



МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР  
УПРАВЛЕНИЕ КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА  
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ОРГАНИЗАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ ШАХТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ВНИИОМШС

ВРЕМЕННОЕ РУКОВОДСТВО  
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА  
ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПОРОД ДЛЯ ПРОХОДКИ  
ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ ШАХТ

Харьков 1971

МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР

Управление капитального  
строительства

Всесоюзный научно-исследо-  
вательский институт орга-  
низации и механизации шахт-  
ного строительства

ВНИИОМШС

УТВЕРЖДАЮ

Директор ВНИИОМШС

Б.Я.СЕДОВ

" 4 " август 1971г.



МИНИСТЕРСТВО МОНТАЖНЫХ И СПЕ-  
ЦИАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ  
С С С Р

Главспецпромстрой

Проектная контора треста  
Шахтспецстрой

УТВЕРЖДАЮ

Главный инженер Главспец-  
промстроя

А.И.ПЕВЗНЕ

" 23 " август 1971г.



ВРЕМЕННОЕ РУКОВОДСТВО

по проектированию процесса замораживания  
пород для проходки вертикальных стволов  
шахт

Харьков 1971

С о с т а в и т е л и:

Канд. техн. наук П.А. ШАРБЕР

Инж. В.А. ПАНЬКИН

Инж. А.Л. ШРАЙМАН

Инж. И.М. ГУЛЕЙ

Инж. А.Д. КРУПЕНКО

ВНИИОМШС

Канд. техн. наук О.А. ДОЛГОВ

МГИ

Канд. техн. наук А.З. ЛИТВИН

Канд. техн. наук В.А. ФЕДОКИН

Инж. Б.Б. БЕГРЕР

Инж. Л. С. МЕРЗАК

Трест Шахтспецстрой

## П Р Е Д И С Л О В И Е

Настоящее временное руководство составлено по заданию треста Шахтспецстрой ВНИИСШСом, МГИ и Проектной конторой треста Шахтспецстрой на основе разработанной в 1969г. первой его редакции.

Руководство является результатом обобщения методических положений, принятых в современной практике проектирования и проверенных в производственных условиях, изучения и обобщения законченных исследований в области замораживания пород для проходки стволов шахт ВНИИСШСа, МГИ, ИГД им. А.А.Скочинского, Проектной конторы треста Шахтспецстрой и других организаций, данных специальных наблюдений в производственных условиях на Яковлевском опытном участке КМА (1960-1962гг.), стволах шахт Запорожского железорудного комбината № 1 (1961-1967гг.) и Березниковских калийных комбинатов № 2 и 3 (1966-1969гг.). Изучены по литературным источникам и частично использованы материалы зарубежного опыта замораживания пород в шахтном строительстве.

В руководстве рассматривается общепринятый в практике шахтного строительства аммиачно-рассольный способ замораживания с использованием в качестве хладагента аммиака и в качестве хладоносителя - водного раствора соли хлористого кальция (рассола), изложена сущность этого способа, даны определения его вариантов и указаны области их применения.

Приведены перечень необходимых для проектирования исходных данных, методы определения основных теплофизических величин, справочный материал по их значениям, типам и характеристикам применяющегося оборудования.

Изложена методика расчета нагрузок на ледопородное ограждение ствола, средней температуры и прочности замороженных пород, параметров циркуляции рассола, необходимой холодопроизводительности замораживающей станции и продолжительности замораживания пород.

Руководство предназначено для пользования при проектировании, а также для проверочных расчетов при осуществлении замораживания пород.

Для совершенствования и дополнения настоящего руководства принимаются к рассмотрению принципиальные замечания, пожелания и новые разработки всех организаций, проводящих исследования, проектирование и осуществление замораживания пород.

Редакционная комиссия: А.З.Литвин ( председатель ),  
В.А.Федюкин, В.Г.Николаенко, О.А.Долгов, Б.Б.Бергер, Л.С.Мерзак,  
П.А.Шпарбер, В.А.Пахькин ( ответственный редактор ).

## І. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### 1. СУЩНОСТЬ СПОСОБА ЗАМОРАЖИВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Способ замораживания горных пород применяется для проходки вертикальных стволов шахт и других горных выработок в сложных горногеологических условиях при наличии в геологическом разрезе водоносных неустойчивых пород, а также водоносных устойчивых пород в тех случаях, когда применить другие специальные способы (водопонижение, тампонаж и т.д.) невозможно или нецелесообразно по технико-экономическим соображениям.

