резания. В зависимости от длины ножей диаметр бура может изменяться и быть равным 250, 310 и 390 мм.

Бур состоит из фигурного держателя, на котором при помощи конуса и двух гаек укрепляются три ножа. Снизу держателя на резьбе крепится трехлопастный забурник. Бур навинчивается при помощи переходника.

#### Технические характеристики

|                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| Диаметр бура, мм                     | 250, 310, 390 |
| Число зубьев                         |               |
| режущих                              | 13, 16, 16    |
| подрезных                            | 3, 3, 3       |
| Длина режущей кромки одного зуба, мм |               |
| основного                            | 5, 5, 5       |
| подрезного                           | 8, 8, 8       |
| Длина режущей кромки, мм             |               |
| суммарная, без забурника             | 74, 89, 89    |
| общая                                | 224, 239, 239 |

Зубья бура расставлены по спирали в шахматном порядке от центра к периферии. Ближайший к центру зуб является самым заглубленным (длинным). Следующий зуб находится на другом пере. Он смещен к периферии относительно предыдущего зуба и имеет несколько меньшее заглубление. На третьем пере следую-



щий (третий) зуб опять смещен к периферии и имеет еще меньшее заглубление, и так далее по спирали последовательно на каждом пере до крайнего периферийного зуба.

Постепенное уменьшение заглубления зубьев при вращении бура создает угол при вершине бура  $2\varphi=170^\circ$ .

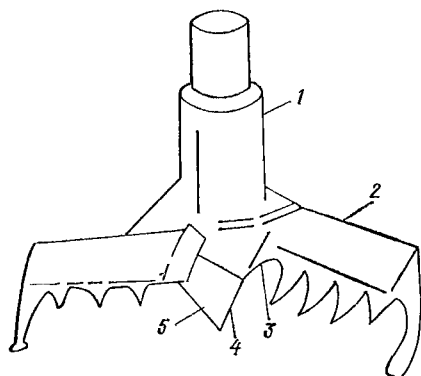


Рис. 1.59. Общий вид трехперового бура конструкции ВНИРО [147].

1 — переходник для крепления к шпинделю льдобура; 2 — режущие ножи; 3 — крепёжные гайки; 4 — фигурный держатель; 5 — заборник.

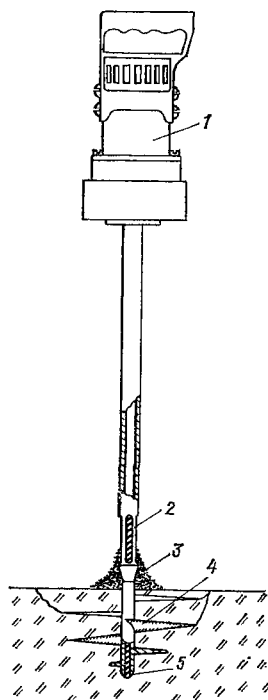


Рис. 1.60. Ручной механический виброударный бур [147].

1 — дебалансный возбудитель колебаний; 2 — шнек; 3 — метчик; 4 — винт с возрастающим шагом; 5 — сверло.

В ручном инструменте перспективно применение ударного вращающегося резца (типа конусного сверла), обеспечивающего контакт с материалом по необходимой поверхности за счет предварительного среза части льда в режиме вращения с использованием эффекта циклического развития трещин отрыва (рис. 1.60). Это энергетически более выгодно [7].

Сверло, проходящее по центру инструмента, является шнеком для удаления крошки из-под метчиковой части, прорезывающей щель под винт в режиме виброудара с возрастающим шагом. Винт с возрастающим шагом отрывает крупные куски льда. Для их удаления используется пневмотранспорт с мельницей, которая

крошит лед. Метчик и винт получают энергию от работы дебалансного возбудителя колебаний [7].

*Ледобур Томского рыбтреста (рис. 1.61).* Из применяющихся станковых механических буров наиболее удобный, надежный и экономичный, особенно при небольших объемах работ.

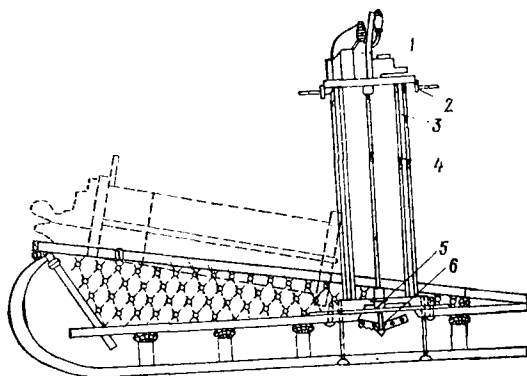


Рис. 1.61. Ледобур конструкции Томского рыбтреста [145].

1 — двигатель бензомоторной пилы «Дружба-60»; 2 — ручки управления; 3 — направляющие бура; 4 — «шпиндель»; 5 — опорная пластина; 6 — бур.

#### Технические характеристики

|  |        |
|--|--------|
| Наибольшая глубина бурения, мм   | 900    |
| Диаметр лунки, мм  | 320    |
| Скорость бурения, м/мин  | 0,6    |
| Время бурения лунки при толщине льда 70—80 см (с учетом перехода на другую лунку), мин | 2—3    |
| Механизм подачи бура   | ручной |
| Мощность двигателя (при 5200 об/мин), кВт  | 2,6    |
| Масса ледобура (без саней), кг   | 60     |

Ледобур обслуживают два человека: бурение безопасно при толщине льда не менее 20 см.

Ледобур состоит из двигателя бензомоторной пилы «Дружба-60», дополнительного редуктора с ручками управления, направляющих бура, шпинделя (штока) бура, собственно бура, опорной металлической пластины и саней. Ледобур монтируют в задней части саней на опорной металлической пластине.

Бур состоит из шестигранной ступицы, на конце которой навинчивают забурник и приваривают два держателя, предназначенные для крепления гребенки и ножа. Нож и гребенка съемные.

При вращении бура гребенка разрыхляет толщу льда, а нож, имеющий острую прямолинейную режущую кромку, скалывает разрыхленный лед.

На саях ледобур может переводиться из рабочего положения в транспортное (на рисунке транспортное положение показано пунктиром).

При устройстве лунок лед сначала пробуривают на глубину 25—30 см, затем бур поднимают, частично очищая при этом лунку от ледяной стружки, снова опускают бур, бурят следующие 15—20 см льда, поднимают бур и так далее. Чем толще лед, тем труднее пробуривать нижние его слои, следовательно, тем чаще нужно поднимать бур. Для облегчения работы после пробуривания 45—50 см льда рекомендуется несколько раз поднять бур до тех пор, пока лунка полностью не очистится от ледяной стружки.

Запрещается за один прием пробуривать лед толщиной более 30 см, так как это приводит к заеданию бура в лунке и может привести к поломке машины.

Ледобур Томского рыбтреста заменяет примерно десять рабочих, освобождая их от тяжелого труда.

Стоимость разработки лунки при толщине ледяного покрова 80 см равна 40 коп, т. е. примерно в 3 раза меньше, чем при выполнении работ обыкновенными пешнями [145].

Механический бур конструкции армейской научно-исследовательской лаборатории полярных районов США (рис. 1.62). Это шестиметровый агрегат, массой 100 кг. Верхняя треть бурового комплекса занята мотором и передаточным механизмом, средняя — контейнером ледовой стружки, нижняя — центральным валом и режущей коронкой. По кабелю со стальной оплеткой трехфазный ток напряжением 380 В от электромотора мощностью 1,5 кВт подается на двухметровый центральный вал, вращающийся внутри стационарной наружной трубы. Длина кабеля 720 м, диаметр 22 см, масса 1 м погонной длины 0,75 кг. Лебедка приводится в движение электромотором мощностью 5 кВт посредством ременной передачи. Средняя скорость движения бура

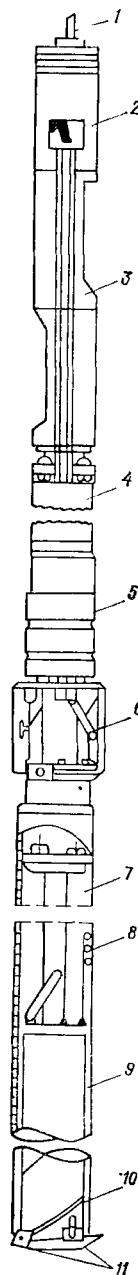


Рис. 1.62. Разрез американского механического бурильного агрегата [194].

1 — конец кабеля; 2 — узел подвески; 3 — блок ориентировки; 4 — мотор; 5 — блок передаточного механизма; 6 — соединительная муфта; 7 — контейнер для ледяной стружки; 8 — затвор; 9 — центральный вал; 10 — внутренний разъем-предохранитель; 11 — резцы сверла.

вверх и вниз 25 м/мин. Два резца на режущей коронке в нижней части вала прорезают кольцевую бороздку шириной 1,5 см, а ледяная стружка поднимается по спирали шнека и сканливается в контейнере, который опорожняется после каждого цикла бурения.

Длина керна, выбуриваемого за 1 цикл, составляет 2 м, при диаметре 90 см. Общая глубина скважины, пробуренной в ледниковом льду в Исландии, составила 415 м [194].

*Льдобурильный агрегат конструкции Ферштута—Пащенко* (рис. 1.63). Агрегат представляет собой передвижную несамоходную установку, состоящую из бензинового двигателя Л-6 мощностью 4,4 кВт бурового и тягового устройства. Все узлы смонтированы на металлических саях сварной конструкции.

#### Технические характеристики

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| Назначение  | пробивка лунок во льду и тяга невода |
| Глубина бурения льда, мм  | до 400                               |
| Диаметр лунки, мм   | 300—350                              |
| Скорость бурения (в зависимости от конкретных условий), м/с     | 5—10                                 |
| Тяговое усилие, кг  | 670                                  |
| Скорость тяги (при номинальном числе оборотов двигателя), м/мин | 26,5                                 |
| Регулировка скорости тяги                                       | изменение подачи топлива в двигатель |
| Двигатель   | бензиновый, марки Л-6                |
| Мощность двигателя, кВт   | 4,4                                  |
| Частота вращений, об/мин  |                                      |
| двигателя   | 2200                                 |
| бурового шпинделя   | 1100                                 |
| турачек   | 55                                   |
| Количество турачек  | 2                                    |
| Диаметр турачек, мм   | 170                                  |
| Масса агрегата, кг  | 350                                  |

На саях предусмотрена площадка для бурильщика и устройство для фиксации агрегата на льду. Агрегат обеспечивает бурение льда толщиной до 50—60 см, однако нормально он работает при толщине льда до 30 см. При дальнейшем бурении шпиндель сильно вибрирует, требуется большое усилие для подачи бура.

Работа на льдобурильном агрегате производится следующим образом.

После пуска двигателя агрегат должен проработать на холостом ходу 10—15 мин. Затем приступают к бурению лунок. В процессе бурения агрегат обслуживают моторист и бурильщик. Аг-

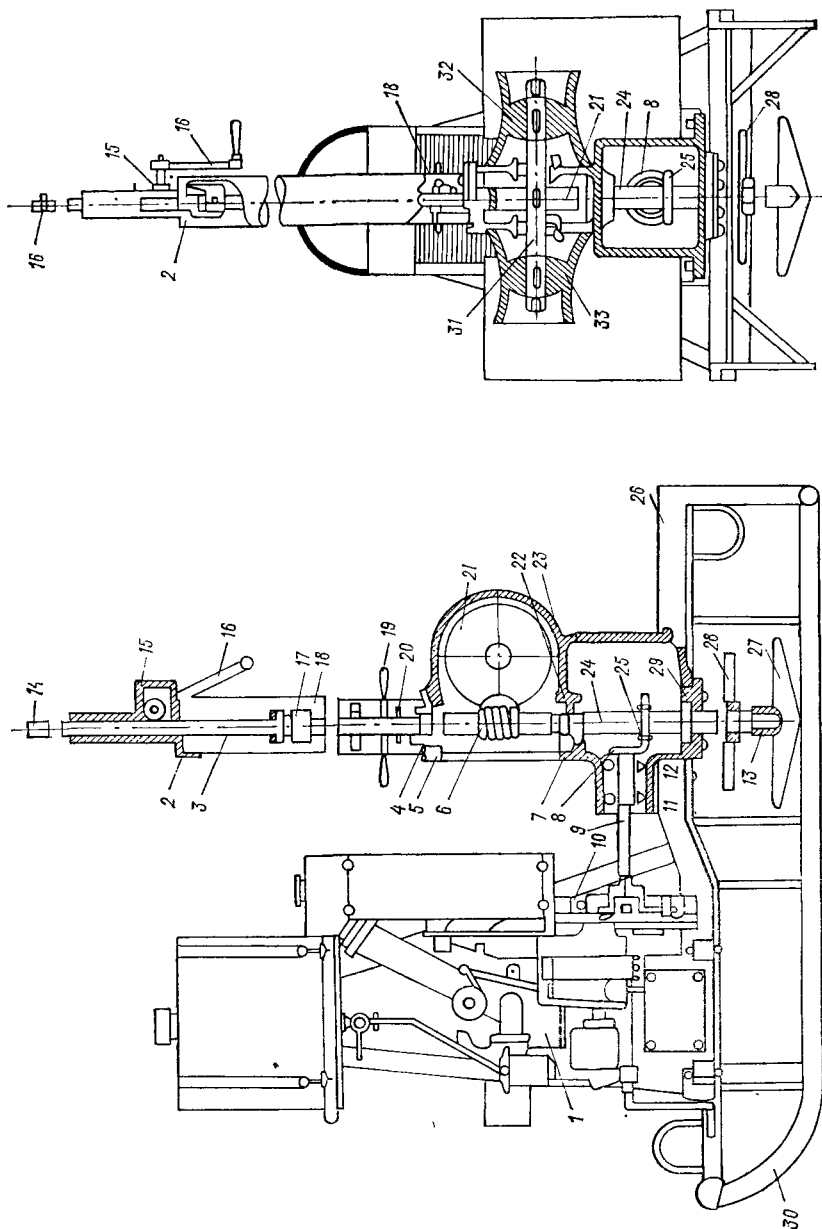


Рис. 1.63. Льдобурильный агрегат конструкции Фершуга—Пашенко [147].

1 — двигатель; 2, 17 — стакан; 3, 14 — пята напорной рейки; 4, 20 — половинки кулачковой муфты; 5, 11, 12, 22, 23, 29 — подшипники; 6 — вал; 7 — корпус редуктора; 8 — ведущая коническая шестерня; 9 — вал; 10 — муфта; 11 — шпоночный паз шпинделя; 15, 26 — шестерня; 16 — ручка подающего механизма; 18 — труба; 19 — рукоятка; 21 — червячная шестерня; 24 — приводная ступица; 26, 30 — сани; 27 — бур; 28 — снегообрасывающее устройство; 31 — вал; 32, 33 — одноступенчатые турочки.

агрегат подводят к месту бурения, бурильщик становится на фиксаторную площадку и, поворачивая ручку подающего механизма, начинает бурение. По окончании бурения (когда резко уменьшается усилие подачи) бурильщик поднимает бур в исходное положение, фиксирует его от самопроизвольного опускания при помощи запора и сходит с фиксаторной площадки. Агрегат автоматически освобождается от крепления, и его можно перевозить к месту бурения следующей лунки.

Продолжительность подготовки к бурению с учетом перемещения агрегата от одной лунки к другой 20—25 с. Таким образом, время на бурение одной лунки равно при данной толщине льда примерно 1 мин. При ручной работе затрата вре-

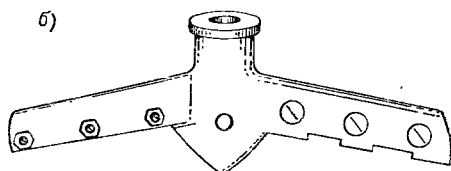
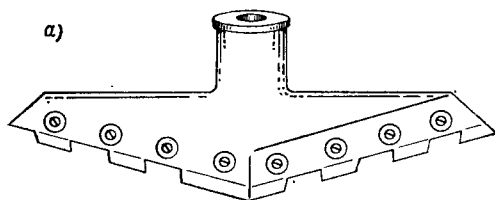


Рис. 1.64. Бурь конструкции Г. Н. Измайлова и И. А. Кормина (а), конструкции Г. М. Бровкина (б) [147].

мени на подготовку одной лунки составляет 2—3 мин.

Льдобурильные агрегаты Ферштута—Пащенко имеют ряд существенных недостатков: механизм подачи бура несовершенен, частота вращения бура велика — 1100 об/мин, поэтому, когда бур достигает воды, происходит мгновенный ее выброс на поверхность льда, что затрудняет работу. Диаметр турочки (170 мм) недостаточен.

При проведении испытаний проверена работа 16 различных буров. В числе их буры Измайлова и Кормина (рис. 1.64 а), Бровкина (рис. 1.64 б), бур Барабинского рибозавода Новосибирского Госрыбтреста и др.

Наилучшие результаты получены при испытании буров Бровкина и Барабинского рибозавода. Принцип работы последнего основан на выкалывании кусков льда. Стружка при бурении получается крупной, подача бура происходит без больших усилий; стружка хорошо выбрасывается при бурении льда до 300 мм; бурение можно производить до 500 мм.

Льдобурильный агрегат ЛБ-1 (рис. 1.65). На основе опыта эксплуатации первой серии льдобурильных агрегатов конструкции Ферштута—Пашенко Гипрорыбпром по техническому заданию ВНИРО разработал новый вариант льдобурильного агрегата.

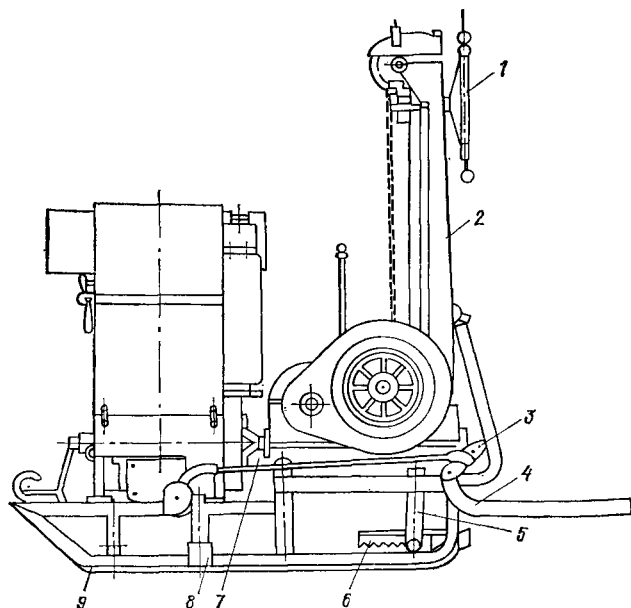


Рис. 1.65. Льдобурильный агрегат конструкции Гипрорыбпрома ЛБ-1 [147].

1 — штурвал; 2 — стойка; 3 — рычаги; 4 — откидная площадка; 5 — бур; 6 — перо бура; 7 — тяги; 8 — упоры; 9 — сани.

### Технические характеристики

|                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Назначение                          | пробивка лунок во льду и тяга невода |
| Предельная глубина бурения льда, мм | 600                                  |
| Диаметр лунки, мм                   | до 350                               |
| Число оборотов бура, об/мин         | 665                                  |
| Подача бура                         | ручная                               |
| Рабочий орган тягового устройства   | две турачки                          |
| Диаметр турачек, мм                 | 225                                  |
| Скорость тяги, м/мин                | 12 и 23                              |
| Тяговое усилие, кг                  | до 1000                              |
| Привод                              | от двигателя Л-6                     |
| Мощность двигателя, кВт             | 4,4                                  |
| Частота вращения, об/мин            | 2200                                 |

|                                |      |
|--------------------------------|------|
| Масса агрегата, кг . . . . .   | 470  |
| Габариты, мм                   |      |
| длина . . . . .                | 1330 |
| с откидной площадкой . . . . . | 1710 |
| ширина . . . . .               | 932  |
| высота . . . . .               | 1526 |

Льдобурильный агрегат представляет собой также самоходную передвижную установку, смонтированную на фундаментных металлических сварных саях.

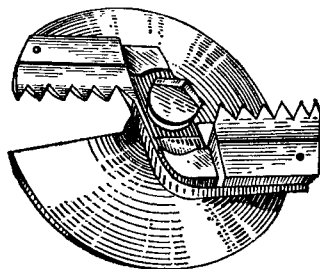


Рис. 1.66. Бур льдобурильного агрегата ЛБ-1 [147].

Агрегат имеет ряд преимуществ по сравнению с первым вариантом конструкции Ферштута и Пашенко. Более надежно разобщение бура и турачек при помощи фрикционных муфт. Надежнее механизм подачи бура; высота агрегата и длина шпинделя меньше. Наличие откидной площадки облегчает доступ к буру для его установки.

Агрегат снабжен буровым инструментом (рис. 1.66). Наличие лопастей у бура улучшает условия выброса стружки из лунки. Самоочистка лунки происходит при бурении на глубину до 250—300 мм. При бурении льда на большую глубину необходимо 1—2 раза очищать лунку от стружки, поднимая бур.

При помощи лопастей, имеющихся на буре, стружка поднимается на поверхность льда и под действием центробежной силы разбрасывается.

*Ледобур конструкции Н. Е. Шляева (рис. 1.67).* Ледобур сконструирован для Сибири, Севера и Дальнего Востока и смонтирован на тракторе КД-35.

#### Технические характеристики

|   |              |
|---|--------------|
| Глубина бурения льда, с учетом снежного покрова, мм . . . . . | 1400—1500    |
| Диаметр лунки, мм . . . . .                                   | до 400       |
| Подача бура . . . . .   | механическая |
| Скорость бурения, мм/с . . . . .                              | 70           |



|                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| Частота вращения бура, об/мин | 350               |
| Привод                        | от трактора КД-35 |

Габариты коробки редуктора, мм

|        |     |
|--------|-----|
| длина  | 800 |
| ширина | 400 |
| высота | 400 |

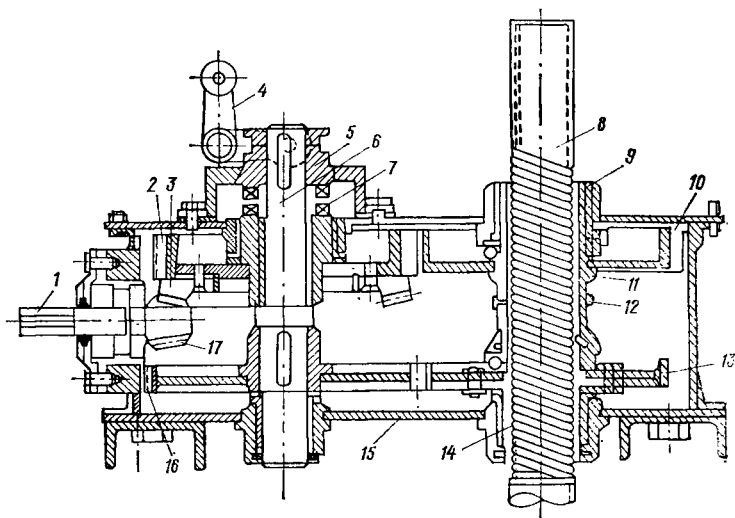


Рис. 1.67. Схема ледобура конструкции Н. Е. Шляева [147].

1 — вал; 2, 16 — цилиндрические шестерни; 3 — коническая шестерня; 4 — рукоятка; 5 — половина кулачковой муфты; 6 — вал; 7 — кулачковая муфта; 8 — ходовой винт (шпindel ледобура); 9 — стакан; 10, 13 — шестерни; 11 — шпонки; 12 — винты; 14 — гайка; 15 — нижняя крышка редуктора; 17 — коническая зубчатая шестерня.

Буровой механизм закреплен в задней части трактора на специальной площадке, выполненной в виде санок. Бур закреплен на шпинделе и представляет собой четыре лопасти, на двух из которых закреплены сменные режущие пластинки. На режущих пластинках сделаны вырезы вразбежку. Лопасти выполнены в виде части шнека. Диаметр бура 400 мм. К буру с нижней стороны прикреплен забурник диаметром 160 мм. Забурник вбуривается в лед первым, чем обеспечивается устойчивое положение основного бура.

В процессе бурения выброса ледяной стружки из лунки не происходит. Стружка удаляется лишь при выходе бура из лунки.

В это время выбрасывается и немного воды из лунки. В результате бурения образуется ледяная крошка в виде крупинок.

Все управление ледобуром сосредоточено в кабине тракториста, который является одновременно и бурильщиком.

Испытания ледобура этой конструкции проведены на оз. Чаны. Толщина ледяного покрова была 700—1050 мм, толщина снежного покрова 250—400 мм. Температура воздуха от  $-10$  до  $-18^{\circ}\text{C}$ .

При испытании пробурено около 400 лунок.

Хронометраж показал, что продолжительность бурения одной лунки (с учетом обратного хода бура) в зависимости от толщины льда в указанных ранее пределах колеблется от 28 до 35 с, а время на бурение одной лунки с учетом перехода трактора от одной лунки к другой (на расстояние 20 м), включения и выключения бура составляет 56—70 с.

При помощи ледобура можно осверливать майны. Пробивка лунки в сравнении с ручным трудом ускоряется более чем в 10 раз.

Ледобуром конструкции Шляева сверлят лунки глубиной до 1400—1500 мм. Однако применение этого ледобура лимитируется тем, что он смонтирован на тракторе КД-35, для которого требуется много горючего. Кроме того, для его обслуживания нужно содержать тракториста.

Большая масса трактора вместе с ледобуром позволяет вводить его в эксплуатацию только при наличии толстого льда (30 см) и вынуждает снимать при начавшемся таянии льда, что сокращает срок пользования средствами механизации.

*Несамостоятельный ледобурильный агрегат модели 26 (рис. 1.68).* Р. И. Пшеничников и И. Н. Морозов разработали конструкцию ледобурильного агрегата (модель 26).

Мотоледобур — самостоятельная передвижная установка. Смонтирован он на металлических санях и рассчитан на бурение (сверление) лунок глубиной до 1250 мм, диаметром 320 мм.

Мотоледобур состоит из двигателя ЗИД-4,5 серии А, станины, редуктора, подающей штанги со штурвалом, режущего инструмента (бура) и турочки (шпиля).

Бур (рис. 1.69) состоит из стального шестигранного остова, к которому приваривают шнековую лопасть, предназначенную для выбрасывания ледяной стружки и для крепления трех режущих ножей. Конструкция бура доступна для быстрой заточки, так как имеет съемные ножи. Ножи крепят на трех перьях, расположенных по окружности под углом  $120^{\circ}$ . Каждое перо с ножами расположено под углом  $55^{\circ}$  к вертикальной оси остова. Сменный нож крепят к перу бура двумя болтами. Ножи бура имеют разные режущие кромки. Лезвие одного из ножей выполнено в виде зубча-

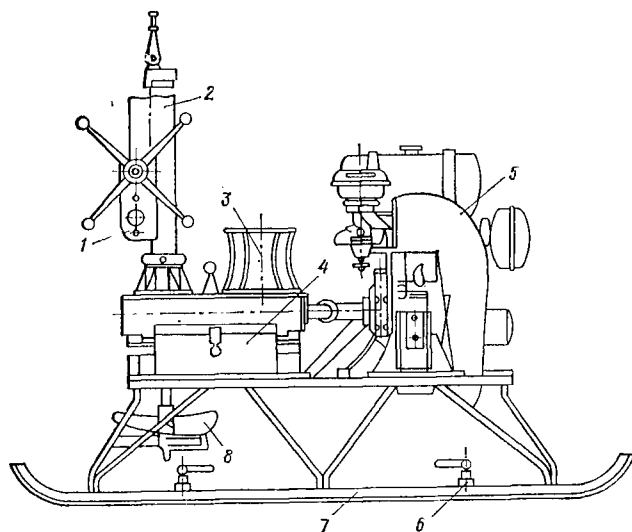


Рис. 1.68. Несамоходный льдобурильный агрегат модели 26 конструкции Пшеничникова и Морозова [53].

1 — механизм подачи; 2 — буровая колонка; 3 — турачка; 4 — редуктор; 5 — двигатель; 6 — фиксатор; 7 — сани; 8 — бур.

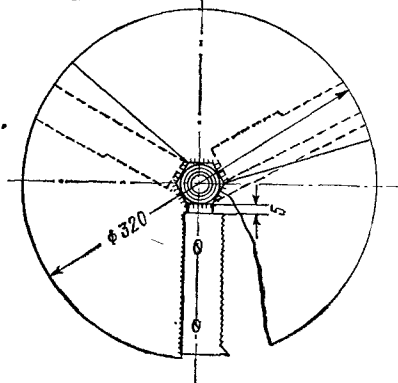
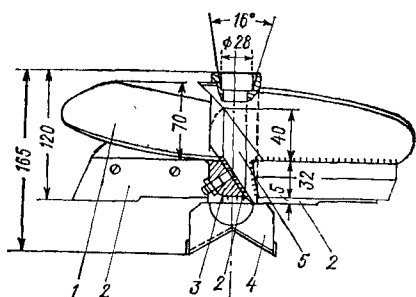


Рис. 1.69. Бур агрегата модели 26 [53].

1 — шнековая лопасть; 2 — нож; 3 — перо; 4 — перка; 5 — остов.

той гребенки трехгранного профиля, что позволяет срезать лед. Второй нож имеет выступающую режущую наружную кромку и служит для скалывания льда в удаленной от центра части. Третий нож своей выступающей режущей внутренней кромкой скалывает лед, расположенный под центральной частью бура. Ножи изготовлены из инструментальной стали У-8.

В нижней части остова закреплен на резьбе двухлопастный нож-перка. Концы ножей перки выступают ниже центра. Диаметр бура 314 мм.

Управление мотоледобуром при бурении лунок во льду осуществляют ручкой переключения редуктора и штурвалом механизма подачи бура.

К недостаткам агрегата следует отнести несовершенство конструкции бура, большое усилие его подачи, смещение при бурении из-за неудачной конструкции винтовых фиксаторов.

Агрегат предназначен в основном для механизации подледного лова рыбы в средней полосе страны. При эксплуатации в Сибири к нему приспособили бур конструкции Шляева, что позволило ускорить бурение лунок. Скорость бурения в зависимости от конкретных условий достигает 0,5 м/мин.

*Облегченный ледобур (ОЛБ-42) (рис. 1.70).* Выпускается серийно с 1965 г. В отличие от модели 26 предназначен для бурения льда в районах, где толщина льда 600—800 мм и толщина снежного покрова не превышает 400 мм. В этом ледобуре предусмотрена механическая подача бура и его подъем с увеличенной скоростью, что облегчает труд обслуживающего персонала. Ледобур состоит из двигателя, редуктора, буровой колонки, механизма подачи. Все узлы смонтированы на фундаментных саях. Этот ледобур, как и модель 26,— самосоходный.

В установке использован бензиновый двигатель марки ВП-150 от мотороллера «Вятка». Мощность двигателя 3,7 кВт. Коробка скоростей, позволяет иметь на буре три скорости вращения 195, 325 и 520 об/мин. Наличие трех скоростей вращения бура, как и трех скоростей подачи, является большим достоинством рассматриваемого механизма, так как позволяет выбирать в каждом отдельном случае оптимальный режим бурения.

Кинематика механизма разработана таким образом, что подача и подъем бура могут совершаться как при вращающемся буре, так и отключенном (рис. 1.71).

В ледобуре применен растягивающийся шнек для удаления стружки из лунки. Одним концом шнек закреплен на буре, а другим на саях.

Цепь вращения бура и его подачи имеют независимое включение, так что каждая из них может включаться самостоятельно.

Это важно, так как, в некоторых случаях желательно поднимать из лунки невращающийся бур, чтобы не «выгонять» воду на поверхность льда. Масса ледобура ОЛБ-42 — 116 кг, и, поскольку

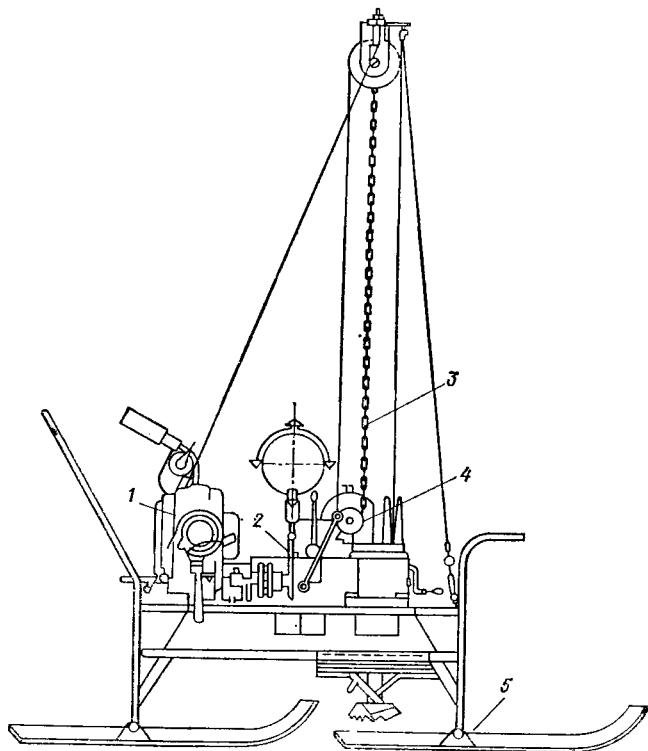


Рис. 1.70. Облегченный ледобур ОЛБ-42 [147].

1 — двигатель; 2 — редуктор; 3 — буровая колонка; 4 — механизм подачи; 5 — фундаментные сани.

он размещен на саниах, имеющих широкие полозья, удельное его давление на снег мало, и его легко перемещать. Эти ледобуры широко используются на подледном лове в ряде районов страны.

*Тракторный льдобурильный агрегат (ИЛБ-1, ИЛБ-2).* В первой конструкции привод к буру осуществлен от вала отбора мощности трактора, подача и подъем бура осуществляются механически через систему цилиндрических и конических шестерен. Частота вращения бура, а также подача его постоянны и зависят только от частоты вращения вала отбора мощности трактора. Испытания этой конструкции ледобура показали, что он обеспечивает бурение

льда толщиной свыше 1000 мм, при этом затраты времени на приготовление одной лунки в 10—15 раз меньше, чем при ручной работе. Вместе с тем опыт эксплуатации этого ледобура показал, что наличие только одной постоянной подачи бура и одной скорости вращения бура недостаточно для его нормальной работы при различных механических характеристиках льда, которые, как известно, изменяются с изменением температуры.

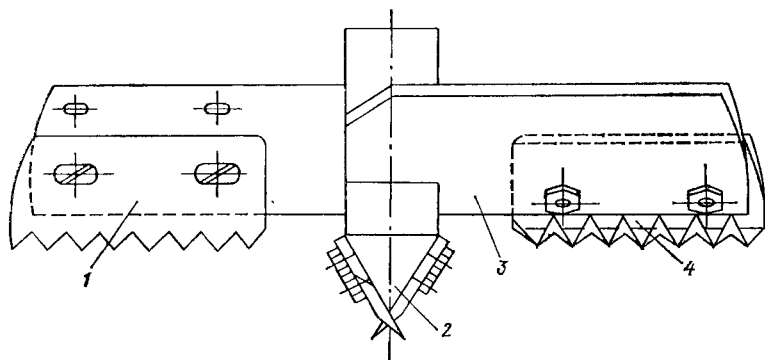


Рис. 1.71. Бур облегченного ледобура ОЛБ-42 [147].

1, 4 — левая и правая гребенка; 2 — забурник; 3 — корпус.

В процессе дальнейшей проработки конструкции Н. Е. Шляев разработал новый вариант ледобура с гидравлической подачей режущего инструмента. Хотя и в этом случае частота вращения бура осталась постоянной 272 об/мин, появилась возможность регулирования подачи бура, так как можно изменять скорость опускания и подъема шпинделя с буром.

#### Технические характеристики

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| Привод . . . . .                                     | от вала отбора мощности трактора |
| Максимальная глубина бурения, мм . . . . .           | 1500                             |
| Диаметр лунки, мм . . . . .                          | 350                              |
| Частота вращения бура, об/мин . . . . .              | 272                              |
| Подача бура . . . . .                                | гидравлическая                   |
| Тяговый орган . . . . .                              | турочки                          |
| Скорость тяги, м/мин . . . . .                       | 15                               |
| Масса трактора, буровой части, лебедки, кг . . . . . | 5000                             |

У льдобурильного агрегата ИЛБ-2 буровая часть выполнена в виде навесного механизма, расположенного в задней части трактора (рис. 1.72). Привод осуществлен от вала отбора мощности. Буровая часть закреплена на тракторе на специальных кронштей-

пах. От вала отбора мощности через систему передач осуществлен привод к лебедке, размещенной впереди трактора. Лебедка представляет собой две горизонтальные турачки, размещенные на

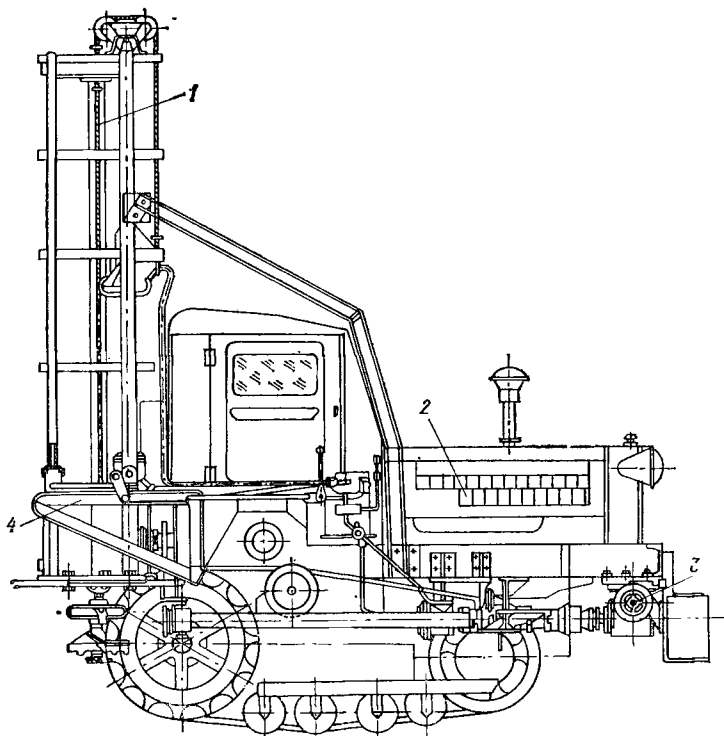


Рис. 1.72. Схема тракторного льдобурильного агрегата ИЛБ [150].

1 — буровая часть; 2 — трактор; 3 — лебедки; 4 — кронштейны.

грузовом валу. Управление буровой частью и лебедкой осуществляется трактористом из кабины трактора.

Автоматическое устройство допускает регулировку глубины бурения от 1000 до 1500 мм.

При бурении лунки агрегат обслуживает один человек — тракторист. Средняя продолжительность бурения при толщине льда 900—1000 мм в снежном покрове толщиной до 270 мм при проходе бура через всю толщу льда равна 15 с; средняя продолжительность подъема бура из лунки составляет 20—25 с, средняя суммарная продолжительность бурения одной лунки с учетом вспомогательных операций и перехода трактора от одной лунки к другой на

расстояние 20 м — 60 с. Продолжительность бурения одной лунки с помощью льдобурильного агрегата в 10—15 раз меньше, чем при ручном труде.

Наряду со значительными достоинствами тракторных льдобурильных агрегатов ИЛБ-2 они имели и некоторые существенные недостатки. Центр тяжести агрегата слишком высоко расположен, вследствие чего ухудшается устойчивость агрегата и создаются

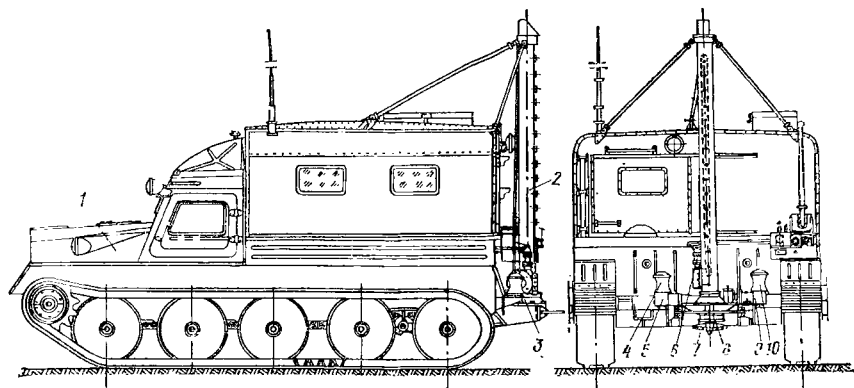


Рис. 1.73. Самоходный льдобурильный агрегат ПРАГ-ГПИ-56 [147].

1 — транспортер; 2 — колонка; 3 — буровая головка; 4 и 10 — турочки; 5 и 9 — редукторы; 6 — механизм подачи и подъема бура с гидродвигателем; 7 — бур; 8 — шпиндель.

серьезные затруднения при движении его по пересеченной местности. Рама агрегата и подвижная каретка не обладают достаточной жесткостью, вследствие чего были случаи их деформации.

**Самоходный льдобурильный агрегат ПРАГ-ГПИ-56 (рис. 1.73).** Агрегат разработан на базе гусеничного транспортера ГАЗ-47, представляющего собой машину высокой проходимости, предназначенную для перевозки людей и грузов в условиях бездорожья северных районов страны. Мощность двигателя 54,5 кВт при частоте вращения коленчатого вала 3000 в минуту.

Агрегат состоит из транспортера, бурового устройства и лебедки. Транспортер имеет длину 5200 мм, ширину 2435 мм, массу 3650 кг. Расход горючего 45—100 л на 100 км пути в зависимости от дорожных условий. Вместимость бензобака 250 л.

Буровое устройство размещено в задней части машины и состоит из системы привода от двигателя транспортера, буровой головки, колонки, шпинделя, бура, механизма подачи и подъема бура с гидродвигателем. Между буром и буровой головкой размещен раздвижной шнек для вывода стружки из лунки. Конст-



рукция бурового устройства такова, что позволяет производить бурение льда буром диаметром до 350 мм. Общая глубина бурения, включая снежный покров, 2 м. Частота вращения бура 160—490 об/мин, подачи бура 0—2 м/мин.

Сравним скорости резания льда в различных конструкциях льдобурильных агрегатов.

Несамоходный льдобурильный агрегат Ферштута—Пащенко ( $D=350$  мм;  $n=1100$  об/мин):

$$v = \pi D n / 1000 = (3,14 \cdot 350 \cdot 1100) / 1000 = 1,2 \text{ м/мин.}$$

Несамоходный льдобурильный агрегат модели 26 Выборгского завода ( $D=320$ ,  $n_1=170$  об/мин,  $n_2=345$  об/мин):

$$v_1 = 0,17 \text{ м/мин; } v_2 = 0,34 \text{ м/мин.}$$

Самоходный льдобурильный агрегат ИЛБ-2 ( $D=350$  мм,  $n=272$  об/мин):

$$v = 0,3 \text{ м/мин.}$$

У ледобура ОЛБ-42 скорости резания льда при различных скоростях вращения бура будут 0,191; 0,32; 0,52 м/мин.

Чем подача меньше, тем мельче стружка, и наоборот. При бурении льда агрегатом Ферштута—Пащенко стружка имеет вид снежной пыли, а при бурении агрегатом ИЛБ-2 она имеет вид крошки размером с лесной орех. Можно принять, что затрата энергии на разрушение льда пропорциональна объему разрушаемого льда и зависит от того, какого размера стружка получается в результате бурения. Если это правомерно, то более выгодно бурить лед при больших подачах (крупная стружка), так как в этом случае при разрушении лед не доводится до состояния мелкой снежной пыли.

При бурении разными льдобурильными агрегатами площадь сечения стружки колеблется в очень широком диапазоне. Так, при бурении льдобурильным агрегатом модели 26 при  $S=3$  мм/об,  $D=320$  мм.

$$f = S D / 2 = 3 \cdot 220 / 2 = 480 \text{ мм}^2.$$

При бурении ледобуром модели ОЛБ-42 при  $S=6$  мм/об,  $f=960$  мм<sup>2</sup>, а при бурении ледобуром ИЛБ-2 при  $S=30-35$  мм/об,  $D=350$  мм,  $f=5250$  мм<sup>2</sup>.

При сверлении вязких металлов образуется сливная стружка в виде спирали, а при сверлении хрупких металлов образуется несливная стружка — стружка надлома. Последний тип стружки характерен и для процесса бурения льда.

Некоторые сведения о производительности механического вращательного бурения приводятся в табл. 1.4.

Производительность механического вращательного бурения льда

| Конструкция бура  | Глубина бурения, м | Диаметр скважины, см | Диаметр керна, см | Скорость бурения, м/мин | Затрачиваемая мощность, кВт | Источник сведений |
|---|--------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Ледобур Томского рыбтреста  | 0,9                | 32                   | —                 | 0,6                     | 2,6                         | [145]             |
| Льдобурильный агрегат конструкции Ферштута—Пашенко                                    | 0,4                | 30—35                | —                 | 0,3—0,6                 | 4,4                         | [147]             |
| Льдобурильный агрегат ЛБ-1  | 0,6                | 35                   | —                 | —                       | 4,4                         | [53]              |
| Ледобур конструкции Шляева  | 1,4—1,5            | 40                   | —                 | 1,5—3,0                 | —                           | [147]             |
| Несамостоятельный льдобурильный агрегат модели 26 конструкции Пшеничникова и Морозова | 1,25               | 32                   | —                 | 0,5                     | 3,3                         | [53]              |
| Облегченный ледобур ОЛБ-42  | 0,6—0,8            | 35                   | —                 | 0,2—0,5                 | 3,7                         | [48, 148]         |
| Тракторный льдобурильный агрегат ИЛБ-1, ИЛБ-2   | 1,0                | 35                   | —                 | 0,4                     | 13,0; 29,0                  | [150, 151]        |
| Самостоятельный льдобурильный агрегат ПРАГ-ГПИ-56                                     | 2,0                | —                    | —                 | —                       | 54,0                        | [143]             |
| Спиральный бур  | 1,0                | 38                   | —                 | 96—234                  | —                           | [194]             |
| Колоиковый бур  | —                  | 11                   | —                 | 90—168                  | —                           | [194]             |
| Трехшарошечное долото ВМС США   | —                  | 25                   | —                 | 180                     | —                           | [194]             |
| Электрошланговый колоиковый бур   | —                  | 15,6                 | —                 | 24                      | —                           | [243]             |
| Исландский колоиковый бур   | 415                | —                    | 90                | —                       | 3,5                         | [243]             |
| Электромеханический бур   | 100                | 14                   | 10                | 100                     | —                           | [243]             |

#### 1.4. Гидроструйные средства

Экспериментально было установлено, что высоконапорные непрерывные водяные струи могут быть успешно применены для разрушения льда. Этот метод особенно эффективен при резке ледяных покровов толщиной 0,5—0,6 м, причем эффективность резки существенно возрастает, если ледяная пластина находится не на плаву, а лежит на твердой основе.

Для резки льда динамическое удельное давление водяной струи должно несколько превышать предел прочности льда на сжатие, т. е. при коэффициенте разрушения льда 0,5 оно должно быть не менее 2,5 МПа. Для сохранения такого давления на расстоянии от обреза сопла до дна прорези в реальных условиях необходим насосный агрегат, создающий давление 30—40 МПа [187].

Скорость резания толстых, особенно торосистых, льдов струями значительно снижается, а энергетические затраты возрастают [182]. В 1971 г. предложена установка для разрушения ледяного покрова акваторий (а. с. 442.108 СССР), а в 1976 г. — устройство для очистки акваторий от битого льда (а. с. 719.914 СССР). Установка содержит гидроструйное устройство в виде эжектора, снабженного внутренним соосным пневмодосылателем с соплом, внутри которого смонтирован возвратно-поступательный поршень с зарядом взрывчатого вещества. Устройство для очистки от битого льда выполнено в виде понтона, содержащего струеобразный аппарат с соплом.

За рубежом в последнее десятилетие интерес к этому способу не угас. На факультете инженерной механики Университета штата Альберта (Эдмонтон, Канада) выполнялась тема: «Определение темпа гидродинамического резания льда и мерзлого гравия» [214]. В армейской научно-исследовательской лаборатории полярных районов США (CRREL) выполнялась ОКР по разработке машины для высоконапорного струйного резания льда на стенках и воротах речных шлюзов. Машина была создана на базе самоходного трейлера с насосом высокого давления, перекачивающим 75 л воды в минуту и под давлением 390—590 МПа направляющим ее через специальную форсунку струей на обледеневшие участки шлюзовых камер [203]. Под руководством CRREL лабораторные исследования струйного резания ледяных блоков проводились в Университете штата Миссури (г. Ролла) и в Лаборатории газодинамики Национального совета научных исследований (Канада). Полевые испытания на льду озера в штате Мичиган выполнял по контракту с CRREL Иллинойский институт технологических исследований. Испытания показали, что хотя струйная техника и может обеспе-

чить нужную производительность резания, затраты энергии при этом выходят за рамки экономической целесообразности и в 3—4 раза превышают мощность, потребляемую механическими дисковыми пилами.

В патентной литературе содержится немало предложений по использованию гидравлических струй для разрушения льда.

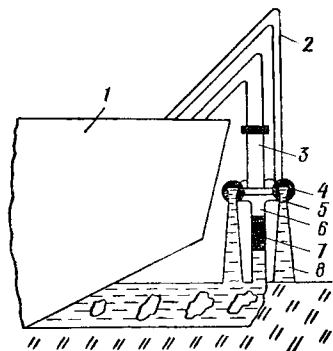


Рис. 1.74. Гидроструйный ледорез [85].

1 — носовая часть судна; 2, 3 — трубопроводы низкого и высокого давления; 4 — торообразная емкость; 5 — насадки; 6 — сопло; 7 — высоконапорные струи; 8 — водяная противообледенительная завеса.

*Гидроледорез (пат. 3.977.345 США) (рис. 1.74).* В носу судна закреплен трубопровод высокого давления, заканчивающийся соплом. Вокруг сопла размещается торообразная емкость с отверстиями или насадками, соединенная с трубопроводом низкого давления. При работе гидроледореза струи образуют водяную пыль, которая приводит к обледенению корпуса судна. Для предотвращения этого подают воду в торообразную емкость и создают водяную завесу, предотвращающую распространение водяной пыли.

Несмотря на поток заявок — реактивные сопла, прорезающие плавучий лед высоконапорными струями снизу (пат. 3.877.407 США), гидромониторное сопло с пневматическим подъемным устройством (пат. 3.938.600 США), гидравлический ледорез (пат. 3.977.345 США) — допустимые энергетические затраты свели применимость струйного метода лишь к таким областям ледотехники, как резание льда на плоскостях взлетно-посадочных полос и шлюзов, а также при укладке труб во льдах и вечной мерзлоте [230].

Гидроимпульсное разрушение горных пород широко применяется при разработке полезных ископаемых [115]. Разрушение льда с помощью импульсных струй гидромонитора (а. с. 203494 СССР) изучалось в гидравлической лаборатории ЛИВТ и в ледоисследовательской лаборатории ААНИИ.

*Импульсный водомет ИВ-5 конструкции СО АН СССР.* С расстояния 4,5 м одним выстрелом разбивал на мелкие куски глыбы размером  $0,5 \times 0,6 \times 0,7$  м, расходуя лишь 1 л воды.

На Обском водохранилище за 70 выстрелов был сделан проход в ледяном блоке размером  $6,5 \times 2,6 \times 0,8$  м. Производительность разрушения льда при скорострельности 30 выстрелов в минуту была  $347 \text{ м}^3/\text{ч}$ , а себестоимость около 6 коп. за  $1 \text{ м}^3$ . Часовая производительность разрушения плавучего льда водометом ИВ-9 была уже  $6720 \text{ м}^3$  по объему и  $10920 \text{ м}^2$  по площади при себестоимости около 0,01 коп. на  $1 \text{ м}^3$  за счет увеличения диаметра сопла до 30 мм [183].

Таблица 1.5

### Эффективность разрушения льда импульсным водометом ИВ-9

| Площадь льдины, $\text{м}^2$ | Средняя толщина льда, м | Объем льдины, $\text{м}^3$ | Число выстрелов, разрушающих льдину | Площадь льда, разрушаемого за выстрел, $\text{м}^2$ | Объем льда, разрушаемого за выстрел, $\text{м}^3$ |
|------------------------------|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---|---|
| 70                           | 0,5                     | 35                         | 7                                   | 5,0   | 10  |
| 50                           | 0,8                     | 40                         | 6                                   | 6,6   | 8,3   |
| 35                           | 0,6                     | 41                         | 4                                   | 5,3   | 8,9   |

Некоторые сведения об эффективности импульсного разрушения льда приводятся в табл. 1.5.

Энергетические затраты невелики и составляют  $0,2\text{—}0,3 \text{ кВт/ч}$  на  $1 \text{ м}^3$  льда на грунте и  $0,01\text{—}0,15 \text{ кВт/ч}$  на  $1 \text{ м}^3$  льда на плаву [183].

Импульсный водомет перспективен для разрушения гололеда. Опыты американских исследователей, в частности, показали, что при малых углах атаки вода даже при давлении в 140 000 кПа не разрушает дорожного полотна, в то же время сбрасывая с него лед [73].

В гидравлической лаборатории ЛИИЖТа был изготовлен опытный образец электрогидравлического водомета с давлением выбрасываемой струи 3000 МПа [161]. На рис. 1.75 и 1.76 представлены схемы установки водометов на судах.

Для надводного разрушения льда водометы по три штуки на каждом борту монтируются в носовой части судна; один из них — резервный, включаемый в работу по мере необходимости. В вертикальной плоскости водометы устанавливаются под различными углами наклона. Изменение угла и энергии выстрела производится автоматически в зависимости от толщины льда (рис. 1.75).

Для подводного разрушения льда на каждом борту в носовой части судна монтируется по одному электрогидравлическому во-

домету в дополнение к водометам, установленным для надводного разрушения (рис. 1.76). По мере разрушения электроводомет подводится к подводной поверхности льдины с помощью шарнира

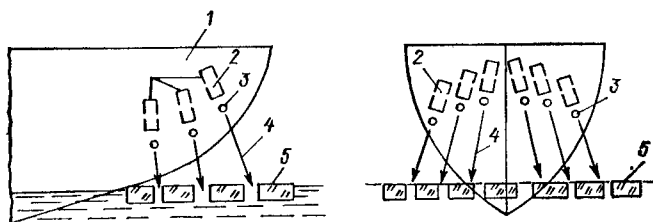


Рис. 1.75. Схема установки водометов в носовой части судна для разрушения надводного льда [161].

1 — носовая часть судна; 2 — место установки импульсных водометов; 3 — отверстия в судне для струй; 4 — гидравлические импульсные струи; 5 — поверхностный лед.

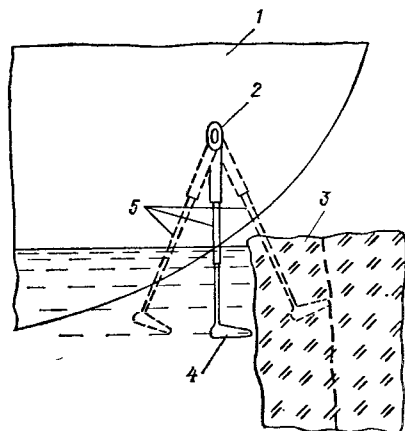


Рис. 1.76. Схема установки водомета для разрушения подводного льда [161].

1 — носовая часть судна; 2 — люк в судне для выпуска водомета со штангой; 3 — толстый лед; 4 — электрогидравлический водомет; 5 — штанга для поддержания водомета.

и специального устройства, находящегося в самом судне. Вертикальное перемещение осуществляется выдвиганием телескопической штанги, на которой укреплен водомет.

В США была испытана ледокольная приставка с импульсной гидроподушкой. Устройство представляет собой несамоходную толкаемую баржу, на которой установлена мощная импульсная гидропушка и механизмы для удаления льда. По мере продвижения баржи вперед разрушенный импульсными струями лед поднимается по наклонной направляющей и подхватывается продольными транспортерами. Транспортеры перемещают обломки в верхние части

удлиненных скатов, откуда под действием собственной массы он сползает за кромки канала. Для беспрепятственного движения льда перед скатами установлены конические и цилиндрические ролики [80].

### 1.5. Взрывные средства

Взрывом называется процесс весьма быстрого физического или химического превращения системы, сопровождающийся переходом ее потенциальной энергии в механическую работу. Работа, совершаемая при взрыве, обусловлена быстрым расширением газов или паров, независимо от того, существовали они до или образовались во время взрыва. Самым существенным признаком взрыва является резкий скачок давления в среде, окружающей место взрыва. Это служит непосредственной причиной разрушительного действия взрыва.

При выходе детонационной волны на поверхность заряда взрывчатого вещества (ВВ) давление на фронте этой волны начинает преобразовываться в интенсивную волну давления и в расходящееся движение окружающей среды (льда или воды вместе со льдом). Давление, вызванное расширяющимися газовыми продуктами взрыва, при этом быстро падает. Для бризантных ВВ (например, тола) график изменения давления имеет вид резкого взрыва, а затем постепенного затухания по закону, близкому к экспоненциальному. Затухание длится несколько миллисекунд.

Возмущение от взрыва распространяется в среде по радиусам в виде волны сжатия. В ближней зоне эта волна имеет крутой фронт, большую амплитуду; здесь она называется ударной волной. Несколько особенностей отличают ударную волну от упругих волн малой амплитуды: 1) скорость ее распространения вблизи заряда, например, в воде, в несколько раз превышает предельную скорость упругих волн в этой среде; по мере продвижения скорость ударной волны весьма быстро падает до скорости звука; 2) амплитуда давления в сферической ударной волне в зависимости от расстояния уменьшается быстрее, чем в волнах малой амплитуды; 3) профиль волны по мере ее распространения постепенно расширяется. Особенно это заметно в области высоких давлений, т. е. вблизи взрыва.

Если к настоящему времени имеются многочисленные экспериментальные сведения о поведении твердых тел, в том числе и льда, при сравнительно небольших динамических и статических нагрузках, то поведение твердых тел, особенно льда, при больших нагрузках, возникающих при взрывах, изучено еще недостаточно. В отличие от жидкости, которая после снятия любой практически

достижимой нагрузки, возвращается в исходное состояние, лед обладает так называемой остаточной деформацией; кроме того, сама кристаллическая структура его при больших давлениях может изменяться или даже исчезнуть. В условиях распространения сильных волн напряжений нагрузки (прямая волна) и разгрузки (волна при отражении) лед находится в пластическом состоянии, необходимо учитывать его сжимаемость.

В течение последних примерно 20 лет был выполнен ряд работ теоретического и в основном экспериментального характера, посвященных вопросам разрушения плавающего ледяного покрова взрывом [77, 110—113, 232, 239]; для производства подводных взрывов разработаны специальные заряды большой фугасности (аммониты, пластиты, аммотолы). Особенности процесса деформирования льда в ближней зоне от взрыва зарядов ВВ авторами работы [18] изучались с помощью импульсной рентгено съемки. Это дает возможность оценить роль внутреннего трения в процессе разрушения и выработать некоторые конкретные рекомендации для инженерных расчетов разрушения ледяного покрова взрывом.

Экспериментальные исследования позволили установить оптимальные глубины погружения зарядов, дающие наибольший эффект. При решении локальных задач (образование каналов в ледовых перемычках, создание майн в ледяном покрове) требуется небольшое количество энергии, пропорциональное объему и массе разрушаемого льда. При подводном направленном взрыве вблизи нижней поверхности ледяного покрова ударная волна вследствие хорошего акустического контакта воды и льда почти без ослабления дойдет до границы лед—воздух и, отразившись от нее, вызовет более интенсивное разрушение, чем в случае взрыва накладного заряда или заряда, предварительно внедренного в ледяной покров. Во втором случае значительная часть энергии ударной волны, не встретив на границе лед—вода существенной разницы в плотности сред, уйдет на бесконечность (при достаточной толщине водного слоя, конечно) [17].

Метод направленного взрыва применялся С. Е. Николаевым при пробивке канала в припайном льду Антарктиды [110—113]. При направленном взрывании основной выброс льда происходит по линии наименьшего сопротивления. Эффект разрушения в этом случае в 1,5 раза больше, чем при сосредоточенном взрыве. Применяется сдвоенный заряд: первым взрывается основной, через 0,025 с — вспомогательный (рис. 1.77). Газовый пузырь основного заряда, расширяясь и поднимаясь к поверхности льда, от взрыва вспомогательного заряда как бы сплющивается и увеличивается в диаметре, обтекая газовую сферу вспомогательного заряда [113].



При строительстве взлетно-посадочных полос применялся метод шпурового взрывания бугристой поверхности льдов малыми зарядами и последующее выравнивание и укатывание поверхности тракторной гладилкой [112].

Направленные взрывы при разрушении морского ледяного покрова осуществляются следующим образом:

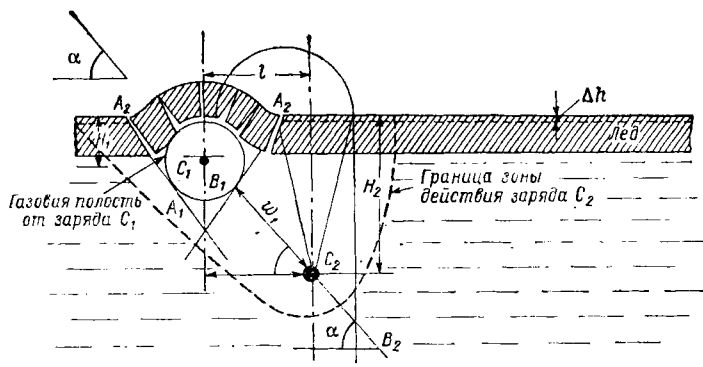


Рис. 1.77. Принципиальная схема направленного взрывания льда [113].

$C_2$ ,  $C_1$  — основной и вспомогательный заряды;  $H_2$ ,  $H_1$  — глубина погружения основного и вспомогательного заряда;  $\omega_1$  — расстояние по нормали от основного заряда до границы полости, образованной вспомогательным зарядом;  $A_1$ — $A_2$  — касательная к газовой полости вспомогательного заряда в месте соприкосновения с нормалью;  $B_1$ — $B_2$  — нормали к границе полости, образованной взрывом вспомогательного заряда;  $l$  — расстояние по горизонтали между основным и вспомогательными зарядами.

После приготовления зарядов в них вставляются электродетонаторы, а монтаж электровзрывной сети производится с учетом замедления взрывания основного заряда.

Основной и вспомогательный заряды опускаются через приготовленные отверстия под лед и располагаются там на определенном расстоянии друг от друга по горизонтали; вспомогательный заряд обычно находится в воде непосредственно у нижней кромки льда, а основной погружается на глубину, определяемую расчетами.

После подсоединения сети зарядов к общей электрической магистрали включается ток. Первым мгновенно детонирует вспомогательный заряд. В результате действия ударной волны и давления газов в течение 0,025 с происходит сжатие воды, развитие и расширение во льду трещин, смещение воды и льда. Последнее сопровождается незначительным вспучиванием ледяной поверхно-

сти в месте заложения вспомогательного заряда. За это время газовая полость, образованная взрывом вспомогательного заряда, достигает максимальных размеров, а давление в ней снижается до атмосферного. Прорыва газов из воды в воздух через лед еще не происходит.

Примерно через 0,025 с происходит взрыв основного заряда. Давление газов в начальный момент передается окружающей жидкости, но не одинаково по всем направлениям. Основное давление газов и сжатой взрывом воды устремляется в сторону газовой сферы, образованной взрывом вспомогательного заряда. Некоторая часть энергии взрыва идет на дробление и выброс льда, находящегося непосредственно над основным зарядом. Действие взрыва в воде, а тем более направленного, в большой степени зависит от глубины, на которую опущен основной заряд. Ударной волной зарядов (вспомогательного и основного) лед дробится и отрывается от массива.

В результате работы газов основного заряда раздробленный лед выбрасывается вместе с водой под некоторым углом на значительное расстояние от места залегания зарядов. Около 60 % выброшенного льда ложится по направлению метания, приблизительно по 15 % выбрасывается по обе боковые стороны и только около 10 % — в тыльную от направления взрыва сторону.

При направленном взрыве зона разрушения имеет вид эллипса, в то время как при точечном (сосредоточенном) и заглушающем зарядах она круглая.

От краев зоны сплошного разрушения во льду во все стороны проходят радиальные и кольцевые трещины. Приблизительно в 5—7 м от кромки эти трещины сквозные шириной до 5—10 см, далее ширина трещин уменьшается до волосяных.

Результаты опытов по разрушению антарктического морского льда направленным взрывом приведены в табл. 1.6. Данные экспериментов показывают, что зоны сплошного разрушения при направленном взрывании льда почти во всех случаях превышают такие же зоны, получаемые при разрушении льда одинаковыми по массе сосредоточенными зарядами.

Направленное взрывание при оптимальных параметрах дает площадь зоны сплошного разрушения льда одинаковой толщины на 50—70 % больше, чем от взрыва сосредоточенного заряда. При этом выброс льда при взрыве сосредоточенного заряда составляет менее 5 %, в то время как при направленном взрыве достигает 50 %.

Несмотря на направленное взрывание, полностью чистой от льда майны не получается. Максимум выброса льда не превышает 50 %.

Таблица 1.6

Результаты опытов по разрушению антарктического морского льда толщиной 1,1 м направленным взрывом [113]

| Масса заряда, кг        |                                | Глубина погружения заряда, м |                                | Расстояние между зарядами по горизонтали, м | Время замедления, с | Угол направления выброса, ° | Диаметр зоны сплошного разрушения, м | Площадь зоны разрушения, м² | Чистота майны, % |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|---|---------------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|------------------|
| основной С <sub>1</sub> | вспомогательный С <sub>1</sub> | основной Н <sub>2</sub>      | вспомогательный Н <sub>1</sub> |   |                     |                             |                                      |                             |                  |
| 25,2                    | 3,6                            | 3,0                          | 1,4                            | 2,4   | 0,025               | 33                          | 16,1 × 14,7                          | 185,4                       | 30               |
| 25,2                    | 3,6                            | 2,8                          | 1,2                            | 2,2   | 0,025               | 36                          | 16,2 × 14,6                          | 185,6                       | 35               |
| 25,2                    | 3,6                            | 2,8                          | 1,2                            | 2,0   | 0,025               | 38                          | 16,9 × 15,2                          | 202,8                       | 40               |
| 25,2                    | 3,6                            | 3,2                          | 1,4                            | 2,0   | 0,025               | 42                          | 17,9 × 15,7                          | 220,4                       | 45               |
| 25,2                    | 3,2                            | 3,2                          | 1,2                            | 2,0   | 0,025               | 45                          | 18,8 × 17,3                          | 256,8                       | 50               |
| 25,2                    | 4,8                            | 3,4                          | 1,4                            | 1,8   | 0,025               | 49                          | 16,9 × 13,2                          | 176,2                       | 30               |
| 25,2                    | 4,8                            | 3,4                          | 1,4                            | 1,5   | 0,025               | 53                          | 14,6 × 13,1                          | 149,0                       | 20               |

Выбросу во многом препятствуют силы сцепления льда с водой, вязкость, несжимаемость и силы внутреннего трения воды.

Большое значение имеет тип применяемого взрывчатого вещества (ВВ). Различают две основные формы внешней работы взрыва — бризантную и фугасную.

Бризантное действие вызывает дробление, деформацию льда. Это действие обусловлено ударом продуктов детонации (ударной волной), находящихся под очень высоким давлением.

Фугасное действие проявляется в форме раскалывания и отбрасывания льда. Фугасное действие обусловлено расширением продуктов детонации при сравнительно невысоком давлении. Способность продуктов детонации (газов) производить при их расширении работу называют работоспособностью, или фугасностью.

Обладая высокой скоростью детонации (6800 м/с) и относительно большой плотностью (1600 кг/м<sup>3</sup>), тротил оказывает на лед в основном ударное действие, которое необходимо при дроблении льда и в меньшей степени при выбросе. Поэтому применение тротила при взрывании льда мало пригодно для этих целей.

Для получения чистой майны при направленном разрушении льда лучше всего применять ВВ с большой фугасностью. Такие, как алюмиты, пластиты, аммотолы и другие или же увеличивать основной заряд в 1,5 раза.

Замедление взрыва основного заряда на 0,025 и 0,050 с осуществлялось при помощи короткозамедленных электродетонаторов ЭДКЗ № 1 и 2.

Другие интервалы времени можно получить с помощью тэнового дестилирующего шнура и ЭДКЗ № 1 и 2, соединенных в различных комбинациях (табл. 1.7).

Как видно из табл. 1.7, при вспомогательном заряде в 4,8 кг (при всех других равных условиях) оптимальное время замедления взрыва основного заряда массой 25,2 кг равно 0,025 с. При таком времени замедления получается наибольшая зона сплошного

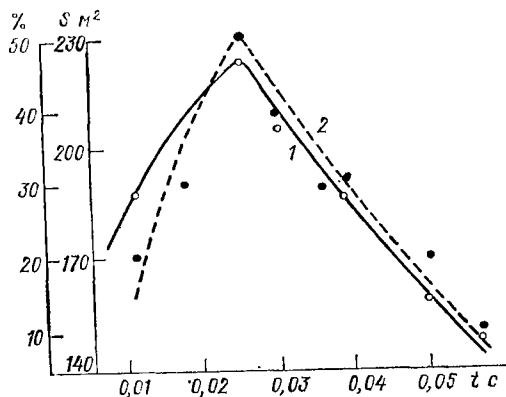


Рис. 1.78. Зависимость площади разрушения (1) и выброса льда (2) от времени замедления взрыва основного заряда [113].

разрушения и максимальный выброс льда. При увеличении или уменьшении времени замедления эффект от взрыва получается значительно меньшим (рис. 1.78).

Большую роль при направленном разрушении льда играет угол выброса, т. е. угол направленности взрыва  $\alpha$ . Если угол меньше оптимального, то энергия взрыва может оказаться недостаточной, чтобы отбросить лед на определенное расстояние. Если угол выброса  $\alpha$  больше оптимального, то направленный взрыв по своему характеру становится все более похожим на взрыв простого сдвоенного заряда.

Из табл. 1.6 видно, что максимальная зона разрушения и наибольший выброс льда получаются, когда угол направленности взрыва равен  $45^\circ$ . При этом угле направленности взрыва площадь зоны сплошного разрушения льда максимальна и выброс равен 50 %. Оптимальный угол направленности взрыва при разрушении льда составляет  $45^\circ$ , т. е. когда расстояние между основным и вспомогательным зарядами по горизонту и по высоте равны. При этом угле направленности взрыва получается наибольший выброс льда.

При разрушении ледяного покрова направленным взрывом целесообразнее принимать массу вспомогательного заряда равным

Способы и средства замедления взрыва зарядов при разрушении морского льда [113]

| Интервал замедления взрыва основного заряда, с | Соединение вспомогательного и основного зарядов | Частота взрыва зарядов, с |          | Средства замедления взрыва |          | Примечание                     |
|--|---|---------------------------|----------|----------------------------|----------|--------------------------------|
|  |   | вспомогательный           | основной | вспомогательный            | основной |                                |
| 0,011  | Параллельное                                    | 0,014                     | 0,025    | 98 м ДШ                    | ЭДКЗ № 1 | Скорость детонации ДШ 7000 м/с |
| 0,018  | Параллельное                                    | 0,007                     | 0,025    | 49 м ДШ                    | ЭДКЗ № 1 |                                |
| 0,025  | Последовательное                                | Мгновенно                 | 0,025    | ЭД № 8А                    | ЭДКЗ № 1 |                                |
| 0,030  | Параллельное                                    | 0,020                     | 0,050    | 140 м ДШ                   | ЭДКЗ № 2 |                                |
| 0,039  | Параллельное                                    | 0,011                     | 0,050    | 77 м ДШ                    | ЭДКЗ № 2 |                                |
| 0,050  | Последовательное                                | Мгновенно                 | 0,050    | ЭД № 8А                    | ЭДКЗ № 2 |                                |
| 0,057  | Последовательное                                | Мгновенно                 | 0,057    | ЭД № 8А                    | ЭДКЗ № 2 |                                |
|  |   |                           |          |                            | 49 м ДШ  |                                |

Примечание. ДШ — детонирующий шнур; ЭД — электродетонатор; ЭДКЗ — электродетонатор короткозамедленный.

$1/6$  основного. Масса основного заряда целиком зависит от толщины разрушаемого льда и рассчитывается по формуле

$$C_2 = k \cdot H^3,$$

где  $C$  — масса заряда;  $H$  — толщина льда, м;  $k$  — коэффициент, зависящий от свойств ВВ и льда.

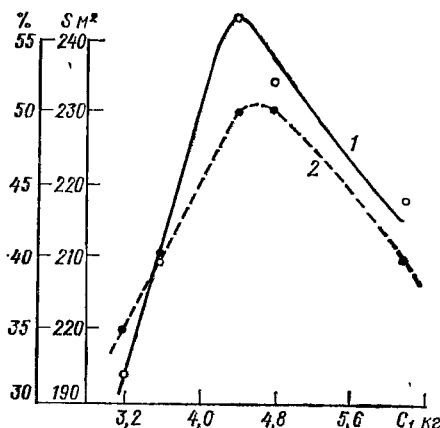


Рис. 1.79. Зависимость площади разрушения (1) и выброса льда (2) от массы вспомогательного заряда ( $C_1$ ) [113]. Масса основного заряда во всех случаях 25,2 кг.

На рис. 1.79 показаны зависимости площади разрушения и выброса льда от массы вспомогательного заряда.

Глубина погружения вспомогательного заряда в значительной степени зависит от его массы и принимается равной расстоянию от центра заряда до поверхности воды. При расчетах необходимо помнить, что максимальный радиус газовой полости, образованной взрывом вспомогательного заряда, должен быть меньше этого расстояния.

Оптимальная глубина погружения основного заряда зависит от его массы и берется из специальных справочников.

Линия наименьшего сопротивления направленного взрыва (при оптимальных параметрах) определяется из формулы

$$W_1 = l\sqrt{2} - R,$$

где  $l$  — расстояние между основным и вспомогательными зарядами по горизонту, м;  $R$  — максимальный радиус газового пузыря вспомогательного заряда, м.

Толщину ледяного покрова при расчетах следует принимать с учетом снежного покрова.

При плавании во льдах необходимость взрыва возникает, когда судно не может преодолеть тяжелой ледовой переемычки, отделяющей его от чистой воды. На рис. 1.80 представлена схема взрывных работ, целью которых было пробить ледовую переемычку и выйти на чистую воду. Небольшие заряды, заложенные в толщу льда непосредственно на участке длиной 80 м от носа судна, способствовали ослаблению участка до стадии, при которой ледокольный пароход сам мог форсировать льды. Далее, на участке длиной

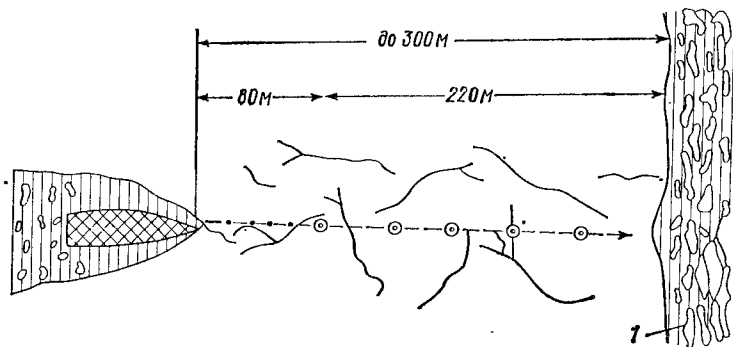


Рис. 1.80. Схема взрывных работ по разрушению ледовой переемычки [125].

1 — ропаки.

220 м было заложено пять подледных зарядов, позволивших разрушить переемычку [125].

На рис. 1.81 приведена схема разрушения тяжелых торосистых льдов мощностью до 3,2 м.

На рис. 1.82 показана схема производства взрывных работ при откалывании ледяного мыса, а рис. 1.83 — при разрушении ледяных мысов сошедших ледяных полей. Схема взрывных работ при защите судов и их выводе из зоны сжатия показана на рис. 1.84.

С правого борта мелкими зарядами раздробился лед, оказывавший давление на судно.

С левого борта усиленными зарядами взрывался сплошной ледяной покров и создавалась так называемая «ледяная подушка», обеспечивающая амортизацию и рассредоточивающая давление льда на корпус.

Как видно (рис. 1.84), потребовалось большое количество взрывов для создания канала по курсу судна, отмеченному на рисунке стрелкой. Взрывные работы в этом случае обеспечили возможность уменьшения сжатия за счет создания ледяной подушки.

На реках взрывные работы могут применяться:

— для проведения предупредительных мероприятий, обеспечивающих беззаторный пропуск льда на данном участке реки;

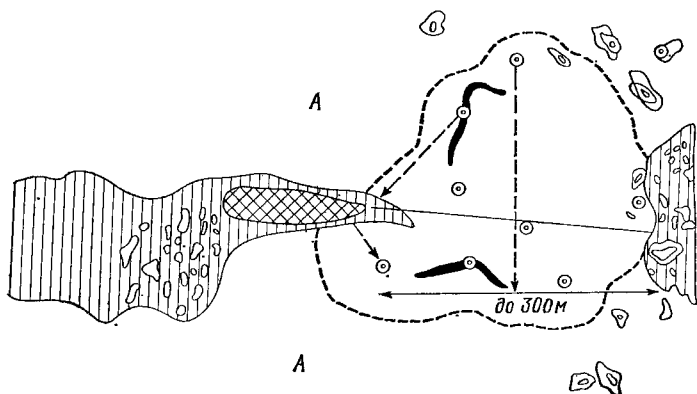


Рис. 1.81. Схема взрывных работ в тяжелых торосистых льдах [125].

А — ледяное поле.

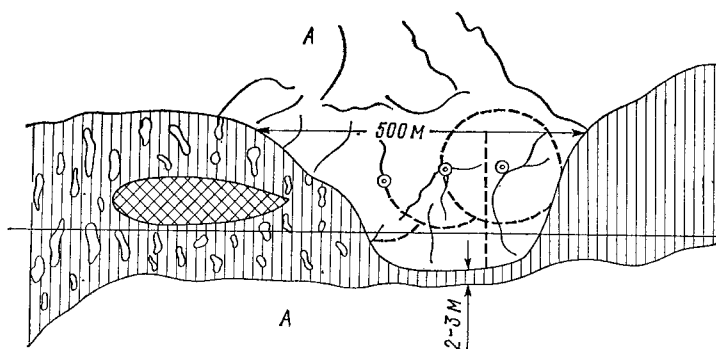


Рис. 1.82. Схема взрывных работ по скалыванию ледяного мыса, преграждавшего путь судну [125].

А — ледяное поле.

— для проведения предупредительных мероприятий по защите мостов и гидротехнических сооружений в период ледохода;

— для оперативной борьбы с заторами в момент их образования с целью немедленной ликвидации причин (больших полей, их первоначальных скоплений и т. п.);

- для ликвидации уже сформировавшихся заторов;





превысят убытки рыбного хозяйства, проведение таких работ может вестись по разрешению вышестоящих организаций.

Применение взрывных методов для разрушения речных затворов и зажоров льда изложено ниже в соответствии с Методикой [88].

Взрывные работы рекомендуется начинать с первыми признаками таяния снега и подъема воды. При расчете массы зарядов для рыхления льда в пойменных озерах и стоячих водоемах удельный расход ВВ принимается равным  $0,5 \text{ кг/м}^3$ .

В некоторых случаях при большой толщине ледяного покрова для защиты от ледохода сооружения образуют майны. Размеры майн зависят главным образом от ширины и толщины ледяного покрова, длины его подвижек, глубины береговых участков реки, сопротивляемости сооружения давлению льда.

Так, на средних реках длина майны ниже моста должна быть не менее ширины ледяного покрова, а выше моста — в 2 раза больше. На малых реках общая длина майн должна равняться ширине ледяного покрова. В особых случаях длину майны выше моста доводят до 500 м и больше. Ширину майн у мостов на малых реках принимают равной ширине ледяного покрова.

Учитывая трудоемкость работ по затоплению льда при отсутствии закраины или полыньи, майны обычно образуют за счет выброса льда на поверхность ледяного покрова, используя для этого массовые взрывы зарядов. Максимальный выброс льда достигается при однорядном расположении зарядов на расстоянии друг от друга на  $1,5\text{—}2,0$  м глубины опускания заряда и удельном расходе ВВ, равном  $0,9\text{—}1,5 \text{ кг/м}^3$ . Однако в этом случае ширина образуемой майны, как правило, не превышает 15 м.

Для получения более широких майн применяют 2—3-рядное расположение зарядов.

В первом случае заряды располагают друг против друга, во втором — заряды среднего ряда располагают в шахматном порядке по отношению к зарядам крайних рядов. При двухрядном взрывании льда применяют подводные заряды одинаковой массы. При трехрядном взрывании льда для получения более чистой майны массу подводных зарядов среднего ряда принимают в  $1,5\text{—}2$  раза больше массы зарядов крайних рядов. Все заряды взрываются одновременно.

При образовании более узких майн, а также при создании лунок и разбивке отдельных льдин применяют наружные и внутренние заряды.

С целью очищения от льда больших участков рек для предупреждения затворов взрывают заряды, опускаемые под лед. Взрывы ведутся против течения обычно сериями, с тем чтобы отколовшиеся льдинки свободно уносились вниз.

Масса подводного заряда определяется по формуле

$$Q = kH^3,$$

где  $Q$  — масса заряда, кг;  $k$  — удельный расход ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  $H$  — глубина опускания заряда в воду, м.

Удельный расход ВВ изменяется от 0,3 до 1,5 кг/м<sup>3</sup> и зависит от диаметра майны, необходимой степени дробления в майне и его разброса.

При  $k=0,3$  кг/м<sup>3</sup> майна не образуется, льдины раскалываются на отдельные куски. При  $k=0,5$  кг/м<sup>3</sup> образуется майна диаметром в 3,5 раза больше глубины опускания заряда в воду. При  $k=0,9$  кг/м<sup>3</sup> диаметр майны в 4 раза превышает глубину опускания. В этом случае майна довольно хорошо очищена от битого льда. Стоимость работ наименьшая при взрывании зарядов на глубине 1,5—3 м.

Глубина опускания заряда  $H$  увеличивается с увеличением толщины льда. Расстояние между зарядами зависит от диаметра образуемой майны, условий взрывания и характера выполняемой работы. Обычно расстояние колеблется от 5 до 15  $H$  (табл. 1.8).

При раскалывании льда или образовании майны непосредственно у объекта расстояние между зарядами принимают равным 5  $H$ , а при наличии закраин или полыней расстояние между зарядами может быть увеличено до 15  $H$ .

Таблица 1.8

Масса подводных зарядов и расстояние между ними при разрушении речного льда различной толщины [88]

| Толщина льда, м | Глубина погружения заряда, м | Расстояние между зарядами, м |        | Масса заряда, кг          |                           |
|-----------------|------------------------------|------------------------------|--------|---------------------------|---------------------------|
|                 |                              | 5 $H$                        | 15 $H$ | $k=0,5$ кг/м <sup>3</sup> | $k=0,9$ кг/м <sup>3</sup> |
| 0,3—0,4         | 1,4                          | 7,0                          | 21,0   | 1,4                       | 2,5                       |
| 0,5—0,6         | 1,6                          | 8,0                          | 24,0   | 2,0                       | 3,6                       |
| 0,7—0,8         | 1,9                          | 9,5                          | 28,5   | 3,4                       | 6,2                       |
| 0,9—1,0         | 2,3                          | 11,5                         | 34,5   | 6,1                       | 10,9                      |
| 1,1—1,2         | 2,7                          | 13,5                         | 40,5   | 8,8                       | 17,7                      |
| 1,3—1,5         | 3,3                          | 16,5                         | 49,5   | 18,0                      | 32,3                      |

Подводные заряды не рекомендуется опускать под лед через трещины, промоины и между стыками льдин, так как к ним опасно подходить. Чаще всего заряд опускают под лед на крепком шпегате, один конец которого привязывают к самому заряду, а дру-

гой — к перекладине, уложенной поперек луки. Заряд можно опустить на шесте. Для этого заряд привязывают к концу шеста; второй конец шеста прикрепляют к перекладине. При опускании заряда огнепроводный шнур в необходимых случаях выводится на поверхность. При этом шнур в нескольких местах привязывают к шпигату или шесту. Опускание зарядов на огнепроводном шнуре запрещается.

В целях оперативного вмешательства в процесс заторообразования взрывные работы желательно проводить в наиболее неблагоприятных, с точки зрения возникновения затора, местах выше по течению. К ним относятся:

- участок с большой толщиной льда. Лед следует подорвать у берега и несколько ниже этого участка;

- крутой поворот русла. Лед следует подорвать у берегов в пределах поворота;

- сужение русла. Лед следует подорвать вдоль берегов на участке сужения и в пределах последующего расширения;

- участок с чередованием перекал—плес. Лед следует подорвать у берегов на плесовом участке ниже перекала;

- остров. Лед следует подорвать у берегов и у верхнего и нижнего концов острова;

- песчаная коса. Лед следует подорвать у берегов в пределах косы, а также на самой косе.

Ледяные поля раскалывают взрывом как подводных, так и наружных зарядов. В начале ледохода, когда лед идет сплошной массой, к большим льдинам невозможно подплыть. В этом случае их раскалывают взрывами зарядов, бросаемых с берега из укрытия, с подвесных легких мостков, устраиваемых на стальных тросах между крутыми берегами, с вертолетов. Для защиты взрывников от разлета осколков льда у мест бросания зарядов устраивают прочные укрытия.

Масса бросаемого заряда не должна превышать 2 кг. С большим эффектом и меньшей опасностью для взрывников льдина может быть расколота взрывом подводного заряда при несплошном ледоходе. При этом заряды рекомендуется бросать в воду перед льдиной, чтобы взрыв произошел после наплывания средней части льдины на заряд. Если к льдине можно подплыть на лодке или подойти по льду с применением досок или прочных узких деревянных лестниц, ее можно взорвать опущенным под воду зарядом (табл. 1.9 и 1.10)

Для раскалывания взрывом льдины размером более 70—80 м масса подводных зарядов должна быть не менее 15—20 кг. Раскалывание льдин взрывами нескольких подводных зарядов допускается при достаточной их прочности.

Таблица 1.9

**Зависимость массы подводного заряда от поперечного размера раскалываемых льдин (при толщине около 60 см) [88]**

|  |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Поперечный размер<br>льдины, м . . . . .   | 10—15 | 16—20 | 21—30 | 31—40 | 41—50 | 51—70 |
| Масса подводного заря-<br>да, кг . . . . . | 0,5   | 1     | 2     | 4     | 6     | 12    |

Таблица 1.10

**Зависимость массы наружного заряда от толщины речного льда [88]**

|   |         |         |         |         |         |         |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Толщина льда, м                         | 0,2—0,3 | 0,4—0,5 | 0,6—0,7 | 0,8—0,9 | 1,0—1,2 | 1,3—1,5 |
| Масса наружного<br>заряда, кг . . . . . | 1,2     | 2,0     | 3,0     | 4,5     | 7,0     | 10,0    |

Заряды закладывают туда, где течение и ветер способствуют выносу взорванного льда. Затопор ликвидируют, дробя его постепенно в направлении, противоположном течению.

Часто на небольших реках лед забивает русло до дна и создает завалы до 3—4 м под уровнем воды. Такие затопоры ликвидируют сериями взрывов мощных зарядов, располагаемых посередине затопора вдоль по течению реки.

В случае устойчивости затопора последующие заряды закладываются на место взорванных с предварительной расчисткой от битого льда.

Для ускорения работ по ликвидации мощного затопора применяют заряды массой не менее 30—40 кг, которые опускаются в воду между льдинами на веревке с петлей.

Если на охраняемом участке реки затопор начал формироваться путем подныривания льдин или их торошения у кромки неподвижного ледяного покрова, то следует подорвать ледяной покров. На узких реках разрушать ледяной покров следует снизу вверх по течению, начиная от места, где образование затопора не нанесет ущерба.

Если затопор уже сформировался и остается на месте несмотря на то, что ледяной покров ниже затопора ликвидирован, следует подорвать лед на участке головной части затопора в нескольких местах вдоль берега или же по фарватеру реки.

В случае образования затопора распором на берега следует подорвать ледяные поля или лед у нижнего края затопора и, если после этого затопор останется на месте, следует произвести серию взрывов вдоль затопора. Подорывать лед по длине затопора, сформировавшегося на узкой реке, следует сверху вниз по течению, либо

одновременно по длине затора. Это способствует образованию в заторе канала, по которому вода устремляется с верхнего бьефа в нижний бьеф затора. В этом случае заторный уровень воды постепенно снижается, а затор размывается.

При протяженности затора свыше 15—20 км на узкой реке подрыв льда затора, как уже отмечалось, мало эффективен. Однако в некоторых случаях взрывы льда, сделанные одновременно по длине затора (либо сверху вниз по течению), могут принести пользу.

При формировании затора на широких реках путем подныривания льдин или их торошения у неподвижной кромки следует подрывать ледяной покров ниже затора в такой же последовательности, как и на узкой реке. Если он остается на месте после ликвидации ледяного покрова ниже затора и уплотняется, следует произвести серию взрывов вдоль берега, либо на середине реки в пределах нижней, наиболее уплотненной части затора. Взрывы желательно произвести одновременно. Если затор уже сформировался, то во многих случаях нет необходимости подрывать ледяной покров перед ним. Успешный подрыв нижней, наиболее уплотненной части затора приводит обычно к прорыву затора. Торосистые скопления льдин, двигаясь вниз по течению, взламывают ледяной покров в пределах однородного участка реки. У преграды, которая может служить причиной заторообразования, такое скопление льдин обычно останавливается и вновь образуется затор.

Взрывы льда следует производить в часы наибольшей солнечной радиации, т. е. с 12 до 15 ч по местному времени, так как при положительной температуре под воздействием радиации происходит таяние межкристаллических прослоек льда.

В начальный период формирования зажоров места, где возникает опасность их образования, сотрясают взрывами зарядов, бросаемых с берега, лодок, ледорезов и т. д. Такие взрывы обеспечивают безостановочный пропуск внутриводного льда, который часто задерживается у берегов. Эти места необходимо периодически осматривать для ликвидации заберегов и пропуска остановившегося внутриводного льда.

Зимой зажоры чаще формируются под ледяным покровом и ликвидировать их в момент формирования можно взрывами подледных зарядов, опускаемых через майны во льду. Заряды следует закладывать продольными рядами так, чтобы в результате сразу образовался проход для воды по всей длине зажора.

Необходимо своевременно ликвидировать зажоры, так как после формирования их очень трудно разрушить. Известны случаи расхода до 10 т и более ВВ на подрыв одного зажора, а некоторые из них практически не поддаются действию взрывов.

В настоящее время при проведении взрывных работ успешно применяются вертолеты, которые используются как для доставки команды и ВВ, так и для непосредственной ликвидации заторов. Взрывные работы с помощью вертолета МИ-4 проводятся с выходом взрывников из вертолета на лед и непосредственно с борта вертолета. При работе взрывников по дроблению льда вертолет находится в режиме зависания.

При первом способе возможна укладка и взрыв как одиночных, так и групповых зарядов. В этом случае взрывник выходит на лед, укладывает заряд или опускает его под лед, возвращается в вертолет, поджигает огнепроводный шнур и бросает его на лед, после чего вертолет перемещается к следующему заряду. Длина первого огнепроводного шнура при этом выбирается такой, чтобы время его горения обеспечивало возможность укладки и поджога нескольких зарядов и удаления вертолета на безопасное расстояние.

Время горения первого шнура контролируется по секундомеру и контрольной запальной трубкой.

Во втором случае после зависания вертолета над затором взрывник по команде опускает заряд с подсоединенным детонирующим шнуром на веревке на лед или воду между льдин. Уложив заряд, взрывник подсоединяет к концу детонирующего шнура зажигательную трубку, поджигает ее и опускает на лед.

Работы проводятся в строгом соответствии с «Техническими правилами ведения взрывных работ» и «Едиными правилами безопасности при ведении взрывных работ».

Основное преимущество заключается в возможности укладки заряда в любом месте. По сравнению с бомбометанием этот способ отличается значительно большей точностью раскладки зарядов и, следовательно, большей эффективностью взрывных работ. Бомбометание же как средство разрушения льда на больших площадях малоэффективно: увеличение мощности авиабомб незначительно увеличивает степень разрушения [59, 60].

Каналы во льду затора, образованные взрывами, и подрыв льда вдоль затора его разрушения являются эффективными мероприятиями [88].

За рубежом развивается теория и практика разрушения айсбергов с помощью бомбометания и взрывов [232], а также торпедами с термической головкой. Торпеда сбрасывается на поверхность айсберга с вертолета и, протавивая под собой лед, углубляется в айсберг под действием силы тяжести. Заряд из гексогена при взрыве обеспечивает наибольший эффект дробления айсберга [92].

С 1972 г. Арктическая нефтяная ассоциация США начала финансирование полевых исследований по разрушению ледяных островов взрывами. Полученные результаты изучались и затем были

использованы в Антарктике при обеспечении операций, проводимых ВМС США в 1975—1976 гг. По данным Меллора и Ковача наиболее эффективно разрушение плавучего ледяного покрова с помощью зарядов, непосредственно размещаемых под нижней поверхностью льда. Радиус воронки при этом в 8 раз превосходит толщину льда, а эффективность разрушения льда характеризовалась объемом раздробленного льда, отнесенного к единице массы заряда,  $7,8 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

При взрывании льда уступами эффективность составляет лишь  $2,2 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Метод направленного взрыва применяется для получения гладких поверхностей при резании ледяных островов и требует большого расхода взрывчатки при ее размещении по заданному контуру.

Стоимость разрушения взрывом небольшого айсберга или ледяного острова (объемом до  $100\,000 \text{ м}^3$ ) по зарубежным данным достигает 20 000 долл. [232].

При борьбе с обледенением подводных конструкций судов и гидротехнических сооружений, возможно использование малогабаритных кумулятивных зарядов из наиболее эффективных взрывчатых веществ.

Разрушение льда на наружной стороне заглушек забортных отверстий судов можно произвести дистанционно, взрывая удлиненные кумулятивные заряды, предварительно заложенные при герметизации забортных отверстий.