Способ замораживания пород универсален, он применим в разнообразных сложных горногеологических условиях и отличается высокой надежностью. Среди других специальных способов проходки стволов шахт он наиболее распространен в отечественной практике.

Сущность способа заключается в том, что до вскрытия стволом шахты водоносных пород их предварительно замораживают, благодаря чему вокруг ствола образуется сплошное ледопородное ограждение, которое воспринимает на себя горное и гидростатическое давление и защищает ствол от затопления, создавая условия для его проходки по обычной технологии.

При необходимости ледопородное ограждение можно создать на всем протяжении ствола шахты либо на отдельном его участке.

Для образования ледопородного ограждения вокруг будущего ствола через толщу водоносных пород бурят скважины, в которые опускают замораживающие колонки. Затем в колонках осуществляют циркуляцию холодоносителя-рассола (табл. I), охлаждаемого до требуемой отрицательной температуры на замораживающей станции. Колонки герметически закрывают снизу башмаками, а сверху - головками с входным и выходным патрубками. Для обеспечения циркуляции рассола в колонках внутрь их спускают питающие и отводящие трубы, которые соединяют соответственно с входным и выходным патрубками головок. Патрубки снаружи подсоединяют к распределителю и коллектору, к которым подведены магистральные рассолопроводы от замораживающей станции.

Полезную работу - интенсивный отбор тепла от окружающих колонок пород - рассол совершает при движении по рабочему участку колонки, границы которого соответствуют положениям

нижних концов питающей и отводящей труб. По направлению движения на рабочем участке колонки различают прямую и обратную циркуляцию рассола.

В результате отбора рассолом тепла от пород вокруг каждой из колонок образуются ледопородные цилиндры, которые с течением времени увеличиваются в диаметре и наконец смыкаются в сплошное ледопородное ограждение вокруг ствола шахты. Задачей замораживания является создание ледопородного ограждения требуемой по горнотехническим условиям толщины, прочности и устойчивости для обеспечения проходки ствола в водоносных породах.

Производство холода на замораживающей станции основано на принципе изменения агрегатного состояния хладагента - аммиака (табл. 2, 3). При относительно низком давлении и подводе тепла жидкий аммиак испаряется и переходит в газообразное состояние (в испарителях). Затем аммиак засасывается аммиачными компрессорами и сжимается. Сжатый аммиак с высокой температурой поступает в конденсаторы, где отдает тепло воде и переходит в жидкое состояние. По пути из конденсаторов в испарители жидкий аммиак дросселируется на регулирующей станции с давления нагнетания до давления испарения.

Таким образом, процесс замораживания пород включает в себя три теплообменных цикла:

1 цикл - отбор тепла от пород рассолом (замораживание пород);

2 цикл - отбор тепла от рассола аммиаком на замораживающей станции;

3 цикл - отбор тепла от аммиака водой, подаваемой на конденсаторы замораживающей станции.

## 2. РЕЖИМ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПОРОД

Режим замораживания пород характеризуется значениями основных параметров первого теплообменного цикла: температуры замерзания пород, температуры и расхода рассола в кольях и др. Главным параметром является температура внешней поверхности замораживающей колонки на ее рабочем участке, которая должна быть достигнута в процессе замораживания для образования ледопородного ограждения нужной толщины и прочности. Достигае-

мым конечным значениям этой температуры, в свою очередь, соответствуют определенные значения температуры подаваемого в колонки рассола (температуры замораживания), по которым различают два режима замораживания пород: обычный и низкотемпературный. При обычном режиме достигается конечное значение температуры подаваемого в колонки рассола до минус  $20^{\circ}\text{C}$ , при низкотемпературном - до минус  $40^{\circ}\text{C}$ .

Низкотемпературный режим замораживания следует применять для пород с засоленностью подземных вод более  $3^{\circ}\text{Be}$ , при естественной температуре подземных вод выше  $20^{\circ}\text{C}$  или при наличии потоков подземных вод со скоростью движения более 2 м/сутки.

При наличии в породах насыщенных естественных рассолов конечное значение температуры замораживания следует принимать на основании данных лабораторных исследований температуры замерзания и прочности рассолосодержащих пород. В настоящем Руководстве приведены ориентировочные значения температур замерзания некоторых рассолов (табл.4,5).

При проектировании в каждом случае температуру замораживания следует окончательно принимать на основании технико-экономического сравнения возможных вариантов с учетом конкретных условий замораживания пород.