### Изобретения для механического разрушения льда \*

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации   | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|------------------|-------------------|
| 1     | СССР   | 17в, 1   | 134.275         | 04.03.60           | 1960, Б. И. № 24 | А. Ф. Николаев    |

**Устройство для проходки траншеи во льду.** Состоит из вертикально вращающейся трубы, на поверхности которой имеются реборды с закрепленными на них резцами. Внутри трубы установлен вращающийся шнек для выброса ледяной крошки. Для облегчения работы шнека на поверхности трубы устроены сквозные окна, через которые осыпается ледяная крошка.

|   |      |              |         |          |      |                                |
|---|------|--------------|---------|----------|------|--------------------------------|
| 2 | СССР | 17в,<br>4/01 | 138.627 | 09.12.60 | 1961 | А. Ф. Николаев, С. С. Соловьев |
|---|------|--------------|---------|----------|------|--------------------------------|

**Агрегат для прорезания каналов во льду.** Самоходная машина, снабженная приводным шнеком для снятия снега с поверхности льда и подвешенной сзади

\* Патентный поиск за период 1960—1980 гг. выполнен М. Н. Коровиной.



| № п/п | Страна | МКИ. НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

фрезой. Для снижения расхода энергии при прорезании канала фреза заключена в открытый снизу и со стороны ее режущей части кожух, снабженный сверху патрубком для подачи сжатого воздуха, служащего для удаления из фрезы в воду ледяной стружки

|   |      |              |         |          |                 |  |
|---|------|--------------|---------|----------|-----------------|--|
| 3 | СССР | 17в,<br>4/01 | 142.310 | 10.04.61 | 1961, Б.И. № 21 | А. Ф. Николаев, С. С. Соловьев, Э. Э. Рамс |
|---|------|--------------|---------|----------|-----------------|--|

Устройство для образования траншей во льду с полый трубчатой фрезой для прорезания льда. Для наибольшего эффекта при удалении стружки корпус устройства выполнен в виде цилиндрической части для размещения в ней приводного механизма с горловиной для забора воздуха и заслоном со стороны неработающей части фрезы, образующим совместно со стенками траншеи кольцевую полость для улавливания и перемещения стружки.

|   |      |           |         |          |                 |   |
|---|------|-----------|---------|----------|-----------------|---|
| 4 | СССР | 17в, 4/01 | 143.816 | 28.10.60 | 1962, Б.И. № 21 | А. Ф. Николаев, И. Ф. Федин, Д. Р. Бутаев |
|---|------|-----------|---------|----------|-----------------|---|

Устройство для образования щелей и траншей во льду с дисковой фрезой. Для увеличения производительности и уменьшения удельного расхода мощности фреза выполнена полый в виде двух закрепленных в ступице дисков и укрепленного на них обода с венцом зубчатого цилиндрического зацепления на внутренней стороне с двумя рядами резцов, установленных на наружной его стороне.

|   |      |                      |         |          |      |                                   |
|---|------|----------------------|---------|----------|------|-----------------------------------|
| 5 | СССР | 65а <sup>1</sup> , 3 | 147.468 | 22.02.60 | 1962 | И. С. Песчанский, З. И. Швайштейн |
|---|------|----------------------|---------|----------|------|-----------------------------------|

Ледорезное судно с устройством в носовой части для резки льда на полосы. Для подъема и выброса вырезанного льда на ледяное поле нос судна опущен ниже нижней поверхности ледяного покрова, верхняя плоскость носа наклонна, с подъемом в сторону судна. Для подъема кусков льда позади наклонной плоскости установлен цепной конвейер.

|   |      |                       |         |          |                  |                               |
|---|------|-----------------------|---------|----------|------------------|-------------------------------|
| 6 | СССР | 17в,<br>4/01;<br>F25c | 195.473 | 22.03.65 | 1967, Б. И. № 10 | А. Ф. Николаев, А. О. Ваганов |
|---|------|-----------------------|---------|----------|------------------|-------------------------------|

Устройство для прорезания щелей во льду водоемов. Состоит из самоходной тележки и приводного режущего органа (трубчатой фрезы со шнеком для отвода ледяной стружки). Для упрощения конструкции и облегчения устройства, привод тележки выполнен в виде двух цилиндров с зубчатыми рабочими поверхностями, один из которых укреплен на вертикальном валу, кинематически связанном с приводом режущего органа.

|   |      |                       |         |          |                  |                 |
|---|------|-----------------------|---------|----------|------------------|-----------------|
| 7 | СССР | 17в,<br>4/01;<br>F25c | 195.474 | 23.03.66 | 1967, Б. И. № 10 | Н. В. Черепанов |
|---|------|-----------------------|---------|----------|------------------|-----------------|

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

**Устройство для образования скважины во льду водоемов.** Выполнено в виде укрепленного на штанге держателя со съемным резцом. Для центрирования резца в скважине и для удобства пользования держатель выполнен спиралеобразным и снабжен приспособлением для регулирования толщины снимаемой стружки льда.

|   |      |                 |                      |          |                  |                      |
|---|------|-----------------|----------------------|----------|------------------|----------------------|
| 8 | СССР | F25с;<br>I7в, 4 | 217.408 <sup>+</sup> | 16.09.63 | 1968, Б. И. № 16 | А. Ф. Николаев и др. |
|---|------|-----------------|----------------------|----------|------------------|----------------------|

**Ледорезная машина.** Содержит фрезу, выполненную в виде вращающейся трубы с реверсивным транспортирующим шнеком внутри и с наружными резцами, расположенными по винтовой линии. Перед каждым резцом имеются сквозные отверстия. Это позволяет прорезать во льду сквозные и несквозные щели.

|   |      |                 |         |          |                  |           |
|---|------|-----------------|---------|----------|------------------|-----------|
| 9 | СССР | 65а, 3;<br>B63в | 217.222 | 24.04.65 | 1968, Б. И. № 15 | М. И. Кур |
|---|------|-----------------|---------|----------|------------------|-----------|

**Ледокольное судно с виброустановкой, сообщающей колебательное движение элементам корпуса судна.** Для повышения ледопроницаемости судна виброустановка выполнена в виде силового цилиндра со свободно движущейся массой, которая при возвратно-поступательном движении создает инерционные силы, возбуждающие колебательные движения судна и динамические удары, передающиеся через днище судна на ледовую крошку.

|    |      |        |         |          |                  |              |
|----|------|--------|---------|----------|------------------|--------------|
| 10 | СССР | 65а, 3 | 227.117 | 13.06.67 | 1968, Б. И. № 29 | Л. В. Иванов |
|----|------|--------|---------|----------|------------------|--------------|

**Устройство для удаления мелкобитого льда, накапливающегося под днищем судна при работе в ледовых условиях.** Выполнено в виде скребка. Для уменьшения затрат энергии при освобождении судна ото льда, скребок состоит из двух симметричных элементов, образующих между собой угол в плане с вершиной, обращенной навстречу движению судна и совпадающей с диаметральной плоскостью протаскиваемого над ним судна.

|    |      |          |         |          |                  |                    |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|--------------------|
| 11 | СССР | B63в, 35 | 285.523 | 15.09.69 | 1970, Б. И. № 33 | В. М. Иванов и др. |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|--------------------|

**Способ повышения чистоты канала за ледоколом, оборудованным движущимся комплексом — гребными винтами-насадками, путем удаления битого льда под сплошное поле.** Для упрощения процесса удаления льда насадки разворачивают на угол 12—15° во внешнюю сторону от диаметральной плоскости.

|    |      |          |         |          |                  |      |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|------|
| 12 | СССР | B63в, 35 | 285.524 | 23.01.68 | 1970, Б. И. № 33 | МИИТ |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|------|

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

**Способ образования майн в ледяном поле** путем разрезания ледяного покрова на карты и уборки их под лед. Используются две плавающие машины.

|    |      |                    |         |          |                  |                                |
|----|------|--------------------|---------|----------|------------------|--------------------------------|
| 13 | СССР | F25с, 5;<br>17в, 4 | 279.650 | 28.04.69 | 1970, Б. И. № 27 | А. Ф. Николаев, А. А. Николаев |
|----|------|--------------------|---------|----------|------------------|--------------------------------|

**Устройство для прорезания щелей во льду водоемов.** Выполнено в виде вертикальной цилиндрической фрезы с резцами и окнами, расположенными по винтовой линии. Внутри установлен шнек для перемещения ледяной стружки. Для более эффективного удаления стружки из внутренней полости фрезы снабжено трубой для подвода сжатого воздуха.

|    |      |                 |                      |          |                  |                        |
|----|------|-----------------|----------------------|----------|------------------|------------------------|
| 14 | СССР | B63в;<br>65а, 3 | 287.532 <sup>+</sup> | 07.08.65 | 1970, Б. И. № 35 | В. В. Расторгуев и др. |
|----|------|-----------------|----------------------|----------|------------------|------------------------|

**Толкаемая ледокольно-ледоочистительная приставка с вибрационным устройством.** На задней стенке приставки по диаметрали и на носу толкающего судна смонтирован шарнирно-скользящий замок, одна часть которого выполнена в виде поворачивающейся вокруг оси муфты, а другая часть — в виде сцепленного с муфтой вертикального рельса.

|    |      |          |                      |          |                  |              |
|----|------|----------|----------------------|----------|------------------|--------------|
| 15 | СССР | B63в, 35 | 310.837 <sup>+</sup> | 23.06.69 | 1971, Б. И. № 24 | Г. Я. Сербул |
|----|------|----------|----------------------|----------|------------------|--------------|

**Толкаемая ледокольная приставка.** Выполнена в виде понтона с санными образованиями носа и кормы. Для обеспечения эффективного разрушения льда понтон снабжен балластными емкостями. По днищу его у бортов установлены вертикальные полозья, а в диаметральной плоскости смонтирован резец в виде вертикально расположенной полосы.

|    |      |          |         |          |                  |                           |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|---------------------------|
| 16 | СССР | B33в, 35 | 315.341 | 14.08.68 | 1971, Б. И. № 28 | «Алексбау канада лимитед» |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|---------------------------|

**Носовая оконечность корпуса ледокола** с завалом форштевня в корму с отклоняющимися битый лед поверхностями бортов. Для снижения мощности, затрачиваемой на разрушение сплошного ледяного покрова, форштевень выполнен с режущей ледяной покров полосой, которая расположена в диаметральной плоскости корпуса ледокола. Режущая полоса наклонена к плоскости ватерлинии под углом 30°.

|    |      |                |         |          |                  |             |
|----|------|----------------|---------|----------|------------------|-------------|
| 17 | СССР | B64d;<br>15/06 | 213.588 | 19.04.65 | 1968, Б. И. № 10 | И. А. Левин |
|----|------|----------------|---------|----------|------------------|-------------|

**Способ удаления льда с поверхности обшивки,** например, летательного аппарата, заключающийся в создании упругих деформаций его обшивки возбуждением в ней по нормали к очищаемой поверхности механических колебаний импульсным силовым воздействием на обшивку. Для повышения эффективности удаления льда и уменьшения расхода энергии питания импульсное силовое

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ    | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации   | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|-------------|-----------------|--------------------|------------------|-------------------|
| 18    | СССР   | B64d; 15/06 | 213.590         | 15.11.65           | 1968, Б. И. № 10 | И. А. Левин и др. |

воздействие на обшивку производят импульсами длительностью не более четверти периода собственных колебаний конструкции обшивки.

**Устройство для удаления льда с обшивки**, например, летательного аппарата, содержащее возбудитель механических импульсов. Для непосредственного возбуждения деформации в очищаемой обшивке при уменьшении возможности ее местных повреждений, возбудитель выполнен в виде электромагнитного индуктора вихревых токов, который подключен к электроразрядному источнику тока.

|   |      |          |         |          |                  |                   |
|---|------|----------|---------|----------|------------------|-------------------|
| 9 | СССР | B63в, 35 | 317.567 | 24.05.70 | 1971, Б. И. № 31 | Е. Н. Цыкин и др. |
|---|------|----------|---------|----------|------------------|-------------------|

**Устройство для разрушения льда**. Имеет корпус с исполнительным органом. Для повышения эффективности устройства исполнительный орган выполнен в виде регулируемых резцов. В задней части корпуса шарнирно установлена стрела, на конце которой закреплена удаляющая разрушенный лед плита.

|    |      |                            |                      |          |                 |                                |
|----|------|----------------------------|----------------------|----------|-----------------|--------------------------------|
| 20 | СССР | E02d, 17; E21в, 3; E21с, 1 | 326.295 <sup>+</sup> | 04.11.67 | 1972, Б. И. № 4 | А. Ф. Николаев, А. Н. Варначев |
|----|------|----------------------------|----------------------|----------|-----------------|--------------------------------|

**Навесная установка для бурения льда**. Имеет корпус, бур со спиралью и приводом вращения, имеющим полый вал с фланцем, охватывающим бур. Для увеличения глубины бурения и повышения надежности работы, на фланце полого вала привода вращения бура жестко закреплены кронштейны, в которых установлены на осях с возможностью поворота ролики, взаимодействующие со спиралью бура.

|    |      |          |         |          |                  |                   |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-------------------|
| 21 | СССР | B63в, 35 | 347.240 | 13.05.71 | 1972, Б. И. № 24 | Е. Н. Цыкин и др. |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-------------------|

**Ледорезное устройство, содержащее резец и подвеску**. Устанавливается в носу судна. Подвеска смонтирована на кронштейне, вынесенном вперед судна, и содержит шток, на котором установлены резец и датчики, связанные с механизмом вертикального перемещения штока.

|    |      |           |         |          |                  |               |
|----|------|-----------|---------|----------|------------------|---------------|
| 22 | СССР | B63с 1/02 | 375.114 | 18.01.71 | 1972, Б. И. № 33 | Н. Д. Андреев |
|----|------|-----------|---------|----------|------------------|---------------|

**Устройство для удаления битого льда из-под днища судна**, содержит скребки и элемент с избыточной плавучестью. Для расширения диапазона действия и повышения эффективности работы скребки расположены по винтовой линии на цилиндрической поверхности барабана и вращаются вместе с ним с помощью двигателя, расположенного внутри последнего, причем барабан

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

шарнирно соединен тягами с кринолином дока и за счет плавучести прижимает скребки к днищу с постоянным усилием.

|    |      |                            |         |          |                  |   |
|----|------|----------------------------|---------|----------|------------------|---|
| 23 | СССР | E02в, 15/02;<br>F25с; 5/02 | 371.302 | 14.08.70 | 1973, Б. И. № 12 | В. И. Макеенко, В. С. Мальцев, В. В. Егоров |
|----|------|----------------------------|---------|----------|------------------|---|

**Устройство для резания и удаления льда из канала.** Состоит из режущего органа с приводом, рамы-саней, ударной плиты и направляющей. Для повышения эффективности работы устройства, ударная плита выполнена составной из шарнирно соединенных между собой частей, на одной из которых смонтированы подпружиненные рычаги с укрепленными на концах опорными лыжами.

|    |      |         |          |          |                  |                |
|----|------|---------|----------|----------|------------------|----------------|
| 24 | СССР | F25с, 5 | 385.147+ | 28.12.70 | 1973, Б. И. № 25 | А. Ф. Николаев |
|----|------|---------|----------|----------|------------------|----------------|

**Устройство для разработки и удаления льда.** Имеет фрезу с приводом, резцы и окна которой расположены по винтовой линии. Фреза сферической формы, с резцами, размещенными на спиралеобразных планках, а внутренняя полость фрезы соединена гибким рукавом со всасывающим пневматическим агрегатом.

|    |      |         |         |          |                  |                    |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|--------------------|
| 25 | СССР | F25с, 5 | 400.782 | 02.08.71 | 1973, Б. И. № 40 | Л. М. Грудин и др. |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|--------------------|

**Устройство для вырезки льда на водоемах.** Имеет передвижную раму, бензодвигатель с редуктором, дисковую пилу и механизм регулирования положения пилы. Имеет дополнительную боковую дисковую пилу, укрепленную параллельно основной на выходном валу редуктора.

|    |      |         |         |          |                 |             |
|----|------|---------|---------|----------|-----------------|-------------|
| 26 | СССР | F25с, 5 | 498.463 | 22.05.74 | 1976, Б. И. № 1 | И. Ф. Федин |
|----|------|---------|---------|----------|-----------------|-------------|

**Устройство для образования прорезей во льду.** Имеет раму, закрепленную на самоходном средстве, и два режущих органа с приводом. Для повышения производительности снабжено клином-молотом, смонтированным на раме с возвратно-поступательным движением для раскалывания образовавшегося бруса льда на отдельные куски.

|    |      |            |          |          |                  |                                |
|----|------|------------|----------|----------|------------------|--------------------------------|
| 27 | СССР | F25с; 5/02 | 472.237+ | 02.10.64 | 1975, Б. И. № 20 | Н. В. Черепанов, Ф. Д. Соколов |
|----|------|------------|----------|----------|------------------|--------------------------------|

**Устройство для бурения льда в виде плоского кольца со съемным режущим инструментом.** Для удобного отвода стружки льда от режущего инструмента кольцо выполнено разорванным, а режущий инструмент установлен на одном из его концов так, что его лезвие обращено к торцевой стороне другого конца.

|    |      |         |         |          |                  |                              |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|------------------------------|
| 28 | СССР | F25с, 5 | 522.385 | 21.01.75 | 1976, Б. И. № 27 | А. Ф. Николаев и А. И. Шкода |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|------------------------------|

**Устройство для образования прорезей во льду и в твердых грунтах.** Имеет самоходное средство для перемещения рабочего органа в виде дисковой фрезы.

| №<br>п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер<br>документа | Дата подачи<br>заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|----------------|-------------------|
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|----------------|-------------------|

Для повышения производительности и снижения энергозатрат снабжено приспособлением для образования поперечных надрезов во льду по ходу перемещения рабочего органа, выполненным в виде многодисковой фрезы.

29 | СССР | F25с, 5 | 531.002 | 08.04.75 | 1976, Б. И. № 37 | В. П. Савин

**Ледобур.** Состоит из коловорота со шнеком и двух съёмных режущих ножей. Снабжен двумя лопастями, установленными в нижней части шнека с поворотом вокруг горизонтальной оси. Съёмные режущие ножи закреплены на лопастях.

30 | СССР | F25с, 5 | 536.372<sup>+</sup> | 10.10.75 | 1976, Б. И. № 43 | А. Ф. Николаев, А. А. Николаев

**Устройство для разработки и удаления льда.** Имеет рабочий орган с режущими, привод и всасывающий агрегат для отсоса ледяной стружки. Имеет кожух, внутри которого находится рабочий орган, и режущую цепь. Работавший орган выполнен в виде двух шнеков с противоположной навивкой витков, боковых дисков и приводной звездочки между шнеками.

31 | СССР | F25с, 5 | 557.242 | 22.08.75 | 1977, Б. И. № 17 | А. А. Николаев

**Устройство для вырезки льда.** Содержит передвижную раму, рабочий орган, привод со шкивом и механизм регулирования положения рабочего органа. Имеет жесткие стойки с вильчатыми упорами и нажимные и направляющие ролики, служащие для фиксации рабочего органа и имеющем вид бесконечной ленточной пилы.

32 | СССР | B63в, 35 | 562.182 | 22.11.72 | 1977, В. И. № 22 | «Эйр лоджистик корпорейшн»

**Устройство для разрушения ледового покрова.** Установлено в носовой части судна, содержит выносные кронштейны с ледорезами. Для экономии энергозатрат ледорезы выполнены в виде фрез, насаженных на приводных валах, поворотом смонтированных на левом, правом и центральном кронштейнах, причем последний — поворотный по дуге с хордой, равной расстоянию между ледорезами правого и левого кронштейнов, превышающему максимальную ширину судна.

33 | СССР | E21с, 19 | 592.976 | 04.07.75 | 1978, Б. И. № 6 | А. Ф. Николаев, В. Н. Худяков

**Устройство для бурения льда.** Включает привод и цилиндрическую фрезу с режущими и окнами, расположенными на ее поверхности по винтовой линии. Для надежности бурения резы закреплены на корпусе фрезы шарнирно. Внутри фрезы установлена с ограничением поворота вокруг своей оси труба с окнами, имеющая бобышки для взаимодействия с хвостовой частью резов.

34 | СССР | E21в, 3 | 606.993 | 08.07.75 | 1978, Б. И. № 18 | А. Ф. Николаев и др.

| №<br>п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер<br>документа | Дата подачи<br>заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|----------------|-------------------|
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|----------------|-------------------|

**Вращательно-подающий механизм установки для бурения льда.** Содержит привод вращения, включающий полый вал с фланцем, на котором закреплены кронштейны с роликами для взаимодействия со спиралью бура, и привод подачи. Для упрощения привода подачи и увеличения глубины бурения, он снабжен конической и цилиндрической шестернями и дополнительным подпружиненным роликом, причем шестерни установлены на полом валу и кинематически связаны с указанным роликом, установленным с возможностью взаимодействия со спиралью бура.

|    |      |                     |         |          |                  |                      |
|----|------|---------------------|---------|----------|------------------|----------------------|
| 35 | СССР | 25с, 5;<br>E21с, 23 | 610.992 | 03.01.77 | 1978, Б. И. № 22 | А. Ф. Николаев и др. |
|----|------|---------------------|---------|----------|------------------|----------------------|

**Устройство для сверления лунок во льду.** Имеет штангу и режущую головку с резцами. Содержит крыльчатку с опорой, установленную на штанге с осевым перемещением, а режущая головка снабжена направляющим полым цилиндром.

|    |      |                     |         |          |                 |                |
|----|------|---------------------|---------|----------|-----------------|----------------|
| 36 | СССР | 25с, 5;<br>E21с, 19 | 641.249 | 03.12.75 | 1979, Б. И. № 1 | А. Г. Медведев |
|----|------|---------------------|---------|----------|-----------------|----------------|

**Устройство для образования скважин во льду.** Имеет закрепленную на коловороте режущую головку, содержащую резцедержатели с резцами, диаметрально расположенные серповидные стойки и ленточную спираль. Для увеличения производительности одна из стоек расположена внутри спирали, а другая — снаружи.

|    |      |         |         |          |                  |                |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|----------------|
| 37 | СССР | E02F, 5 | 620.552 | 23.02.77 | 1978, Б. И. № 31 | Ф. Ф. Кириллов |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|----------------|

**Устройство для прорезания щелей во льду.** Имеет дисковую фрезу, цевки и привод с ведущей звездочкой, установленной на раме. Для более полного использования диаметра фрезы при ее заглублении внешняя поверхность диска выполнена с углублениями, цевки расположены в углублениях и могут взаимодействовать с ведущей звездочкой, которая размещена над дисковой фрезой.

|    |      |          |         |          |                 |                        |
|----|------|----------|---------|----------|-----------------|------------------------|
| 38 | СССР | E02в, 15 | 664.903 | 24.11.76 | 1979, Б. И. № 4 | Б. Я. Стажевский и др. |
|----|------|----------|---------|----------|-----------------|------------------------|

**Ледорезная машина.** Имеет самоходное шасси с режущим органом в виде бара и сани, оборудованные сламывателем льда и отвалом. Сламыватель льда выполнен гибким в виде тросового мата и натянут между режущим органом и санями при помощи штанг.

|    |      |          |         |          |                  |             |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-------------|
| 39 | СССР | B63в, 35 | 654.485 | 01.12.77 | 1979, Б. И. № 12 | В. В. Клюев |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-------------|

**Ледокольно-ледоочистительная приставка.** Имеет рабочий орган в виде ледорезных ножей. Снабжена понтонами с рычагами и смонтированными на рычагах опорными катками, шарнирными параллелограммами и раздвижными фиксаторами.

|    |      |            |         |          |                  |  |
|----|------|------------|---------|----------|------------------|--|
| 40 | СССР | H02G, 7/16 | 666.601 | 12.12.77 | 1979, Б. И. № 21 | В. Я. Синельников, С. Е. Вакуленко, И. В. Трач |
|----|------|------------|---------|----------|------------------|--|

| №<br>п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер<br>документа | Дата подачи<br>заявки | Год пуб-<br>ликации | Фирма (заявитель) |
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|

**Устройство для удаления гололеда с проводов воздушных линий электропередачи.** Имеет перемещаемую ведомую каретку, установленную на проводе, снабженную ледорезами и двигателем с источником питания. Для расширения зоны очистки источник питания выполнен в виде трансформатора дроссельного типа.

|    |      |                      |         |          |                  |                                  |
|----|------|----------------------|---------|----------|------------------|----------------------------------|
| 41 | СССР | E02в, 15;<br>F25с, 5 | 694.593 | 22.04.77 | 1979, Б. И. № 40 | А. Ф. Николаев,<br>В. Н. Худяков |
|----|------|----------------------|---------|----------|------------------|----------------------------------|

**Устройство для нарезания майн и щелей во льду водоемов.** Имеет самоходную тележку с приводом, содержащим гидромоторы, золотники с электромагнитным приводом управления гидромоторами, а также режущий рабочий орган. Снабжено электрическими датчиками на дополнительных кронштейнах и дополнительными кронштейнами, смонтированными на самоходной тележке.

|    |      |             |         |          |                  |                                  |
|----|------|-------------|---------|----------|------------------|----------------------------------|
| 42 | СССР | B63в, 35/12 | 814.807 | 28.06.79 | 1981, Б. И. № 11 | Б. В. Богданов,<br>В. И. Любимов |
|----|------|-------------|---------|----------|------------------|----------------------------------|

**Ледокольно-ледоочистительная приставка.** Имеет корпус с обводами подводной части оконечностей санного типа, узел механической резки льда и ледоразводящий клин, содержащий две балки, смонтированные под днищем в средней части корпуса. Для повышения эффективности эксплуатации, каждая балка снабжена приводом поворота с ведущим органом и установлена с возможностью поворота на вертикальной оси, проходящей через диаметрально плоскость корпуса.

|    |                          |          |           |          |      |                                  |
|----|--------------------------|----------|-----------|----------|------|----------------------------------|
| 43 | Велико-<br>брита-<br>ния | B63в, 35 | 1.215.529 | 15.08.68 | 1970 | «Алексбау<br>канада лим-<br>тед» |
|----|--------------------------|----------|-----------|----------|------|----------------------------------|

**Разрушение ледяного поля.** Невысокая конструкция, предназначенная для разрушения льда, содержит две наклонные поверхности, разводящие лед, и вертикальную лопасть, раскалывающую лед.

|    |                          |                 |           |          |      |                     |
|----|--------------------------|-----------------|-----------|----------|------|---------------------|
| 44 | Велико-<br>брита-<br>ния | B63в, 35<br>B7A | 1.284.868 | 09.09.70 | 1971 | Дж. Фьора-<br>ванти |
|----|--------------------------|-----------------|-----------|----------|------|---------------------|

**Способ и устройство для прокладки канала во льдах.** Ледокол имеет десять вертикальных винтов, которые с помощью цапф крепятся к днищу и палубе. Винты способствуют продвижению судна вперед; они имеют ножи, которые врезаются в лед. Куски льда выносятся вверх (или вниз, если винты реверсируют) к трубопроводу, откуда перемещаются к бортам судна, где с силой выбрасываются на некотором расстоянии с помощью конвейеров.

|    |                |                               |           |          |      |                          |
|----|----------------|-------------------------------|-----------|----------|------|--------------------------|
| 45 | Великобритания | E02в, 15;<br>B63в, 35;<br>ЕИП | 1.490.642 | 07.04.75 | 1978 | «Си-Лог кор-<br>порейшн» |
|----|----------------|-------------------------------|-----------|----------|------|--------------------------|

**Ледорезная фреза для буровой платформы.** Морская буровая платформа имеет рабочую площадку, опертую на вертикальную цилиндрическую колонну. Колонна находится внутри вращающегося кожуха с радиальными ледорезными зубьями.



| № п/п | Страна         | МКИ, НКИ         | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель)   |
|-------|----------------|------------------|-----------------|--------------------|----------------|---------------------|
| 46    | Великобритания | E02в, 15;<br>E1H | 1.490.877       | 08.04.74           | 1978           | «Си-Лог корпорейшн» |

**Ледорезное приспособление для плавучих сооружений на покрытом льдом водном пространстве.** Вертикальный ствол с прикрепленными радиальными зубьями ледорезной фрезы вращается вокруг колонны, поддерживающей площадку сооружения. Зубья ограничены по внешней стороне режущими кромками.

|    |                |                     |           |          |      |                           |
|----|----------------|---------------------|-----------|----------|------|---------------------------|
| 47 | Великобритания | B64D;<br>15/16; B7W | 1.331.698 | 23.09.70 | 1973 | «Б. Ф. Гудрич корпорейшн» |
|----|----------------|---------------------|-----------|----------|------|---------------------------|

**Пневматический антиобледенитель.** Протектор механического антиобледенителя летательного аппарата содержит несколько отверстий и отводящий канал, проходящий вдоль края протектора и образующий заднюю кромку протектора на крыле. Отводящий канал имеет множество элементов, например, жесткие волокна, расположенные между противоположными сторонами указанного канала для обеспечения прохождения через него газового наполнителя.

|    |        |        |         |          |      |                   |
|----|--------|--------|---------|----------|------|-------------------|
| 48 | Канада | 114-11 | 942.591 | 22.09.71 | 1974 | «Сан ойл компани» |
|----|--------|--------|---------|----------|------|-------------------|

**Способ и устройство для резки льда,** расположенного на пути прохождения судна. Заключается в образовании во льду двух разрезов, параллельных направлению движения судна. Надрезы осуществляются механической пилой или соплами высокого давления, использующими жидкость под давлением.

|    |        |        |         |          |      |             |
|----|--------|--------|---------|----------|------|-------------|
| 49 | Канада | 255-65 | 955.581 | 01.03.72 | 1974 | Хилл Уилмот |
|----|--------|--------|---------|----------|------|-------------|

**Шнек для бурения отверстий во льду.** Содержит опорный вал с рукояткой на одном конце и буровым элементом — на другом.

|    |        |        |         |          |      |              |
|----|--------|--------|---------|----------|------|--------------|
| 50 | Канада | 255-64 | 978.180 | 28.04.71 | 1975 | А. Б. Арджон |
|----|--------|--------|---------|----------|------|--------------|

**Ледовый бур с регулируемыми режущими кромками.** Имеет приспособление для установки требуемого угла резания. Может быть эффективно использован для резания льда разных типов.

|    |     |        |           |          |      |                |
|----|-----|--------|-----------|----------|------|----------------|
| 51 | США | 114-40 | 3.130.701 | 15.08.61 | 1964 | П. О. Лангболл |
|----|-----|--------|-----------|----------|------|----------------|

**Ледокол.** Содержит источник сжатого воздуха. Погружное судно имеет усиленный корпус и способное расширяться днище. Предусмотрено приспособление для автоматического накачивания днища при давлении льда на корпус. Указанное приспособление содержит чувствительный элемент с сжимаемой пружиной.

|    |     |                        |           |          |      |                           |
|----|-----|------------------------|-----------|----------|------|---------------------------|
| 52 | США | B63в; 35/08;<br>114-41 | 3.521.592 | 15.08.67 | 1970 | «Алексбау канада лимитед» |
|----|-----|------------------------|-----------|----------|------|---------------------------|

**Конструкция носа судна,** пригодная для использования как во льдах, так и на чистой воде. Имеет форму бульбы, выступающей вперед ниже ватерлинии;

| № п/п | Страна | МКИ, ПКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

поперечное сечение носа сравнительно плоское, т. е. обычно его размеры по горизонтали больше, чем по вертикали.

|    |     |                     |           |          |      |              |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|--------------|
| 53 | США | B63в, 35;<br>114-42 | 3.521.592 | 13.05.68 | 1970 | М. У. Рознер |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|--------------|

**Режущее устройство для пробивки канала во льду.** Судно, нос которого снабжен множеством вращающихся и взаимодействующих со льдом радиально направленных ножей для дробления льда. Ножи, вращаясь, режут лед на относительно мелкие куски и отодвигают их в сторону и назад или вниз.

|    |     |                     |           |          |      |              |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|--------------|
| 54 | США | B63в, 35;<br>114-40 | 3.670.681 | 15.05.70 | 1972 | Т. В. Алчерч |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|--------------|

**Судовая ледокольная система.** Судно снабжено двумя ледокольными элементами. Один из них расположен подо льдом и снабжен пилообразными зубьями. Элемент прижат к нижней поверхности льда. Над верхней поверхностью льда расположен выступающий вертикально вниз регулируемый долбежный элемент, разрушающий лед.

|    |     |                     |           |          |      |                   |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|-------------------|
| 55 | США | B63в, 35;<br>114-42 | 3.678.873 | 02.10.70 | 1972 | «Сан ойл компани» |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|-------------------|

**Способ резания льда и устройство для его осуществления.** Удаление льда с ледяного поля, окружающего плавучую платформу в море, с помощью двух режущих инструментов, установленных на платформе или на судне, параллельно направлению движения. Вырезанная льдина отламывается от остальной ледяной массы судном, движущимся вперед, или под действием давления ледяного поля в направлении плавучей платформы. Дополнительный разрез может быть установлен между режущими инструментами, в результате чего образуются две отрезанные льдины, и облегчается удаление этих льдин. Режущие инструменты могут быть оборудованы механическими пилами или же соплами, в которые под большим давлением подается жидкость.

|    |     |          |           |          |      |                   |
|----|-----|----------|-----------|----------|------|-------------------|
| 56 | США | E02в, 17 | 3.696.624 | 02.10.70 | 1972 | «Сан ойл компани» |
|----|-----|----------|-----------|----------|------|-------------------|

**Роторно-ковшовый ледорез.** Устанавливается на морских платформах или носовой части судна. Роторные диски с ковшами вращаются в горизонтальной плоскости в противоположном направлении, вследствие чего вращающий момент не передается на платформу или судно. Многодисковые роторы обеспечивают раскалывание достаточно толстых льдин. Ледорез может осуществлять вертикальный разрез в толще льда.

|    |     |                        |           |          |      |                                      |
|----|-----|------------------------|-----------|----------|------|--------------------------------------|
| 57 | США | B63в; 35/08;<br>114-41 | 3.690.281 | 21.12.70 | 1972 | «Эссо рисёрч энд инжиниринг компани» |
|----|-----|------------------------|-----------|----------|------|--------------------------------------|

**Конструкция кормы ледокольного судна.** При движении судна задним ходом по им же проделанному каналу обеспечивается эффективное удаление кусков льда вверх и к бортам судна. Такая расчистка облегчает движение судна назад и предохраняет от попадания льда на гребные винты судна.

|    |     |                     |           |          |      |           |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|-----------|
| 58 | США | B63в, 35;<br>114-40 | 3.698.340 | 02.03.71 | 1972 | С. Вагнер |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|-----------|

| № п/п   | Страна | МКИ, НКИ            | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель)          |
|---|--------|---------------------|-----------------|--------------------|----------------|----------------------------|
| <p><b>Ледокольная приставка для судов.</b> Содержит плунжер, установленный на судне под водой и приводимый в действие сжатым воздухом. Плунжер разрушает лед ударами снизу по нижней поверхности льда, что сопровождается гидравлическим ударом при быстром качании плунжера.</p> |        |                     |                 |                    |                |                            |
| 59  | США    | B63в, 35;<br>114-42 | 3.768.428       | 24.11.71           | 1971           | «Эйр лоджистик корпорейшн» |

**Ледорезное устройство для ледоколов.** Состоит из поперечной рамы, закрепленной на несущих кронштейнах впереди судна, двух боковых резакв и одного центрального резака. Длина рамы настолько превышает ширину судна, чтобы битый лед свободно проходил в майне вдоль борта. При движении судна боковые резакв прорезают границы майны, а внутреннее поле льда прорезает центральный резак, выполненный в виде спаренных и вращающихся в противоположные стороны наборов фрез. Каждый резак имеет свой электродвигатель.

|    |     |                        |           |          |      |                                      |
|----|-----|------------------------|-----------|----------|------|--------------------------------------|
| 60 | США | B63в; 35/08;<br>114-40 | 3.754.523 | 19.11.71 | 1973 | «Эссо рисёрч энд инжиниринг компани» |
|----|-----|------------------------|-----------|----------|------|--------------------------------------|

**Ледокольный танкер.** Имеет продолговатый корпус и расположенный сверху катамаран, присоединенный к корпусу. Продолговатый корпус перемещается постоянно под паковым льдом, в то время как двойной корпус катамарана прорезает паковый лед.

|    |     |                     |           |          |      |                            |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|----------------------------|
| 61 | США | B63в, 35;<br>114-42 | 3.791.328 | 19.06.72 | 1974 | «Эйр лоджистик корпорейшн» |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|----------------------------|

**Устройство для резки льда и очистки от него канала.** Содержит центральный резак, смонтированный на судне, и два поворотных резака, перемещающихся по поперечной траектории между центральным резаком и крайними фермами, смонтированными на правом и левом бортах судна, с помощью резаков лед режется на треугольные блоки.

|    |     |                                |           |          |      |            |
|----|-----|--------------------------------|-----------|----------|------|------------|
| 62 | США | E02в, 15;<br>B63в, 35;<br>61-1 | 3.807.180 | 29.05.73 | 1974 | У. Уортинг |
|----|-----|--------------------------------|-----------|----------|------|------------|

**Устройство для раскалывания льда.** Имеет упорную плиту, плавучесть которой регулируется балластными резервуарами и клапанным механизмом, соединенным с источником воды. Плита имеет приспособление, раскалывающее лед или пробивающее в нем ряд отверстий подобно системе мелких взрывных зарядов.

|    |     |                        |           |          |      |                              |
|----|-----|------------------------|-----------|----------|------|------------------------------|
| 63 | США | B63в; 35/08;<br>114-40 | 3.572.273 | 06.08.69 | 1971 | «Саутвест рисёрч корпорейшн» |
|----|-----|------------------------|-----------|----------|------|------------------------------|

**Устройство для разрушения слоя льда на воде повторяющимися импульсами внутреннего сгорания.** Имеет подвижное плавучее тело, поверхность которого соприкасается со льдом. На этой поверхности под ватерлинией выполнены выхлопные отверстия, каждое из которых соединено с камерой сгорания и под-

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

водит энергию сгорания углеводородного топлива прямо ко льду для его разрушения и плавления. В носовой части корпуса ледокола также имеются выхлопные отверстия, каждое из которых соединено с закрытой камерой сгорания.

|    |     |                     |           |          |      |                              |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|------------------------------|
| 64 | США | B63в, 35;<br>114-40 | 3.808.997 | 10.10.72 | 1974 | «Глоубл марин инкорпорейтед» |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|------------------------------|

**Способ расчистки канала во льду.** Ледоразрушающее устройство осуществляет подачу воздуха под давлением к границе раздела между водой и льдом и оттесняет тем самым воду вниз, до уровня, который находится ниже нижней поверхности льда. Вес не опертго на воду льда на участке, в котором уровень воды опущен, вызывает разламывание и разрушение льда на отдельные части.

|   |     |                     |           |          |      |                   |
|---|-----|---------------------|-----------|----------|------|-------------------|
| 5 | США | B63в, 35;<br>114-40 | 3.841.252 | 02.10.70 | 1974 | «Сан ойл компани» |
|---|-----|---------------------|-----------|----------|------|-------------------|

**Способ разрушения льда.** Под лед подают газ, чтобы создать две полости, ледяной покров над которыми не опирается на воду и приложением силы может быть разрушен.

|    |     |                      |           |          |      |               |
|----|-----|----------------------|-----------|----------|------|---------------|
| 66 | США | B63в, 35;<br>114-67А | 4.029.035 | 13.04.76 | 1978 | У. Х. Джермен |
|----|-----|----------------------|-----------|----------|------|---------------|

**Корпус судна и устройства для подачи на него пузырьков газа.** Корпус судна имеет борта и большое количество отверстий, расположенных в один ряд ниже ватерлинии и проходящих вдоль бортов. Имеется устройство для генерирования и подачи сжатого газа в отверстия под давлением достаточным, чтобы преодолеть давление забортной воды и выпустить газ в виде пузырьков из отверстий.

|    |     |                        |           |          |      |               |
|----|-----|------------------------|-----------|----------|------|---------------|
| 67 | США | B62в; 35/08;<br>114-42 | 3.913.511 | 09.08.74 | 1975 | К. У. Вейланд |
|----|-----|------------------------|-----------|----------|------|---------------|

**Ледорезная судовая приставка для продления навигации.** Имеет палубу с носовым левобортным и правобортным участком. В носовом участке палубы смонтированы два режущих агрегата, каждый оборудован силовым механизмом, связанным через передачу с валом, чтобы вращать пилы. Вращающиеся пилы режут лед при движении приставки передним ходом. Левобортный и правобортный участки палубы имеют конструкцию для присоединения носовой части палубы приставки к судну. Пилы разрезают лед на полосы одинаковой ширины.

|    |     |                    |           |          |      |             |
|----|-----|--------------------|-----------|----------|------|-------------|
| 68 | США | E21с, 5;<br>175-18 | 3.929.196 | 16.08.74 | 1976 | У. Рантанен |
|----|-----|--------------------|-----------|----------|------|-------------|

**Шнек для бурения льда.** Представляет собой удлиненную трубу, обвитую спиралью для удаления льда. На одном конце трубы укреплен нож, а на дру-

| №<br>п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер<br>документа | Дата подачи<br>заявки | Год пуб-<br>ликации | Фирма (заявитель) |
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|

гом — коленчатая рукоятка. Труба состоит из двух секций, соединенных шарниром. Шарнир образован из двух половин, укрепленных соответственно на нижней и верхней секциях трубы.

|    |     |                     |           |          |      |                        |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|------------------------|
| 69 | США | B63в, 35;<br>114-42 | 3.965.835 | 29.03.74 | 1976 | «Сан ойл ком-<br>пани» |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|------------------------|

**Ледорезное судно.** Ледорезное устройство устанавливается на носу судна. Содержит полый барабан, устанавливаемый поперек выбранного направления прорезаемого канала и имеющий зубья. Барабан смонтирован на раме с возможностью вращения вокруг продольной оси. Внутри рамы расположен источник энергии. Вырабатываемая тепловая энергия выбрасывается в атмосферу через отверстия рамы, в результате чего создается воздушно-тепловой экран вблизи барабана и замедляется смерзание кусков разрушенного льда в канале.

|    |     |                     |           |          |      |                          |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|--------------------------|
| 70 | США | B63в, 35;<br>114-42 | 4.005.666 | 23.06.75 | 1977 | «Си-Лог кор-<br>порейши» |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|--------------------------|

**Ледорезное устройство.** Содержит ряд вращающихся режущих элементов, приводимых во вращение вокруг общей оси, чтобы воздействовать высокоскоростными импульсами на лед. Имеется устройство для подачи жидкости под давлением в пространство между каждой из режущих кромок, режущих элементов и льдом, когда последний входит в контакт с режущими кромками. Благодаря механическому воздействию режущих элементов и действию струй воды от массива льда откалываются куски, которые удаляются.

|    |     |                    |           |          |      |                      |
|----|-----|--------------------|-----------|----------|------|----------------------|
| 71 | США | E21в, 3;<br>173-26 | 4.057.114 | 07.01.76 | 1978 | П. Дж. Андер-<br>сон |
|----|-----|--------------------|-----------|----------|------|----------------------|

**Ручная шнекобурильная машина для льда.** Получает энергию от удаленного двигателя и имеет гибкий вал, на одном конце которого укреплен муфта для соединения гибкого вала с валом двигателя. Другой конец гибкого вала входит через отверстие в корпус, в котором размещен редуктор. Редуктор имеет ведущий вал, вращающийся с пониженной скоростью.

|    |     |                     |           |          |      |                        |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|------------------------|
| 72 | США | B63в, 35;<br>114-42 | 4.069.783 | 11.11.76 | 1978 | «Сан ойл ком-<br>пани» |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|------------------------|

**Способ разрушения специфического материала и устройство для его осуществления.** Система для разрушения содержит цилиндрический барабан с группой зубьев, выступающей радиально наружу из барабана.

|    |     |                     |           |          |      |                        |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|------------------------|
| 73 | США | B63в, 35;<br>299-10 | 4.070.062 | 11.11.76 | 1978 | «Сан ойл ком-<br>пани» |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|------------------------|

**Способ разрушения специфического материала и устройство для его осуществления.** Сначала прорезают в материале ряд параллельных борозд с помо-

| №<br>п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер<br>документа | Дата подачи<br>заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|----------------|-------------------|
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|----------------|-------------------|

щью первого тела вращения, имеющего зубья. Затем наносят удары вторым телом вращения тоже с зубьями.

|    |     |                        |           |          |      |   |
|----|-----|------------------------|-----------|----------|------|---|
| 74 | США | B63в; 35/08;<br>114-42 | 4.198.917 | 09.08.76 | 1980 | «Мицун инжиниринг энд шипбилдинг компани лимитед» |
|----|-----|------------------------|-----------|----------|------|---|

**Судовое ледокольное устройство.** Содержит два ледоразрушающих механизма, каждый из которых имеет винтовое тело конической формы. Ледоразрушающие механизмы образуют прорезы в ледяном массиве посредством вращения винтовых тел. Ледокольное устройство оборудовано силовыми агрегатами для привода ледоразрушающих механизмов независимо один от другого, причем эти механизмы могут вращаться в одном или в противоположных направлениях.

|    |     |                         |           |          |      |   |
|----|-----|-------------------------|-----------|----------|------|---|
| 75 | США | E02в; 17/00;<br>405-211 | 4.230.423 | 23.11.77 | 1980 | «Мицун инжиниринг энд шипбилдинг лимитед» |
|----|-----|-------------------------|-----------|----------|------|---|

**Система ледорезов для защиты морских конструкций.** Морская конструкция для защиты от плавающего льда снабжается усеченным оголовком, на котором поворотнo монтируются цилиндрические шнеки. При контакте вращающегося спирального лезвия шнека с льдиной происходит подъем или опускание льдины, а следовательно, ее прогиб и раскалывание. Отколовшиеся куски льда отгоняются в сторону под действием вращающегося эффекта шнека. Тем самым обеспечивается надежная защита оголовка конструкции от повреждения плавающим льдом.

|    |         |          |           |          |      |                                  |
|----|---------|----------|-----------|----------|------|----------------------------------|
| 76 | Франция | B64D, 15 | 2.091.965 | 16.02.71 | 1972 | «Гудьер тайе энд раббер компани» |
|----|---------|----------|-----------|----------|------|----------------------------------|

**Антиобледенительное устройство, в особенности для самолетов,** состоящее из надувной обшивки из прорезиненной ткани. Устройство имеет надувные трубки и коллектор, соединяющий все трубки с общим источником сжатого воздуха или с отсасывающим устройством.

|    |     |             |           |          |      |             |
|----|-----|-------------|-----------|----------|------|-------------|
| 77 | ФРГ | B63в; 35/08 | 2.206.472 | 11.02.72 | 1974 | Ф. Каллипке |
|----|-----|-------------|-----------|----------|------|-------------|

**Форма ледокольного судна с ледокольным носом и наружным покрытием,** углубленным в области ледового пояса. Покрытие углублено более всего в районе ледового пояса и от этого места таким образом выгибается книзу, что образует сравнительно широкую, плавно наклоненную в наружную сто-

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

рону плоскость плеча. Наружное покрытие несколько выше ледового пояса состоит из выпуклых поверхностей, наклоненных вверх.

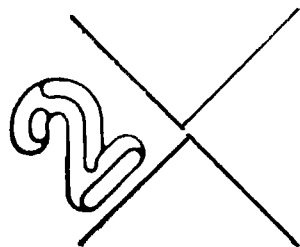
|    |     |             |           |          |      |            |
|----|-----|-------------|-----------|----------|------|------------|
| 78 | ФРГ | B63в; 35/12 | 2.341.932 | 20.08.73 | 1976 | Х. Г. Ваас |
|----|-----|-------------|-----------|----------|------|------------|

**Ледокол.** Имеет режущее устройство для прорезания щели во льду, закрепленное на подвижных салазках. На салазках установлен минимум один строгальный резец, обращенный острым углом к поверхности льда.

|    |        |                      |          |          |      |                                |
|----|--------|----------------------|----------|----------|------|--------------------------------|
| 79 | Япония | B63в; 35/12;<br>84АО | 46-33901 | 14.08.68 | 1971 | «Алексбау ка-<br>нада лимитед» |
|----|--------|----------------------|----------|----------|------|--------------------------------|

**Носовое ледокольное устройство.** Содержит щиты, предназначенные для отвода льда. Щиты устанавливаются по обоим бортам носа судна. В месте сопряжения линий передних кромок щитов образуется центральный батокс, который, выступая вперед, постепенно опускается к основной линии устройства. Устройство снабжено опорной конструкцией, расположенной под ватерлинией. Опорная конструкция заводится непосредственно под ледяной покров. Благодаря скошенной форме батокса при движении устройства возникает режущий эффект.

# ТЕРМИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЛЬДА



Средства термического разрушения льда: зачерняющие (135); пневматические и гидродинамические (141); пароводовоздушные (163); газотермические (171); электро-термические (176).

Среди методов разрушения ледяных покровов особое место занимают методы, основанные на тепловом воздействии. Сравнивая затраты на разрушение единицы объема льда при различных видах воздействия, можно показать, что тепловое воздействие на лед с целью его разрушения не является наиболее выгодным с энергетической точки зрения — к примеру, в идеальных условиях, когда вся мощность идет на плавление льда, для полного растопления 1 м<sup>3</sup> морского льда за 1 ч потребуется источник мощностью ~0,1 МВт. Тем не менее, тепловые методы, основанные на использовании дешевой энергии, например, отработанного тепла промышленных или судовых установок, а также атомных источников, могут явиться удобным и экономически выгодным, а в отдельных случаях и единственным средством преодоления ледовых затруднений. Естественно, рационально использовать на таяние льда и огромную даровую энергию Солнца.

Расчеты показывают (рис. 2.1), что за 1 мин при мощности 7,4 МВт 8,8 м<sup>3</sup> льда могут быть нагреты на 18° (от —20 до —2 °С). Следовательно, за 1 ч при расходе той же мощности можно нагреть уже около 530 м<sup>3</sup> льда или же площадь 530 м<sup>2</sup> при толщине льда 1 м.

Нагревание льда приводит к соответствующему уменьшению его прочности (табл. 2.1).

Дальнейшее нагревание льда Солнцем приводит к его разрушению.

Таблица 2.1

Зависимость прочности образцов однолетнего льда от его температуры

| Температура, °С                     | —20 | —10 | —5  | —2  |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Временное сопротивление изгибу, МПа | 1,6 | 1,2 | 0,8 | 0,4 |

## 2.1. Зачерняющие средства

Солнечно-радиационный метод, не требующий энергозатрат, широко применяется в СССР и за рубежом для ускорения вскры-



тия ледяного покрова и таяния ледников. Этот метод предусматривает максимальное использование солнечной энергии для таяния льда, снижая его отражательную способность. Естественная ледяная поверхность, покрытая снегом, обладает огромной отража-

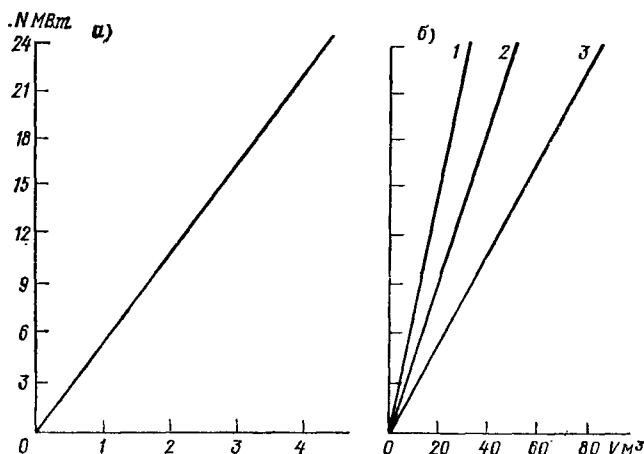


Рис. 2.1. Объем льда ( $V \text{ м}^3$ ), который может быть растоплен (а) или нагрет (б) за 1 мин при различных мощностях ( $N \text{ МВт}$ ) [175].

1 — от  $-20$  до  $-2^\circ\text{C}$ ; 2 — от  $-10$  до  $-2^\circ\text{C}$ ; 3 — от  $-5$  до  $-2^\circ\text{C}$ .

тельной способностью. Около 90 % радиационной энергии Солнца, поступающей на эту поверхность, отражается обратно в атмосферу. Если покрыть поверхность снега или льда измельченным темным материалом, то отражательная способность (альбедо) значительно уменьшится и тепловая энергия Солнца пойдет на таяние. Действие зачернения состоит в нарушении структуры льда при проникновении зачерняющих материалов в глубь ледяного покрова [5, 9, 23, 24, 42—44, 56, 68, 139, 143, 154, 175—177, 198].

Для зачернения применяются порошки темного цвета, с плотностью больше единицы: угольная и шлаковая пыль, фосфоритная мука (минеральное удобрение), формовочная земля (отходы литейной промышленности), черный песок, а также песок в смеси со шлаковой или угольной пылью из расчета 50 % песка и 50 % шлака или угля.

Фосфоритная мука и шлаковая пыль по их действию на лед равноценны угольной пыли, поэтому применение их для зачернения позволяет значительно снизить расходы по зачернению.

Сажу и черный пигмент (отходы лакокрасочной промышленности) не рекомендуется применять из-за наличия у них канцерогенных свойств.

Сажа, кроме того, не оказывает разрушающего действия на лед, частицы сажи собираются в зернистые комки, которые плавают на поверхности воды и не проникают в лед.

Норма расхода зачерняющих материалов на  $1 \text{ м}^2$  определяется из условия сплошного покрытия льда зачерняющими материалами на высоту, равную одному диаметру зачерняющих частиц. Эта норма может быть вычислена по формуле  $n_{\max} = \gamma d$ , где  $\gamma$  — плотность зачерняемого материала,  $\text{г/м}^3$ ;  $d$  — диаметр частиц зачерняемого материала, м. Диаметр не должен превышать 0,5 мм, исходя из условия проникновения зачерняющих материалов внутрь льда.

Максимальные нормы расхода зачерняющих материалов при  $\gamma = 1 \text{ т/м}^3$  следующие: при  $d = 0,1 \text{ мм}$   $n_{\max} = 100 \text{ г/м}^2$  (1 т/га); при  $d = 0,5 \text{ мм}$   $n_{\max} = 500 \text{ г/м}^2$  (5 т/га). С увеличением диаметра зачерняющих частиц нормы расхода материала и стоимость работ по зачернению резко возрастают. Однако отражательные способности снежно-ледяного покрова, опыленного темными зачерняющими материалами из расчета  $n_{\max}$  и 50 %  $n_{\max}$ , незначительно отличаются друг от друга. Поэтому вышеуказанные нормы расхода зачерняющих материалов без значительного ущерба для эффекта от зачернения можно уменьшить на 50 % от  $n_{\max}$ . После сильных снегопадов с толщиной свежевывавшего снега более 5 см целесообразно производить повторные работы по зачернению. Нормы расхода зачерняющих материалов при этом могут быть уменьшены до 15—25 % от  $n_{\max}$  [88].

По графику (рис. 2.2) определяется количество зачерняющих частиц, приходящихся на  $1 \text{ см}^2$  ледяного покрова в зависимости от диаметра этих частиц и норм посылки при плотности материала, равном единице. При плотности материала больше единицы необходимо нормы расхода зачерняющих материалов на графике умножить на значение плотности данного материала. С увеличением диаметра зачерняющих частиц (при одной и той же норме расхода зачерняющих материалов) уменьшается количество этих частиц, приходящихся на единицу площади зачерненной поверхности, и, вследствие этого, уменьшается степень разрушения ледяного покрова за счет проникновения зачерняющих материалов внутрь льда. К увеличению диаметра зачерняющих материалов придется прибегать в случае производства работ по опыливаюнию с большой высоты (20—50 м и более), вызывающей рассеивание зачерняющего материала на значительной площади за пределы намеченной трассы зачернения (участки рек с высокими берегами

и другими выступающими предметами, исключаящие снижение самолета до 5—10 м).

Начало работ по зачернению зависит от температуры воздуха и выпадения осадков (снега). Зачернение следует проводить после

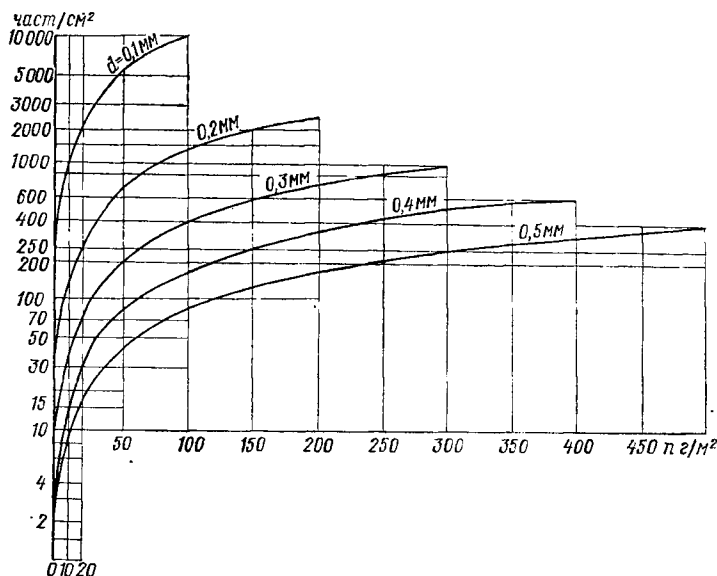


Рис. 2.2. Логарифмические кривые зависимости количества частиц, приходящихся на 1 см² ледяного покрова, от нормы расхода ( $n$ ) и диаметра распыливаемых частиц ( $d$ ) [88]

окончания сильных снегопадов весной при температуре воздуха, исключаяющей намораживание льда сверху в результате замерзания на льду воды от растаявшего зачерненного снега.

Рекомендуемые сроки работ по зачернению (без учета времени на производство работ) для районов с резко континентальным и континентальным климатом — с момента устойчивого перехода дневных положительных температур воздуха через 0 °С весной; для районов с неустойчивой погодой, характеризующейся частыми сменами похолоданий (среднесуточная температура меньше 0 °С) и потеплений (среднесуточная температура больше 0 °С) — с момента устойчивого перехода среднесуточных положительных температур воздуха через 0° весной.

Снег, выпавший после указанной даты, почти не оказывает отрицательного влияния на эффект зачернения из-за быстрого его

схода (за 1—2 сут) под действием солнечной радиации при положительных температурах воздуха.

Сроки следует устанавливать на основе консультации с Бюро погоды. При условии устойчивой антициклонической погоды зачернение можно и до перехода температуры воздуха через 0 °C.

Производить зачернение снежно-ледяного покрова в поздние сроки, в разгар его интенсивного таяния и при наличии воды на льду не рекомендуется. Сильно обтаявшие поверхности незачерненного снега и льда будут иметь почти одинаковую поглощательную способность, что и зачерненный в этот момент снег и лед.

Ширина трасс зачернения зависит от типа самолета, с помощью которого производится зачернение снежно-ледяного покрова, или от распылителя, установленного на автомашине или вездеходе. При опылировании с самолета типа Як-12 ширина трассы может быть принята равной 2,5—3,5 м, а с самолета типа Ан-2 — 8—10 м. Стоимость опыливания ледяного покрова зачерняющими материалами при различных нормах их расходования характеризуется следующими цифрами: при расходе 100 кг/га — 1,0 руб/га; 500 кг/га — 3,7 руб/га; 1000 кг/га — 7,2 руб/га; 3000 кг/га — 23,0 руб/га.

Эффект от зачернения тем больше, чем больше интенсивность и продолжительность воздействия солнечной радиации, а также продолжительность и температура теплого периода, предшествующего вскрытию [24, 175].

Эффективность от зачернения на водохранилищах, в морских бухтах и заливах в несколько раз больше, чем на реках, где период наиболее эффективного действия зачернения сокращается из-за взламывания ледяного покрова паводочной волной. Приблизительно эффективность зачернения льда может быть оценена коэффициентом, представляющим собой отношение поглощающих способностей зачерненного и незачерненного снега или льда

$$k = (1 - A)/(1 - a),$$

где  $A$  и  $a$  — коэффициенты отражения зачерненного и незачерненного снега или льда.

Эффективность таяния зачерненного льда сверху после схода с него снега может быть также в первом приближении оценена коэффициентом  $\eta$ , показывающим отношение продолжительности таяния  $T$  зачерненного льда к продолжительности таяния  $t$  незачерненного льда:

$$\eta = T/t.$$

С помощью Методики [44] можно решить и другие практические задачи:

— определить наименьшее значение температуры воздуха, при которой начинается таяние льда в слое зачернения и при чистой поверхности;

- определить сдвиг по времени начала таяния льда;
- найти оптимальную толщину зачерняющего покрытия;
- установить оптимальные сроки зачернения льда;
- выяснить расход зачерняющих материалов.

Опыливание ледяного покрова с самолетов позволяет в короткие сроки производить работы на больших площадях рек [5, 143]. При концентрации опылителей 50—100 г/м<sup>2</sup> альbedo льда уменьшается до 0 и его вскрытие происходит на две недели раньше. В арктических районах нормы запыления несколько выше: 300—400 г/м<sup>2</sup> смеси угольной пыли и шлака. Наиболее благоприятные сроки: на западе начало мая; на востоке середина апреля. Ширина полосы зачернения с саней за трактором 7—10 м, с самолета 15—17 м [175].

В Восточной Сибири при зачернении в марте льда на дорогах слоем угольной пыли толщиной 0,5—1,0 мм к 1 апреля толщина стаявшего слоя зачерненного льда достигла 55 см, тогда как незачерненного — только 25 см [23, 24, 56]. Примерно на 2 недели ускорялись сроки разрушения зачерненного льда на Тянь-Шане [23, 124, 186].

Опыт применения радиационного метода для ослабления ледовых воздействий на гидротехнические сооружения показал, что разрушение зачерненного льда происходит в 2—4 раза быстрее, чем льда естественного. В условиях частых похолоданий метод радиационного ослабления может оказаться неэффективным и его усиливают расчленением ледяного покрова бороздами с помощью «ледового струга» [177].

Искусственное регулирование таяния снега и льда ледников зависит от их естественной загрязненности и может быть на порядок повышено искусственным зачернением каменноугольным шлаком. Использование этого метода на ледниках Памира и Эльбруса уменьшило альbedo в 2—2,5 раза и ускорило таяние в 7—11 раз [9].

Из всех способов воздействия на ледники важнейшим признано искусственное увеличение расхода путем зачернения льда [75, 186].

Обзор опытов по искусственному усилению таяния льда радиационным методом подтвердил его эффективность и экономическую рентабельность при разрушении морского, озерного и речного льда с целью прокладки судоходных каналов и продления сроков навигации, а также при борьбе с заторами и зажорами [42, 43, 88, 139].

Зарубежные исследования в этой области, начатые под влиянием успехов СССР, показали высокую эффективность метода в продлении сроков навигации на канадско-американской станции Изаксен в 1960 г. [195] и между м. Барроу и зал. Прюде в 1975 г. [198].

Продолжаются поиски веществ, максимально снижающих альбедо льда. Одно из таких веществ — эмульсия на битумной основе (пат. 49—34582 Япония) — предназначено для разбрызгивания с целью искусственного усиления таяния льда.

## 2.2. Пневматические и гидродинамические средства

В поисках новых гидротермодинамических методов воздействия на ледяной покров инженерные изыскания велись в основном по двум направлениям: использование тепла глубинных вод с помощью барботеров и потокообразователей; искусственный обогрев водоема.

Сущность метода по первому направлению состоит в том, что в нижние слои воды с помощью пневматической (барботажной) установки через перфорированные трубопроводы или отдельные сопла выпускается сжатый воздух. Пузырьки воздуха, обладая подъемной силой, движутся к поверхности и увлекают за собой массы более теплой придонной воды, которая, отдавая свое тепло, препятствует ледообразованию или способствует растоплению льда. Этот метод иногда называют методом «аэрации водоема». В ряде случаев поставленная задача решается успешнее с использованием потокообразователей, основное преимущество которых перед барботажными установками — в лучшем использовании тепла поднятой из глубины воды, так как потокообразователь создает поток вдоль майны, который находится в длительном контакте с ледяным покровом. Если запасы тепла в придонных слоях невелики, то применяется искусственный обогрев — выпуск на акваторию специально нагретой воды.

В настоящее время пневматические установки применяются в СССР и за рубежом как на речном транспорте, так и в других отраслях хозяйства: в гидроэнергетике (создание майн перед гидротехническими сооружениями), на лесосплаве (создание незамерзающих бассейнов для хранения древесины).

Наиболее полные лабораторные и натурные исследования эффективности действия пневмоустановок произведены в ЛИВТе и в ЦНИИЛесосплаве. Накопленный опыт нашел отражение в работах [10—12, 20, 51, 128, 132, 133], где, как правило, идет речь о применении барботажных установок на замерзающих акваториях с естественными запасами тепла в воде. Наибольшего внимания

заслуживают работы [11, 51, 125], отражающие опыт образования майн при малых запасах или полном отсутствии тепла в воде. Результаты натуральных исследований по созданию майн именно в таких условиях показывают, что барботажные установки будут эффективны при расходах воздуха, характерных для пневматических волноломов, когда с их помощью можно будет взламывать лед толщиной не менее 10 см и создавать поверхностные течения воды со скоростями не менее 0,6 м/с. Расход воздуха в таких уста-

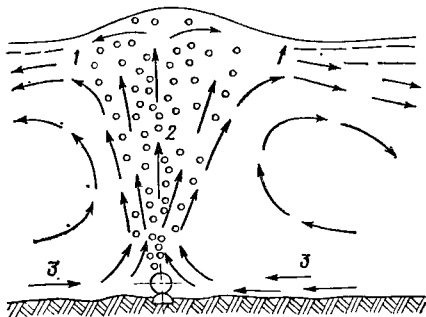


Рис. 2.3. Циркуляционные течения, создаваемые барботажной установкой [50].

1 — поверхностные; 2 — вертикального водновоздушного восходящего потока; 3 — возвратные.

новках можно рассчитывать по формулам, полученным в результате натуральных испытаний пневматических волноломов.

Обстоятельный обзор опытов по барботированию воды дает Паундер [122], считающий этот способ эффективным лишь для глубоких пресных водоемов в условиях умеренного климата. Подробные сведения об использовании и технических деталях зарубежных установок для разрушения льда и защиты от льдообразования представлены в работах [50, 191], откуда заимствованы сведения об устройстве пневмоустановок и потокообразователей.

Общим для всех пневмоустановок является выпуск сжатого воздуха в воду через барботер (устройство для выпуска воздуха или газа в воду). Различают два типа установок: осуществляющих подачу в водоем только сжатого воздуха и использующих сжатый воздух и теплоноситель, подаваемые в водоем раздельно или в смеси. В том и в другом случае для эффективного применения пневмоустановок необходимо учитывать особенности зимнего ледотермического режима конкретного водоема.

Зная термохалинную стратификацию водоема, сжатый воздух выпускают в слое наибольших вертикальных градиентов этих параметров. При этом благодаря «поршневому эффекту» образуется восходящий поток. По мере работы пневмоустановки возникают полужамкнутые циркуляционные течения (рис. 2.3), которые можно разделить на три основные области: поверхностные горизонтальные

течения; вертикальный восходящий водовоздушный поток; возвратные течения, подтекающие к месту выпуска сжатого воздуха.

Представления об образовании, направлении и скорости этих течений имеют особо важное значение при выборе размеров, типа барботера пневмоустановки в конкретных гидрологических и морфологических условиях.

Важно так разместить барботер, чтобы в циркуляционном течении при его работе принимал участие весь объем теплой воды. В морских водах наиболее выгодно располагать барботер в слое наибольшей солености, так как в процессе растопления льда необходим постоянный приток воды высокой солености к нижней поверхности ледяного покрова.

В пневмоустановках, применяемых с целью использования тепла промышленных сбросовых вод, барботер необходимо располагать таким образом, чтобы обеспечить перемешивание поступающей теплой воды с водой водоема.

Водовоздушная вертикальная струя, где происходит подъем пузырьками воздуха масс воды, имеет форму конусного факела, его верхний расширенный конец вблизи поверхности воды преобразуется в горизонтальные потоки. В месте выхода вертикальной струи образуется бурн, создающий гидравлический подпор. В области поверхностных течений происходит замещение охлажденной воды более теплыми или солеными массами, поднимаемыми пузырьками воздуха и взаимодействие их с ледяным покровом. Направление поверхностных течений зависит от количества устройств и выпускных отверстий, их расположения относительно вертикальных стенок причальных сооружений.

При одном точечном источнике вертикальный восходящий водовоздушный поток на поверхности создает веерную струю, т. е. течения расходятся радиально от центра. Несколько источников, расположенных в ряд, 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 нее.

Поверхностные течения по мере удаления от места выпуска сжатого воздуха теряют свою скорость. Скорость на некоторых расстояниях от места выпуска воздуха зависит от глубины погружения барботера пневмоустановки и удельного расхода сжатого воздуха.

Максимального значения скорость поверхностного течения достигает на расстоянии  $(0,3 \dots 1,0) H$  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 боль-



шос значение при расчете зоны активного действия пневмоустановок, а также ширины канала вдоль пирса, свободного от битого льда в результате выноса его поверхностными потоками.

Пневмоустановки бывают с непрерывным и импульсным выпуском сжатого воздуха. Это определяет два основных направления разработки их конструкции.

У пневмоустановок с непрерывным выпуском сжатого воздуха барботер выполнен в виде перфорированного трубопровода. В ряде стран (США, Швеция) запатентован 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 отрезков. Было предложено также устройство, с помощью которого система перфорированных труб может всплывать

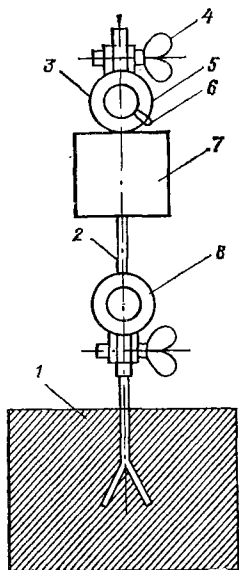


Рис. 2.4. Всплывающая барботажная система [50].

1 — якорь; 2 — трос; 3 — перфорированная труба; 4 — зажимной винт; 5 — зажим; 6 — выпускное сопло; 7 — поплавок; 8 — анкерная труба.

на поверхность. Трубопровод с одной стороны открыт, а с другой — оборудован системой, позволяющей подавать в него сжатый воздух для вытеснения воды. Для управления наполнением 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. Одним из недостатков устройства является затрудненность его ориентации на дне. Этого удалось избежать в устройстве, выполненном в виде двойного трубопровода (рис. 2.4)

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 уравнивает массу всей системы; затем открывают клапан анкерного трубопровода, он наполняется водой и система погружается на дно. Клапан позволяет промывать сопловой трубопровод водой, заполнять анкерный трубопровод воздухом и поднимать систему на поверхность.

Магистральный трубопровод снабжен утеплителем во избежание образования ледяной пробки.

Одновременно с непрерывным выпуском стал применяться *импульсный* способ подачи сжатого воздуха в воду. Воздух подается в барботер, оборудованный специальным накопителем, и при накоплении критического объема воздуха выпускается в воду порциями.

Импульсный способ обеспечивает подачу воздуха в воде в виде пузырей большого объема, с увеличением объема пузыря увеличивается скорость его подъема. Пузырь стремится приобрести форму опрокинутого блюда с большой 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, когда воздух истекает через толщу воды, не перемешиваясь с ней. При этом расход увлекаемой воды и эффективность работы установки резко сокращаются.

Барботеры с импульсной подачей воздуха в основном применяются в качестве волногасителей. Но возможно одновременное эффективное их использование и для растопления льда.

Эффективность работы импульсных барботеров объясняется еще и тем, что большим пузырем воздуха одновременно 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 импульсной подачей сжатого воздуха. Одна из первых конструкций импульсной пневмоустановки была создана английской фирмой и запатентована в Англии, Франции, ФРГ и других странах.

Пневматическая система с гидравлическими импульсными клапанами-накопителями (пат. 805789 Великобритания, 1.075.507 ФРГ

и 1.179.893 Франция) состоит из опрокинутого вверх дном резервуара, в центре которого концентрично расположены две трубы, представляющие собой гидравлический затвор (рис. 2.5). Посту-

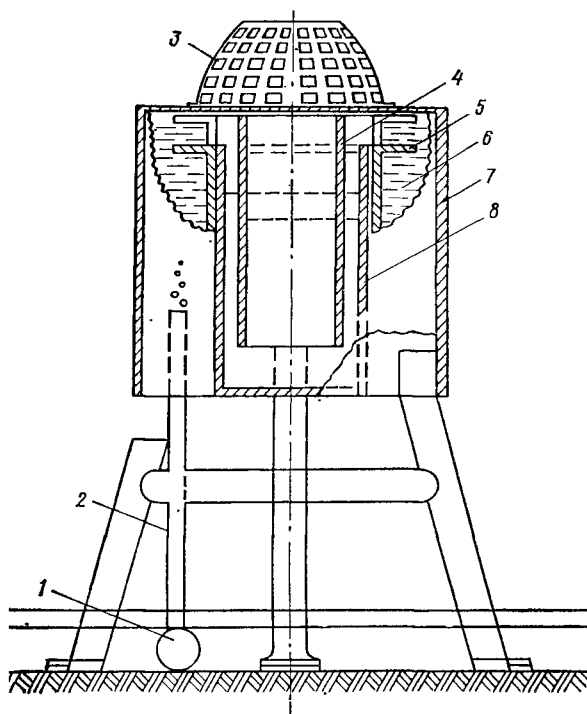


Рис. 2.5. Импульсный клапан-накопитель воздуха [50].

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

пающий из раздаточного трубопровода сжатый воздух заполняет резервуар, вытесняя воду. При достижении определенного уровня воздух мгновенно прорывается в центральную выпускную трубу, дробится защитной сеткой на отдельные пузыри и создает мощный восходящий воздушно-водяной поток.

В Англии и в США запатентованы усовершенствованные устройства (пат. 967543, 148.509, 3.193,260), включающие вышеописанный клапан и направляющую вертикальную трубу (рис. 2.6). По результатам испытаний в Канаде одиночный импульсный барботер подобного типа показал высокую эффективность при не-

значительном расходе воздуха. В начале третьей недели работы в ледяном покрове толщиной 0,3 м при температуре наружного воздуха  $-23^{\circ}\text{C}$  образовалась круглая майна площадью 740 м<sup>2</sup>.

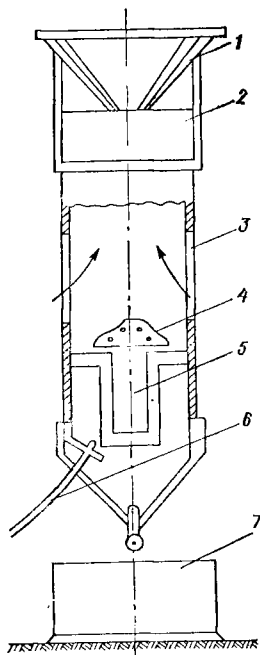


Рис. 2.6. Пневмогидравлический клапан для импульсного выпуска воздуха [50].

1 — конический рассекатель; 2 — труба; 3 — окна для воды; 4 — решетка; 5 — клапан-накопитель; 6 — воздушныйпровод; 7 — груз.

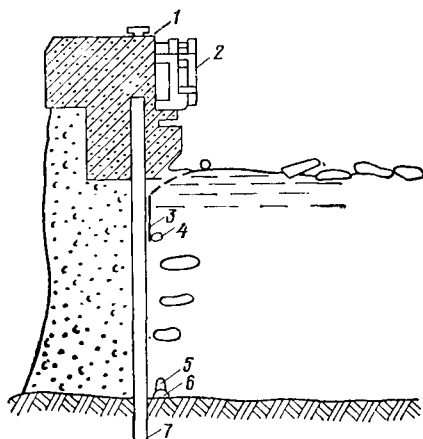


Рис. 2.7. Устройство для образования незамерзающей майны вдоль пирса [50].

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

Барботер периодически выпускал один мощный пузырь воздуха объемом приблизительно 0,016 м<sup>3</sup>.

О применимости и эффективности этого устройства можно судить по наличию патентов-аналогов на конструкцию этого устройства в ряде стран.

В СССР были разработаны способ и клапанные устройства для импульсной подачи воздуха (а. с. 127191, 127192, 127193) с целью растопления ледяного покрова водоемов и установлены

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.

Эффективность барботажа можно существенно повысить за счет одновременного подогрева воды. При полном отсутствии тепла в воде целесообразно применение установок с трубопроводами для задачи горячего газа [46].

Для поддержания свободного от льда участка акватории вдоль причалов в зимний период может быть применено устройство (рис. 2.7), состоящее из поворотной рамы, шарнирно соединенной со стенкой причала, трубы с теплоносителем, закрепленной на раме под наименьшим 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 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. Одновременно с этим предотвращается обледенение шпунта и образование ледяного припая на стенке причала.

Незамерзающая майна может быть создана 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 и газа и, перемешавшись с ними, поднимается по трубе к поверхности водоема.

В ЛИВТе разработана и испытана установка 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 [11].

Теплая вода подавалась в трубопроводы центробежным насосом. 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 м<sup>3</sup>/ч в начале и 22—27 м<sup>3</sup>/ч в конце испытаний, максимальный расход сжатого воздуха 14 м<sup>3</sup>/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 растоплен лед на площади 1,5 тыс. м<sup>2</sup>. Максимальный коэффициент полезного действия установки равнялся 39 %, а минимальный — 21 %.

В осенний период испытаний установка обеспечивала незамерзающую акваторию слипа при подъеме судов, что доказывает 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.

Ленморниипроектom совместно с ЛИВТом разработан способ создания незамерзающих акваторий, учитывающий и устраняющий перечисленные недостатки двухтрубных установок [50]. 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 облегчает монтаж установки. Отпадает необходимость применения насосов и бойлеров: функции этих устройств выполняет струйный аппарат (инжектор-смеситель). Объединение теплоносителя и воздуха в равномерную смесь, поступающую в водоем по однотрубной системе, позволило получить дополнительный эффект.

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

Наибольшее распространение нашли потокообразователи, т. е. винтовые насосы, создающие скоростной поток. Винт приводится во вращение электродвигателем, заключенным в герметичный корпус. 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

$$L_m = 127 \cdot 10^3 R_0 U_0 t / S,$$

где  $R_0$  — радиус сопла потокообразователя, м;  $U_0$  — средняя скорость струи при выходе из сопла, м/с;  $t$  — средняя по вертикали температура воды водоема в месте установки потокообразователя, °C;  $S$  — теплоотдача с открытой водной поверхности. Ширина майны  $b_m \approx (0,12 \dots 0,14) L_m$ .

Потокообразователь образует 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. Контактная со льдом, теплая вода повышает его температуру и плавит. Глубина затронутого циркуляцией слоя зависит от погружения заборного отверстия и производительности потокообразователя. Для ее увеличения используют специальные трубы, с помощью которых осуществляется подъем воды из нужного слоя [12, 27].

Поток также оказывает и гидравлическое эрозионное воздействие на морской лед, имеющий большое количество полостей с рассолом. Во время натурных испытаний в проливе Мак-Мердо устройство, названное «Акватерм», погружалось под ледяной покров толщиной 2,4 м на глубину 3 м. Два электромотора мощ-

ностью до 7360 Вт перемешивали воду с температурой  $-2,2^{\circ}\text{C}$  со скоростью до 10—15 м/с. Примерно через 8 сут участок размером  $8 \times 24$  м был полностью очищен от льда. Во время другого эксперимента в том же районе была проделана майна диаметром 14 м. В течение этого опыта за 4,5 сут было растоплено около 3,18 т льда [223].

В потокообразователе с трубой последняя монтируется из нескольких секций так, что при подъеме на тросах нижней секции все остальные входят одна в другую. Верхняя секция присоединена к всасывающей полости потокообразователя. Иногда потокообразователь укрепляется на башне плавучего дока с возможностью перемещения по вертикальной штанге и поворота на  $180^{\circ}$ . 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 придонная вода имеет достаточно высокую температуру, могут обеспечивать свободную от льда акваторию. Там, где надводный потокообразователь подвергается опасности повреждения, применяют потокообразователи подводного исполнения. Потокообразователь может быть выполнен с водяным охлаждением от засасываемого потока или с воздушным охлаждением (пат. 27407 Финляндии), где воздух забирается через шланг, 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 (пат. 3.083.538 США, 1.166.706 ФРГ, 1.237.407 Франция) достигает поверхности воды, но воздействует на небольшую площадь водоема. С целью привлечения больших масс воды из нижних теплых слоев на дне водоема устанавливают насос (пат. 1.211.708 Франция и 32261 Финляндия), который гонит воду по трубе, уложенной параллельно поверхности и снабженной выпускными, направленными вверх, соплами. Насос автоматически включается и выключается в зависимости от температуры воды на поверхности. Для управления насосом предусмотрено специальное устройство, связанное с датчиком температуры поверхностного слоя воды.

Такой способ подъема теплой воды расширяет область действия одного потокообразователя, но он обладает 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 устанавливают про-



пеллерный насос (пат. 3.109.288 США), 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 мел-

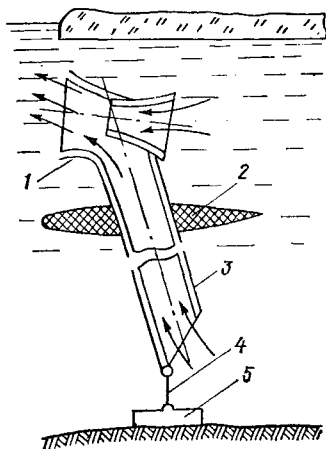


Рис. 2.8. Эжекторное устройство для образования локальных майн [50].

1 — диффузор с соплом; 2 — плавучесть; 3 — всасывающая труба; 4 — трос; 5 — якорь.

кими отверстиями для разбивания выходящей воздушной струи на мелкие пузырьки.

В водоемах с проточной водой при наличии сильных поверхностных течений незамерзающая майна небольших размеров может быть создана с помощью эжекторного устройства (рис. 2.8). 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-поплавков и закреплена нижним концом за якорь. Устройство применимо только на быстрых реках или перед водопропускными сооружениями гидроэлектростанций. При этом способе не нужно подводить и расходовать электроэнергию.

Потокообразователи с искусственным подогревом потока (а. с. 242691 СССР и 318510 СССР), именуемые потокоподогревателями, предложены для водоемов без естественных запасов тепла. 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) 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. В случае отсутствия теплоносителя (пара, горячей воды) поток может подогреваться электрическими нагревателями, встроенными в пластины спрямляющего аппарата потокообразователя.

Как и пневматический, гидродинамический метод с использованием потокообразователей применим в тех же водоемах, но возможности его ограничены большей 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.

Бесконтактное устройство для удаления из-под днища судна непримерзшего битого льда разработано для плавучих доков. Устройство содержит подводный потокообразователь, укрепленный на кронштейнах в диаметральной плоскости 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 (а. с. 266608 СССР).

Сразу после затопления дока насос располагается горизонтально и в этом положении очищает акваторию перед торцом дока от плавающего льда. Предельное положение насоса заранее регулировано 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.

Для сухих доков разработано устройство с аналогичным принципом действия, но отличающееся большими эффективностью и диапазоном применения (а. с. 312786 СССР). Это устройство содержит подводный потокообразователь, установленный с помощью качающейся двуплечей штанги на днище дока в его диаметральной плоскости вблизи затвора. По мере приближения 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. 2.9). 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.

В практике судоремонта применяется метод эрозионно-теплого разрушения ледяной чаши на подводной части корпуса судна потоками воды. Известны попытки использования для этой цели

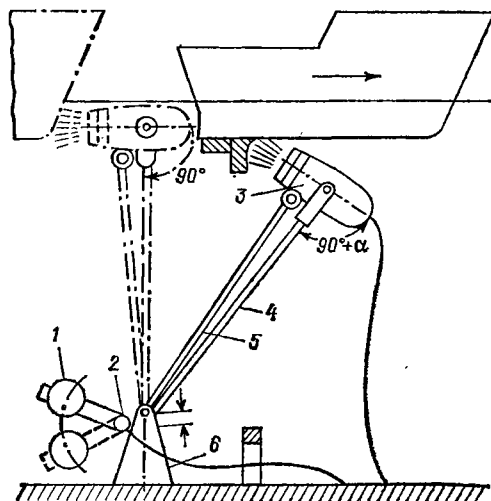


Рис. 2.9. Гидродинамическое устройство для удаления льда из-под днища судна при постановке в сухой док [50].

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

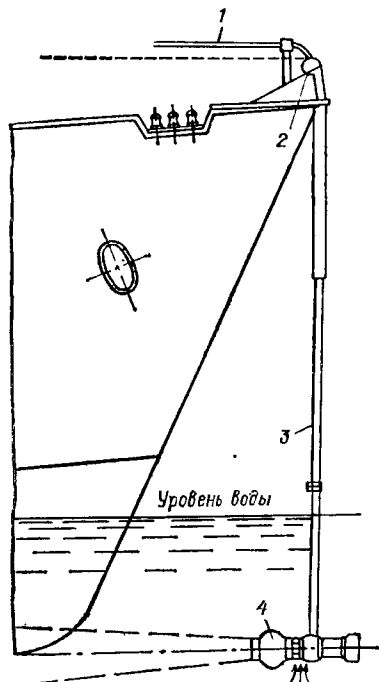


Рис. 2.10. Потокотобразующее устройство для удаления ледяной чаши с днища судна [50].

1 — электрический кабель; 2 — основание; 3 — телескопическая штанга; 4 — подводный потокотобразователь.

буксиров, устанавливаемых к борту судна и разрушающих ледяную чашу протоками 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 потокотобразующим устройством, которое содержит подводный потокотобразователь, прикрепленный к телескопической штанге, устанавливаемой на форштевне судна (рис. 2.10). Потокотобразователь удерживается на тросовых растяжках таким образом, чтобы ось создаваемого им потока совпа-

дала с основной линией днища в диаметральной плоскости 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.

Имеются рекомендации подогревать проходящую через потокообразователь воду паром и электричеством. Проведены испытания установки с подогревом проходящей через потокообразователь воды горячим газом [46]. В состав установки входили потокообразователь мощностью 10 кВт, компрессор производительностью 5 м<sup>3</sup>/мин и камера сгорания с форсункой эжекторного типа. Опыты подтвердили возможность создания и применения установок с подогревом воды горячим газом. Большой опыт по применению потокообразователей накоплен в скандинавских странах и в Канаде. В нашей стране потокообразователи в последнее время стали использоваться для поддержания майн перед затворами плотин и шлюзов.

Существенным недостатком гидротермодинамических способов является увеличение теплопотерь из водоема в зимнее время, способное пагубно отразиться на его общем температурном режиме, особенно при ограниченных глубинах и площади акваторий.

Применительно к условиям Арктики указанные выше способы уничтожения ледяного покрова снизу представляются малоперспективными, так как в арктических морях благодаря вертикальной зимней циркуляции в верхних слоях (до 100 м и ниже) наблюдается изотермия, и слой скачка температуры расположен на значительной глубине. Опыты в морях Гренландии и канадской Арктики выявили лишь некоторую задержку в образовании ледяного покрова, но ожидаемого эффекта не имели [122].

Искусственный обогрев акваторий для растопления льда посредством выпуска в водоем пара, горячего газа, специально подогретой воды или сжигания природного газа экономически оправдан только для создания майн ограниченных размеров [10, 11].

Потребности в свободных от льда участках акваторий огромны. Большие возможности приобретает 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 тепловой воды от электростанций в реки и каналы, созданы незамерзающие фарватеры значительной протяженности. Так, практически защищены от замерзания участки рек Сены (200 км), Марны (20 км), Мозеля (90 км) и Уазы (100 км) [50].

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  $-12^{\circ}\text{C}$  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  $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$  воды при температуре от 12 до  $16^{\circ}\text{C}$ . Зимой 1969/70 г. проводились наблюдения за влиянием сброса 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 [50].

В СССР искусственным обогревом защищались от льда слипы судоремонтных заводов на Неве и Волге, бассейны для хранения древесины на целлюлозно-бумажных комбинатах [10, 11, 12].

Проведенные исследования подтвердили техническую возможность применения установок по искусственному обогреву акваторий для продленной работы слипов в межнавигационный период. Результаты испытаний показали, что для растопления ледяного покрова толщиной 0,5 м на площади  $80 \times 60 \text{ м}$  за 10 сут требуется выпускать на акваторию  $50 \text{ м}^3/\text{ч}$  воды, нагретой до  $30^{\circ}\text{C}$ . Для поддержания акватории слипа в незамерзающем состоянии необходимо выпускать не менее  $24 \text{ м}^3/\text{ч}$  воды при температуре  $30^{\circ}\text{C}$ .

Из анализа результатов проведенных экспериментов следует, что искусственный обогрев акваторий связан с большими энергетическими затратами и экономически целесообразен в случае использования дешевой энергии, например тепла отработанных вод промышленных предприятий, причем растопление льда происходит более рационально, если выпуск теплоносителя осуществляется вблизи нижней поверхности льда. 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 для образования направленного потока (а. с. 394494 СССР).

Подогрев воды для поддержания незамерзающих майн в суровых условиях Арктики сопряжен с еще большими энергетическими затратами. По расчетам, даже в случае искусственного исключе-

ния адвективного выноса тепла из майны, теплопотери с открытой площади арктического водоема за зиму превысят  $41,9 \cdot 12$  Дж/см<sup>2</sup>. Отсюда, для поддержания в талом состоянии майны размером  $10 \times 10$  м потребуется сжигание 24 тонн угля стандартной теплопроизводительной способности при 100 %-ном КПД тепловой установки.

Таким образом, поддержание майн в ледяном покрове зимой в открытом состоянии нерационально из-за значительных энер-

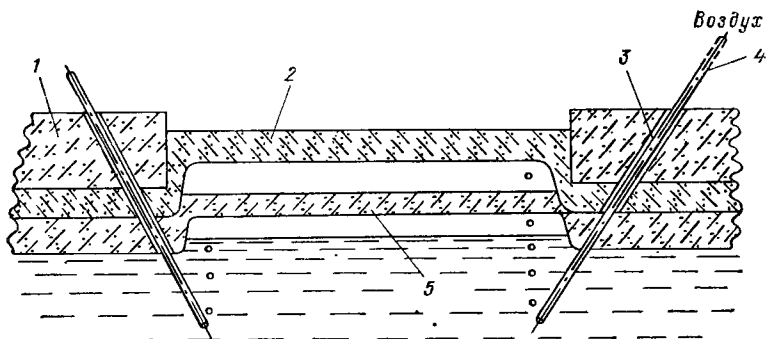


Рис. 2.11. Разрез легкоразрушаемой слоистой структуры льда.

1 — ледяной покров на период создания майны; 2 — первый слой свеженамороженного льда; 3, 4 — воздуховоды; 5 — второй слой намороженного льда [158].

гетических затрат. Более экономично искусственный обогрев сочетать с другими методами разрушения ледяного покрова. В связи с этим представляется целесообразным производить неполное растопление льда на некоторой акватории, т. е. подводить ко льду такое количество тепла, чтобы его толщина не превышала некоторую заданную величину. Дальнейшее очищение ото льда может быть произведено механическим или другими способами.

Среди новых способов уменьшения механической прочности ледяного покрова известный интерес представляет метод искусственного создания слоистой (с воздушными прослойками), механически легко разрушимой и сравнительно мало теплопроводной структуры ледяного покрова [158]. Принцип создания слоистой структуры льда состоит в следующем: в ледяном покрове изготавливается майна необходимых размеров и конфигурации; после замерзания первого слоя льда под лед производится поддув воздуха и затем майна снова оставляется для свободного замерзания второго слоя льда и т. д. Механическая прочность полученного ледяного покрова снижается главным образом потому, что разъединенные воздухом слои льда разрушаются во много раз легче (рис. 2.11). Необходимость поддержания неизменной тол-

щины слонстого участка ледяного покрова по сравнению с испаренным льдом потребует меньших энергетических затрат вследствие пониженной теплопроводности льда за счет присутствия в нем слаботеплопроводных слоев воздуха. Результаты испытания указанного способа на пресном озере в районе Якутска, а также на озере и морском водоеме на Ванькиной губе (восточная окраина моря Лаптевых) подтвердили его осуществимость и перспективность.

Более эффективный способ предохранения водоемов от промерзания предложен В. П. Гаврило с соавторами (а. с. 958582 СССР), согласно которому повышение эффективности достигается тем, что многослойное теплоизолирующее покрытие выполняется путем укладки слоя льда и сорбционного материала с низким коэффициентом теплопроводности, смешанного с теплоизолирующей жидкостью, например, нефтепродуктами с последующим чередованием слоев. Способ реализуется следующим образом. После образования на поверхности воды слоя льда под него закачивают слой теплоизолирующей жидкости, смешанной с крошкой сорбционного материала, после нарастания второго слоя льда под него закачивают следующий слой теплоизолирующей жидкости и далее операция повторяется необходимое число раз, определяемое расчетным путем.

В качестве жидкого теплоизолирующего вещества можно использовать нефтепродукты, которые легче воды и имеют коэффициент теплопроводности в 15—20 раз меньше, чем у льда. В качестве сорбционного материала можно использовать пенопласты, коэффициент теплопроводности которых в 40—50 раз меньше, чем у льда. При существовании температурного перепада в слоях нефтепродуктов толщиной не более 2 см перенос тепла через них осуществляется только молекулярной теплопроводностью (в отличие от конвекционного теплообмена в случае воздушных прослоек).

Эффективность многослойного теплоизолирующего покрытия характеризуется толщиной нарастающего льда, которая определяется по формуле:

$$h_k = -h_t + \sqrt{h_t + h_{k_0} + \frac{2\lambda_{\text{л}}(t_k - \theta)}{L_{\sigma}}} \tau;$$

$$h_t = \frac{\lambda_{\text{л}}}{\sigma} + \sum_{(i)} h_i \frac{\lambda_{\text{л}}}{\lambda_i},$$

где  $h_k$  — толщина нарастающего льда;  $h_t$  — толщина слоя температурного сопротивления;  $h_{k_0}$  — слой ранее образовавшегося льда;  $\lambda_{\text{л}}$  — коэффициент теплопроводности льда;  $t_k$ ,  $\theta$  — температура

воды, при которой происходит ледообразование, и окружающего воздуха;  $\tau$  — время ледообразования;  $L_v$  — удельная теплота фазового перехода;  $\alpha$  — коэффициент теплообмена между поверхностью и воздухом;  $h_i$  — толщина слоя изоляции;  $\lambda_i$  — коэффициент теплопроводности изоляции.

Теоретические расчеты, выполненные без учета подвода тепла от водной массы, показали, что для образования 16 см чистого льда в условиях Арктики требуется 5 сут, в то время как для образования теплоизолирующего покрытия из 16 слоев (толщина каждого слоя льда и соляра 1 см) — 38 сут при тех же значениях метеорологических параметров. Причем за весь осенне-зимний период толщина льда в водоеме будет составлять 2,8 м, а толщина льда в водоеме, покрытом теплоизолирующей системой из 16 слоев льда и соляра — 1,3 м.

Эффективность теплоизолирующего покрытия лед—соляр проверялась в Арктике в осенний период. Покрытие состояло из трех слоев соляра толщиной около 1 см каждый. Покрытие сформировано за 24 сут. При числе градусо-дней мороза  $-311,3^\circ\text{C}$  толщина наростшего льда без теплоизолирующего покрытия 0,26 м, а льда с теплоизолирующим покрытием 0,15 м.

Применение теплоизолирующих жидкостей с плотностью больше чем плотность льда, но меньше плотности воды обеспечивает механическую прочность покрытия и сохранение теплоизолирующих свойств покрытия, так как при возможном термическом растрескивании ледяных прослоек обломки льда будут удерживаться выталкивающей силой на поверхности жидкости, предохраняя слои льда от обрушивания, что исключает проникновение холодного воздуха в многослойное покрытие.

Такое покрытие легко создавать на больших площадях водных бассейнов с малыми материальными затратами, так как в качестве теплоизолирующих материалов могут быть использованы отходы горюче-смазочных материалов и отходы твердых теплоизолирующих веществ. Такие покрытия значительно снижают трудозатраты при зачистке дренажных котлованов ото льда и в несколько раз снижают глубину промерзания грунта в осенне-зимний период, что значительно продлевает сроки работ. Способ может быть использован при работах, связанных с добычей полезных ископаемых со дна арктических морей для предохранения рабочих участков акваторий от промерзания. При использовании способа толщина нарастающего льда под теплоизолирующим покрытием в 2—5 раз меньше, чем в естественных условиях.

Идея использования энергии волн для борьбы с ледообразованием на акваториях гаваней с помощью волногенераторов появилась в последние годы. 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 пе-

реохлажденной воде кристаллам льда. Одновременно происходит перемешивание слоев воды по глубине водоема, поэтому на поверхность поднимаются более теплые или более соленые придонные воды. Кроме того, создаются потоки с небольшой (около 9—10 см/с) поверхностной горизонтальной скоростью, благодаря

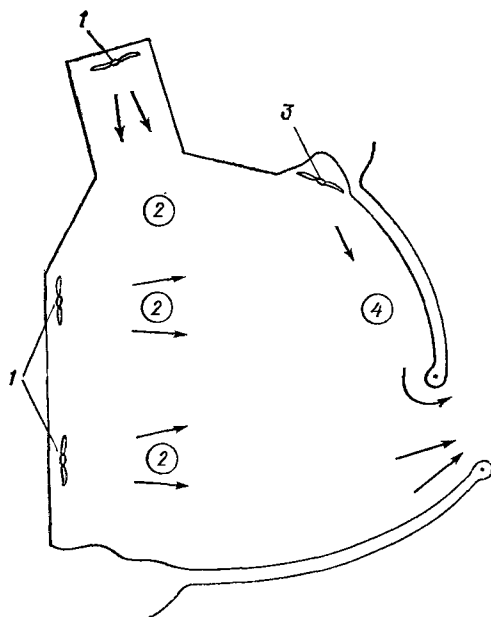


Рис. 2.12. Предотвращение ледообразования на акватории порта с помощью волногенераторов [50].

1 — волногенератор; 2, 4 — фронт распространения прямой и отраженной волны; 3 — отражающий экран.

которым 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. 2.12).

Волногенераторы являются новым типом противоледовых устройств. Испытаны пока только опытные маломощные образцы, однако результаты говорят о перспективности их применения. Эксперименты по определению эффективности работы волногенераторов были проведены впервые 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.

Ледяной покров имел толщину 24 см, которая на расстоянии 25 м от места установки волногенератора 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  $-30^{\circ}\text{C}$ .

В опытах 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  $10^{\circ}\text{C}$ . 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.

Полученные результаты показывают, что волногенератор может быть использован и на акваториях с уже образовавшимся прочным ледяным покровом. Эксперименты в мелком лотке с холодной водой, близкой к температуре замерзания, показали, что отсутствие градиента температуры по глубине незначительно снизило эффективность работы волногенератора. На основании результатов этих опытов можно сделать вывод, что волногенераторы 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.

С целью 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. 2.13). Бревну с помощью устройства для забивания свай, установленного на пирсе, придают возвратно-поступательное движение в вертикальной плоскости.

Опытная проверка показала, что при малой длине вибрирующего элемента дальность действия волны сокращается в связи с влиянием дифракции волн. Дифракционные потери значительно

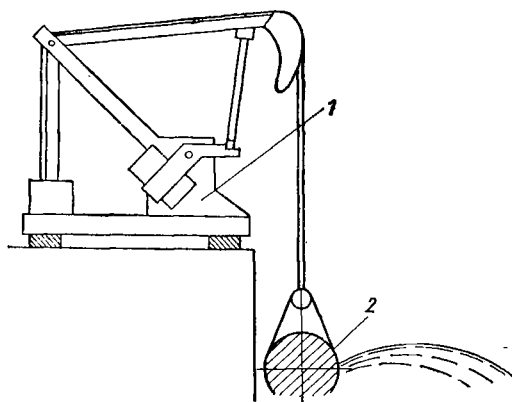


Рис. 2.13. Плунжерный волногенератор [50].

1 — приводной механизм; 2 — плунжер.

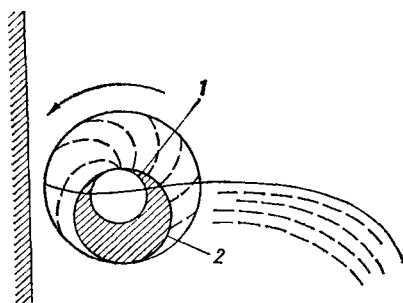


Рис. 2.14. Роторный волногенератор [50].

1 — металлическая труба; 2 — полиэтиленовая пластина.

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.

На рис. 2.14 показан принцип действия плавучего волногенератора с вращающимся элементом. В патенте 3.477.233 (США) приведено еще несколько конструкций волногенераторных установок, основанных на том же принципе действия, что и вышеописанных волногенераторов.

Волногенераторная установка, создающая волну высотой 1 м и длиной 10—12 м, по предварительным расчетам обеспечит удаление ледяной шуги на несколько километров. В то же время такие волны не затрудняют выполнение различных операций на аквато-

рии. 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.

### 2.3. Паро-водовоздушные средства

Использование пара, горячей воды и воздуха для протаивания майн в морском льду широко применялось И. Г. Петровым на акваториях арктических портов [129]. Использовалась котельная установка производительностью около 1 т/ч с расходом топлива около 2,5 т/сут. Температура пара была 120 °С. Тепло подводилось ко льду по трубопроводу, который был смонтирован из металлических труб диаметром 51 мм. Для более быстрого протаивания льда паропровод был уложен двумя рядами. Увеличить скорость протаивания можно путем применения перфорированного трубопровода (отверстия через 1—1,5 м диаметром 1—2 мм), откуда пар выходил бы наружу и непосредственно соприкасался с окружающим льдом или водой.

Во избежание излишних потерь тепла следует следить, чтобы трубопровод, особенно перфорированный, всегда находился во льду или в талой воде. Так как при использовании перфорированного трубопровода часть пара уходит из системы, и в установку приходится добавлять свежую холодную воду, что создает тяжелый режим работы котла, предпочтение следует отдавать замкнутой системе.

Трубопроводы, расположенные на поверхности льда, почти через час обогрева опускаются в лед так, что полностью закрываются талой водой, и преобладающая часть тепла расходуется через такую воду на таяние льда. В этом случае тепло теряется только через поверхность образующейся майны. Эти потери невелики и при штиле и могут быть сокращены, если поверхность образующейся снежицы закрыта. За 1 ч прогрева трубопроводы могут погрузиться в лед в среднем на 20 см, причем талая вода, находившаяся на поверхности льда, т. е. выше уровня моря, стекает, и над трубопроводами остаются узкие сухие прорезы несколько шире диаметра труб. Согласно экспериментальным данным, через 15 ч прогрева трубопроводы погрузились на глубину от 30 до 70 см. По обе стороны от трубопроводов образовалась снежица шириной 2—3 м, заполненная талой водой. Тепло от трубопроводов через окружающую воду в основном расходовалось на таяние ледяного покрова. В этот момент снежица имела форму, изображенную на рис. 2.15. Трубопроводы (2) прошли верхний слой льда, а затем, погрузившись ниже, стали на-

греть окружающую воду, не имеющую возможности стекать под лед. В результате над снежницей образовалась корка льда толщиной 10—15 см. Динамика плавления льда в зависимости от времени, а также расход топлива и пара показаны в табл. 2.2.

За коэффициент использования тепла принято отношение количества тепла, необходимого на вытаивание майны данных размеров, к действительному расходу тепла, определенному по фактически использованному на нагревание трубопроводов пару.

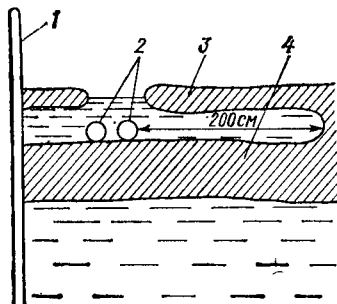


Рис. 2.15. Начальный момент образования снежницы во льду около трубопроводов [129].

1 — стенка; 2 — трубопроводы; 3 — верхний и нижний слой льда.

Коэффициент использования тепла характеризует степень использования тепла установки, учитывает потери тепла, показывает, насколько эффективно расходуется топливо на образование

Таблица 2.2

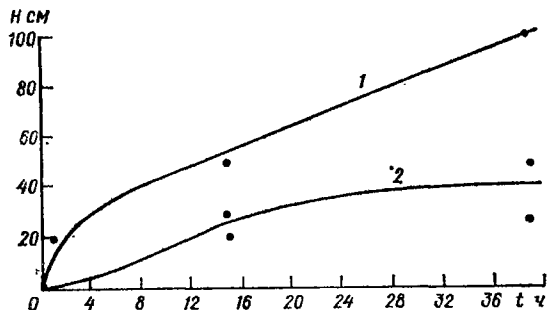
**Количество пара, израсходованного на вытаивание майны [129]**

| Время прогрева, ч | Майна      |           | Количество расплавленного льда, м³ |            | Тепло, необходимое для вытаивания майны в 90 м, · 10² МДж | Расход   |                          |             | Коэффициент использования тепла |
|-------------------|------------|-----------|------------------------------------|------------|---|----------|--------------------------|-------------|---------------------------------|
|                   | глубина, м | ширина, м | 1 м длины                          | 90 м длины |   | пара, м³ | тепла по пару, · 10² МДж | топлива, кг |                                 |
| 1                 | 0,20       | 0,05      | 0,01                               | 0,90       | 2,722   | 1        | 27,3                     | 130         | 0,10                            |
| 15                | 0,50       | 2,5 (2—3) | 1,25                               | 112,50     | 340,2   | 15       | 409,5                    | 1950        | 0,84                            |
| 24                | 0,75       | —         | —                                  | —          | —   | 20       | 546,0                    | 2600        | —                               |
| 39                | 1,00       | 4,0 (3—5) | 4,0                                | 360        | 1088  | 50       | 1365,0                   | 6500        | 0,80                            |

Примечание. Калорийность топлива принята 20,95 МДж/кг; средняя декадная температура воздуха при вытаивании майны —25 °С; ветер слабый.

майны. Его различные значения объясняются изменением условий работы трубопровода. В первый час протаивания полынью этот коэффициент очень мал, так как трубопроводы, не закрытые водой или льдом, обдуваются воздухом низкой температуры и большое количество тепла теряется. По истечении 15 ч работы установки коэффициент использования тепла значительно возрастает, так как трубопровод к этому времени уже опустился в талую воду, прикрытую снежным «козырьком». Когда через 39 ч про-

Рис. 2.16. Зависимость глубины (1) и ширины (2) протаивания льда с помощью двух трубопроводов длиной 90 м при расходе пара 1—1,2 т/ч от времени [129].



грева «козырек» обваливается, теплоотдача воды в воздух увеличивается, и коэффициент использования тепла несколько уменьшается. Для представления о соотношении глубины протаивания и времени обогрева построен график (рис. 2.16), который может быть использован для расчетов размеров, времени и скорости образования майны при дальнейшем практическом применении данного метода.

Скорость увеличения глубины майны неодинакова, и ее можно разделить на два этапа: начальный (1,5—2,0 ч) и весь последующий период прогрева. На первом этапе скорость протаивания составляет 10 см/ч, затем она уменьшается и становится почти постоянной (2 см/ч).

Увеличение ширины майны сначала (первые 2—4 ч) происходит очень медленно (0,5 см/ч), затем быстрее со скоростью 1—2 см/ч. Первый участок обеих кривых почти одинаков и соответствует быстрому погружению трубопроводов в лед и медленному увеличению ширины майны. В этот период наиболее велики потери тепла (малый коэффициент использования тепла). В такой неэффективный период работы установки тает небольшое количество льда. Затем происходит почти равномерный, достаточно интенсивный рост глубины и ширины майны.

Майну шириной 2—3 и 5 м во льду шириной 1 м можно создать менее чем за 2 сут.

Лепморнинпроектком была спроектирована опытная паровоздушная установка для создания незамерзающей акватории перед плавучими доками в Архангельске [50]. Установка (рис. 2.17) 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

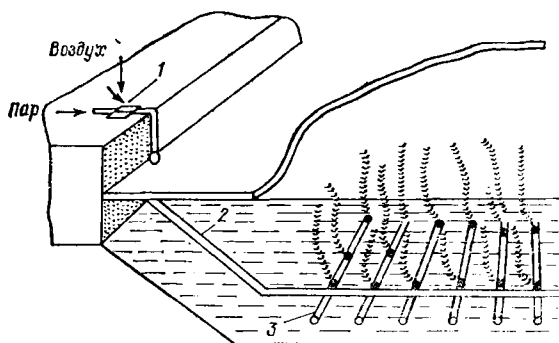


Рис. 2.17. Паровоздушная установка [50].

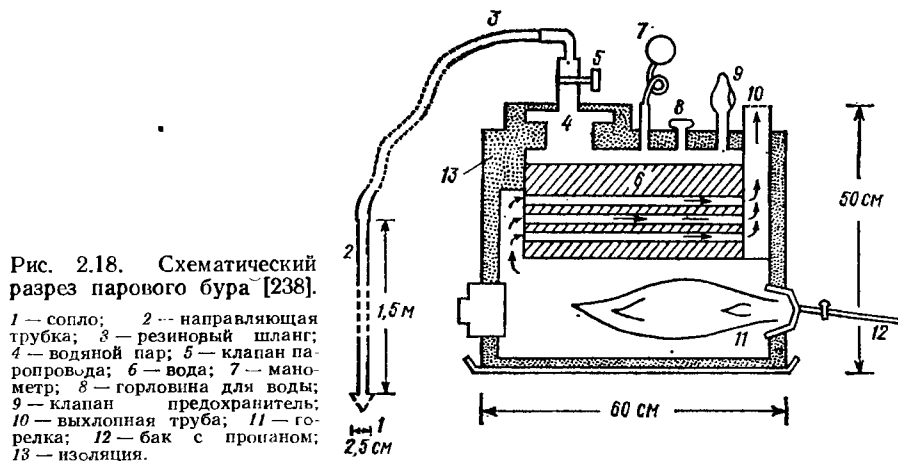
1 — паровоздушный инжектор;  
2 — подводящий трубопровод;  
3 — раздаточные трубопроводы.

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.

Перед испытаниями 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 °С, минимальная — 16,9 °С. В течение 327 ч работы установки в водоем было подано  $546 \cdot 10^6$  кДж тепла при среднем расходе пара 581,5 кг/ч с избыточным давлением 0,4 МПа. Вместе с паром подавался сжатый воздух с максимальным избыточным давлением 0,6 МПа, 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 %.

Этот метод использовался и на речном флоте для борьбы с обмерзанием слипов [21].

Паровой способ применялся также при уборке льда из дренажных котлованов в Восточной Сибири. В основу способа положена разделка массива льда на большие блоки площадью до 600 м<sup>2</sup>, транспортировке их плавом в зону действия экскаватора со специальным ковшом. 600-сантиметровая драга, снабженная устройством для резания льда паром, позволила ускорить скорость реза-



ния на 30—40 %, что снизило себестоимость работ почти в 3 раза.

В США выполнялась ОКР по созданию нового образца парового бура. За основу была взята конструкция, разработанная в 1965 г. австрийским ученым Говоркой [218].

В качестве источника тепла в горелке бура использован пропан, обеспечивающий более высокое, чем бутан, давление газа при низких температурах. При сжигании 1 кг пропана выделяется  $5 \cdot 10^7$  Дж энергии. Этого достаточно, чтобы вскипятить 18,4 кг воды и довести температуру пара до 140 °С. Полученный пар способен растопить 150,6 кг льда или проплавить скважину диаметром 2,5 см на глубину 324 м. Глубже 16 м бурение непрактично, так как потери тепла в шланге слишком высоки. Пар подается ко льду сквозь гибкий шланг с двойными стенками (внешняя из резины, внутренняя из тефлона) через направляющую насадку с соплом на конус (рис. 2.18). Скважину глубиной 8 м диаметром 2,5 см можно пробурить за 15 мин, на глубине 16 м скорость проходки падает до 19 м/ч, на глубине 32 м до 6,6 м/ч [216].

В 14-й Японской антарктической экспедиции (1972—1974 гг.) аналогичным буром проплавлялись в фирновом льду скважины



диаметром 3 см и глубиной 10 м со средней скоростью проходки около 28 м/ч [239].

Устройство для разрушения льда струями горячей воды (а. с. 844465 СССР) имеет корпус, который в нижней части выполнен в виде набора ряда продольных пазов, расположенных параллельно друг другу. Верхние концы пазов сообщаются между собой в полости устройства, а нижние — на торцах снабжены шлицами и выпущены наружу из полости корпуса. Такая конструкция устройства позволяет обеспечить равномерную подачу горячей воды из выпускных отверстий независимо от того, каким образом установлен на лед рабочий торец устройства, а также от качества разрушаемого льда (содержание загрязнений, наличие трещин и т. п.). Данное техническое решение позволяет получить довольно высокую скорость разрушения (бурения) льда с хорошим КПД: при испытаниях была достигнута скорость 40 м/ч, а КПД устройства при повторном использовании отработанной воды составлял 50—60 %. Испытания экспериментальных образцов устройства для вырезания блоков льда из ледяного покрова Ладожского озера и для образования траншей в ледниковом покрове Антарктиды показали их высокую надежность и эффективность работы.

Пар, горячая вода и воздух судовых двигателей успешно используются для предотвращения и ликвидации обледенения надводных частей морских судов (а. с. 280250 и 300378 СССР). 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. Пар подается к защищаемой поверхности надводной части судна через отверстия в ней (а. с. 195910, 360268, 209224 СССР) и перфорированные паропроводы (пат. 1315834 Великобритания). Иногда в качестве теплоносителя используют теплый воздух (пат. 1308896 и 1315834 Великобритания), отработанные газы двигателя и горячая вода [1, 120].

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.

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 в отстое.

Представляет интерес запатентованное в Англии устройство для обогрева корпусов отстойных судов (пат. 894878). 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. 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.

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

Распространенным методом ликвидации ледяной чаши является подача 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 подплаывается, затем вновь прижимается гидростатическим давлением к днищу судна, а условия передачи тепла от корпуса судна ко льду через прослойку воды ухудшаются.

Для обогрева обшивки корпуса подачей в отсеки горячего воздуха необходимо 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.

Удаление льда горячей водой, подаваемой по системе перфорированных труб, укрепленных на специальном стационарном всплывающем устройстве, 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 ( $4^{\circ}\text{C}$ ) и погружается на дно водоема, что ведет к значительным потерям тепла [10].

Известно также устройство, в котором для очистки от льда подводной части судна под его днище подается пар через пустотелую штангу с соплами (а. с. 195910 СССР). 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.

Эффективными средствами удаления ледяной чаши могут являться установки, предназначенные 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 авиации для борьбы с обледенением самолетов, крыльев, оперения, двигателей и воздухозаборников широко применяются воздушно-тепловые противообледенительные системы (ПОС). Принцип действия системы основан на использовании горячего воздуха, отбираемого от компрессоров двигателя, либо, воздуха, нагреваемого в теплообменниках циркулирующими в них горячими выхлопными газами [156].

## 2.4. Газотермические средства

Газотермические средства разрушения основаны на применении газовой струи высокой температуры, выбрасываемой со сверхзвуковой скоростью из сопла реактивной горелки. Горелка представляет собой камеру, в которой происходит сгорание топлива и образование газов с высокой температурой и давлением. Эти газы обладают большим запасом тепловой и механической энергии. Рабочее давление в камерах сгорания терморезаков колеблется от 0,5 МПа до 0,9 МПа, а температура внутри камеры достигает 3000—3300 °С. Раскаленные газы из камеры выбрасываются наружу через сопло специальной формы (сопло Лаваля), где они, проходя через критическое сечение, приобретают сверхзвуковую скорость [188].

Давление рабочих компонентов: кислорода 1,2—1,6 МПа, керосина 1,4—1,6 МПа и воды 0,5—0,8 МПа. Расход кислорода для обычных горелок равен примерно 8—10 кг/ч; керосина 8—10 кг/ч и воды для охлаждения 200—250 л/ч. Коэффициент полезного действия реактивных горелок достигает 60—70 %.

Только сверхзвуковая струя обеспечивает интенсивное разрушение льда, так как одной высокой температуры для этого недостаточно; к разрушаемому объекту необходимо подвести большое количество тепла в минимальный срок. Раскаленная струя, вырывающаяся со сверхзвуковой скоростью, коснувшись поверхности льда за короткий срок (десятые доли секунды) сообщает ей большое количество энергии. Аэродинамические удары реактивной струи способствуют интенсивному и направленному разрушению льда (рис. 2.19). Согласно экспериментальным данным, разрушение льда газотермодинамическим методом происходит в виде быстрого плавления в районе действия высокотемпературного пламени горелки. Разрушение льда в виде скалывания и шелушения частичек материала с выносом продуктов разрушения, как это имеет место при разрушении крепких горных пород, не наблюдалось. По внешнему виду разрушение льда напоминает разрушение таких материалов, как бетон и железобетон.

Процесс резки льда сопровождается сильным шумом, возникающим при выходе струи из реактивной горелки и ударами ее по поверхности льда. При работе образуется газовое облако, которое имеет сильный запах керосина. Талая вода стекает и разбрызгивается в стороны. По виду стекающей воды можно предполагать, что некоторое количество ее доходит до кипения, а остальная часть даже превращается в пар и участвует в образовании газо-

вого облака. Средняя скорость плавления льда с помощью кислородно-керосиновых терморезаков составляла  $74 \text{ см}^3/\text{с}$ .

Производительность воздушно-реактивных термоотбойников несколько ниже, чем у кислородно-реактивных горелок, но они

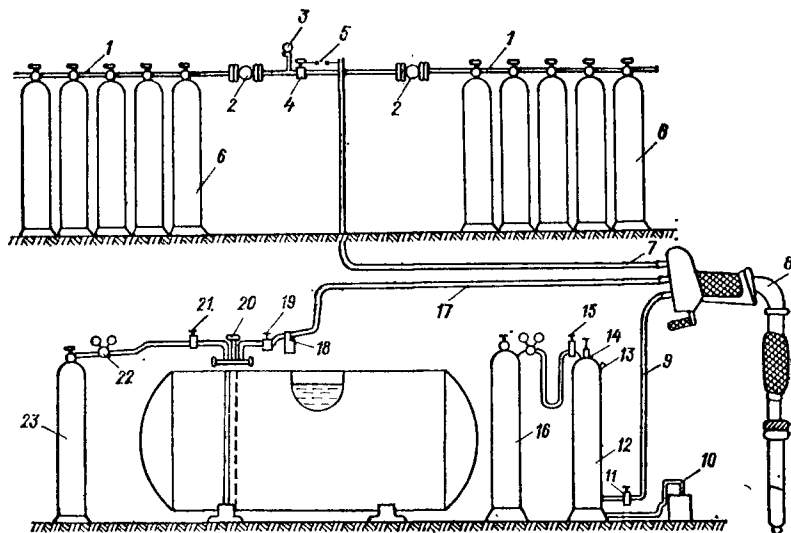


Рис. 2.19. Схема газотермической установки с кислородно-керосиновой горелкой и водяным охлаждением [188].

1 — коллектор; 2, 4 — запорные вентили коллектора и отбора кислорода; 3 — манометр; 5 — рамповый редуктор; 6 — кислородные баллоны; 7, 9 — кислородный и керосиновый шланги; 8 — терморезак; 10 — емкость для сброса керосина; 11, 18 — керосиновый и водяной отстойник; 12 — керосиновый баллон; 13 — пробка; 14, 20 — обратные клапаны ( $P=10,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ;  $P_p=10,1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ); 15, 21 — трехходовый вентиль; 16, 23 — воздушные баллоны; 17 — водяной шланг; 19 — запорный вентиль; 22 — редуктор давления.

имеют ряд преимуществ, главное из которых заключается в том, что удастся отказаться от газообразного кислорода и воды, необходимой для охлаждения термоинструментов. Это значительно упрощает установку и делает ее работу в производственных условиях более надежной.

Основными узлами этой установки являются: ресивер компрессора для подачи воздуха, топливный бак и термоотбойник. Температура газовой струи у выхода термоотбойника составляет  $1000\text{--}1200^\circ\text{C}$ , скорость струи достигает  $1200\text{--}1500 \text{ м/с}$  при расходе воздуха около  $2,5\text{--}3 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

Эффективности кислородно-керосиновых и воздушно-бензиновых камер сгорания отличаются незначительно. Несколько лучшие

результаты дают кислородно-реактивные горелки. Для кислородно-реактивных терморезаков приведенная площадь реза составила  $7,8 \text{ см}^2/\text{с}$ , для воздушно-реактивных —  $6,2 \text{ см}^2/\text{с}$ . В переводе на скорость плавления льда горелки первого типа имеют также несколько лучшие показатели. Скорость плавления льда с их помощью составляет  $74 \text{ см}^3/\text{с}$ , тогда как воздушно-реактивными терморезаками  $52 \text{ см}^3/\text{с}$ . Однако несмотря на небольшие преимущества, резание льда кислородно-реактивными камерами сгорания по сравнению с воздушно-реактивными имеет существенные недостатки. Главными из них является необходимость применения в термоинструментах воды для охлаждения камеры сгорания, что создает значительные трудности в их эксплуатации при работах в зимнее время. Кроме того, применение в качестве окислителя дорогостоящего и дефицитного газообразного кислорода при больших объемах работ экономически нецелесообразно.

Резание льда воздушно-реактивными термоинструментами более перспективно, несмотря на то, что показатели скорости резания льда несколько ниже по сравнению с кислородно-реактивными камерами сгорания. Воздушно-реактивные термоинструменты могут безотказно работать при низких температурах воздуха благодаря использованию в них для охлаждения вместо воды воздуха. Применение воздуха значительно упрощает и конструкцию камеры сгорания, делая ее эксплуатацию более надежной и простой. И, наконец, использование в качестве окислителя сжатого воздуха вместо газообразного кислорода дает значительный экономический эффект.

Определяя круг практических задач по разрушению льда, которые могут решаться с использованием реактивной газовой струи, надо учитывать, что разрушение льда плавлением является самым невыгодным с энергетической точки зрения, так как лед, по сравнению с другими веществами, имеет высокую теплоту плавления  $80 \cdot 4,19 \text{ Дж/кг}$ .

Перечень задач поэтому ограничивается лишь отдельными вопросами, не связанными с большим объемом работ и быстротой их проведения.

Реактивно-газовая горячая струя нашла применение, например, для очистки от снега и льда взлетно-посадочных полос (ВПП) на аэродромах [91, 140], при проходке скважины в толще ледника Антарктиды [126]. Так, при очистке ВПП от снега газ, нагретый до  $600^\circ\text{C}$ , создавал напор силой до  $29,43 \cdot 10^3 \text{ Н}$ , и оставлял за машиной чистую полосу шириной 50 м при скорости очистки 3—10 км/ч. Скорость очистки ВПП от ледяной корки гораздо ниже. Имеются сведения о применении газотурбинных двигателей ТГ-16 и двигателей самолета Ан-26 (отработавших летный ресурс) для

очистки дорожных покрытий от льда [91]. В этом случае лед сначала подплавлялся, а затем далеко отбрасывался газовой струей. Подсчитано [73], что на снятие гололеда толщиной 15 мм с полосы шириной 3,66 м и длиной 1 км при максимально возможном КПД подвижной автономной таялки 40 % потребуется 1200 л бензина.

Реактивно-термический метод для бурения шельфового ледника Росса в Антарктиде был применен американцами в 1977 г., когда за 7 ч во льду толщиной 427 м было пробурено отверстие диаметром 30 см.

Газотермическая горелка для бурения пламенем выглядит как реактивный двигатель с внутренней камерой сгорания, заключенной во внешней трубе (рис. 2.20). Холодная вода циркулирует между ними и распыляется вокруг горящей газовой струи, вырывающейся под большим давлением со сверхзвуковой скоростью из сужающегося сопла. Бурильная система состоит из двух воздушных компрессоров, каждый из которых имеет собственный дизельный двигатель. Первый из них мощностью 208 кВт создает давление 0,98 МПа, а второй повышает его до 8,4 МПа. Тормозная система бура состоит из гидравлического подъемника и меха-

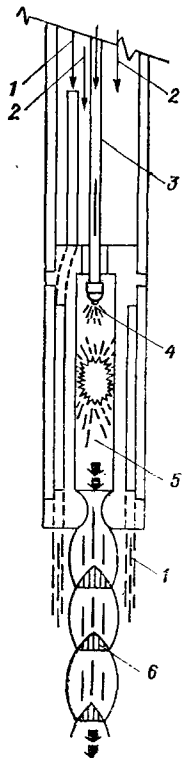


Рис. 2.20. Схема газотермической горелки для бурения пламенем [199].

1 — вода; 2 — воздух; 3 — нефтяное горючее; 4 — распылитель; 5 — камера сгорания; 6 — зажигание.

низма управления кабелем. Второй (усиливающий) дизель запускает также гидравлическую помпу, водяной и топливный насосы высокого давления. Скорость бурения в верхних слоях льда не превышала 0,61 м/мин и лишь на последних сотнях метров возросла до 1,83 м/мин. В пробуренную скважину немедленно опускали кабель—нагреватель мощностью 60 кВт на всю глубину водного столба и тем самым в течение четырех дней избегали ее смыкания [199].

Газотермический метод разрушения льда был признан перспективным и усовершенствован в Ньюфаундлендском университете и Научно-исследовательской корпорации по изучению океана.

Предлагается использовать аммиак, хлористый водород, двуокись серы и газообразный хлорид аммония. Наиболее перспек-

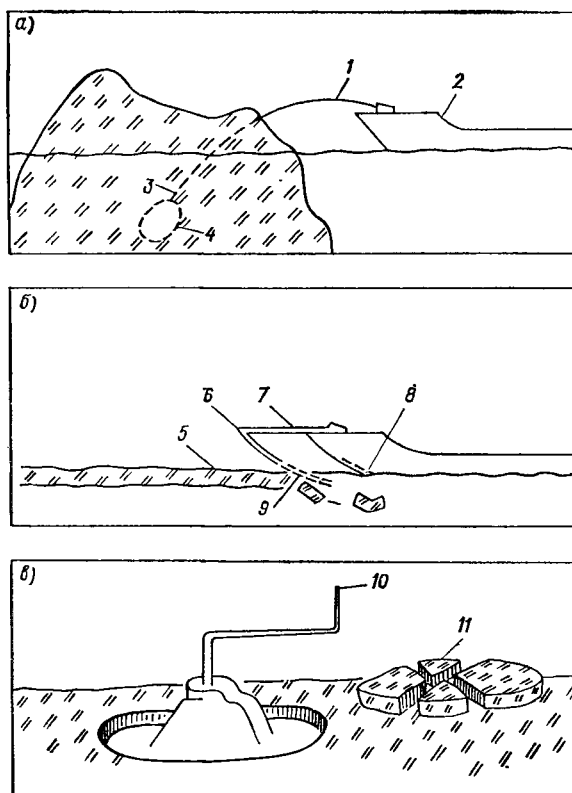


Рис. 2.21. Газотермическое разрушение льда для образования полости в айсберге при его подрыве и буксировке (а), облегчения ледокольного плавания (б), всплытия подводной лодки (в) [210].

1 — газотермический бур; 2 — судно; 3 — траектория бурения; 4 — полость в айсберге; 5 — лед; 6 — смесительная трубка; 7 — кранштейны; 8 — перфорация трубки; 9 — выпускные сопла; 10 — вращающийся газотермический наконечник; 11 — ледяная пробка.

тивным считают использование газообразного аммиака. Аммиак образует с водой сначала  $\text{NH}_3\text{H}_2\text{O}$  — неустойчивый гидрат, который частично разлагается обратно на газообразный аммиак и воду. Для поддержания соединений в газообразном состоянии требуется мощный источник тепла. Испытанная система имела



теплоснабжение мощностью 3 МВт, что обеспечивало давление газа 20 кПа [240].

Система состояла из баллонов с аммиаком и сжатым воздухом, редукторов и длинной смесительной трубки, из сопла которой вырывается поток аммиака с воздухом. Скорость плавления достигает 210 см/мин. «Солевой» эффект, который наблюдается при растворении газообразного аммиака в талой воде, предохраняет ее от повторного замерзания.

Другое устройство для бурения пламенем (пат. 1.315.921 Великобритания) имеет наконечник, газогенератор и отверстия для направления горящего газа вокруг наконечника.

Устройство для бурения льда с генератором горячих газов (пат. 2.166.393 Франция) имеет камеру сгорания и выпускные сопла, обеспечивающие нагревание зоны бурения вокруг острия.

Газотермический метод предполагается использовать для бурения шпуров в айсбергах при закладке зарядов с целью их подрыва или закрепления буксировочного троса, удаления льда с поверхности судовых конструкций и ослабления ледяного покрова выбросом газообразного аммиака под форштевнем и днищем судна [210]. Вращающаяся смесительная трубка может резать газотермической струей отверстия во льду для всплытия подводной лодки (рис. 2.21).

## 2.5. Электротермические средства

Из электротермических средств разрушения льда прежде всего необходимо назвать получившие в последнее время широкое распространение электротермобуры, с помощью которых осуществляется вертикальное бурение ледников различной толщины вплоть до 1,5 км. Несколько ранее на практике стали применять метод электротепловой резки ледяных покровов акваторий, например, с целью освобождения судов от льда перед началом навигации, после их зимней стоянки. Известны также и противообледенительные устройства, основанные все на том же принципе — локальном плавлении льда с помощью электронагревательного элемента. В качестве последнего применяется либо просто константановая проволока, через которую пропускают электрический ток, либо рабочий орган с высокой теплопроводностью, внутри которого находится нагреваемый электрическим током проводник, и т. д.

*Электротермическое бурение.* Усиленно развивается технология быстрой проходки скважин во льду методом термического бурения. Причина развития этого способа — высокая стоимость, вес и труд-

ности доставки и установки оборудования для механического вращательного бурения.

Основной конструктивный элемент электротермобура — нагреватель, обеспечивающий проплавление льда. В 6-й и 8-й Советских антарктических экспедициях (САЭ) испытывались конический и торцевой типы нагревателя, предназначенные для сплошной проходки без отбора керна [93]. В 11-й САЭ испытывался кольцевой нагреватель Московского горного института (ЭТБЛК), а в 13-й САЭ термобуром Ленинградского горного института (ТЭЛГА-2) была пробурена скважина глубиной 212,5 м [94—96]. Сквозное бурение шельфового ледника в районе станции Новолазаревская впервые было выполнено в 20-й САЭ. Глубина скважины достигала 347,0 м, ее диаметр 2 см, диаметр керна 8 см, скорость проходки 5 м/ч [71].

Применение спиртоводного раствора для заливки скважин позволяет существенно упростить проведение температурных изменений на холодных ледниках. Концентрация, температура и плотность раствора устанавливаются в соответствии с температурой льда. При положительном градиенте температуры льда плотность раствора повышается с увеличением глубины скважины. Благодаря полному отсутствию конвекции раствор в скважине сохраняется в стабильном равновесном состоянии, и его температура равна температуре льда на всех участках скважины. Испытания различных заливочных жидкостей, проведенные на станции СП-19 и на Северной Земле, показали, что спиртоводный раствор стабильно сохраняется длительное время; температура, измеренная в залитой и сухой скважинах, практически одинакова. В контрольных скважинах, залитых дизельным топливом, наблюдались отклонения температуры, вызванные конвекцией жидкости.

Для обеспечения термобуровых работ разработан одножильный бронированный кабель КЭП-1 и провод на основе этого кабеля, в котором броня заменена медным экраном. Питание термобуров осуществляется однофазным переменным либо постоянным током напряжением 220—380 В.

Электроиглы и керновый термобур (рис. 2.22, 2.23) просты и надежны в работе, однако термобурение требует определенных навыков и внимания, особенно при проходке скважин на снежно-фирновых участках и в сильно загрязненном льду, где необходимо снижать мощность во избежание перегорания коронки из-за ухудшения условий теплоотдачи в пористых участках снега и фирна либо при забуривании в сильно загрязненный лед. При бурении скважин в реальных условиях, вследствие загрязнения забоя, скорость проходки снижается против расчетной в среднем на 20 % [95].

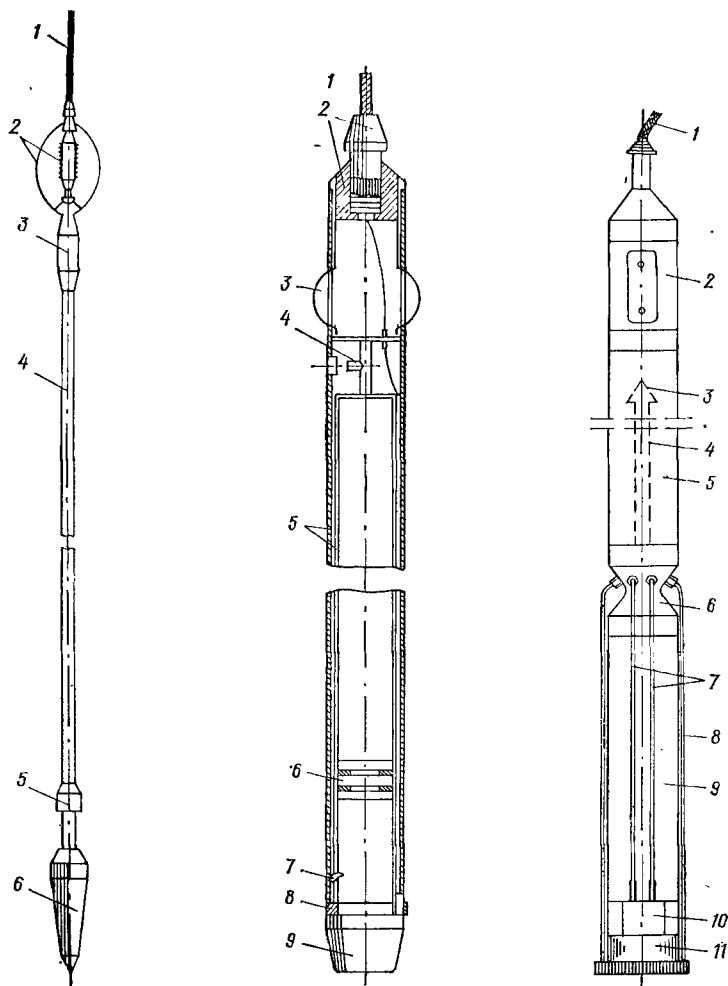


Рис. 2.22. Электроггла (термобур сплошного забоя ЭТИ-1) [95].

1 — кабель-трос; 2 — центрирующее устройство; 3 — кабельный замок; 4 — корпус; 5 — штепсельный разъем; 6 — конический нагреватель.

Рис. 2.23. Электротермобур керновый ЭТБ-3 [95].

1 — кабель-трос; 2 — кабельный замок; 3 — центрирующее устройство; 4 — заправочные штуцеры; 5 — двойная колонковая труба; 6 — поршень; 7 — кернователи; 8 — фланец бура; 9 — электронагреваемая коронка.

Рис. 2.24. Схема термоэлектробурового снаряда ТЭЛГА-14МП [64].

1 — кабель; 2 — кабельный отсек с турбокомпрессором; 3 — водоотбойный козырек; 4 — центральная водоподъемная трубка; 5 — водосборный бак; 6 — переходник; 7 — токоведущие провода; 8 — водоподъемные трубки; 9 — керноприемная труба; 10 — кернователь; 11 — коронка-нагреватель.

ТЭЛГА-14МП — снаряд, специально созданный для бурения протаивания льда в походных условиях (рис. 2.24). Он отличается от снаряда ТЭЛГА-14М длиной колонковой трубы.

Бурение—протаивание происходит под действием тепла, выделяемого коронкой-нагревателем. Образующаяся вода при протаивании отсасывается турбокомпрессором по водоподъемным трубкам в водосборный бак. Для поддержания постоянного давления снаряда тормоза подъемной лебедки настраиваются так, что при превышении критического натяжения кабель-трос «сравливаются» с барабана лебедки на 10—15 см. По частоте «сравливания» можно судить о скорости проходки и исправности всех систем снаряда. Последнее доказано практикой бурения ледовых отложений термоэлектробуровыми снарядами на кабель-тросе [64, 76].

Питание электроэнергией всех механизмов и термоэлектробурового снаряда производилось от электростанции мощностью 16 кВт. Спуск и подъем снаряда осуществлялись лебедкой подъемника каротажной станции. Мощность привода лебедки 3 кВт. Все системы снаряда питаются через кабель-трос, который служит и для спуско-подъемных операций. Все оборудование установлено в передвижном буровом балке, специально построенном для бурения скважин в научных походах.

Некоторые сведения о производительности электротермического бурения приводятся в табл. 2.3.

В США разработан проект ледокольного бурового судна (пат. 3.759.046 США) для работы в арктических водах. Судно оборудовано патентованной дифференциально-креновой системой, с помощью которой может удерживаться над точкой бурения с отклонением не более 5—7 % от глубины места при надвигающемся со скоростью 2 уз ледяном поле толщиной до 1,8 м.

Американскими компаниями разработан проект буксируемой буровой установки на воздушной подушке. Установка состоит из мелкосидящего понтона с буровым оборудованием, системы ВП и наружной системы обогрева, которая плавит слой льда толщиной 1,5 м выхлопными газами трех дизелей.

Во Франции разработано оборудование для термобурения скважины большого диаметра в массивах льда (пат. 2.338.125 Франция). Внутри металлического цилиндра помещен усеченный конус с помпой, откачивающей талую воду. Электронагревательный элемент расположен на стыке кожухов. При бурении ледяного покрова толщиной свыше 1000 м и температуре до  $-50^{\circ}\text{C}$  предполагается использовать обсадные трубки из стекловолокна, питаемого эпоксидной смолой [3].

*Электротепловая резка.* Производится с помощью нагревательного привода, по которому пропускают постоянный или пере-

Таблица 2.3

## Производительность электротермического бурения льда

| Термобур   | Глубина бурения, м | Диаметр скважины, см | Диаметр керена, м | Скорость проходки, м/ч | Мощность нагревателя, кВт | Источник сведений |
|--|--------------------|----------------------|-------------------|------------------------|---------------------------|-------------------|
| Термобур ЭТБЛК                                       |                    | 15                   | 9                 | 2,5                    | 5,5                       | [96]              |
| Термобур ТЭЛГА-2                                     | 190                | 15,4                 | 7,1               | 1,6                    | 3,0                       | [96]              |
| Термобур ТЭЛГА-3                                     | 217                | 18,0                 | 11,4              | 1,5                    | 6,9                       | [96]              |
| Термобур сплошного забоя (электроигла), ЭТИ-1, ААНИИ | 310                | 4,5                  | —                 | 5,0—15,0               | 1—3                       | [95]              |
| Керновый электротермобур ААНИИ (ЭТБ-3)               | 447                | 12,0                 | —                 | 2,0—6,0                | 1—3                       | [95]              |
| Французский электротермобур                          | —                  | 14,0                 | 10,2              | 3,6                    | 6,0                       | [213]             |
| Электротермобур университета шт. Миннесота           | —                  | —                    | —                 | 7,6—8,2                | —                         | [217]             |
| Электротермобур университета шт. Вашингтон           | 210                | —                    | 15,0              | 6—8                    | 2,2                       | [248]             |
| Термобур GRREL                                       | —                  | 16,4                 | 12,2              | 1,9                    | 2,9                       | [242]             |

менный ток от источника необходимой мощности. Обычно рабочее напряжение для резки выбирают в пределах 50—120 В.

Наиболее испытанным и подходящим для электрорезки является выпускаемый промышленностью трансформатор с отдельной реактивной катушкой системы СТ-2, рассчитанный на максимальную силу тока 250 А. Масса трансформатора 100 кг, его мощность 15 кВт при силе тока 180 А, масса регулятора напряжения 80 кг.

Аппараты для резки льда чаще выполняют таким образом, чтобы в ледяном покрове можно было протавить один или два сквозных реза под небольшим углом книзу (рис. 2.25). При двухрядной резке образующуюся консоль обламывают и задвигают под ледяной покров [69, 70].

Передвижение аппарата резки во время работы происходит с остановками на 10—15 с через промежутки 15—30 с. При стоянке аппарата грузы тянут нагревательные провода, которые плавят лед, опускаясь под действием груза вниз. Проволока для резки должна быть достаточно эластичной и обладать механической прочностью при рабочей температуре. Опыты показывают, что

наиболее рациональными являются нихромовые провода диаметром около 0,5 мм, из которых свивается жгут необходимого сечения; причем желательно, чтобы длина нагревательного провода была больше толщины льда на 30—40 %. В большинстве случаев

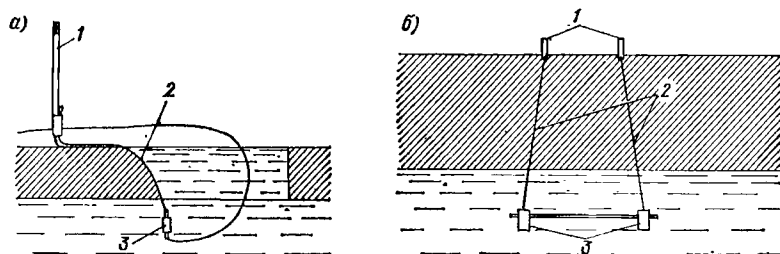


Рис. 2.25. Схема однорядного (а) и двухрядного (б) электротермического резания льда [70].

1 — держатели; 2 — нагревательные провода; 3 — груз.

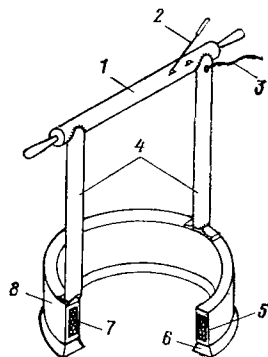


Рис. 2.26. Электротермический медный плавильник [148].

1 — рукоятка; 2 — рубильник; 3 — изолированный провод; 4 — стойки; 5 — электроизоляция; 6 — резак; 7 — нагревательный провод; 8 — медный лист.

накал части провода, находящейся в воде, бывает недостаточным, в то время как провод, находящийся на воздухе, перегревается и сгорает; отсюда при резке льда необходимо или полное погружение нагревательного провода в воду, или применение составного провода со значительно большим диаметром в верхней части.

Прорезание лунки выполняется с помощью электротермического ледяного плавильника (рис. 2.26). Нагревательный провод помещают между двумя медными листами, которые в нижней части имеют основание в виде резака. Между нагревательным проводом и медными листами помещают электроизоляционный материал — слюду или асбест. Нагревательный провод подсоединяют к источнику питания.

Потребляемую мощность электрического тока для образования лунки в течение времени  $t$  можно оценить по формуле

$$N = km(cT + L)t^{-1},$$

где  $m$  — масса расплавляемого льда;  $c$  — удельная теплоемкость льда;  $L$  — удельная теплота плавления;  $T$  — средняя температура льда;  $k$  — коэффициент, учитывающий потери тепла (по данным Н. М. Коновалова  $k = 1,1 \dots 1,2$ ).

Например, для образования в ледяном покрове толщиной 0,5 м лунки диаметром 350 мм при ширине реза 10 мм (температура воздуха  $T = -15^\circ\text{C}$ ) в течение 1 мин потребуются источник электроэнергии мощностью  $N = 35$  кВт. С помощью льдобурильного агрегата  $N = 6$  кВт такую же лунку подготавливают за 0,5 мин. При внедрении электротермического способа резания на реках скорость резания льда раскаленным проводником, изготовленным из никелина с большим удельным сопротивлением, при ширине разреза до 5 мм и толщине льда 0,55—1,2 м в зависимости от потребляемой мощности составляла 5—32 м/ч.

Опытный образец электротермомеханического ручного инструмента, работающего в диапазоне высоких частот, был успешно испытан при проходке наклонных стволов в искусственно замороженных пловунах станций метрополитена [90].

За рубежом в последнее время появились работы, посвященные определению скорости протаивания льда при использовании электротермического метода. В одной из них установлено, что скорость протаивания монолита льда нагреваемой проволокой при низком давлении оказалась на два порядка ниже, чем это следовало из теории. С переходом давления через  $10^5$  Па скорость резания скачком возрастала до расчетной [242]. В другой работе предложен метод быстрого расчета скорости таяния льда под нагреваемым плоским диском [226].

Электротепловые методы борьбы с обледенением можно подразделить на два основных вида, первый из которых предназначен для уменьшения адгезии (подтаивание нижнего тонкого слоя льда); второй рассчитан на полную ликвидацию льда (метод постоянного подогрева).

Применение первого вида предполагает удаление льда каким-либо вспомогательным средством. В этом случае подогреватель должен обладать мощностью в 1—2 кВт/м<sup>2</sup>. Во втором случае мощность подогревателя должна быть не менее 1200 Вт/м<sup>2</sup> [1].

Ввиду сравнительно большой мощности, потребляемой электроантиобледенителями, возможность их использования на судах ограничена. Например, для защиты 0,1 м<sup>2</sup> поверхности требуется

в среднем затратить 150 Вт электроэнергии. Защита траулера требует более 300 кВт, что, конечно, невозможно обеспечить. Для уничтожения образовавшегося льда толщиной 12—13 мм с помощью электроантиобледенителя требуется 8—20 мин. Чтобы не допустить большого нарастания льда, можно электроантиобледенительную систему разделить на секции, включаемые попеременно. В этом случае потребная мощность уменьшится до 20—40 кВт [1]. Электротепловые противообледенительные системы (ПОС) применяются в современной транспортной авиации для защиты двигателей и воздухозаборников, стекол кабины, винтов и стабилизаторов самолетов с газотурбинными двигателями, а на земле — для удаления гололедных образований с взлетно-посадочной полосы [156].

В море их применяют для защиты судовых надстроек и гидротехнических сооружений на шельфе. По режиму работы электротепловые ПОС подразделяются на постоянно действующие и циклические. Первые из них обеспечивают защиту конструкции ото льда в течение всего периода обледенения. Если же на ней допускается образование тонкого слоя льда, используют циклические ПОС, при включении которых происходит подтаивание льда в контактном слое, после чего он удаляется под собственной тяжестью, обтекающим потоком воздуха или с помощью околки [156].

Как показывает практика, проволочные нагреватели (пат. 3800121 США, 1351158 Великобритания, пат. 2202810 и 2212261 Франция) легко поддаются механическим повреждениям. Предпочтительнее использовать токопроводящие покрытия, которые могут быть выполнены в виде металлических пленок (металлическая фольга, напыленный металлический порошок и т. п.) и полимеров, наполненных токопроводящим материалом (металлический порошок, сажа, графит). Они сравнительно дешевы и более экономичны [119].

В Норвегии и Англии неоднократно испытывалась судовая система «Спреймат», представляющая собой модификацию английской авиационной антиобледенительной системы, но дальше опытов дело не пошло. Серьезные испытания оказались слишком дорогими для частных судовладельцев, и система вскоре оказалась забытой. Сущность ее заключается в следующем. Защищаемую поверхность покрывают слоем из пластмассы, наносимым методом распыления. Поверх нее таким же способом наносят полосы из алюминиевого сплава шириной 7,5 см, затем — слой пигментной антикоррозийной пластмассы также методом распыления. Концы полос из алюминиевого сплава выводят наружу и подсоединяют к источнику электрического тока, создавая таким образом элек-



тронагревательный элемент. Общая масса такого антиобледенения для траулера составляет около 450 кг [1].

Общая толщина обогревательных элементов системы фирмы «Нэпир и сын» составляет 1,5—1,7 мм, масса 1,46—1,70 кг/м<sup>2</sup>. Изоляция рассчитана на температуру до 100 °С. Каждый квадратный сантиметр обогревателей потребляет до 6,2 Вт мощности электроэнергии. Для регулирования количества тепловой энергии, вырабатываемой обогревательными элементами, может применяться термостат [1].

Удельный расход энергии в электротепловых ПОС достигает 1600 Вт/м<sup>2</sup>. Ограниченность энергоресурсов обледеневших объектов позволяет защищать лишь небольшие по площади, наиболее важные элементы конструкции. Высокая стоимость, конструктивная сложность и большая масса (до 1 % взлетного веса самолета) также относятся к недостаткам тепловых ПОС.

В режимах профилактического обогрева для плавления образовавшегося льда как постоянным (а. с. 649078 СССР), так и переменным током (а. с. 705583 СССР) электротермический метод широко применяется в настоящее время при борьбе с гололедом на воздушных линиях связи и электропередач [25].

### Изобретения для термического разрушения льда

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ  | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации  | Фирма (заявитель)       |
|-------|--------|-----------|-----------------|--------------------|-----------------|-------------------------|
| 1     | СССР   | 84а, 5/01 | 127.191         | 10.06.59           | 1960, Б. И. № 6 | В. С. Христофоров и др. |

**Способ гашения волн нагнетанием** в верхние слои водного бассейна воздуха и воды. Для повышения эффективности импульсное нагнетание воздуха чередуют с подачей воды в том же направлении.

|   |      |           |         |          |                 |                         |
|---|------|-----------|---------|----------|-----------------|-------------------------|
| 2 | СССР | 84а, 5/01 | 127.192 | 10.06.58 | 1960, Б. И. № 6 | В. С. Христофоров и др. |
|---|------|-----------|---------|----------|-----------------|-------------------------|

**Устройство для гашения волн.** Содержит воздухопровод и клапаны. Для поочередной подачи воздуха и воды клапаны выполнены в виде корпуса с крышкой и днищем, в котором расположены отверстия для воды, автоматически закрываемые при поступлении в корпус сжатого воздуха. В полости корпуса, сообщаемой с воздухопроводом, установлены три трубы. Внутренняя и средняя проходят через крышку корпуса и служат для выброса из полости воздуха или воды. Наружная труба, не доходящая до крышки корпуса, служит гидравлическим затвором.

|   |      |           |         |          |                 |                                     |
|---|------|-----------|---------|----------|-----------------|-------------------------------------|
| 3 | СССР | 84а, 5/01 | 127.193 | 10.06.59 | 1960, Б. И. № 6 | В. С. Христофоров, И. В. Загрядский |
|---|------|-----------|---------|----------|-----------------|-------------------------------------|

| № п/п | Страна | МКИ, ИКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

**Гидравлический клапан к волнолому пневматического действия с импульсивной подачей воздуха.** Для исключения механических элементов выполнен в виде защитного колпака с перфорированной поверхностью и цилиндрического корпуса с отверстиями в днище. В полости корпуса, сообщающейся с воздухопроводом, концентрично расположены две трубы. Внутренняя труба соединяет полости корпуса и колпака, а наружная, присоединенная к днищу корпуса, — образует гидравлический затвор.

|   |      |                                    |         |          |                  |                                       |
|---|------|------------------------------------|---------|----------|------------------|---------------------------------------|
| 4 | СССР | B63в, 59;<br>65a <sup>1</sup> , 10 | 195.910 | 06.12.65 | 1967, Б. И. № 10 | В. С. Печковский,<br>П. М. Вахмистров |
|---|------|------------------------------------|---------|----------|------------------|---------------------------------------|

**Устройство для очистки ото льда подводной части судна.** Представляет собой пустотелую штангу с соплами, через которые подается пар. Штанга выполнена раздвижной и закреплена поворотом вокруг горизонтальной оси на раме, смонтированной на переносной опоре.

|   |      |                                    |         |          |                 |                  |
|---|------|------------------------------------|---------|----------|-----------------|------------------|
| 5 | СССР | B63в, 59;<br>65a <sup>1</sup> , 19 | 209.224 | 16.07.68 | 1968, Б. И. № 4 | В. С. Печковский |
|---|------|------------------------------------|---------|----------|-----------------|------------------|

**Устройство для борьбы с обледенением подводной части корпуса судна.** Состоит из потокообразователя с электромотором и паропроводом. Для повышения эффективности теплового воздействия напорной струи потокообразователя на обледеневшую часть поверхности корпуса судна во всасывающей части потокообразователя установлена замкнутая кольцевая труба с паровыпускными отверстиями.

|   |      |  |         |          |                  |                                |
|---|------|--|---------|----------|------------------|--------------------------------|
| 6 | СССР | E02в;<br>65a <sup>1</sup> , 3;<br>84a, 15/02 | 242.691 | 07.03.68 | 1969, Б. И. № 15 | В. В. Салахин,<br>Л. В. Иванов |
|---|------|--|---------|----------|------------------|--------------------------------|

**Устройство для растопления льда.** Имеет пропеллерный насос в насадке со спрямляющим аппаратом и ограждающую решетку. Для интенсификации процесса таяния льда во всасывающей полости насоса установлен пароводяной эжектор с направленным к ступице винта диффузором.

|   |      |                     |         |          |                  |                       |
|---|------|---------------------|---------|----------|------------------|-----------------------|
| 7 | СССР | B63c1/02;<br>65в, 6 | 266.608 | 06.02.69 | 1970, Б. И. № 11 | Л. В. Иванов<br>и др. |
|---|------|---------------------|---------|----------|------------------|-----------------------|

**Устройство для удаления битого льда из-под днища судна.** Имеет насос с основанием. Для повышения эффективности и автоматизации удаления битого льда из-под днища судна, устанавливаемого на кильблоки дока, основание насоса выполнено в виде кронштейнов с подшипниками, установленными на торце понтона дока. При помощи подшипников в диаметральной плоскости дока на кронштейнах поворотом смонтирован насос, центр тяжести которого смещен относительно горизонтальной оси поворота насоса в сторону его насадки с воздушной полостью. На кронштейнах около двигателя насоса установлен фиксатор поворота последнего, а торец насоса со стороны его двигателя соединен с понтоном дока тросом, регулирующим угол поворота.

|   |      |                                     |         |          |                  |                                    |
|---|------|-------------------------------------|---------|----------|------------------|------------------------------------|
| 8 | СССР | B63в59/00;<br>65a <sup>1</sup> , 19 | 280.250 | 24.03.69 | 1970, Б. И. № 27 | Н. Ф. Буянов,<br>Н. В. Музалевский |
|---|------|-------------------------------------|---------|----------|------------------|------------------------------------|

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

**Устройство для предотвращения обледенения морских судов.** Содержит источник для подогрева теплоносителя, подаваемого к элементам судна, подверженным обледенению. Для повышения эффективности и эксплуатационной надежности выполнено в виде стационарной системы, состоящей из магистрального трубопровода с отходящими от него трубами, имеющими прорези и распылители, через которые теплоноситель истекает, омывая поверхности, подверженные обледенению. В качестве теплоносителя использована морская вода, поступающая по двум трактам. Один связан с системой охлаждения главного двигателя, а другой — с системой подогрева морской воды.

|   |      |          |         |          |                  |                 |
|---|------|----------|---------|----------|------------------|-----------------|
| 9 | СССР | E02в, 15 | 279.446 | 07.03.68 | 1970, Б. И. № 26 | И. А. Тув и др. |
|---|------|----------|---------|----------|------------------|-----------------|

**Способ образования майн в водоемах посредством передачи теплоносителя и газообразного агента.** Для интенсификации барботаж теплоноситель предварительно смешивают с газообразным агентом и полученную смесь подают в водоем.

|    |      |             |         |          |                  |                                    |
|----|------|-------------|---------|----------|------------------|------------------------------------|
| 10 | СССР | B63в; 59/00 | 300.378 | 20.09.69 | 1971, Б. И. № 13 | Н. Ф. Буянов,<br>Н. В. Музалевский |
|----|------|-------------|---------|----------|------------------|------------------------------------|

**Способ предотвращения обледенения морских судов** омытием их открытых поверхностей, подверженных обледенению, теплоносителем, например, подогретой водой. Для повышения эффективности создают непрерывный и управляемый поток теплоносителя, который смешивают с потоком брызг морской воды, стекающей с этих поверхностей за борт. Подогрев морской воды регулируют так, чтобы температура воды, стекающей с омываемых поверхностей, превышала температуру поверхностного слоя моря.

|    |      |          |         |          |                  |                                   |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-----------------------------------|
| 11 | СССР | B63с1/08 | 312.786 | 13.03.70 | 1971, Б. И. № 26 | Л. В. Иванов,<br>Е. С. Виноградов |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-----------------------------------|

**Устройство для удаления битого льда из-под днища судна.** Имеет насос и основание. Для повышения эффективности устанавливается в сухой док. Основание насоса расположено на подошве, внутри дока, у батопорта и выполнено с рычажно-шарнирным механизмом, состоящим из качающейся штанги с противовесом и поводковой тяги, поворотной прикрепленных к основанию и шарнирно связанных с насосом.

|    |      |             |         |          |                  |             |
|----|------|-------------|---------|----------|------------------|-------------|
| 12 | СССР | E21с; 21/00 | 350.945 | 05.10.70 | 1972, Б. И. № 27 | В. А. Морев |
|----|------|-------------|---------|----------|------------------|-------------|

**Устройство для электротермического бурения скважин во льду с образованием керна.** Имеет кольцевой полый корпус, в полости которого соосно с ним смонтирован ряд медных колец с расположенным между ними нагревательным элементом. Для повышения КПД устройства корпус выполнен в виде конуса с выведенным наружу в торце медным кольцом.

|    |      |          |         |          |                  |                       |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-----------------------|
| 13 | СССР | B63в, 35 | 359.192 | 25.04.71 | 1972, Б. И. № 35 | С. И. Евдокимов и др. |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-----------------------|

**Способ обеспечения ледопроеходимости судов** омытием наружной поверхности корпуса судна водой при помощи сопел, расположенных с каждого борта.

| №<br>п/п | Страна | МКИ. НКИ | Номер<br>документа | Дата подачи<br>заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|----------------|-------------------|
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|----------------|-------------------|

Водяной поток создается с помощью смеси горячего газа, например, пара с воздухом, подаваемого к местам контакта корпуса со льдом.

|    |      |          |         |          |                  |                       |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-----------------------|
| 14 | СССР | B63в, 59 | 360.268 | 17.07.69 | 1972, Б. И. № 36 | А. И. Боровский и др. |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-----------------------|

**Пароконтактный элемент.** Служит для очистки корпуса судна от ледяной чаши в зимний период. Для непрерывного контакта пара с ледяной чашей по линии рабочих кромок элемента отверстия разделены поперечными перегородками и ограничены боковыми стенками, образующими сопла квадратного сечения, расположенные одно к другому вдоль трубы.

|    |      |         |         |          |                 |               |
|----|------|---------|---------|----------|-----------------|---------------|
| 15 | СССР | F25с, 5 | 361.365 | 01.12.69 | 1973, Б. И. № 1 | Ф. В. Пеганов |
|----|------|---------|---------|----------|-----------------|---------------|

**Устройство для образования майн в ледяном покрове.** Содержит цилиндрический корпус, внутри которого установлен источник тепла. Для поддержания майн незамерзающими корпус выполнен в виде полого, имеющего положительную плавучесть, герметичного кольца с монтажными крышками.

|    |      |          |         |          |                 |                               |
|----|------|----------|---------|----------|-----------------|-------------------------------|
| 16 | СССР | E02в, 15 | 367.212 | 11.08.69 | 1973, Б. И. № 8 | Н. В. Крапивко, А. Г. Бадюнин |
|----|------|----------|---------|----------|-----------------|-------------------------------|

**Устройство для растопления льда.** Содержит пропеллерный насос с насадкой и направляющим аппаратом, расположенным в зоне нагнетания насоса, а также нагревательное приспособление. Нагревательное устройство встроено в направляющий аппарат.

|    |      |          |         |          |                  |                                   |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-----------------------------------|
| 17 | СССР | B63в, 35 | 382.544 | 02.12.71 | 1973, Б. И. № 23 | С. И. Евдокимов, В. III. Каштелян |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-----------------------------------|

**Устройство для обеспечения ледопроходимости судов.** По бортам судна на уровне контакта корпуса со льдом устанавливаются сопла, подающие смесь горячего газа от судовой энергетической установки. Особенностью устройства являются струйные аппараты, связывающие сопла с энергетической установкой, подсасывающие воздух из атмосферы, причем соединительные трубопроводы сопел снабжены запорно-регулирующей аппаратурой.

|    |      |             |         |          |                  |                   |
|----|------|-------------|---------|----------|------------------|-------------------|
| 18 | СССР | E02в; 15/00 | 394.494 | 30.09.70 | 1973, Б. И. № 34 | И. В. Базилевский |
|----|------|-------------|---------|----------|------------------|-------------------|

**Устройство для образования потока жидкости в водоеме.** Содержит перфорированные трубопроводы для подачи сжатого воздуха. Для создания направленного потока в водоеме перфорированные трубы установлены под углом друг к другу.

|    |      |          |          |          |                  |                      |
|----|------|----------|----------|----------|------------------|----------------------|
| 19 | СССР | E21с, 37 | 399.600+ | 16.02.72 | 1973, Б. И. № 39 | Б. Б. Кудряшов и др. |
|----|------|----------|----------|----------|------------------|----------------------|

**Электробур для бурения скважин во льду.** Для улучшения подвода тепла к забою скважины на торце кольцевого электронагревательного элемента за-

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

креплен фланец, а патрубки для отвода талой воды расположены снаружи колонковой трубы. Их открытые концы закреплены в этом фланце и обращены к забою буримой скважины.

|    |      |          |         |          |                  |                   |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-------------------|
| 20 | СССР | B63в, 35 | 404.698 | 26.04.71 | 1973, Б. И. № 44 | Эмиль Майер (ФРГ) |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-------------------|

**Устройство для увеличения ледопроницаемости ледокола.** Содержит ледоразрушающий агрегат, установленный на платформе, укрепленной в носу ледокола над ледяным полем. Имеет ширину, превышающую ширину ледокола. Ледоразрушающий агрегат выполнен в виде разнесенных по ширине платформы турбореактивных двигателей, от которых реактивная струя направлена на ледяной покров под углом в сторону кормы.

|    |      |          |         |          |                  |             |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-------------|
| 21 | СССР | E21с, 21 | 439.601 | 12.07.72 | 1975, Б. И. № 30 | В. А. Морев |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|-------------|

**Устройство для электротермического бурения скважин во льду.** Имеет корпус с кернователями и коронку. Оборудовано поршнем, размещенным в корпусе, в теле которого выполнены каналы, соединяющие надпоршневую и подпоршневую полости.

|    |      |         |         |          |                  |                      |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|----------------------|
| 22 | СССР | E21в, 7 | 446.617 | 08.05.73 | 1974, Б. И. № 38 | А. П. Дмитриев и др. |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|----------------------|

**Устройство для бурения льда.** Имеет генератор тепла с соплами, насос и щит-теплообменник. Для повышения скорости бурения щит-теплообменник выполнен конусообразной формы.

|    |      |             |         |          |                 |                             |
|----|------|-------------|---------|----------|-----------------|-----------------------------|
| 23 | СССР | E02в; 15/02 | 499.379 | 21.07.72 | 1976, Б. И. № 2 | Н. Д. Андреев, Л. В. Иванов |
|----|------|-------------|---------|----------|-----------------|-----------------------------|

**Устройство для поддержания участков акватории водотоков в незамерзающем состоянии.** Имеет водоподъемник и якорную систему. Для снижения энергетических затрат при работе устройства водоподъемник выполнен в виде трубы, нижняя часть которой соединена с якорем, и оснащен поплавком в форме руля-стабилизатора.

|    |      |          |         |          |                  |                      |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|----------------------|
| 24 | СССР | E21с, 21 | 564.419 | 09.03.76 | 1977, Б. И. № 25 | Б. Б. Кудряшов и др. |
|----|------|----------|---------|----------|------------------|----------------------|

**Устройство для бурения скважин во льду с отбором керна.** Содержит колонковую трубу с керноудерживающими зубьями, оснащенную по торцу полым нагревательным кольцом, электрический парогенератор и водосборную емкость с насосом. Пространство нагревательного кольца разделено радиальными перегородками на изолированные полости, одни из которых соединены с паропроводящими трубками, а другие — с конденсатоотсасывающими трубками, которые присоединены к водоотсасывающим трубкам.

|    |      |         |         |          |                  |                      |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|----------------------|
| 25 | СССР | E21в, 7 | 581.227 | 10.06.76 | 1977, Б. И. № 43 | А. А. Капустин и др. |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|----------------------|

| №<br>п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер<br>документа | Дата подачи<br>заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|----------------|-------------------|
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|----------------|-------------------|

**Устройство для бурения льда.** По аналогу с а. с. 446.617. Для усиления процесса бурения льда за счет снижения потерь тепла в атмосферу через верхнюю крышку щита-теплообменника последний разделен перегородкой на две камеры. Верхняя камера сообщена с магистралью сжатого воздуха и камерой сгорания генератора тепла.

|    |      |         |         |          |                  |                      |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|----------------------|
| 26 | СССР | E21в, 7 | 581.228 | 14.06.76 | 1977, Б. И. № 43 | А. П. Дмитриев и др. |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|----------------------|

**Устройство для бурения льда.** По аналогу с а. с. 446.617. Оборудовано патрубками с изменяющимися по длине поперечными сечениями, уменьшающимися от входа к средней части и увеличивающимися от нее к выходу.

|    |      |                      |         |          |                  |                                   |
|----|------|----------------------|---------|----------|------------------|-----------------------------------|
| 27 | СССР | E21с, 21;<br>F25с, 5 | 585.285 | 02.08.76 | 1977, Б. И. № 47 | А. Ф. Стреленко,<br>В. П. Шматько |
|----|------|----------------------|---------|----------|------------------|-----------------------------------|

**Установка для проходки скважин в мерзлом грунте или во льду.** Содержит источник нагрева и керноприемную трубу с двойными стенками и заостренным рабочим наконечником, которая снабжена нагревательным элементом и охлаждающим элементом. Нагревательный и охлаждающий элементы выполнены в виде насыщенного испаряющейся жидкостью слоя пористого материала на внутренней стороне стенок трубы, а источник нагрева расположен на ее хвостовой части.

|    |      |         |         |          |                 |   |
|----|------|---------|---------|----------|-----------------|---|
| 28 | СССР | B63с, 1 | 647.179 | 15.08.77 | 1979, Б. И. № 6 | Л. В. Иванов,<br>Н. Д. Андреев,<br>Е. С. Виноградов |
|----|------|---------|---------|----------|-----------------|---|

**Устройство для защиты плавучего дока от битого дрейфующего льда.** Имеет источник сжатого газа и соединенный с ним перфорированный трубопровод, смонтированный на подвесках по контуру ниже уровня стпель-палубы дока. Подвески трубопровода выполнены в виде сплошной вертикальной стенки, а перфорированный трубопровод смонтирован с внешней по отношению к доку стороны стенки.

|    |      |         |         |          |                 |                       |
|----|------|---------|---------|----------|-----------------|-----------------------|
| 29 | СССР | H02g, 7 | 649.078 | 27.11.74 | 1979, Б. И. № 7 | В. В. Бургсдорф и др. |
|----|------|---------|---------|----------|-----------------|-----------------------|

**Устройство для плавки гололеда постоянным током.** Для ограничения перенапряжений на выпрямителе, возникающих в контуре плавки гололеда при вводе и выводе его из работы, параллельно выводам постоянного напряжения выпрямителя подключен фильтр тока промышленной частоты.

|    |      |         |         |          |                  |                        |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|------------------------|
| 30 | СССР | H02g, 7 | 705.583 | 01.08.77 | 1979, Б. И. № 47 | Г. В. Шинкаренко и др. |
|----|------|---------|---------|----------|------------------|------------------------|

**Устройство для плавки гололеда на линиях электропередачи переменного тока.** Имеет преобразователь и регулятор тока. Для повышения надежности снабжено формирователем смещающих импульсов, выход которого соединен со входом регулятора тока, а вход через схему «ИЛИ» соединен с выходами

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

регулятора тока, подающими сигнал на управляющие электроды выпрямительной группы вентилях. Преобразователь выполнен по круговой схеме.

|    |      |             |         |          |                 |   |
|----|------|-------------|---------|----------|-----------------|---|
| 31 | СССР | E21в; 21/00 | 794.178 | 29.11.78 | 1981, Б. И. № 1 | В. А. Морев,<br>В. А. Пухов,<br>А. Г. Никифоров |
|----|------|-------------|---------|----------|-----------------|---|

**Устройство для электротермического бурения скважины во льду.** Имеет корпус, коронку, керноприемник, поршень и полость керноприемника над поршнем, заполненную антифризом. Для повышения эффективности бурения снабжено заполненной антифризом емкостью с поршнем и штоком, а также нагнетательным и всасывающим каналами.

|    |      |            |         |          |                  |             |
|----|------|------------|---------|----------|------------------|-------------|
| 32 | СССР | B63j; 3/00 | 844.475 | 20.08.79 | 1981, Б. И. № 25 | В. А. Морев |
|----|------|------------|---------|----------|------------------|-------------|

**Судовое устройство для разрушения льда.** Имеет полый корпус клиновидного сечения, подводную и отводящую трубы. Для повышения эффективности использования его в работе в нижней части корпуса выполнен ряд сквозных продольных каналов, расположенных параллельно друг другу.

|    |                |     |         |          |      |                               |
|----|----------------|-----|---------|----------|------|-------------------------------|
| 33 | Великобритания | 113 | 805.789 | 04.02.57 | 1958 | «Ньюмэтик брейкуотер лимитед» |
|----|----------------|-----|---------|----------|------|-------------------------------|

**Успокоитель моря.** Волнолом содержит контейнер с сифоном, который ритмически выпускает воздух или другой газ, поступающий к нему из соответствующего источника, в виде больших пузырей, которые подавляют волновое движение в окружающей морской среде. Из указанного источника воздух направляется по расположенной на дне моря трубе, снабженной регулируемыи клапанами.

|    |                |     |         |          |      |            |
|----|----------------|-----|---------|----------|------|------------|
| 34 | Великобритания | 113 | 894.878 | 01.02.60 | 1962 | А. Джонсон |
|----|----------------|-----|---------|----------|------|------------|

**Нагрев корпуса судна.** Судно окружено экраном. Между экраном и наружной стороной корпуса ниже поверхности воды установлено нагревающее устройство, состоящее из системы труб с направленными вверх отверстиями, через которые медленно вытекает и ударяется о днище судна теплая вода. Указанный экран состоит из наполненных газом гладкого и «волнистого» плотного материала с некоторым промежутком между ними.

|    |                |     |         |          |      |                         |
|----|----------------|-----|---------|----------|------|-------------------------|
| 35 | Великобритания | E1H | 967.543 | 30.10.59 | 1964 | «Аэро-гидролик лимитед» |
|----|----------------|-----|---------|----------|------|-------------------------|

**Предотвращение замерзания воды.** Устройство для удаления льда или задержки его образования. Содержит открытую по концам трубу, которая крепится нижним концом к распределителю, являющемуся эжектором для выбрасывания больших пузырей для подключения сжатого воздуха или газа через трубопровод. Отверстия в стенке трубы позволяют более теплой придонной

| №<br>п/п | Страна | МКН, ИКИ | Номер<br>документа | Дата подачи<br>заявки | Год пуб-<br>ликации | Фирма (заявитель) |
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|

воде втягиваться и подниматься при движении газовых пузырей вверх по трубе и выбрасывать воду в непосредственной близости от поверхности льда.

|    |                     |             |           |          |      |  |
|----|---------------------|-------------|-----------|----------|------|--|
| 36 | Великобри-<br>тания | B64, 15; B7 | 1.308.896 | 18.01.71 | 1973 | «Гудьир тайс<br>энд раббер<br>лимитед» |
|----|---------------------|-------------|-----------|----------|------|--|

**Антиобледенительное устройство.** Используется на судне или самолете и состоит из профиля и системы труб. Сжатый газ подается по трубам, расположенным с каждой стороны элемента конструкции. Эти трубы сообщаются через главный патрубок. Обогрев воздушный.

|    |                     |                  |           |          |      |                     |
|----|---------------------|------------------|-----------|----------|------|---------------------|
| 37 | Великобри-<br>тания | B63в, 35;<br>B7A | 1.315.834 | 06.08.71 | 1973 | Дж. В. Бак-<br>ленд |
|----|---------------------|------------------|-----------|----------|------|---------------------|

**Ледокол.** Судно оборудовано устройством, которое нагревает окружающий лед за счет энергии судовой установки, растапливает его и обеспечивает свободный проход судну. Это устройство содержит ряд выпускных патрубков, проходящих через корпус и соединенных либо с котлом судна, либо с выхлопным трубопроводом дизеля теплохода. Выпускные патрубки могут устанавливаться на концах поворотных стрел. Судно может быть также снабжено дополнительными нагревательными устройствами для разрушения льда, например, лазером, работающим совместно со звуковым излучателем.

|    |                     |          |           |          |      |                      |
|----|---------------------|----------|-----------|----------|------|----------------------|
| 38 | Великобри-<br>тания | E21с, 21 | 1.315.921 | 04.01.72 | 1973 | «Франс амд<br>фосез» |
|----|---------------------|----------|-----------|----------|------|----------------------|

**Бурение пламенем.** Отверстие во льду выполняется с помощью устройства, имеющего наконечник, газогенератор и отверстия для направления горящего газа вокруг наконечника.

|    |                     |                  |          |          |      |                              |
|----|---------------------|------------------|----------|----------|------|------------------------------|
| 39 | Великобри-<br>тания | B64d, 15;<br>B7W | 1.351.18 | 20.08.70 | 1974 | «Б. Ф. Гудрич<br>корпорейшн» |
|----|---------------------|------------------|----------|----------|------|------------------------------|

**Противообледенительное устройство лопастей воздушного винта летательного аппарата.** Состоит из токосъемника, соединительных проводов и нагревательных элементов.

|    |        |        |         |          |      |           |
|----|--------|--------|---------|----------|------|-----------|
| 40 | Канада | 255-10 | 925.849 | 19.07.69 | 1973 | Э. Хорбах |
|----|--------|--------|---------|----------|------|-----------|

**Способ и устройство для бурения отверстий во льду.** Буровая установка имеет полую буровую штангу с кольцевой плавящей головкой на нижнем конце. Между буровой штангой и плавящей головкой предусмотрена изоляция. Над плавящей головкой имеются охлаждающие трубы для замораживания стенок образуемого отверстия.

|    |        |                    |           |          |      |               |
|----|--------|--------------------|-----------|----------|------|---------------|
| 41 | Канада | B63в, 1;<br>114-21 | 1.041.839 | 31.03.76 | 1978 | У. Х. Джермен |
|----|--------|--------------------|-----------|----------|------|---------------|

**Способ омывки корпуса судна пузырьками горячего газа.**

|    |        |        |         |          |      |               |
|----|--------|--------|---------|----------|------|---------------|
| 42 | Канада | 114-11 | 964.527 | 19.12.72 | 1975 | Ф. Д. Легерер |
|----|--------|--------|---------|----------|------|---------------|



| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

**Устройство для разрушения льда.** Прорези во льду впереди ледокола образуют протаскиванием гибкого шланга по ледовой поверхности и направлением струн подогретого вещества на контактирующую поверхность льда.

|    |     |      |           |          |      |              |
|----|-----|------|-----------|----------|------|--------------|
| 43 | США | 61-1 | 3.083.538 | 06.10.58 | 1963 | Дж. И. Гросс |
|----|-----|------|-----------|----------|------|--------------|

**Установка для обеспечения свободного от льда водоема.** Содержит кольцевой корпус, работающий под водой двигатель с выходным валом, приспособление для установки корпуса значительно ниже поверхности воды в водоеме. На корпусе предусмотрены отверстия для выпуска и впуска воды. С помощью патентуемой автопомпы установки вода перемещается из глубины водоема к его поверхности как свободный поток без существенного перемешивания с окружающей водной средой, при этом перемещаемая вода служит как бы защитным слоем для поверхности водоема.

|    |        |      |           |          |      |                           |
|----|--------|------|-----------|----------|------|---------------------------|
| 44 | Канада | 61-1 | 3.109.288 | 19.01.60 | 1963 | «Реми Пьер инкорпорейтед» |
|----|--------|------|-----------|----------|------|---------------------------|

**Управление потокообразованием и аэрацией воды при регулировании ледообразования.** Под воду направляется воздух, который делится на мелкие пузырьки, находящиеся во взвешенном состоянии. Полученная в результате смесь воды с пузырьками образует аэрированный способ пониженной плотности, который затем будет подниматься на поверхности воды в определенном месте.

|    |        |      |           |          |      |                                |
|----|--------|------|-----------|----------|------|--------------------------------|
| 45 | Канада | 61-6 | 3.148.509 | 24.10.60 | 1964 | «Ньюмэтикс брэйкуотер лимитед» |
|----|--------|------|-----------|----------|------|--------------------------------|

**Установка для ослабления волн и удаления льда** представляет собой устройство для перемещения жидкости вверх, содержащее трубопровод с нижним отверстием для всасывания жидкости и верхним отверстием для ее выпуска. Указанный трубопровод имеет пульсирующий пузырьковый газогенератор с направленным вверх отверстием для выпуска пузырьков.

|    |     |      |           |          |      |              |
|----|-----|------|-----------|----------|------|--------------|
| 46 | США | 61-1 | 3.170.229 | 27.04.62 | 1965 | Дж. О. Кларк |
|----|-----|------|-----------|----------|------|--------------|

**Установка для предотвращения повреждения льдом лодок, дамб и других подобных устройств.** Содержит металлический теплопроводный элемент и водонепроницаемый теплоизоляционный материал, проходящий вокруг наружной поверхности теплопроводного элемента. Теплоизоляционный материал имеет сплошные закрывающие крошки (верхние и нижние). Размеры между ними по вертикали превышают толщину льда, образованного в условиях естественного обледенения. Предусмотрено приспособление, поддерживающее указанный теплопроводный элемент в воде в положении, когда его верхняя кромка находится на свободной от льда воде, а его нижний конец — в нижних слоях тепловой воды под слоем появившегося льда.

|    |     |        |           |          |      |            |
|----|-----|--------|-----------|----------|------|------------|
| 47 | США | 261-64 | 3.193.260 | 13.03.61 | 1965 | Ч. М. Лэмб |
|----|-----|--------|-----------|----------|------|------------|

**Устройство для аэрации и удаления льда с поверхности воды.** Представляет собой корпус, имеющий наружный периферический элемент; направленные вниз

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

и навстречу друг другу ребра; нижний конечный элемент, соединяющий торцы ребер и верхний элемент конструкции с наружным периферическим элементом верхнюю стенку, установленную на верхних элементах конструкции, и нижнюю стенку, смонтированную на внешних сторонах ребер. Патентуемое устройство имеет приспособление для выпуска воздушных пузырьков вверх с целью обеспечения перемещения воды вверх и наружу вокруг кожуха, а также средство, соединяющее указанное выпускное приспособление с кожухом и устройство для подачи воздуха под давлением.

|    |     |                   |           |          |      |                |
|----|-----|-------------------|-----------|----------|------|----------------|
| 48 | США | 61-1;<br>E02в, 15 | 3.477.233 | 07.03.66 | 1969 | П. Ф. Андерсен |
|----|-----|-------------------|-----------|----------|------|----------------|

**Волнообразователь.** Создает гравитационные волны на спокойной поверхности жидкости в результате периодического движения плавучего элемента, свободно поднимающегося и опускающегося при колебаниях уровня жидкости. Плавучий элемент — продолговатой формы и может вращаться вокруг своей продольной оси с помощью дистанционного привода. Рассмотрены также механизмы, предназначенные для освобождения каналов и гаваней от льда.

|    |     |                       |           |          |      |                              |
|----|-----|-----------------------|-----------|----------|------|------------------------------|
| 49 | США | E02в, 15;<br>B63в, 35 | 3.759.046 | 23.03.72 | 1973 | «Глоубл марин инкорпорейтед» |
|----|-----|-----------------------|-----------|----------|------|------------------------------|

**Прорезание ледяного покрова морской конструкции.** Патентуется устройство для облегчения перемещения ледяного покрова относительно конструкции, расположенной в воде и проходящей через его поверхность. Устройство содержит теплопередающие приспособления, расположенные вдоль каждой отдельной части конструкции и проходящие вертикально вдоль конструкции на требуемые расстояния ниже и выше уровня воды. Поступающее от конструкции тепло нагревает участки прилегающего к ней льда до точки его плавления, в результате чего прочность льда значительно снижается и он ломается.

|    |     |         |           |          |      |                      |
|----|-----|---------|-----------|----------|------|----------------------|
| 50 | США | E02в, 3 | 3.768.264 | 03.07.72 | 1973 | «Доу ксмикл компани» |
|----|-----|---------|-----------|----------|------|----------------------|

**Способ борьбы с ледообразованием в естественных и искусственных водоемах.** Способ предусматривает использование теплообменных устройств, предотвращающих отдачу тепла водой в атмосферу в зимний период. Особенно эффективны такие устройства там, где нельзя использовать ледоколы.

|    |     |          |           |          |      |                            |
|----|-----|----------|-----------|----------|------|----------------------------|
| 51 | США | B64d, 15 | 3.800.121 | 22.03.72 | 1974 | «Эллис Дин Б. Дж. Сондерс» |
|----|-----|----------|-----------|----------|------|----------------------------|

**Электронагревательная аппаратура для ослабления или предотвращения образования льда на элементах самолетов.** Содержит резисторный электронагревательный элемент в виде металлического слоя, закрепленного на токопроводящем слое, прикрепленном к неметаллической внешней поверхности.

|    |     |                     |           |          |      |                   |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|-------------------|
| 52 | США | B63в, 35;<br>114-5D | 3.837.311 | 05.10.72 | 1974 | «Сан ойл компани» |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|-------------------|

**Устройство для растапливания льда.** Буровое надводное судно с устройством для плавления льда содержит полый корпус, окруженный волокнистым

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

материалом с прослойкой испаряющейся жидкости под давлением. Внешняя стенка корпуса нагревается, при этом жидкость испаряется, диффундирует на поверхности стенки корпуса, отдавая теплоту и конденсируясь. Под действием капиллярных сил волокнистого материала сконденсированная жидкость возвращается к нагреваемой от корпуса внутренней поверхности стенки, где процесс повторяется.

|    |     |                     |           |          |      |                              |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|------------------------------|
| 53 | США | B63в, 35;<br>114-40 | 4.075.964 | 29.08.75 | 1978 | «Глоубл марин инкорпорейтед» |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|------------------------------|

**Установка для расплавления льда.** Содержит ряд продолговатых пазов, выполненных на наружной поверхности и находящихся рядом с участком расплавляемого слоя льда. Часть пазов идет вверх к месту над верхней поверхностью льда. Имеются средства для передачи тепла наружу от поверхности с пазами к участку слоя, расположенному вблизи от этой поверхности. Пазы создают поле тепловой концентрации, возмещающей на расплавляемый слой. Имеются средства для отвода талой воды.

|    |     |                     |           |          |      |                              |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|------------------------------|
| 54 | США | B63в, 35;<br>114-40 | 4.117.794 | 11.04.77 | 1978 | «Глоубл марин инкорпорейтед» |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|------------------------------|

**Способ расплавления льда.** Предусматривает расположение на пути перемещения льда секции наружной теплопроводящей поверхности, обеспеченной большим количеством продольных углублений, которые непосредственно примыкают к участку подлежащего расплавлению слоя. Тепло непрерывно подается от указанной наружной поверхности к участку расплавляемого слоя льда. Расположенные на поверхности углубления создают зоны концентрации тепла и действуют как водоотводящий канал.

|    |         |      |           |          |      |             |
|----|---------|------|-----------|----------|------|-------------|
| 55 | Франция | E02в | 1.211.708 | 19.05.58 | 1969 | Г. Э. Кросс |
|----|---------|------|-----------|----------|------|-------------|

**Способ и устройство для предотвращения образования льда на поверхности воды.**

|    |         |      |   |          |      |             |
|----|---------|------|---|----------|------|-------------|
| 56 | Франция | E02в | 1.237.407<br>аналог патента<br>США<br>№ 3.083.538 | 06.10.58 | 1960 | Г. Э. Кросс |
|----|---------|------|---|----------|------|-------------|

**Установка для обеспечения свободного от льда водоема.** Содержит кольцевой корпус с отверстиями для впуска и выпуска воды. С помощью патентуемой автономной установки вода перемещается из глубины водоема к его поверхности как свободный поток без существенного перемешивания с окружающей водной средой, при этом перемещаемая вода служит как бы защитным слоем для поверхности водоема.

|    |         |          |           |          |      |                   |
|----|---------|----------|-----------|----------|------|-------------------|
| 57 | Франция | E21с, 21 | 2.166.393 | 07.01.71 | 1973 | Дж. С. Дельджендр |
|----|---------|----------|-----------|----------|------|-------------------|

**Устройство для бурения льда с генератором горячих газов.** Позволяет автоматически и быстро пробуривать толстые слои льда. В состав устройства

| №<br>п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер<br>документа | Дата подачи<br>заявки | Год пуб-<br>ликации | Фирма (заявитель) |
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|
|----------|--------|----------|--------------------|-----------------------|---------------------|-------------------|

входит камера сгорания, в которой образуются горячие газы, выпускные сопла обеспечивают нагревание зоны бурения вокруг острия. Для выравнивания устройства может использоваться плавучая емкость.

|    |         |         |           |          |      |                      |
|----|---------|---------|-----------|----------|------|----------------------|
| 58 | Франция | 64d, 15 | 2.202.810 | 16.10.72 | 1974 | «Клебер Ко-<br>ломб» |
|----|---------|---------|-----------|----------|------|----------------------|

**Термоэлектрический противообледенитель для лопастей и для аналогичных применений.** Содержит один тонкий нагревательный слой, толщина которого не превышает 0,5 мм, из теплостойкого эластомера.

|    |     |           |           |          |      |                                     |
|----|-----|-----------|-----------|----------|------|-------------------------------------|
| 59 | ФРГ | 84a, 5/01 | 1.075.507 | 13.07.57 | 1960 | «Ньюмэтик<br>брейкуотер<br>лимитед» |
|----|-----|-----------|-----------|----------|------|-------------------------------------|

**Пневматический гаситель воли.**

|    |     |                     |   |          |      |             |
|----|-----|---------------------|---|----------|------|-------------|
| 60 | ФРГ | 84a, 15/02;<br>E02в | 1.166.706<br>аналог патента<br>США<br>№ 3.083.538 | 06.10.58 | 1964 | Г. Э. Гросс |
|----|-----|---------------------|---|----------|------|-------------|

**Перекачивающий насос для создания свободных от льда акваторий.**

|    |           |                    |        |          |      |             |
|----|-----------|--------------------|--------|----------|------|-------------|
| 61 | Финляндия | E02в;<br>84a, 6/01 | 32.261 | 19.05.58 | 1978 | Г. Э. Гросс |
|----|-----------|--------------------|--------|----------|------|-------------|

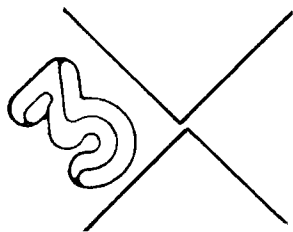
**Способ и устройство для предотвращения образования льда на поверхности воды.**

|    |        |                   |          |          |      |                                       |
|----|--------|-------------------|----------|----------|------|---------------------------------------|
| 62 | Япония | B63в, 59;<br>84С0 | 53-30255 | 24.10.73 | 1978 | К. К. Иноуэ<br>дзяпаккусу<br>кэнкюдзэ |
|----|--------|-------------------|----------|----------|------|---------------------------------------|

**Способ разрушения ледяной корки.** На поверхности, которая должна быть очищена от ледяной корки, располагают проволоку, соединенную с клеммами. Через проволоку пропускают импульс тока. Проволока мгновенно расплавляется, благодаря чему создается местное давление, которое разрушает ледяную корку.

|    |        |             |          |          |      |                       |
|----|--------|-------------|----------|----------|------|-----------------------|
| 63 | Япония | B63в; 35/12 | 55-46915 | 10.04.76 | 1981 | Мицуи дзосэн<br>К. К. |
|----|--------|-------------|----------|----------|------|-----------------------|

**Устройство на ледокольном судне для разрезания льда.** В центре носовой части ледокола, которая непосредственно соприкасается со льдинами, сделан паз с соплами. Конец каждого сопла окружен электронагревательными элементами. Каждое сопло соединено с управляющим клапаном с помощью соединительных линий, которые обогреваются нагревательными спиралями. Клапан соединен трубопроводом с компрессором высокого давления. Трубопровод соединен через байпасные вентили с линией для быстрого отвода воды из компрессора.



## ХИМИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЛЬДА

Разрушение льда с применением химических веществ основано на свойстве некоторых из них образовывать со льдом смеси, имеющие более низкую температуру плавления, чем их составляющие. Эта температура называется эвтектической, а концентрация образовавшегося эвтектического раствора определяется свойствами химического вещества. Таяние льда в эвтектическом растворе продолжается до момента предельной концентрации рассола, соответствующей данной температуре. Характер и степень разрушения льда зависят от применяемого вещества, крупности частиц, норм опыливания, а также температуры и структуры льда. Под воздействием порошкообразных химических веществ лед становится равномерным слоем по высоте сверху вниз. Отдельные комки химических веществ внедряются в лед, образуя извилистые каналы с прочными перегородками. Из-за нарушения монолитности льда его прочность уменьшается.

При температуре  $-5^{\circ}\text{C}$  1 г бикарбоната калия может растопить 59 г льда, фторида натрия — 33 г, сульфида натрия — 21 г. При более низкой температуре рекомендуется применять другие соли: так, в диапазоне от  $-6$  до  $-20^{\circ}\text{C}$  используют хлористые соли аммония, натрия и калия [15, 136, 180] (табл. 3.1).

В месте контакта химического вещества со льдом образуется очаг рассола, который по мере повышения температуры углубляется. Наибольшее количество льда выплавляется при резких повышениях температуры. Хлористые соли натрия, калия и аммония плавят лед преимущественно по вертикали, тогда как у хлорида магния разрушительное действие проявляется и «в стороны» (табл. 3.2).

Существует зависимость расхода химических веществ от температуры и толщины льда.

При разрушении льда толщиной 10 см на площади 1 га при температуре  $-10^{\circ}\text{C}$  требуется израсходовать 3,5 т соли с кусками массой не менее 10 г. Для разрушения слабого речного предпаводкового льда той же толщины и на той же площади достаточно всего 0,5 т мелкозернистой соли.

Таблица 3.1

Объем расплавленного льда, приходящегося на 1 кг соли при различной температуре, см<sup>3</sup>

| Химическое вещество | Эвтектическая температура, °С | Температура, °С |      |     |     |
|---------------------|-------------------------------|-----------------|------|-----|-----|
|                     |                               | —5              | —10  | —15 | —20 |
| Хлорид кальция      | —55,0                         | 10,8            | 6,4  | 5,0 | 4,1 |
| Хлорид натрия       | —21,2                         | 12,2            | 6,7  | 4,7 | 3,7 |
| Хлорид аммония      | —15,8                         | 14,0            | 7,1  | 4,8 | —   |
| Хлорид калия        | —11,1                         | 10,3            | 4,7  | —   | —   |
| Сульфид натрия      | —10,0                         | 21,0            | 10,6 | —   | —   |
| Фторид натрия       | —5,6                          | 33,0            | —    | —   | —   |
| Бикарбонат калия    | —5,4                          | 59,0            | —    | —   | —   |

Таблица 3.2

Изменение глубины разрушения льда хлористыми солями концентрацией 1 г/см<sup>2</sup> с понижением температуры [15], см

| Химическое вещество | Температура, °С |       |      |      |      |      |      |             |      |
|---------------------|-----------------|-------|------|------|------|------|------|-------------|------|
|                     | —11,7           | —10,2 | —8,5 | —6,5 | —5,5 | —4,5 | —3,0 | —4,5        | —3,0 |
|                     | Пресный лед     |       |      |      |      |      |      | Соленый лед |      |
| Хлорид натрия       | 6,0             | 7,0   | 7,1  | 7,1  | 7,2  | 7,7  | 8,0  | 8,8         | 25,0 |
| Хлорид калия        | 0,0             | 0,0   | 5,3  | 8,0  | 9,0  | 9,0  | 9,0  | 8,0         | 9,0  |
| Хлорид аммония      | 4,0             | 6,4   | 6,5  | 6,7  | 7,2  | 7,6  | 8,2  | 8,6         | 25,0 |
| Хлорид магния       | 1,6             | 1,8   | 2,2  | 2,2  | 2,4  | 2,4  | 2,6  | 2,6         | 2,8  |

Расход химикатов в теплую погоду с устойчивой положительной средней суточной температурой воздуха может быть уменьшен до 50 %. При сплошном (без ледяных перемычек) протавлении льда, нормы расхода химических веществ обычно в 7—10 раз меньше массы льда, подлежащего растворению.

Ширина полосы химикатов при посыпке с автомашины составляет 0,3—0,4 м, с самолета 2,5—3,5 м. Применение авиации позволяет повысить степень механизации работ, но расход химических веществ увеличивается.

Опыт использования авиационно-химических способов при очистке от льда подходов к порту показал, что при расходовании 50—100 т каменной соли на 1 га разрушение льда происходит на 15—20 сут раньше, а себестоимость составляет около 2 % стоимости разрушения льда с помощью ледоколов [6].

Химический метод как самостоятельный целесообразно применять на ограниченной площади для местного разрушения льда. Обычно этот метод следует рассматривать как вспомогательный и его рекомендуется применять совместно с работой ледорезных машин на участках рек с повышенной толщиной льда (толщина льда больше длины фрезы) и с включением большого количества бревен и других твердых предметов, а также в местах пересечения ледорезных трасс.

Достоинство метода заключается в быстроте действия химических веществ на лед. В натуральных условиях при кристаллической структуре льда и положительных температурах воздуха комки соли крупностью от 2—2,5 см до 4—4,5 см через сутки после их нанесения на лед могут проникнуть в него на глубину от 20 до 70 см.

К недостаткам этого метода следует отнести высокую стоимость материалов, снижение эффективности метода вследствие растворимости солей при наличии воды и снега на льду, а также водных прослоек внутри льда.

Гололед, гололедица, а также прессованный оледенелый снег на асфальто-бетонных дорожных покрытиях с каждым годом требует к себе все большего внимания. Борьба с ними ведется механическими, теплофизическими, химическими и комплексными методами. Ножи бульдозеров и грейдеров пока с этим явно не справляются. Ударные механические методы приводят обычно к разрушению покрытия.

Химический способ — наиболее эффективный и экономичный метод борьбы с гололедом на дорогах, однако временно наряду с ним пока еще применяется фрикционный способ преодоления зимней скользкости, при котором рассыпаются песок, мелкий гравий, топливный шлак, дробленый камень с крупностью частиц не более 5 мм при норме 200—300 г/м<sup>2</sup>.

Так, на авианосцах США для очистки летной палубы применяют, кроме прочих способов, каменную соль, а с целью уменьшения коррозии — ингибиторы. Каменную соль иногда заменяют смесью хлорида лития. Эта смесь эффективна при образовании льда из снега или дождевой воды, но малоэффективна при образовании льда из брызг морской воды, так как в этом случае она смыывается. Кроме того, смесь хлорида лития может применяться при толщине льда лишь немногим более 1 см [1].

При борьбе с гололедом химические вещества используются как в жидком, так и в твердом виде.

Широко применяются растворы хлорида кальция 32- или 35 %-ной концентрации, растворы хлоридно-натриевых составов 20 %- концентрации, а также более концентрированные природные

подземные рассолы, стоимость которых от 6 до 20 коп. на 1 м<sup>3</sup> [135], пластовые воды нефтяных месторождений, рассолы соляных озер и отходы химической промышленности. На автомобильных дорогах успешно применялись также растворы с мочевиной, этиленгликолем и другими веществами, вроде реагента ННХК — смеси 80—90 % хлористого кальция с 20—10 % нитрата-нитрита кальция [28, 39].

Твердые кристаллические вещества: хлорид натрия, фосфатированный хлорид кальция, а также их смеси (12 % хлорида кальция и 88 % хлорида натрия) успешно применялись на автомобильной дороге Москва—Ленинград [39, 68].

Особенно хорошие результаты получены при использовании чешуиrowанного кальция, который расплавлял лед при температуре воздуха —30°C [39].

С 1 января 1975 г. введена в действие инструкция по борьбе с гололедом на автомобильных дорогах, разработанная ГИПРОДРОНИИ [54]. Она стала нормативным документом.

Опыты по определению понижения прочности льда в поверхностно-активных веществах (ПАВ) показали, что в воде оно достигает 20 % [36, 130], а применение пленки ПАВ к пресному льду снижает его прочность на 30 % [66]. По последним данным использование адсорбционно-поверхностного эффекта Ребиндера может снижать прочность льда на 80 %.

В ближайшей перспективе — конструктивный метод борьбы с гололедом. Он заключается в разработке новых дорожных покрытий.

Одно из них (а. с. 607868 СССР) имеет верхний износостойчивый слой из органического вяжущего вещества и заполнителя — резиновой крошки размером 1—10 мм из расчета 0,63—0,72 м<sup>3</sup>/100 м<sup>2</sup>.

Другое (а. с. 280517 СССР) представляет собой состав для покрытия аэродромов, дорог и других сооружений на основе жидкого стекла, доменного гранулированного шлака и песка. Дополнительно в него введены глина и водный раствор щелочного металла, что снижает адгезию льда к поверхности покрытия.

Порошковый антигололедный реагент вызывает таяние льда, а образующийся раствор проникает в подледный слой и способствует быстрому отслаиванию льда от поверхности конструкций.

Сущность физико-химических способов борьбы с обледенением заключается в создании промежуточного слоя специального вещества между льдом и защищаемой поверхностью. Вещество должно либо уменьшать адгезию льда, либо понижать температуру замерзания морской воды на судовой поверхности. Желательно, чтобы покрытие сочетало в себе оба эти качества. Иссле-



дования показали, что криофобные органо-силикатные и кремнийорганические покрытия и солевые антифризы можно с успехом применять для защиты металлических поверхностей, мостов, кровель и переправочных средств от обледенения [66].

В настоящее время рекомендуют использовать антиобледенительные покрытия из органо-силикатных материалов [74], эмали ЭП-5162 [120], блок-сополимеров поликарбоната или полисилоксана [203], напылять на поверхность конструкций этилен или тефлон [26], применять технический вазелин [1, 26].

Водонепроницаемые канаты рекомендуется обрабатывать твердым вазелином (петролатумом). Трущиеся части блоков покрывают жиром, а все наружные части — петролатумом. Обработку химикалиями необходимо периодически повторять. Временный интервал между покрытиями зависит от погоды.

В зарубежных публикациях сообщалось о разработке специального антиобледенительного покрытия для судовых поверхностей Х-3057, уменьшающего на 70 % работу по скалыванию льда и препятствующего обледенению своими водоотталкивающими свойствами. Однако и у этого материала короткий срок службы: всего около двух недель вследствие чувствительности к солнечной радиации и слабому сцеплению с покрываемой поверхностью.

Хорошие антиобледенительные свойства имеет тефлон, выпускаемый в виде тонкой пленки, которая может наматываться вокруг рангоута, такслага, антенн и т. п. Лед легко удаляют с тефлона, причем на гибких элементах типа антенн удаление льда происходит без участия человека, под действием ветра и вибрации.

Кремнийорганозпоксидное покрытие ЭП-5162 имеет две составляющие: антикоррозийный подслои из пигментированного лака на основе эпоксидной смолы ЭД-5 с отвердителем и ориентированный слой кремнийорганического полимера, химически связанного с антикоррозийным подслоем, состоящим из кремнийорганической жидкости ГКЖ-94 с отвердителем. Такое покрытие марки «Г» имеет адгезию 0,981 Па.

Эффективность покрытия зависит от состояния защищаемой поверхности и гидрометеорологических условий обледенения. Были случаи успешной эксплуатации покрытия в течение 6 мес, в других случаях — не более 1 мес [1, 120, 123].

Хорошие результаты в лабораторных условиях показали органические антифризы. Это — криофобные препараты на органо-минеральной основе. Они представляют собой твердые вещества с температурой плавления 100—150 °С. Лед плавится по площади сцепления с защищенной ими поверхностью и легко сдвигается и отслаивается [136].

Для защиты такелажа эффективны также фторопластовые чехлы. Лед легко перемещается вдоль чехла и разрушается от удара [134].

Отечественная промышленность выпускает гидрофобные кремнийорганические полимеры в виде жидкостей, смол, лаков и пр. Адгезия льда с этими покрытиями в 2 раза меньше, чем со штатным покрытием, и в 3—4 раза меньше, чем с чистым металлом.

Заслуживает внимания замена металлических конструкций пластмассовыми и стеклопластиковыми. Полезны при обледенении парафиловые тросы, на гладкой поверхности которых лед образуется медленно. Парафиловый трос состоит из параллельных волокон высокой прочности, спрессованных и заключенных в гибкую алкатеновую оболочку. Их изготавливают из нейлона, терилена, полипропилена или из их соединений.

Перспективным является использование пластмасс на основе полиуретана (пат. 2252249 Франция), из губчатого материала, полиэтиленового пенопласта [120], пористого титана, а также использование полиэтиленовой пленки (ГОСТ 10354-64, марка А) [26]. Защищаемую поверхность покрывают одним из указанных гидрофобных материалов, снижающих значительно адгезию льда, а при некоторых гидрометеорологических условиях замедляющих нарастание льда. Применяя пористый титан, через который под давлением пропускается воздух или масло, можно избежать обледенения.

Поверхность твердых гидрофобных полимерных покрытий характеризуется низкой свободной энергией и малой адгезией льда к ним, которая в 10 раз меньше, чем у обычных лакокрасочных покрытий.

Некоторые из этих результатов были внедрены в системе Ленхозуправления и использованы при борьбе с обледенением кровель. Практика показала, что обработка крыш компактными покрытиями из эпоксидного слоя и кремнийорганического полимера (эпоксидные эмали ЭП-51-62 и шпатлевки ЭП-00-10) снижают прочность сцепления льда с поверхностью почти в 10 раз [22].

Адгезия льда к защищаемой поверхности уменьшается распылением смеси, состоящей из полиэфира и изоцианата с добавкой силиконового масла (пат. 4135/73 Япония) или фторсодержащей смолы (пат. 4134/73 Япония), а также покрытия из уретановых смол (заявка 41316/73 Япония).

Твердые солевые покрытия и растворы используются в авиации, на дорогах, взлетно-посадочных полосах аэродромов и практически не применяются для защиты от брызгового обледенения. Солевые покрытия малоэффективны и неэкономичны вследствие интенсивного расхода вещества и разрушения покрытий под дей-

ствием атмосферных условий, кроме того, они вызывают интенсификацию коррозии защищаемой конструкции.

Жидкостные противообледенители обеспечивают непрерывную подачу жидкости и ее равномерное распределение по защищаемой поверхности. При осаджении атмосферной влаги на поверхность с рабочим веществом жидкостной ПОС имеют химическое, а также механическое и тепловое воздействие, предупреждающее обледенение. В качестве рабочих жидкостей используются полярные органические жидкости с низкой температурой замерзания, хорошо растворимые в воде: этиловый, пропиловый, бутиловый спирты и гликоли. Жидкостные противообледенительные системы (ПОС), как показывает практика, эффективны только в режиме предупреждения обледенения [136].

Расход рабочей жидкости составляет до 500 см<sup>3</sup>/мин. Эффективность жидкостных ПОС возросла с применением пористых металлов, вроде титана, бронзы и других для изготовления распределительных устройств.

Вазелины представляют собой органические, кремнийорганические или фторированные жидкости, загущенные мелкодисперсными наполнителями. Нанесенные на поверхность обледеневающего объекта, они сохраняют пастообразное состояние при температуре обледенений, и прочность сцепления льда с подложкой определяется прочностью слоя вазелина, что повышает эффективность околки в 2—3 раза.

Вазелиновые системы целесообразно применять для защиты развитых поверхностей, когда исключено применение энергетических методов, а также для защиты антенн РЛС.

Комбинированные ПОС представляют собой энергетические противообледенительные системы, включающие поверхности с низкой свободной энергией и малой адгезией льда к ним. Такое включение позволяет повысить КПД и снизить энергозатраты, отнесенные к единице защищаемой поверхности. Комбинированные физико-химические ПОС включают в себя несмешивающиеся жидкости, пасты, охрупчивающие поверхностно-активные вещества.

В результате взаимодействия льда на поверхности конструкции с поверхностно-активными веществами, согласно эффекту Ребиндера, имеет место снижение свободной поверхностной энергии льда и повышается хрупкость блока льда. Для проявления этого эффекта достаточно относительно небольшого снижения поверхностной энергии [142]

$$(\sigma_{F, \text{cp}})^2 = (\sigma_{F, D})^2 - (AE/C)(\gamma_0 - \gamma_{\text{cp}}),$$

где  $\sigma_{F, \text{cp}}$  — соответствующее разрушающее напряжение льда с модифицированной поверхностью;  $\sigma_{F, D}$  — то же для льда с поверх-

постью, выращенной в вакууме;  $A$  — постоянный численный коэффициент;  $E$  — модуль Юнга;  $\gamma_0$  — свободная поверхностная энергия льда в вакууме;  $\gamma_{\text{ср}}$  — то же для модифицированной поверхности;  $C$  — длина самой большой, благоприятно ориентированной трещины.

Наиболее эффективные поверхностно-активные вещества, значительно снижающие прочность льда, относятся к органическим спиртам, жирным кислотам, аминам, сульфокислотам, еще более эффективны их перфторированные аналоги.

Повышение эффективности комбинированной ПОС с применением охрупчивающих ПАВ, которые наносятся на внешнюю поверхность льда, выращенного на низкоэнергетической поверхности, по сравнению с эффективностью той же системы для льда, выращенного на высокоэнергетической поверхности можно показать на примере работы (ЭИПОС) электроимпульсной противообледенительной системы (см. п. 4.1).

При прочих постоянных параметрах, применение ПАВ повышает эффективность разрушения льда ЭИПОС на высокоэнергетических поверхностях на 100 %. Применение пленок ПАВ в сочетании с поверхностями низкой энергии повышает эффективность разрушения льда ЭИПОС по сравнению с высокоэнергетическими поверхностями на 200 % [142].

### Изобретения для химического разрушения льда

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации      | Фирма (заявитель)    |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| 1     | СССР   | E10c, 7  | 280.517         | 10.01.69           | 1970,<br>Б. И. № 28 | К. Н. Андрущак и др. |

**Состав для образования покрытий аэродромов, дорог и т. п. сооружений.** Предлагается состав для покрытий с целью сохранения их от льдообразования на основе жидкого стекла, доменного гранулированного шлака и песка. Дополнительно в него введены глина и водный раствор щелочного металла, что снижает адгезию льда к поверхности покрытия.

|   |      |         |         |          |                     |                     |
|---|------|---------|---------|----------|---------------------|---------------------|
| 2 | СССР | E01c, 7 | 607.868 | 17.05.76 | 1978,<br>Б. И. № 19 | В. С. Боровик и др. |
|---|------|---------|---------|----------|---------------------|---------------------|

**Покрывтие для автомобильных дорог.** Включает основание и верхний слой, состоящий из органического вяжущего вещества и мелких частиц наполнителя. Для предотвращения гололедных явлений и уменьшения износа шин, мелкие частицы наполнителя верхнего слоя выполнены из резины размером 1—10 мм, их количество составляет 0,63—0,72 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>.

|   |         |                      |           |          |      |                                  |
|---|---------|----------------------|-----------|----------|------|----------------------------------|
| 3 | Франция | B63в, 59;<br>CO9K, 3 | 2.252.249 | 23.11.73 | 1975 | «Гудьир Тайе энд раббер компани» |
|---|---------|----------------------|-----------|----------|------|----------------------------------|

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

Транспортное средство, снабженное защитным покрытием для защиты металлических поверхностей, которые входят в соприкосновение со льдом. Предлагается защитное покрытие из пластмассы на основе полнуретана толщиной от 0,25 до 1,25 мм.

|   |        |        |         |          |      |                  |
|---|--------|--------|---------|----------|------|------------------|
| 4 | Канада | 255-10 | 939.168 | 27.11.72 | 1975 | Уорд Фредерик Д. |
|---|--------|--------|---------|----------|------|------------------|

Тепло-химическое разрушение льда. Патентуется приспособление для проникновения в лед, содержащее сердечник из материала большой плотности, инертного к действию воды, а именно из железа, стали или бетона. Исходя из толщины подлежащего таянию льда, предусматривается материал оболочки, имеющий сильную экзотермическую реакцию с водой, а именно: щелочной металл или его гидрат. Реакция этого материала со льдом образует тепло, достаточное для того, чтобы растопить лед, находящийся рядом с точкой реакции.

|   |        |                  |          |          |      |                          |
|---|--------|------------------|----------|----------|------|--------------------------|
| 5 | Япония | B63в, 3;<br>84В3 | 48-41314 | 17.04.69 | 1974 | Ниппон барука когё К. К. |
|---|--------|------------------|----------|----------|------|--------------------------|

Способ предотвращения обледенения. На корпус судна наносят смесь из полиэфира и изоционата с добавкой фторсодержащей смолы.

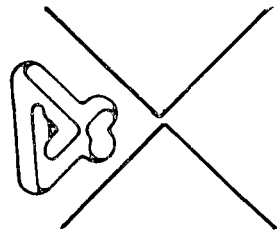
|   |        |                  |          |          |      |                          |
|---|--------|------------------|----------|----------|------|--------------------------|
| 6 | Япония | B63в, 3;<br>84В3 | 48-41315 | 21.04.69 | 1974 | Ниппон барука когё К. К. |
|---|--------|------------------|----------|----------|------|--------------------------|

Способ предотвращения обледенения. Распыляется смесь, состоящая из полиэфира и изоционата с добавкой силиконового масла.

|   |        |                  |          |          |      |                          |
|---|--------|------------------|----------|----------|------|--------------------------|
| 7 | Япония | B63в, 3;<br>84В3 | 48-41316 | 12.09.69 | 1974 | Ниппон барука когё К. К. |
|---|--------|------------------|----------|----------|------|--------------------------|

Способ предотвращения обледенения корпуса судна. На поверхность корпуса судна наносят вязущий слой, который затем последовательно покрывают уретаном, пенополнуретаном и уретаном эластомером методом распыления.

# ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЛЬДА



Средства электрофизического разрушения льда: электроимпульсные (205); электрогидравлические (207); лучевые (208). Электромагнитное поле, радиационное облучение, ультразвуковые волны (209).

Необходимость интенсификации разрушения горных пород при добыче полезных ископаемых и разработки мерзлых грунтов в гидротехническом, транспортном и жилищном строительстве за Полярным кругом стимулировали выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по использованию для этих целей высокочастотного магнитного поля, ультразвука, радиации, оптических квантовых генераторов (лазеров) и низкотемпературной плазменной струи [115, 181]. Некоторые из этих способов пытались применить для разрушения льда, однако большинство из них не вышло из стадии экспериментальных исследований на образцах, так что говорить о технических средствах этого метода можно лишь в первом приближении.

## 4.1. Электроимпульсные средства

В основе электроимпульсного метода разрушения льда лежит взаимодействие импульсного магнитного поля, создаваемого индуктором, с вихревыми токами, индуцируемыми этим полем в металлической конструкции, которую необходимо освободить от намерзшего на ее поверхности льда. При указанном взаимодействии создается значительное механическое усилие, которое деформирует тонкостенную конструкцию — слой льда при этом трескается и отслаивается [79].

На этом принципе в СССР разработана *электроимпульсная противообледенительная система (ЭИПОС)*. Комплект ЭИПОС состоит из генератора электрических импульсов, питаемого от бортовой электросети, нескольких десятков индукторов — преобразователей электрических импульсов в механические и распределительных элементов.

При включении системы генератор выдает кратковременные электрические импульсы с длинными паузами между ними, накапливая энергию в период пауз (а. с. 201086 СССР). При длительности импульса 500 мс, интервале между импульсами 2 с и

КПД накопительного блока 0,9, мощность в импульсе в 3600 раз больше потребляемой средней мощности системы.

Программный коммутатор, открывая в заданном режиме полупроводниковые ключи, подает эти импульсы по очереди к каждому индуктору. Мощный импульс генерирует в тонкостенной металлической обшивке вихревые токи. Взаимодействие первичного и наведенного токов создает силы, приводящие к деформации обшивки и намерзшего на ней слоя льда. Напряжения, возникающие в обшивке — ниже предела циклической прочности, а в слое льда они достаточны для его разрушения. Волна деформации за счет упругих свойств обшивки распространяется от места образования по всей защищаемой индуктором зоне, разрушая намерзший лед. Удельная мощность, потребляемая системой составляет 25—50 Вт/м<sup>2</sup>.

Опыт эксплуатации ЭИПОС (а. с. 213588 СССР и 213590 СССР) в современной авиации показал эффективность и экономичность этой системы. Она запатентована во Франции (пат. 1562244), Италии (пат. 843087), Норвегии (пат. 117890).

Оптимальным вариантом работы ЭИПОС следует считать использование ее в сочетании со специальными упругими оболочками, поверхностями с низким значением удельной свободной поверхностной энергии, а также обработкой льда поверхностно-активными веществами.

Исследуя эффективность импульсного разрушения льда  $R$ , авторы работы [65] предлагают оценивать ее как функцию физико-механических свойств подложки, льда и параметров ЭИПОС:

$$R = L (F_{ад}^э / F_{ад})^m \cdot N (\sigma_y / \sigma)^P,$$

где  $F_{ад}$  и  $F_{ад}^э$  — усилия, расходуемые на разрушение адгезионного контакта для антиобледенительного и эталонного (штатного) покрытий соответственно;  $\sigma$  и  $\sigma_y$  — прочностные характеристики льда, выросшего на антиобледенительном и штатном покрытиях;  $L$ ,  $N$ ,  $m$ ,  $P$  — весовые множители, учитывающие вклад в энергию, расходуемую на разрушение льда, адгезионного и прочностного членов. Согласно экспериментальным данным [55, 65], использование электроимпульсной системы разрушения льда эффективно при воздушном, брызговом и внутриводном обледенении на плоских слабозавитых поверхностях при толщинах льда более 4 мм для тонкостенных конструкций. При толщинах льда менее 4 мм, особенно для морского льда, электроимпульсный метод разрушения льда не является эффективным. В этом случае следует применять, например, тепловые противообледенительные системы. Сведения о разрушении льда при пробое его как слоя диэлектрика импульсным разрядом высокого напряжения (1440 кВ) содержатся в ра-

боте [8]. Электрический пробой ввиду его малой эффективности не может быть целевым средством разрушения льда.

#### 4.2. Электрогидравлические средства

Сущность электрогидравлического эффекта (ЭГЭ) заключается в том, что при высоковольтном импульсном искровом разряде внутри объема жидкости вокруг зоны разряда возникает высокое гидравлическое давление. Механическое перемешивание жидкости в зоне разряда сопровождается разрушением в других средах, так как практически несжимаемая жидкость с огромной силой раздвигается во все стороны от линии разряда и создает гидравлический удар. Затем полость с такой же скоростью сжимается, создавая второй «кавитационный» гидравлический удар. На этом цикл заканчивается, повторяясь с частотой чередования импульсов. Разрушение твердых сред при этом осуществляется вследствие совместного действия ряда факторов, возникающих во время высоковольтного искрового разряда: механического ударного действия сверхвысокого гидравлического давления, мощных кавитационных процессов, светового излучения и возможных резонансных явлений. Разрушающий эффект от электрогидравлического импульса аналогичен результату воздействия эквивалентного по мощности взрыва заряда обычного взрывчатого вещества.

Электрогидравлические установки строятся на принципе накопления электрической энергии высокого напряжения в конденсаторной батарее (до нескольких десятков килоджоулей) и последующего быстрого ее выделения в разрядном промежутке рабочего органа, где происходит преобразование электрической энергии в механическую с КПД, достигающим нескольких десятков процентов, например, в случае разрушения горных пород.

Во многих отраслях машиностроения, в горном деле, строительстве, сельском хозяйстве нашел широкое применение ЭГЭ.

Были попытки использовать достоинства этого электрофизического метода получения механической энергии и для разрушения льда. К достоинствам ЭГЭ, в данном случае, прежде всего следует отнести непосредственное преобразование электрической энергии в механическую, возможность простого управления процессом получения импульсов энергии в широком интервале значений и практически с любой необходимой частотой их следования.

Первые результаты работ по практическому использованию ЭГЭ для разрушения льда были получены в 1956 г. в ЛАНИИ. В процессе проведения экспериментов наблюдалось следующее. При действии короткого импульса взрыва, произведенного в центре куба льда объемом около  $1 \text{ м}^3$ , характер разрушения льда зави-



сел от того, с какой средой в контакте находились грани куба. Если образец был окружен воздухом, то в результате взрыва в нем возникало множество трещин и при небольшом усилии он рассыпался на множество мелких обломков. При проведении опытов с образцами льда тех же размеров, но помещенных в водную среду, эффект разрушения был значительно слабее: иногда в результате одного взрыва в образце появлялись только трещины, способствующие разделению всего льда лишь на 2—3 части. Вероятно, вследствие хорошего акустического контакта льда с водой происходил существенный отвод энергии волн напряжения из льда в воду (эксперимент проводился на Ладожском озере, для одного взрыва использовалась энергия, запасенная в конденсаторе и не превышающая нескольких килоджоулей [17]).

КПД использования запасенной электроэнергии первых экспериментов по разрушению ледяных пластин на плаву достигал не более нескольких процентов. Сообщалось [161] о попытках повысить КПД путем создания электрогидравлического водомета с давлением водяной струи на выходе 3000 МПа. Как полагают авторы этого устройства, в данном случае КПД преобразования электрической энергии в гидродинамическую может достигать 90 %.

### 4.3. Лучевые средства

В США изучались возможности применения лазеров для разрушения льда [4, 201]. В эксперименте по резанию образцов льда, полученных из дистиллированной и водопроводной воды путем смораживания крупной ледяной крошки диаметром до 1 см; использовался лазер непрерывного действия на двуокиси углерода мощностью 50 Вт [201]. Пучок фокусировался зеркалом до плотности потока мощности 50 Вт/см<sup>2</sup>. Применялся также импульсный лазер с энергией импульса 0,5 Дж и длительностью 1 мкс.

Лазер непрерывного действия резал лед с эффективностью 3—5 см<sup>2</sup>/с (эффективность — площадь разрушения в единицу времени). По оценкам американских ученых, лазер мощностью 50—100 Вт может резать ледяное поле на глубину 8 см со скоростью 1852 м/ч. Эффективность резания падает при горизонтальном положении образца, когда образующаяся при таянии вода не может вытекать из разреза (по нашим оценкам примерно в 2 раза).

Импульсный лазер разрушал лед толщиной не более 3 мм. Сделан вывод о целесообразности применения лазеров, работающих в ближней ИК и видимой части спектра, фокусируя излучение не на поверхности, а внутри льда, что может вызвать его паровой взрыв. Эксперименты выполнялись на искусственном льду, однако авторы предлагали использовать лазер в натуральных усло-

виях (с ледокола) для прорезывания или перфорации льда в области наибольшего напряжения у скул ледокола для облегчения разламывания ледяного поля. Определено, что луч лазера мгновенно проходит через снежный покров и скорость резания льда сохраняется неизменной. Отмечено, что взрывоподобное образование пара от энергии импульса, сфокусированного под поверхностью льда, значительно повышает эффект разрушения ледяного покрова. Для подачи энергии 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.

Этой же цели служит лазерная пушка (пат. 1.119.948 Великобритания). Пушка представляет собой концентратор лучей нескольких лазерных устройств в один луч с помощью большого вогнутого и выпуклого малого конфокальных параболических зеркал.

Исследовалась возможность использования лазера для борьбы с обледенением сооружений и конструкций [225]. В эксперименте применялись лазеры на стекле (длина волны 1,06 мкм) и рубине (длина волны  $6943 \cdot 10^{-10}$  м). В качестве подложки льда испытаны камень, асфальт, бетон, латунь, алюминий и сталь. Обнаружено, что одиночный импульс с мощностью потока  $10^8$ — $10^9$  Вт/см<sup>2</sup> образует на ледяной корке в диаметре от 0,1 до 2,0 см радиальные трещины. Процесс образования трещин зависит от фокусировки, а также толщины льда и содержания в нем пузырьков воздуха, и не зависит от материала подложки.

Если бы с помощью сканирования луча систему трещин удалось распространить по поверхности обледенения, то лед можно было бы полностью разрушить и очистить конструкцию.

Вследствие большой теплоемкости льда использование лазера для растопления больших объемов льда представляется нереальным.

#### 4.4. Электромагнитное поле, радиационное облучение, ультразвуковые волны

Электромагнитные поля высокой интенсивности в диапазонах высоких (ВЧ) и сверхвысоких (СВЧ) \* частот довольно широко используются во многих современных технологических процессах, применяемых в промышленности, медицине, науке и технике, когда необходим эффективный объемный нагрев неметаллических мате-

---

\* К СВЧ диапазону относятся электромагнитные волны начиная с частоты 433, 920 МГц и выше, частоты ниже этой границы относятся к диапазону ВЧ.

риалов, когда обычный контактный нагрев таких материалов посредством теплопроводности оказывается малоэффективным [90, 115].

При взаимодействии радиоизлучения со льдом, как и с любым другим диэлектриком, основным процессом в среде является диэлектрический нагрев, причем, согласно известному соотношению

$$P_0 = 0,555 f \epsilon' \operatorname{tg} \delta E^2,$$

удельная электромагнитная мощность  $P_0$  Вт/см<sup>2</sup>, выделяющаяся в единице объема льда при заданной напряженности поля  $E$ , будет зависеть от его частоты  $f$  и электрических свойств материала — тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  и относительной диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$ .

По данным Л. Б. Некрасова [100, 101], при воздействии на пресноводный поликристаллический лед сильного электромагнитного поля ( $E=4$  кВ/см,  $f=40,68$  МГц) через 1,5—2 с происходит нарушение оптической и механической однородности, через 3—4 с появляются включения объемной воды, а через 7—8 с наступает стадия интенсивного растрескивания облучаемого образца, заканчивающегося полным распадом на отдельные кристаллы. Поглощение энергии в основном происходит на поверхности и границах зерен, где имеются квазижидкие пленочные включения. Жидкие прослойки растут до появления объемной воды, механическая прочность при этом падает.

Мощное СВЧ электромагнитное поле оказывает сильное влияние также и на структуру и свойства морского соленого льда. При поглощении мощности, равной 0,25 Вт/см<sup>3</sup>, значительно понижается предел прочности льда при сжатии за счет быстрого повышения температуры и интенсивного стекания рассола из объема льда, в результате чего образуется рыхлая «сотовая» структура, легко поддающаяся механическому воздействию. Эффект разупрочнения льда пропорционален его солености, так как с ее ростом увеличивается удельное поглощение СВЧ энергии в морском льду (рис. 4.1).

Расчет эффективности высокочастотного плавления льда ( $\epsilon' = 3,45$ ;  $\operatorname{tg} \delta = 0,04$ ; начальная температура льда  $-18^\circ\text{C}$ ; объем образцов  $\sim 500$  см<sup>3</sup>) на примере использования генератора излучения\* с колебательной мощностью 600 Вт на частоте 2,375 МГц показывает, что в образце выделялось лишь  $\sim 25\%$  излучаемой мощности, и КПД всей установки составил  $\sim 10\%$ . Это связано с рассеянием электромагнитных волн в свободном пространстве,

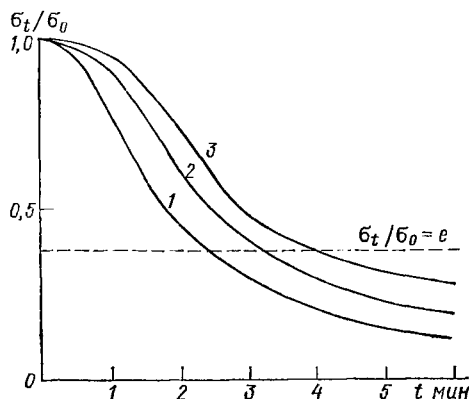
\* Такую мощность излучения имеет, например, выпускаемая промышленностью для бытовых целей магнетронная аппаратура «Страуме» с потребляемой от сети мощностью 1600 Вт.

а также с тем, что при плавлении на поверхности льда образуется пленка воды, обладающая высоким  $\epsilon'$  и тем самым «экранирующая» образец.

Возможность повышения КПД имеется. Однако следует учитывать, что процесс плавления всего льда и, тем более, нагрев и

Рис. 4.1. Уменьшение отношения предела прочности при сжатии  $\sigma_t$  облученного образца льда объемом  $444 \text{ см}^3$  к пределу прочности без облучения ( $\sigma_0$ ) в зависимости от времени (по данным Г. П. Хохлова и В. В. Пасынкова).

1 —  $11^\circ/\text{мин}$ ; 2 —  $6,8^\circ/\text{мин}$ ; 3 —  $3,9^\circ/\text{мин}$ .



испарение воды энергетически невыгоден. Поэтому необходимо, по-видимому, производить облучение льда такой мощностью, чтобы в жидких включениях удельное поглощение мощности было не менее  $10^3 \text{ Вт/см}^3$ , т. е. выше таких значений, при которых происходит практически мгновенное плавление льда и испарение воды.

Выполненные расчеты показали, что в диапазоне частот  $10^9$ — $10^{10}$  Гц перепад температур в местах локального разогрева может достигать  $100^\circ\text{C}$ . Подобный градиент может приводить к термудару, а при образовании жидкой фазы в локальном объеме и к гидроудару, что приведет к растрескиванию и разлому льда в местах неоднородностей.

Первые опыты использования метода позитронной аннигиляции при изучении влияния радиации на образцы льда показали, что влияние лучей в диапазоне 4—11 Мрад проявляется в миграции пустот во льду при широком диапазоне температур от  $-185^\circ\text{C}$  до точки плавления [206]. Получены значения энергии образования пустот 0,20—0,35 эВ. Их концентрация составляет несколько частей на миллион [234]. Количество образовавшихся пустот и степень их миграции повышается с введением фтористого водорода HF; в результате слияния пустот во льду образуются полости, понижающие его прочность [207].

При резании льда наложение на режущий инструмент высокочастотных упругих колебаний (ультразвуковой генератор УЗГ — 2,5 м мощностью 2,5 кВт, работающий на частотах 18—22 кГц) позволило уменьшить усилия на резце и увеличить скорость резания в 1,5—2 раза [72].

Степень уменьшения усилия резания при фиксированной плотности СВЧ энергии зависит от соотношения между глубиной резания и глубиной проработки материала электромагнитным полем.

Динамические нагрузки на режущий инструмент при обработке мерзлого грунта СВЧ энергией снижаются в 2—2,5 раза [103].

### Изобретения для электрофизического разрушения льда

| № п/п | Страна | МКИ. НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации     | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1     | СССР   | E02в, 15 | 549.546         | 02.01.73           | 1977,<br>Б. И. № 9 | В. Н. Аристов     |

Способ борьбы с шугой перед гидротехническими сооружениями посредством воздействия на шугу ультразвуковыми колебаниями. Для интенсификации процесса льдообразования участков, на который воздействуют ультразвуковыми колебаниями, ограждают.

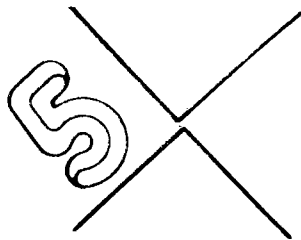
|   |     |                       |           |          |      |                       |
|---|-----|-----------------------|-----------|----------|------|-----------------------|
| 2 | США | E02в, 15;<br>B63в, 35 | 4.077.225 | 28.02.77 | 1978 | «Ойл компани лимитед» |
|---|-----|-----------------------|-----------|----------|------|-----------------------|

**Система для разрушения льда.** В систему раскалывания льда вокруг морской опоры входит акустический преобразователь, соединенный установленной во льду балкой. Звуковые волны от преобразователя через указанную балку передаются на лед.

|   |                 |           |           |          |      |              |
|---|-----------------|-----------|-----------|----------|------|--------------|
| 3 | Велико-британия | E21в; НИС | 1.119.948 | 24.06.67 | 1968 | А. П. Педрик |
|---|-----------------|-----------|-----------|----------|------|--------------|

**Лазерная пушка или концентратор для работы в полярных районах.** Несколько отдельных лучей, испускаемых газообразной или рубиновой средой, сливаются в концентрированный луч при помощи двух конфокальных параболических зеркал. Наружное зеркало является частью корпуса установки, а активная среда монтируется на опорной детали корпуса. Трубы, дающие вспышку, обычно расположены среди активной среды. Внутреннее зеркало охлаждается жидкостью, циркулирующей по подводящей и отводящей трубкам. Устройство может быть смонтировано на передвижной тележке и использовано для прохождения туннелей во льду.

# КОМБИНИРОВАННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЛЬДА



Для повышения эффективности разрушения льда часто комбинируют несколько методов. В ледокольной ударной приставке (пат. 3.698.341 США) использованы проламывающие и гидроструйные средства, в ледорезном устройстве (пат. 4.005.666 США) — режущие и гидроструйные. В конструкции самоходного агрегата (пат. 3.632.172 США) изобретательно скомбинированы режущие, буровые, взрывные и электро-тепловые средства разрушения льда. Такая комплексность значительно повышает производительность технических средств и становится перспективным направлением в их дальнейшем совершенствовании.

В канадском техническом решении (пат. 998884 Канада), генерация килевых колебаний корпуса ледокола осуществляется с помощью камеры сгорания.

Заглубленная носовая часть (рис. 5.1) выполнена лемехообразной с наклонным форштевнем, пересекающим ватерлинию. Внутри носовой части расположена камера, сообщающаяся с внешней средой через перфорированное днище и клапаны. В смежном отсеке находится камера сгорания, соединенная с камерой каналами. Сжатый воздух, необходимый для сгорания топлива, подается через канал. Килевые колебания корпуса ледокола происходят в результате циклических всплеск топлива в камере сгорания. Каждый цикл сопровождается вытеснением воды из камеры, что вызывает дифферент и реактивную силу, направленную вверх. Газы, прорывающиеся в воду, дополнительно ослабляют ледовый покров, образуя в нем трещины и вызывая притапливание льдин под действием их собственного веса. Последующее заполнение камеры водой осуществляется через клапаны. Благодаря совместному воздействию носовой части корпуса и давления газов ледяной покров быстро разрушается.

Танкер-ледокол (пат. 3768427 США) предназначен для плавания как на чистой воде, так и в ледовых условиях. Он имеет широкий корпус и узкую надстройку. При плавании во льдах принимается водяной балласт с таким расчетом, чтобы ледорезы, установленные на рампе, обеспечили эффективное разрушение льда.

Для повышения ледопроеходимости на надстройке установлен реактивный двигатель. Струя раскаленных газов, направленная вниз, облегчает взламывание льда.

Эффективность удаления ледяной чаши с подводной части корпуса судна значительно повышается при совместном применении

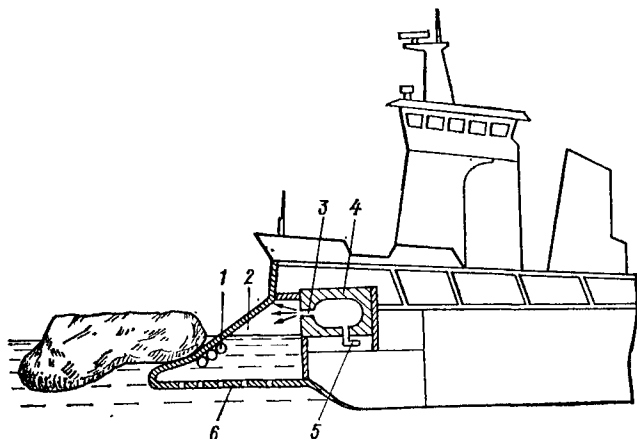


Рис. 5.1. Схема комбинированного разрушения льда подводным газовым выхлопом и килевыми колебаниями корпуса [80].

1 — клапаны; 2 — камера; 3 — выпускной канал; 4 — камера сгорания; 5 — канал подачи сжатого воздуха; 6 — перфорированное днище.

нескольких средств. Простейшим из комбинированных средств является подтопление ледяной чаши паром, подаваемым в отсеки судна, с последующей буксировкой его по рейду, в процессе которой оттаивающая 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 [50], представляющее собой донный подогреватель, снабженный балластными емкостями и тепловым элементом — 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 устанавливается 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. 5.2). 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 судно, а изготовление такого устройства требует больших капиталовложений, что

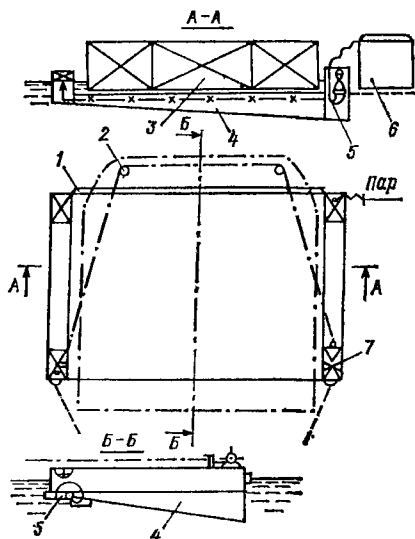


Рис. 5.2. Комбинированное устройство для снятия ледяной чаши с днища судна [50].

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

целесообразно только при многочисленном доковании плоскодонных судов, имеющих ледяную чашу.

Для удаления ледяной чаши могут быть использованы потокоподогреватели [27]. 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 частью 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 части.

При разработке конструкции балансирующего скребка скомбинированы скалывающие и электротепловые средства. Устройство состоит из двух симметричных элементов (скребков), образующих между собой угол в плане с вершиной, обращенной навстречу



движения судна и совпадающей с диаметральной плоскостью дока. Каждый элемент скребка установлен на оси вращения, цапфы которой опираются на подшипники центрального и боковых фундаментов. Фундаменты снабжены подъемными устройствами, учитывающими килеватость корпуса судна. Нижняя часть скребков имеет равномерно распределенный груз, служащий противовесом и обеспечивающий прилегание 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.

В Норвегии предложена комбинированная система, состоящая из трех отдельных устройств, применяемых в зависимости от характера защищаемых от обледенения частей судна. Она заключается в следующем.

Мачты, стрелы, реи и другой пустотелый рангоут снабжают трубчатыми нагревательными элементами, содержащими инфракрасные источники нагрева. Сплошной рангоут (кованый и катаный), такелаж и антенны защищают внешними обогревательными элементами.

Поручни, леера, стойки, шлюпбалки, часть такелажа и палубные механизмы покрывают особым полимером (фортифлекс), имеющим малую адгезию. Мостик и надстройку защищают электропловой противообледенительной системой [1].

Антиобледенительными устройствами прежде всего предлагается снабжать вертикальные поверхности. Для избежания накопления льда на полубаке и возникновения дифферента на нос антиобледенительные покрытия целесообразно наносить на поверхности, не защищенные электрообогреваемыми чехлами: полубак, борт и фальшборт до 50-го шпангоута, боковую переборку, надстройки, траловые дуги.

Ледорезное устройство (пат. 2341932 ФРГ) устанавливается на ледоколах для вырезания в ледяном поле трапецевидной траншеи перед форштевнем судна. Устройство выполнено в виде салазок, снабженных тремя строгальными резаками, имеющими различную длину и различную ширину. При движении судна резаки срезают параллельные пласты льда, образуя на поверхности ледяного поля траншею. Ледорезные резаки подвешены на несущей колонне с помощью шарнирных тяг. На колонне установлен вибратор, создающий высокочастотные колебания резаков, что значительно повышает их производительность. Предусмотрен обогрев резаков во избежание примерзания ледорезного устройства ко льду.

В последнее время все большее распространение на практике получает так называемый электротермомеханический (ЭТМ) метод воздействия на мерзлые породы [34, 99]. Причем, если в традиционных областях, отмеченных выше, высокочастотный диэлектрический нагрев используют как самостоятельный энергетический фактор, полностью обеспечивающий ведение технологического процесса, то при интенсификации разработки мерзлых пород и льда высокочастотный нагрев является технологическим звеном, органически увязанным с другим технологическим звеном процесса разрушения — механическим воздействием на разупрочненный материал.

Этот комбинированный метод впервые был реализован в ЭТМ-устройстве Л. Б. Некрасова, примененном при проходке в искусственно замороженных породах наклонного ствола станции метрополитена [103].

Способность льда эффективно разрушаться в электромагнитных полях нашла техническую реализацию в предложенном устройстве для бурения льда (а. с. 247187 СССР).

К комбинированным способам разрушения льда следует отнести и способ подготовки майн, основанный на выпиливании механическим или тепловым резакон блоков льда с последующим их задвиганием под лед. Он может быть использован при подготовке разгрузочных площадок на припайном льду, обколке судов, различных подводных работах, подледном лове рыбы и т. п.

Суть предлагаемого способа заключается в том, что во льду вырезаются один или два блока льда, причем один разрез выполняется скошенным, после чего с помощью какого-либо тянущего устройства вырезанный блок льда задвигается под ледяной покров. При вырезке двух блоков льда эти блоки задвигаются один под другой. Одновременно получают майна во льду и участок льда удвоенной толщины. Усилие, потребное для затягивания блока под лед либо взаимного надвигания одного блока на другой, с учетом коэффициента трения льда по льду 0,1, примерно в 10 раз меньше усилия, потребного для вытягивания блока на поверхность льда, и в 40—50 раз меньше усилия, потребного для непосредственной выемки блока (какими-либо подъемными устройствами). При достаточной глубине воды подо льдом и небольшой заснеженности льда целесообразнее затягивать блок под массив льда, что сокращает количество разрезов. При значительном слое снега на льду и малой глубине воды подо льдом целесообразнее вырезать два одинаковых блока льда и надвигать блок один на другой, при этом в майну не будет попадать снег с поверхности льда, а притапливание блоков льда будет минимальным, что позволит проводить работы по усилению несущей способ-

пости льда непосредственно у берега на мелководье для сооружения разгрузочных площадок.

Вырезать блоки льда можно и механическим способом, например ледофрезерной машиной, представляющей собой систему фрез, смонтированных на вездеходе, либо гидротермобуровым устройством, в котором резание льда производится с помощью ряда параллельных струй воды или пара.

### Изобретения для комбинированного разрушения льда

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ             | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации      | Фирма (заявитель)    |
|-------|--------|----------------------|-----------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| 1     | СССР   | 65a <sup>1</sup> , 8 | 217.979         | 16.01.67           | 1968,<br>Б. И. № 16 | И. Л. Рабей<br>и др. |

**Устройство для снятия ледяной чаши, образовавшейся под днищем судна.** Выполнено в виде донного подогревателя, снабженного балластными емкостями и тепловым элементом в виде трубы. Для упрощения конструкции и сокращения расхода тепла корпус подогревателя выполнен в виде двустороннего плоского клина с уклоном днища по ширине и длине, а тепловой элемент установлен по кромке оконечности в заостренной части клина и вместе с этой частью воздействует на ледяную чашу при протаскивании судна над палубой подогревателя.

|   |      |          |         |          |                     |  |
|---|------|----------|---------|----------|---------------------|--|
| 2 | СССР | B63в, 35 | 481.495 | 14.03.72 | 1975,<br>Б. И. № 31 | И. В. Загрядский<br>Б. Я. Мяскин,<br>Ю. Д. Кравчук |
|---|------|----------|---------|----------|---------------------|--|

**Устройство для резки льда.** Рабочий орган выполнен в виде пустотелой штанги с установленными на ней коническими кольцами, снабженными режущими кромками, штанга выполнена с отверстиями для пропуска пара.

|   |      |         |         |          |                     |                 |
|---|------|---------|---------|----------|---------------------|-----------------|
| 3 | СССР | E21с, 6 | 554.401 | 03.06.71 | 1977,<br>Б. И. № 14 | Э. А. Игнатенко |
|---|------|---------|---------|----------|---------------------|-----------------|

**Способ вращательного бурения.** Инструмент приводят во вращение, сообщают ему осевое усилие и одновременно подают промывающую жидкость под давлением в зону резания. Для повышения эффективности бурения промывающей жидкости сообщают ультразвуковые колебания.

|   |      |                      |         |          |                     |              |
|---|------|----------------------|---------|----------|---------------------|--------------|
| 4 | СССР | E02d, 5;<br>B63в, 45 | 675.132 | 19.12.77 | 1979,<br>Б. И. № 27 | В. Н. Пикуль |
|---|------|----------------------|---------|----------|---------------------|--------------|

**Ударное устройство с камерой сгорания для разрушения льда.** Имеет рабочий цилиндр, топливную систему, приспособление для запуска и рабочий орган.

| № п/п | Страна | МКИ, ПКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

Для повышения эффективности рабочий орган выполнен в виде заостренной режущей кромки, образованной на нижнем торце рабочего цилиндра

|   |     |                     |           |          |      |                                  |
|---|-----|---------------------|-----------|----------|------|----------------------------------|
| 5 | США | B63в, 35;<br>114-40 | 3.572.273 | 06.08.69 | 1971 | Саутвест<br>рисёрч инсти-<br>тют |
|---|-----|---------------------|-----------|----------|------|----------------------------------|

**Устройство для разрушения ледяного покрова** повторяющимися импульсами сгорания энергии. Имеет подвижное плавучее тело, поверхность которого соприкасается со льдом. На этой поверхности под его ватерлинией выполнены выхлопные отверстия, каждое из которых соединено с камерой сгорания и подводит энергию сгорания углеводородного топлива прямо ко льду для его разрушения.

|   |     |                     |           |          |      |                                  |
|---|-----|---------------------|-----------|----------|------|----------------------------------|
| 6 | США | B63в, 35;<br>299-13 | 3.632.172 | 17.07.69 | 1972 | «Дрессер инда-<br>стриз лимитед» |
|---|-----|---------------------|-----------|----------|------|----------------------------------|

**Способ ослабления льда и устройство для этой цели, помогающее ледоколу.** Самоходный агрегат, перемещающийся впереди ледокола, имеет приспособление для образования борозды вдоль пути следования судна. С помощью механизма происходит укладка в борозду взрывчатого шнура, который, взрываясь, ослабляет лед. Агрегат на воздушной подушке несет дисковую пилу и устройство для удаления из борозды дробленого льда. Другое устройство расплавляет часть дробленого льда, уложенного в борозду после укладки в нее взрывчатого шнура. На указанном агрегате установлен бур, образующий отверстия во льду для закладки в них дополнительных взрывчатых зарядов.

|   |     |                     |           |          |      |           |
|---|-----|---------------------|-----------|----------|------|-----------|
| 7 | США | B63в, 35;<br>114-40 | 3.698.341 | 04.03.70 | 1972 | С. Вагнер |
|---|-----|---------------------|-----------|----------|------|-----------|

**Ледокольная приставка ударного действия для судов.** Содержит источник сжатого воздуха на судне и свободно движущийся под водой плунжер, шарнирно укрепленный в носу судна. Плунжер имеет три камеры. Верхняя камера, обеспечивающая раскалывание льда путем удара об него снизу, сообщается с источником сжатого воздуха для отбрасывания льда в сторону путем направления на него жидкости под большим давлением. Средняя камера сообщается с источником сжатого газа для привода в движение плунжера посредством быстрого выбрасывания из труб вниз морской воды. Куполообразная нижняя камера служит воздушным амортизатором.

|   |     |                        |           |          |      |                               |
|---|-----|------------------------|-----------|----------|------|-------------------------------|
| 8 | США | B63в; 35/12;<br>114-41 | 3.768.427 | 30.10.70 | 1973 | «Роберт Мел-<br>линг Стефенс» |
|---|-----|------------------------|-----------|----------|------|-------------------------------|

**Ледокольный танкер для перевозки нефти.** Оборудован тремя пилами из литой стали для резки льда, расположенными в передней части судна. Поскольку судно предназначено плавать без помощи ледокола, в нижней части корпуса в дополнение к обычным балластным цистернам предусмотрены добавочные водобалластные отсеки.

|   |     |                     |           |          |      |   |
|---|-----|---------------------|-----------|----------|------|---|
| 9 | США | B63в, 35;<br>114-40 | 3.934.529 | 30.10.74 | 1976 | «Кэнедиен ма-<br>рин дриллинг<br>лимитед» |
|---|-----|---------------------|-----------|----------|------|---|

| № п/п | Страна | МКИ, НКИ | Номер документа | Дата подачи заявки | Год публикации | Фирма (заявитель) |
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
|-------|--------|----------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|

**Ледокольное судно.** Способ разрушения льда заключается в следующих циклических операциях. Предварительно надавливают на лед, зарывая под нижнюю поверхность льдины нос судна. Накапливают воду в камере, выполненной внутри режущего участка носа судна. Подают выхлопные газы из камеры сгорания в воду, находящуюся в камере. Газы находятся под давлением 700 фунт/дм<sup>2</sup>, благодаря чему они весьма быстро выталкивают воду. Выдавленная вниз вода создает направленную вверх реактивную силу, действующую на предварительно надавленную льдину.

|    |     |                     |           |          |      |                     |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|---------------------|
| 10 | США | В33в, 35;<br>114-42 | 4.005.665 | 23.06.75 | 1977 | «Си-Лог корпорейшн» |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|---------------------|

**Ледорезное устройство.** Содержит ряд вращающихся режущих элементов, приводимых во вращение вокруг общей оси, чтобы воздействовать высокоскоростными импульсами на лед. Имеется устройство для подачи жидкости под давлением в пространство между каждой из режущих кромок, режущих элементов и льдом, когда последний входит в контакт с режущими кромками. Благодаря механическому воздействию режущих элементов и действию струй воды от массива льда откалываются куски, которые удаляются.

|    |     |                     |           |          |      |               |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|---------------|
| 11 | США | В63в, 35;<br>114-40 | 4.083.317 | 11.02.77 | 1978 | Дж. И. Холдер |
|----|-----|---------------------|-----------|----------|------|---------------|

**Способ разрушения льда и устройство для его осуществления.** Система подачи воды для разрушения льда содержит трубопровод, установленный таким образом, чтобы забирать воду из-под льда, и подающий трубопровод, выполненный с проходящими вбок вниз участками. Оба эти участка образуют выпускное отверстие, через которое осуществляется подача воды на лед в достаточно большом объеме. Создается большая нагрузка, вызывающая разрушение льда за счет массы воды и за счет термического воздействия, оказываемого водой внутри толщи льда.

|  |        |        |         |          |      |                             |
|--|--------|--------|---------|----------|------|-----------------------------|
|  | Канада | 114-11 | 998.884 | 16.09.74 | 1976 | «Кэнедиен дриллинг лимитед» |
|--|--------|--------|---------|----------|------|-----------------------------|

**Ледокол.** Заглубленная носовая часть выполнена лемехообразной с наклонным форштевнем, пересекающим ватерлинию. Внутри расположена камера, сообщающаяся с внешней средой через перфорированное днище и клапаны. В смежном отсеке находится камера сгорания. Сжатый воздух подается через канал. Килевые колебания корпуса ледокола происходят в результате циклических всплесков топлива в камере сгорания. При этом каждый цикл сопровождается вытеснением воды из камеры, что вызывает дифферент и реактивную силу, направленную вверх. Благодаря совместному действию носа судна и давления газов ледяной покров быстро разрушается.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксютин Л. Р. Обледенение судов.— Л.: Судостроение, 1979.— 127 с.
2. Алимов Д. Д., Басов И. Г., Зелингер Ф. Ф. Опыт использования баровых машин для резания льда.— Строительные и дорожные машины, 1969, № 2, с. 11.
3. Амелин Б. А. Технология бурения скважин в условиях Арктики и Антарктики за рубежом.— Колыма, 1976, № 4, с. 31—34.
4. Амусин М., Оболенская Н. Внутренние водные пути США.— Речной транспорт, 1978, № 11, с. 47—51.
5. Антрушин Н. Радиационно-химический способ разрушения весеннего льда.— Труды ЛИИВТ, 1962, вып. 30, с. 15—17.
6. Антрушин Н. Авиационно-химические способы ускорения таяния льда.— В кн.: Труды координационных совещаний по гидротехнике. М., 1965, вып. 17, с. 219—223.
7. Арбатский А. В., Войнич В. Г., Соломин Р. Г. Ручные виброударные инструменты для производства выморозочных работ.— Труды НИИВТ, 1977, вып. 126, с. 57—62.
8. Астафуров А. В. Электрический пробой толстых слоев льда на импульсах.— Изв. АН СССР. Техническая физика, 1953, т. 22, № 4, с. 419—422.
9. Бажев А. В. Закономерности таяния искусственно запыленной поверхности ледника.— В кн.: Методы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения, 1973, вып. 21, с. 124—125.
10. Баланин В. В. Обеспечение продленной работы слипов.— Труды ЛИИВТ, 1965, вып. 83, с. 7—18.
11. Баланин В. В., Бородин Б. С., Жидких М. И. Натурные испытания опытной установки для обеспечения продленной работы слипов.— Труды ЛИИВТ, 1965, вып. 83, с. 65—72.
12. Баланин В. В., Бородин Б. С., Мелконян Г. И. Использование тепла глубинных вод водоемов.— М.: Транспорт, 1964.— 274 с.
13. Бартенев В. Н. Ледорезная машина для тяжелых льдов.— Труды НИИВТ, 1965, вып. 126, с. 44—49.
14. Басс Б. Д. Состояние и возможности совершенствования оборудования для образования майн во льдах при раннем весеннем запуске земснарядов.— Труды НИИЖТ, 1978, вып. 135, с. 67—84.
15. Белышева Е. В. О выборе химических веществ, вызывающих таяние льда.— В кн.: Гидрометеорологические условия обледенения судов. Л., Гидрометеиздат, 1969, с. 180—189.
16. Богородский В. В., Гаврило В. П., Гусев А. В. О пелинейных эффектах при разрушении льда в жидкости.— Труды ААНИИ, 1970, т. 295, с. 159—165.
17. Богородский В. В., Гаврило В. П., Пономарев П. В. Зависимость прочности твердых тел от акустического контакта с граничными средами.— Труды ААНИИ, 1974, т. 324, с. 80—90.

18. Богородский В. В., Гаврило В. П., Иванов В. И. Исследования пластической деформации пресноводного льда при ударной нагрузке.— Труды АННИИ, 1980, т. 374, с. 43—50.
19. Богородский В. В., Гаврило В. П. Лед. Физические свойства. Современные методы гляциологии.— Л.: Гидрометеоздат, 1981. — 384 с.
20. Бородкин Б. С. К расчету перфорированного воздухопровода.— Труды ЛИИВТ, 1957, вып. 24, с. 62—66.
21. Бородкин Б. С., Жидких М. И. Способы борьбы со льдом на акваториях некоторых слипов МРФ.— Труды ЛИИВТ, 1967, вып. 88, с. 16—20.
22. Борьба с обледенением кровель.— Экспресс-информация ЦБНТИ Лепжилкоммунхоза РСФСР, сер. Жилищное хозяйство, 1976, № 28.— 11 с.
23. Бубликова Ю. И. О применении радиационного способа для ослабления ледовых воздействий на гидротехнические сооружения.— Изв. вузов, сер. Строительство и архитектура, 1971, № 4, с. 133—138.
24. Бубликова Ю. И., Камынина А. Ф., Кунявская М. В. Интенсивность стаивания ледяного покрова в естественных условиях и при его зачернении.— Труды Новосибирского регионального гидрометеорологического центра, 1969, вып. 2, с. 138—143.
25. Бучинский В. Е. Гололед и борьба с ним.— Л.: Гидрометеоздат, 1960.— 192 с.
26. Буянов Н. Ф. Как бороться с обледенением судов? — Рыбное хозяйство, 1967, № 2, с. 30—37.
27. Быков Л., Кляев В. Судоходные шлюзы на морском пути Св. Лаврентия.— Речной транспорт, 1976, № 2, с. 53—55.
28. Бялобжеский Л. М., Рудаков Л. М. Современные способы борьбы с зимней скользкостью на дорогах.— Автомобильные дороги, 1972, № 9, с. 12—14.
29. Вальковский Л. В., Левин С. И., Сезин А. И. Применение двухбаровой машины на ледорезных и взрывных работах.— Строительство трубопроводов, 1970, № 7, с. 28—29.
30. Вершинин С. А. Пролом и грузоподъемность ледяного поля при кратковременных статических и квазистатических нагрузках.— В кн.: Ледотермические явления и их учет при возведении и эксплуатации гидроузлов и гидротехнических сооружений. Л., 1979, с. 92—96.
31. Виноградов Е. С. Оснащение сухих доков противообледенительными устройствами.— Судоремонт флота рыбной промышленности, 1972, № 20, с. 36—41.
32. Войнич В. Г. Разрушение льда виброударным инструментом.— Труды НИИВТ, 1977, вып. 126, с. 50—56.
33. Вологодский ледобур.— Рыбоводство и рыболовство, 1964, № 4, с. 38—39.
34. Высокочастотный нож для мерзлого грунта/Л. В. Некрасов, Ю. Ю. Мисник, В. Добрецов, В. Фатесв.— Изобретатель и рационализатор, 1971, № 2, с. 20—21.
35. Гаврило В. П., Гусев А. В., Зарецкий Ю. К., Фиш А. М. Акустическая эмиссия как показатель процесса деформирования и разрушения льда.— Труды АННИИ, 1978, т. 359, с. 118—126.
36. Глебов А. И. Разрушение льда резанием в среде поверхностно-активных веществ.— Труды НИИВТ, 1977, вып. 126, с. 34—44.
37. Глебов А. И., Монзырев Н. Н. Некоторые результаты экспериментов по разрушению льда резанием.— Труды НИИВТ, 1978, вып. 135, с. 24—31.
38. Гомольский С. Г., Храпатый Н. Г., Цуприк В. Г. Исследование удара твердого тела о лед.— В кн.: Ледотермические явления и их

учет при возведении и эксплуатации гидроузлов и гидротехнических сооружений. Л., 1979, с. 73—77.

39. Грищенко В. Ф. Борьба с гололедом на дороге Москва—Ленинград.— Автомобильные дороги, 1973, № 9, с. 14—15.

40. Гундобин А. А. Борьба с обледенением судов.— Владивосток: Дальневосточное книжное изд-во, 1966.— 40 с.

41. Гундобин А., Кузнецов М. Борьба с обледенением танкеров.— Морской флот, 1972, № 11, с. 27—28.

42. Долгушин А. Д., Зотиков И. А., Цыкин Е. Н. Проблема искусственного регулирования таяния льда и снега.— В кн.: Инженерная гляциология, Апатиты, 1973, с. 218—222.

43. Долгушин Л. Д., Осипова Г. Б., Рототаева О. В. Опыт по искусственному усилению таяния льда и снега радиационным методом.— Материалы гляциологических исследований, 1976, вып. 27, с. 187—195.

44. Естифеев А. М., Пехович А. Н., Алейников С. М. Зачернение поверхности ледяного покрова как метод ускорения весеннего таяния льда.— Изв. ВНИИГ, 1960, т. 65, с. 139—148.

45. Жаботинский О. Н. Использование грузовых и специализированных СВП за рубежом.— Передовой опыт и новая техника, 1978, № 4, с. 67—72.

46. Загрядский И. В., Кравчук Ю. Д. Методы разрушения ледяного покрова при создании и длительном поддержании майн в морских замерзающих портах.— Труды координационных совещаний по гидротехнике (дополн. материалы), 1973, вып. 81, с. 62—64.

47. Защита акватории внутренних водных путей от замерзания путем подогрева воды.— Водный транспорт РЖ, 1965, № 10Б730.

48. Звайзне Ю. И. Облегченный льдобурильный агрегат.— Рыбное хозяйство, 1966, № 6, с. 41—43.

49. Зелингер Ф. Баровые машины для резания льда.— Речной транспорт, 1981, № 1, с. 14.

50. Иванов Л. В. Зимняя эксплуатация объектов водного транспорта.— М.: Транспорт, 1978.— 211 с.

51. Иванов Л. В. Искусственный обогрев акваторий.— Судостроение, 1969, № 5, с. 55—59.

52. Иванов Л. В., Лупа А. Т. Обеспечение эксплуатации причальных сооружений портов в ледовых условиях.— ЦБНТИ ММФ, Обзорная информация, сер. Морские порты, 1975.— 56 с.

53. Ильин З. М. Мотольдобр для механизации подледного лова рыбы конструкции П. И. Пшеничникова и И. Н. Морозова.— М.: Министерство рыбной промышленности, 1956.— 50 с.

54. Инструкция по борьбе с гололедом на автомобильных дорогах.— М.: Транспорт, 1975.— 25 с.

55. Использование импульсных методов в антиобледенительных устройствах на судах рыбного флота.— Сборник рефератов НИР МТИИМП, 1979, сер. 15, № 5, с. 15.

56. Казанков Ю. П., Хохлов В. П. Опыт зачернения льда на дорожном полигоне треста «Забайкалзолото».— Колыма, 1970, № 3, с. 12.

57. Камышев М. О. О пешнях и ледобурах.— Рыболов-спортсмен, 1958, № 10, с. 240—244.

58. Карабан Г. Л., Ратников В. Б. Новая технология механизированной уборки снежно-ледяных образований на дорогах.— Автомобильные дороги, 1972, № 12, с. 122—123.

59. Карнович В. Н., Синотин В. И. Некоторые соображения о борьбе с заторами льда бомбометанием и взрывными работами.— Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1970, вып. 56, с. 65—69.



60. Карнович В. Н. Заторы на реке Днестре в зимы 1966/67 и 1968/69 гг. и мероприятия по борьбе с ними.—Труды ГГИ, 1971, вып. 187, с. 132—144.
61. Каштелян В. И. Пневмоомывающее устройство — средство увеличения ледопроеходимости судов.—Судостроение за рубежом, 1978, № 8, с. 55—88.
62. Каштелян В. И., Яровая Т. Х. Использование устройств на воздушной подушке для разрушения льда.—Судостроение за рубежом, 1978, № 5, с. 57—64.
63. К вопросу механизации выморозочных работ/Р. Н. Бобров, М. П. Латко, В. К. Савинных, Л. Я. Чураков.—Труды НИИВТ, 1976, вып. 119, с. 40—44.
64. Коваленко В. И., Монсеев В. С., Загивный Э. А. Бурение — протаивание скважины на станции Восток-1.—Труды САЭ, 1981, т. 73, с. 112—116.
65. Козловская Р. Т., Панюшкин А. В. Исследование эффективности импульсного разрушения льда.—Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1976, вып. 11, с. 170—175.
66. Колосов А. П., Панюшкин А. В. Изменение прочностных свойств пресноводного льда физико-химическим методом.—Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1976, вып. 111, с. 199—204.
67. Кольский Г. Волны напряжения в твердых телах. Пер. с англ.—М.: Изд. иностр. лит-ры, 1955.—192 с.
68. Коновалов В. А., Фальчевский В. М. Шире применять хлориды для борьбы с гололедом.—Автомобильные дороги, 1973, № 9, с. 14—15.
69. Коновалов И. М. Электротепловая резка льда.—М.: Наркомречфлот, 1946.—284 с.
70. Коновалов И. М., Емельянов К. С., Орлов П. Н. Основы ледотехники речного транспорта.—Л.—М.: Министерство речного флота СССР, 1952.—264 с.
71. Короткевич Е. С., Саватюгин Л. М., Морев В. А. Сквозное бурение шельфового ледника в районе станции Новолазаревской.—Информ. бюл. САЭ, 1978, № 98, с. 49—52.
72. Костылев В. П., Дьячук Л. С. Исследование процесса ультразвукового резания мерзлых грунтов.—Строительные и дорожные машины, 1972, № 1, с. 33—35.
73. Котляков В. М., Ушаков Д. М., Ходаков В. Т. Современные проблемы инженерной гляциологии и хозяйственная деятельность людей.—Материалы гляциологических исследований. 1981, вып. 40, с. 211—223.
74. Красильникова Л. Н., Харитонов Н. П., Иванов В. С. Антиобледенительные покрытия из органосиликатных материалов.—В кн.: Жаростойкие покрытия. Л., Наука, 1969, с. 379—381.
75. Кренке А. Н. Роль исследования ледников при изучении взаимодействия человека со средой.—В кн.: Изучение и охрана гидросферы, М., 1975, с. 20—23.
76. Кудряшов Б. Б., Фисенко В. Ф. Анализ и пути совершенствования процесса бурения-протаивания во льдах Антарктиды.—Труды САЭ, 1972, т. 60, с. 129—143.
77. Куликов В. С. Особенности разрушения льда и мерзлых пород взрывом.—Колыма, 1971, № 2, с. 15—36.
78. Лавров В. В. Деформация и прочность льда.—Л.: Гидрометеозидат, 1969.—206 с.
79. Левин И. Противообледенительный импульс.—Изобретатель и рационализатор, 1971, № 2, с. 7—8.

80. Левицкий В. М. Средства для разрушения льда.—Передовой опыт и новая техника, 1979, вып. 4 (64), с. 57—69.
81. Ледовая специальность СВП.—Морской флот, 1976, № 2, с. 62.
82. Ледоколостроение в патентах./А. В. Абрамов, В. Г. Александров, В. В. Манукян, Ю. И. Стрежнев.—Судостроение, 1976, № 2, с. 38—40.
83. Лезин Д. Л. Способы ледоочистки судоходных каналов.—Труды НИИВТ, 1976, вып. 119, с. 45—92.
84. Лезин Д. Л. Ледокольные приставки. Труды НИИВТ, 1977, вып. 126, с. 3—15.
85. Лезин Д. Л., Наместников Ю. Д. Аналитический обзор ледокольных судов.—Труды НИИВТ, 1978, вып. 135, с. 3—12.
86. Лихоманов В. Д., Хейсин Д. Е. Экспериментальное исследование удара твердого тела о лед.—Проблемы Арктики и Антарктики, 1971, вып. 38, с. 105—111.
87. Методы продления навигационного периода на внутренних водных путях./И. М. Коновалов, А. И. Чекренев, В. В. Баланин, Б. С. Антонов.—Труды ЛИВТ, 1963, вып. 46, с. 30—37.
88. Методические указания по борьбе с заторами и зажорами льда.—Л.: Энергия, 1970.—149 с.
89. Милованов Э. В., Цой Л. Г. Перспективы использования амфибийных судов на воздушной подушке за рубежом.—Л.: Судостроение, 1976, № 4, с. 67—72.
90. Мисник Ю. М., Некрасов Л. Б. Электромеханическое разрушение мерзлых пород.—Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1973, № 5, с. 27—30.
91. Могулнев А. Инфракрасный скребок к газовоздушной метле.—Изобретатель и рационализатор, 1970, № 12.—32 с.
92. Молен П. Торпеда с термической головкой для разрушения айсбергов, их обломков и различных масс льда.—Бюллетень зарубежной научно-технической информации ААНИИ, 1971, № 21 (118), с. 13—14.
93. Морев В. А. Опыты по бурению льда электротепловым способом в Мирном.—Информ. бюл. САЭ, 1966, № 56, с. 52—56.
94. Морев В. А. Об эффективности и экономичности электротермобуровых снарядов при бурении материкового льда.—Труды ААНИИ, 1972, т. 255, с. 158—165.
95. Морев В. А. Электротермобуры для бурения скважин в ледниковом покрове.—Материалы гляциологических исследований, 1976, вып. 28, с. 118—120.
96. Морев В. А., Шамонтьев В. А. Экспериментальное бурение ледникового покрова.—Информ. бюл. САЭ, 1970, № 78, с. 102—104.
97. Назаровский А. А. Влияние режима работы и некоторых конструктивных параметров концевой фрезы на процесс фрезерования льда.—Труды ГПИ, 1971, т. 27, вып. 8, с. 21—25.
98. Наместников В. Д., Моизырев Н. П., Чураков Л. Я. Механизация околки судов и караванов.—Труды НИИВТ, 1976, вып. 119, с. 35—39.
99. Некрасов Л. Б. Высокочастотные электротермомеханические устройства (ВЭТМ).—Проспект экспоната на ВДНХ СССР, Л., 1968.
100. Некрасов Л. Б. Поведение льда в быстропеременных электромагнитных полях высокой напряженности.—Труды ААНИИ, 1975, т. 326, с. 90—93.
101. Некрасов Л. Б., Иванов В. Г. Разрушение льда в сильных электромагнитных полях высокой частоты.—Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1975, № 5, с. 26—28.

102. Некрасов Л. Б. Основы электротермомеханического разрушения горных пород.—Новосибирск: Наука, 1979.—228 с.
103. Некрасов Л. Б., Холанский В. А. Активизация СВЧ энергией процессов резания мерзлых грунтов.—Колыма, 1976, № 1, с. 6—8.
104. Николаев А. А. Исследование механизмов для выморозочных работ.—Труды ГПИ, 1975, т. 31, вып. 8, с. 26—28.
105. Николаев А. Ф. Исследования и комплекс машин для разработки мерзлых грунтов, льда и снега.—Горький: 1962.—62 с.
106. Николаев А. Ф., Галкин Ю. Б., Куляшов А. П. Испытания новой ледорезной машины.—Речной транспорт, 1970, № 10, с. 48.
107. Николаев А. Ф., Куляшов А. П. Роторно-винтовые амфибии.—Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1973.—47 с.
108. Николаев А. Ф., Назаровский А. А. Плавающие ледорезные машины.—НТО СССР, 1969, № 7, с. 16.
109. Николаев А. Ф., Худяков В. Н. Самоходная ледорезная установка.—Речной транспорт, 1974, № 3, с. 51.
110. Николаев С. Е. Опыт взрывания припайного льда в районе Мирного.—Информ. бюл. САЭ, 1964, вып. 46, с. 37—40.
111. Николаев С. Е. Взрывание припайных льдов в Антарктике.—Информ. бюл. САЭ, 1971, вып. 51, с. 84—88.
112. Николаев С. Е. Выравнивание поверхности многолетних льдов методом шпурового взрывания.—Проблемы Арктики и Антарктики, 1970, вып. 35, с. 105—108.
113. Николаев С. Е. Опыт разрушения морского льда направленным взрывом.—Труды ААНИИ, 1971, т. 300, с. 177—195.
114. Новые ледорезные машины./А. Ф. Николаев, А. О. Ваганов, Ю. Б. Галкин, А. П. Куляшов.—Речной транспорт, 1974, № 12, с. 50—51.
115. Новые физические методы разрушения минеральных сред.—М.: Недра, 1970.—423 с.
116. Ноздрин М. Снова о ледобуре «Кольцо».—Рыбоводство и рыболовство, 1969, № 6, с. 25.
117. О возможностях использования тепловых методов борьбы с обледенением судов/Е. П. Борисенков, М. А. Кузнецов, Г. А. Заблочкий, В. В. Панов.—Труды ААНИИ, 1975, т. 317, с. 92—98.
118. Опыт использования ледорезно-фрезерных машин для предупреждения ледообразования/В. А. Кореньков, Г. А. Морозов, А. Ф. Николаев, А. И. Шкода.—Гидротехническое строительство, 1975, № 2, с. 42—45.
119. О средствах защиты судов от обледенения/Е. П. Борисенков, В. В. Панов, А. В. Панюшкин, З. И. Швайштейн.—Труды ААНИИ, т. 317, с. 4—12.
120. Панов В. В. Обледенение судов.—Труды ААНИИ, 1976, т. 334, 262 с.
121. Панов В. В., Панюшкин А. В., Швайштейн З. И. Экспериментальное изучение адгезии льда в лабораторных и натуральных условиях.—Труды ААНИИ, 1975, т. 326, с. 147—154.
122. Паундер Э. Физика льда.—М.: Прогресс, 1967.—190 с.
123. Пашенко А. А. Кремнийорганические покрытия холодного отверждения.—Киев: Вища школа, 1972.—251 с.
124. Песчанский И. С. Работы лаборатории льда Арктического и антарктического научно-исследовательского института в области разрушения ледяного покрова.—Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1965, вып. 23, с. 83—84.
125. Песчанский И. С. Ледоведение и ледотехника.—Л.: Гидрометеоздат, 1967.—459 с.

126. Пелевин В. С. Метод проходки скважин в толще льда посредством высокотемпературной газовой струи.— Информ. бюл. СЛЭ, 1964, № 48, с. 35—37.
127. Петраков Е. В. Тенденции развития судов на воздушной подушке для арктических районов.— Судостроение за рубежом, 1973, № 3 (75), с. 24—30.
128. Петров И. Г. Использование тепла глубинных вод для создания незамерзающих акваторий.— Труды ААНИИ, 1964, т. 267, с. 81—88.
129. Петров И. Г. Примесение пара для образования майн в ледяном покрове.— Труды ААНИИ, 1964, т. 267, с. 100—104.
130. Петров И. Г. Уменьшение прочности льда за счет адсорбции окружающей его воды.— Труды ААНИИ, 1976, т. 331, с. 50—56.
131. Попов Н. Ледобур «Кольцо».— Рыбоводство и рыболовство, 1966, № 6, с. 28—39.
132. Проскурников С. В. Образование искусственных каналов и майн во льду.— М.—Л.: Гослесбуиздат, 1959.— 52 с.
133. Проскуряков Б. М. Исследование теплового режима водоемов и водотоков.— В кн.: Труды совещания по современным методам расчета и моделирования температурных полей водоемов. Л., Гидрометеиздат, 1966, с. 4—9.
134. Результаты испытания некоторых средств борьбы с обледенением в натуральных условиях/А. В. Панишкин, З. И. Швайштейн, Н. А. Сергачев, В. Б. Розенцвейг, А. П. Петров, Ю. Б. Петров.— Труды ААНИИ, 1972, т. 298, с. 91—96.
135. Рудаков Л. М. Борьба с гололедом на дорогах с помощью рассола.— Автомобильные дороги, 1972, № 9, с. 12—14.
136. Семенова Е. П. Лабораторные испытания химических реагентов антиобледенителей в холодильной камере ААНИИ.— Труды ААНИИ, 1969, т. 298, с. 97—164.
137. Симонов Ю. А., Ампилохияев Л. Б. Оценка ледокольных качеств судов на воздушной подушке.— Труды ЦНИИМФ, 1979, вып. 243, с. 105—110.
138. Смигельский С. П. Об американских работах по программе создания арктических КВП.— Судостроение за рубежом, 1978, № 3 (135), с. 3—18.
139. Смирнов В. Раднационные каналы и их использование.— Морской флот, 1967, № 1, с. 24—25.
140. Снег (и даже лед) с аэродрома сдувается горячим газом.— Изобретатель и рационализатор, 1970, № 12, с. 32.
141. Современные средства разрушения и предотвращения образования ледяного покрова/А. Т. Лупа, Л. В. Иванов, Е. С. Виноградов, Л. А. Капустин.— Обзорная информация ЦВНТИ, сер. Судоремонт, М., 1974. 96 с.
142. Состояние и развитие техники антиобледенителей/А. В. Панишкин, Н. В. Сергачев, Ю. Т. Сухов, С. М. Алейников.— Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1976, вып. 111, с. 3—9.
143. Спецов Ф. А. Ослабление льда в весенний период зачерпыванием его поверхности.— Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1965, вып. 17, с. 225—235.
144. Тавризов В. М. Использование ледорезной машины для сооружения подводных переходов.— Строительство трубопроводов, 1964, № 9, с. 31—33.
145. Тавризов В. М. Механизированный ледовый бур.— Автомобильные дороги, 1966, № 12, с. 20.
146. Тавризов В. М. Ледобур со шнеком.— Рыбоводство и рыболовство, 1971, № 6, с. 23.
147. Горбань С. С. Механизация речного неводного лова.— М.: Пищепромиздат, 1955.— 163 с.

148. Торбан С. С. Механизация рыболовства во внутренних водоемах.— М.; Пищевая промышленность, 1969.— 323 с.
149. Торбан С. С., Данильченко В. Н. Некоторые параметры процесса бурения льда.— Труды ВНИИРО, 1959, т. 39, с. 91—98.
150. Торбан С. С., Полуляк С. И. Тракторный ледобур ИЛБ.— Рыбное хозяйство, 1960, № 12, с. 39—45.
151. Торбан С. С., Полуляк С. И. Сравнительные испытания льдобурильных агрегатов типа ИЛБ.— Рыбное хозяйство, 1962, № 12, с. 49—56.
152. Удаление речного льда при зимней отсыпке подтопленных насыпей на БАМе/И. Д. Ткачевский, А. А. Гринчик, И. В. Буданов, В. В. Гусев.— Транспортное строительство, 1978, № 9, с. 3—5.
153. Треушников Ю. В. Систематизация и анализ средств борьбы со льдом, применяемых в СССР и за рубежом на внутренних водных путях в условиях продленной навигации.— Горький, 1968.— 31 с.
154. Трошкина Е. С. Искусственное усиление таяния льда и снега.— В кн.: Инженерная гляциология, М., МГУ, 1971, гл. VI, с. 125—131.
155. Трубина Е. А. Исследование процессов бурения льда винтовыми бурами.— Труды ГПИ, 1970, т. 26, вып. 1, с. 40—44.
156. Трунов О. К. Обледенение самолетов и средства борьбы с ним.— М.: Машиностроение, 1965.— 247 с.
157. Уткин Г. П., Ку克林 В. И. Способ уборки льда из дражных котлованов.— Колыма, 1973, № 2, с. 6—8.
158. Файко Л. И. Новый способ искусственного уменьшения механической прочности и теплопроводности ледяного покрова водоемов.— Материалы гляциологических исследований, Хрон. обсужд., 1973, вып. 21, с. 151—163.
159. Федотенков Н. Новый ледобур.— Рыбоводство и рыболовство, 1971, № 4, с. 40.
160. Федотов В. И. Буровой инструмент, применяемый зарубежными ледоисследователями.— Труды ААНИИ, 1964, т. 257, с. 153—158.
161. Фокеев В. Разрушение льда для целей судоходства.— Речной транспорт, 1969, № 4, с. 45—46.
162. Хейсин Д. Е., Лихоманов В. А. Экспериментальное определение удельной энергии механического дробления льда при ударе.— Проблемы Арктики и Антарктики, 1973, вып. 41, с. 55—61.
163. Хейсин Д. Е., Черепанов Н. В. Изменение структуры льда в зоне удара твердого тела о поверхность ледяного покрова.— Проблемы Арктики и Антарктики, 1970, вып. 34, с. 79—84.
164. Храпатый Н. Г. Методика определения прочностных характеристик льда.— Владивосток: ДВПИ, 1979.— 19 с.
165. Храпатый Н. Г. Расчет глубины внедрения твердого тела в ледяной покров при ударе.— В кн.: Рациональное использование природных ресурсов и охрана окружающей среды, Л., 1978, с. 124—126.
166. Храпатый Н. Г., Цуприк В. Г. Об ударе твердого тела о лед.— Труды ДВПИ, 1974, вып. 60, с. 105—108.
167. Храпатый Н. Г., Цуприк В. Г. Изгибные колебания ледяного покрова, вызванные ударным импульсом.— Труды ДВПИ, 1975, вып. 109, с. 12—26.
168. Храпатый Н. Г., Цуприк В. Г. Экспериментальное исследование удара твердого тела о лед.— Труды координационного совещания по гидротехнике, 1976, вып. 111, с. 166—169.
169. Храпатый Н. Г., Цуприк В. Г. Экспериментальное исследование изгибных колебаний ледяного покрова при ударных воздействиях.— Гидротехника и гидравлика, 1977, вып. 2, с. 74—77.
170. Цуриков В. Л. О пешнях и ледобурах.— Рыболов-спортсмен, 1958, № 10, с. 62—64.

171. Цыкин Е. Н. Метод разрушения льда «крупным сколом» и его место в системе противозаторных мероприятий.— Материалы гляциологических исследований, 1970, вып. 17, с. 309—316.
172. Цыкин Е. Н. Ослабление ледяного покрова бороздованием.— Труды координационных совещаний по гидротехнике, 1970, вып. 56, с. 70—73.
173. Цыкин Е. Н. Применение ледовых стругов для предотвращения ледовых заторов.— Известия АН СССР. Сер. географ., 1970, № 3, с. 61—66.
174. Цыкин Е. Н. Активное воздействие на ледяной покров в условиях мелководья.— Труды координационных совещаний по гидротехнике. Борьба с ледовыми затруднениями при эксплуатации гидротехнических сооружений, 1973, т. 81(Д), с. 151—154.
175. Цыкин Е. Н., Цыкина Г. А. Результаты лабораторных экспериментов по искусственному усилению таяния льда методом зачернения.— Материалы гляциологических исследований, 1968, вып. 14, с. 167—179.
176. Цыкина Г. А. Эксперименты по усилению таяния ледяного покрова при неблагоприятных условиях погоды. Материалы гляциологических исследований, 1970, вып. 16, с. 191—195.
177. Цыкина Г. А. Искусственное усиление таяния ледяного покрова водоемов.— Материалы гляциологических исследований, 1971, вып. 18, с. 68—72.
178. Черепанов Н. В. Новый кольцевой ледовый бур.— Проблемы Арктики и Антарктики, 1969, т. 32, с. 122—125.
179. Честнов Е. И. Использование судов на воздушной подушке для взламывания льда.— Передовой опыт и новая техника, 1979, вып. 2 (62), с. 69—73.
180. Шаталина И. Н., Спецов Ф. А. Опыт применения химических веществ для ослабления прочности льда.— Труды ЛИВТ, 1963, вып. 26, с. 59—65.
181. Шафранов Н. К., Кузнецов А. Г., Глухов Ю. Ю. Об особенностях разрушения горных пород лучом непрерывно действующего лазера.— Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1978, № 1, с. 47—51.
182. Швайштейн З. И. Резание льда непрерывными струями высокого давления.— Труды ААНИИ, 1971, т. 300, с. 168—176.
183. Швайштейн З. И. Разрушение льда импульсными струями высокого давления.— Труды ААНИИ, 1972, т. 331, с. 203—211.
184. Швайштейн З. И., Энгелин Р. К. Разрушение льда вибрацией.— Труды ААНИИ, 1964, т. 267, с. 89—99.
185. Шкода А. И. Некоторые предпосылки к оценке эффективности работы ледорезных машин с концевыми и дисковыми фрезами.— Труды ГПИ, 1975, т. 31, вып. 8, с. 5—10.
186. Щетинников А. С. К вопросу о целесообразности искусственного усиления таяния ледников бассейна р. Сырдарья.— Труды САНИИ, 1977, вып. 13, с. 13—15.
187. Яковлев Г. Н. Исследования по проблеме разрушения льда.— Труды ААНИИ, 1964, т. 267, с. 54—63.
188. Яковлев Г. Н. Разрушение льда реактивной газовой струей.— Труды ААНИИ, 1976, т. 300, с. 153—167.
189. Янг К. В. Параметрическое исследование подледного гидроакустического буга.— Всесоюзный центр переводов научно-технической документации, 1977, перевод № Ц-99315.— 55 с.
190. Яров Р. Лед против льда.— Изобретатель и рационализатор, 1974, № 10, с. 16—69.
191. Air bubbling.— Techn. Mem. Assoc. Comm. Soil and Snow Mech. Nat. Research. Cons, N 70; Ottawa, 1961.

192. Air cushion ice breaking study.—*Can. Ship. and Mar. Eng.*, 1978, vol. 49, N 6, p. 42.
193. Air cushion platform may improve icebreaker performance.—*Mar. Eng. Log.*, 1975, vol. 80, N 9, p. 5.
194. Arnason B., Björnsson H., Theodorson P. Mechanical drill for deep coring in temperature ice.—*J. Glaciol.*, 1974, vol. 13, N 67, p. 133—139.
195. Arnold K. C. An investigation into methods of accelerating the melting of ice and snow by artificial dusting.—*Geology of Arctic*, 1961, vol. 2, p. 989—1013.
196. Bell's surface skimmers performing a wide variety of tasks.—*Mar. Log*, 1975, vol. 80, p. 33.
197. Broschu M. Les véhicules à coussin d'air des brise-glace nouvelle vague.—*Science Dimension*, 1977, vol. 9, N 6, p. 17—19.
198. Broschu M. Possible use of light absorptive material for seasonal deicing off Alaska North Slope.—*Sea Technol.*, 1977, vol. 18, N 2, p. 15—17.
199. Browning J. Flame drilling through the Ross Ice Shelf.—*North Eng.*, 1978, vol. 10, p. 4—8.
200. Coburg J. L., Elrich N. A. Advanced icebreaking concepts.—*Naval Eng. J.*, 1973, vol. 85, N 24, p. 11—19.
201. Clark A. R., Moulder J. C., Reed R. P. Ability of a CO<sub>2</sub> laser to assist icebreakers.—*Appl. Opt.*, 1975, vol. 12, N 6, p. 1103—1104.
202. Core obtained through Ross Ice Shelf.—*Antarct. J. U. S.*, 1979, vol. 14, N 1, p. 1.
203. Crosby L. Ice engineering research at CRREL.—*Arctic Bull.*, 1977, vol. 2, N 10, p. 177—181.
204. Dalrymple I. The Great Lakes: Canada's fourth ocean.—*Can. Ship. and Mar. Eng.*, 1977, vol. 48, N 8, p. 12—19.
205. Drillers put three holes through Ross Ice Shelf.—*Antarct. J. U. S.*, 1979, vol. 14, N 1, p. 4—5.
206. Eldrup M. Vacancy migration and void formation in irradiated ice.—*J. Chem. Phys.*, 1976, N 12, p. 5283—5290.
207. Eldrup M., Mogensen O. Vacancies in HF-doped and irradiated ice by positron annihilation techniques.—*J. Glaciol.*, 1978, vol. 21, N 85, p. 1011—1013.
208. Evans R. I., Untersteiner N. Thermal cracks in floating ice sheets.—*J. Geophys. Res.*, 1971, vol. 76, p. 694—703.
209. Evans R. I. Cracks in perennial sea ice due to thermally induced stress.—*J. Geophys. Res.*, 1971, vol. 76, p. 8153—8155.
210. Fighting ice.—*Ocean Industry*, 1978, vol. 13, N 10, p. 144—146.
211. First hovercraft tests on ice.—*Antarctic*, 1977, vol. 8, N 1, p. 8.
212. Fowler H. S. The air cushion vehicle: a possible answer to some Arctic transport problems.—*Polar Record*, 1976, vol. 18, N 144, p. 251—258.
213. Gillet F., Donnnon D., Ricon C. A new electrothermal drill for coring in ice.—*Ice-core Drilling. Proc. Symp. Univ. Nebraska*, 1974, p. 19—27.
214. Gilpin R. R. Hydraulic cutting of ice and frozen gravel.—*In: Sum. of Cur. Res. of Snow and Ice in Canada*, 1976, p. 12.
215. Golecki J., Jaccard C. Radiation damage in ice at low temperature studied by proton channelling.—*J. Glaciol.*, 1978, vol. 21, N 85, p. 247—258.
216. Hodge S. A new version of a steam-operated ice drill.—*J. Glaciol.*, 1971, vol. 10, N 60, p. 387—393.
217. Hooke R. L. University of Minnesota ice drill.—*Ice-core Drilling. Proc. Symp. Univ. Nebraska*, 1974, p. 47—57.
218. Howorka F. A steam-operated ice drill for the installation of ablation stakes on glaciers.—*J. Glaciol.*, 1965, vol. 5, N 41, p. 749—750.

219. Iceberg demolition experiments 1959.— U. S. Treas. Dep. Coast. Guard. Bull. 1960, N 45, p. 2.
220. Icebreaking ACV platform stirs oversea interest.— Can. Ship. and Mar. Eng., 1977, vol. 48, N 5, p. 37.
221. Icebreaking. Bubble-blowing catches on.— Can. Ship. and Mar. Eng., 1975, vol. 46, N 9, p. 5.
222. Icebreaking hovercraft.— Can. Ship. and Mar. Eng., 1973, vol. 44, N 9, p. 5.
223. Ice melting machine.— All Hands, 1961, vol. 3265, N 534.
224. Irwin C. Analysis of stress and strains near the end of a crack traversing a plate.— Transact. Amer. Soc. Mech. Eng., J. Appl. Mech., 1957, N 9, p. 361—364.
225. Lane J., Marshall S. Deicing using lasers.— Meteorol. and Geoastrophys. Abstr., 1977, N 8, p. 1483.
226. Lea J. F. A concise method for analyzing the ice-melting performance of a heated disc.— J. Glaciol., 1976, vol. 17, N 76, p. 355—358.
227. Legerer F. I. Mechanics of icebreaking.— In: Summary of Current Research of Snow and Ice in Canada, Ottawa, 1976.
228. Liu H., Loop L. Fracture toughness of fresh-water ice.— CRREL Draft Rep., 1973.
229. Lyon W. K. Experiments in the use of explosives in sea ice.— Pol. Rec., 1960, vol. 10, N 66, p. 237—247.
230. Mellor M. Cutting ice with continuous jets.— Proc. Int. Symp. on Jet Cutting Technol. Cambridge, 1974. Cranfield, 1974.
231. Mellor M., Sellmann P. General considerations for drill system design. Ice-core Drilling. Proc. Symp. Univ. Nebraska, 1974, p. 77—111.
232. Mellor M., Kovacs A., Hnatiuk J. Destruction of ice islands with explosives.— Proc. 4th Int. Conf. Port. and Ocean Eng. Arct. Conf., Newfoundland, 1977. Vol. 2. Newfoundland, 1978, p. 735—765.
233. Messer T. Seaway icebreaker role for ACV.— Can. Ship. and Mar. Eng., 1976, vol. 47, N 4, p. 21.
234. Mogensen O., Eldrup M. Vacancies in pure ice studies by positron annihilation techniques.— J. Glaciol., 1978, vol. 21, N 85, p. 85—98.
235. Mohaghegh M. Fracture of sea ice sheets.— 6th Annual Offshore Technol. Conf., Houston, 1974. Vol. 2. Dallas, 1974, p. 121—132.
236. Muller E. R. Icebreaking with an air cushion vehicle.— SIAM Rev., 1979, vol. 21, N 1, p. 129—135.
237. M. V. Arctic the first of how many? — Can. Ship. and Mar. Eng., 1978, vol. 49, N 10, p. 25—29.
238. Naruse R., Susuku Y. A steam-operated drill used by the 14th Japanese Antarctic Research Expedition (1972—1974).— Antarct. Res., 1975, N 53, p. 53—56.
239. O'Nayl I. A. Icebreaking helped by ACV technology.— Can. Ship. and Mar. Eng., 1976, vol. 47, N 6, p. 29—30.
240. Parsons H. C., Hopkins R. M. A chemical method for ice destruction.— Proc. 4th Int. Conf. Port. and Ocean Eng. Arct. Conf., Newfoundland, 1977. Vol. 2. Newfoundland, 1978, p. 799—810.
241. Payton Ch. R. Some mechanical properties of sea ice.— In: Ice and Snow. Properties, processes and applications. Cambr., 1963.— 480 p.
242. Paterson W. S. Thermal core drilling in ice caps in Arctic Canada.— Ice-core Drilling. Proc. Symp. Univ. Nebraska, 1974, p. 113—116.
243. Rand J. H. The USA CREEL Shallow Drill.— Ice-core Drilling. Proc. Symp. Univ. Nebraska, 1974, p. 133—137.
244. Regelation of ice.— Nature Phys. Sci., 1973, vol. 242, N 114, p. 1.



215. The submerged ice-cracking machine.— Can. Ship. and Mar. Eng., 1972, vol. 43, N 8, p. 16.
246. 687-ft icebreaking bulk carrier to be build in Canada. Mar. Eng. Log., 1975, vol. 80, p. 10.
247. Smith R. A. The application of fracture mechanics to the problem of crevice penetration.— J. Glaciol., 1976, vol. 17, p. 223—228.
248. Taylor P. L. Solid nose and coring thermal drill for temperature ice.— Ice core Drilling. Proc. Symp. Univ. Nebraska, 1974, p. 97—99.
249. Technical notes: vibrating ice.— Mar. Eng. Log., 1972, vol. 77, N 5, p. 5.
250. Topham D. R. The deflection of an ice sheet by a submerged gas source. — Trans. ASME, 1977, ser. E, vol. 44, N 2, p. 279—284.
251. Trawler deicing equipment — Shipbuilding and Shipping Record, 1969, vol. 113, N 12, p. 401.
252. Wade R. G. Icebreaking. Air cushion technology promises a cheap way.— Can. Ship. and Mar. Eng., 1974, vol. 45, N 11, p. 19—20.
253. Wade R. G. Air cushion vehicle icebreaking.— In: Summary of Current Research on snow and ice in Canada. 1976, Techn. Mem. N 118, Ottawa, 1976
254. Wade R. G. Air cushion technology.— Ice, 1978, N 56—57.
255. Wood W. G. Discussion on paper Impact of spheres on ice.— J. Eng. Mech. Div. Proc. Amer. Civ. Eng., 1970, vol. 97, N 4, p. 1293—1296.
256. Yin-Choo Y., Fout O., Lynnwood B. Impact of spheres on ice.— J. Eng. Mech. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Eng., 1970, vol. 96, N 5, p. 641—652.
257. Young C. W. Penetration of sea ice by air-drooped projectives.— Ocean'74 IEEE Intern. Conf. Eng. Ocean. Environ. Rec., Halifax, 1974. New York, 1974, 1/80—1/95.

*Виталий Васильевич Богородский,  
Владислав Петрович Гаврило,  
Олег Александрович Недошивин*

# **РАЗРУШЕНИЕ ЛЬДА** Методы, технические средства

Редактор *Т. А. Иванов*. Художник *Б. А. Денисовский*. Технический редактор *Т. В. Пивлова*.  
Корректор *В. И. Гинцбург*  
ИБ № 1469. Сдано в набор 23.03.83. Подписано в печать 25.08.83. М-38574. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Бумага типографская № 1. Литературная гарнитура. Печать высокая. Усл. печ. л. 13,49.  
Усл. кр.-отт. 13,49. Уч.-изд. л. 15,65. Тираж 1400 экз. Индекс ОЛ-61. Заказ № 176. Цена 1 р. 40 к.  
Гидрометеоиздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, 23.

Ленинградская типография № 8 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 190000, г. Ленинград, Грачовский переулок, 6.