### 3. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЗАМОРАЖИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ

Каждому режиму замораживания пород соответствует определенный режим работы замораживающей станции, который характеризуется, главным образом, параметрами замкнутого цикла циркуляции аммиака в аммиачной системе. По значениям этих параметров различают два режима работы станции: одноступенчатый и двухступенчатый.

#### Одноступенчатый режим

При работе по этому режиму компрессоры замораживающей станции осуществляют цикл одноступенчатого сжатия аммиака.

Станцию требуемой холодопроизводительности обычно составляют из однотипных холодильных агрегатов. В состав каждого из них входят: аммиачный компрессор одноступенчатого сжатия, конденсатор, регулирующая станция, испаритель, вспомогательное оборудование (маслоотделитель, маслособиратель, ресивер с от-



делителям воздуха), запорная арматура, контрольно-измерительная аппаратура и приборы средств сигнализации и автоматизации. Для подачи воды на охлаждение компрессоров и конденсаторов всех агрегатов и для осуществления циркуляции рассола монтируют соответствующие насосные установки.

Диапазон рабочих давлений одноступенчатого цикла сжатия аммиака ограничен определенными технологическими условиями. Давление всасывания целесообразно поддерживать выше атмосферного на 0,3 – 0,5 ати во избежание подсоса воздуха в систему через сальники компрессоров. Выпускающиеся одноступенчатые аммиачные компрессоры рассчитаны на работу преимущественно при отношении давления нагнетания к давлению всасывания до 8. По этим условиям можно получить наиболее низкую температуру испарения аммиака при одноступенчатом цикле сжатия до минус 25<sup>0</sup>С, а температуру рассола – до минус 20<sup>0</sup>С.

#### Двухступенчатый режим

Работая по этому режиму, компрессоры замораживающей станции осуществляют цикл двухступенчатого сжатия аммиака.

В цикле двухступенчатого сжатия газообразный аммиак после первой ступени сжатия поступает в промежуточный сосуд. Затем пары аммиака в охлажденном состоянии проходят вторую ступень сжатия и нагнетаются в конденсатор, где охлаждаются водой и конденсируются.

Из конденсатора большая часть жидкого аммиака проходит через эмеевик в промежуточном сосуде, охлаждаясь при этом, далее дросселируется в регулирующем вентиле и поступает в испаритель; меньшая часть его через поплавковый регулирующийся вентиль поступает непосредственно в промежуточный сосуд, заполняет его до определенного уровня и испаряется, охлаждая аммиак в эмеевике и газообразный аммиак, направляющийся во вторую ступень.

Двухступенчатый режим работы станции осуществляют по окончании замораживания пород с одноступенчатым режимом, т.е. по достижении температуры испарения аммиака минус 25<sup>0</sup>С, переводя отдельные компрессоры станции на работу в качестве второй ступени либо включая в работу вместо одноступенчатых двухступенчатые компрессоры, у которых часть цилиндров работает на пер-

вой ступени, а часть - на второй ступени сжатия аммиака.

Компоновка станции из разнотипных одно- и двухступенчатых компрессоров допускается лишь в отдельных случаях:

- на общих для нескольких объектов замораживающих станциях при поочередном замораживании пород на этих объектах и отсутствии необходимого парка однотипных компрессоров;
- при выработанной в процессе обычного замораживания пород необходимости низкотемпературного замораживания, поставки и монтажа для этой цели дополнительных компрессоров, а также при отсутствии свободного парка компрессоров, однотипных с используемыми на данном объекте.

#### 4. СХЕМЫ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПОРОД

##### Замораживание пород на всю глубину

Эта схема (рис.1) является наиболее простой и распространенной. Для осуществления этой схемы каждую замораживаемую колонку снабжают одной внутренней трубой - питающей или отводящей; в этом случае движущийся в межтрубном пространстве колонки рассол активно отбирает тепло от пород по всей глубине.

Применяется при:

- залегании кровли водоносных и неустойчивых пород на небольшой глубине от поверхности - до 50-70 м;
- преобладании в геологическом разрезе пластов пород, подлежащих замораживанию;
- отсутствии в толще водоносных пород разделяющих пластов водоупорных пород;
- отсутствии готового участка ствола, пройденного в породах, склонных к пучению при замораживании.

Прямую циркуляцию рассола - с подачей его в питающую трубу - следует применять, когда основную трудность представляет замораживание нижних пластов пород в геологическом разрезе, и необходимо наиболее длительное замораживание их до возможно более низкой температуры. Обратную циркуляцию - с подачей рассола в межтрубное пространство колонки - следует применять, когда для начала проходки ствола необходимо в первую очередь

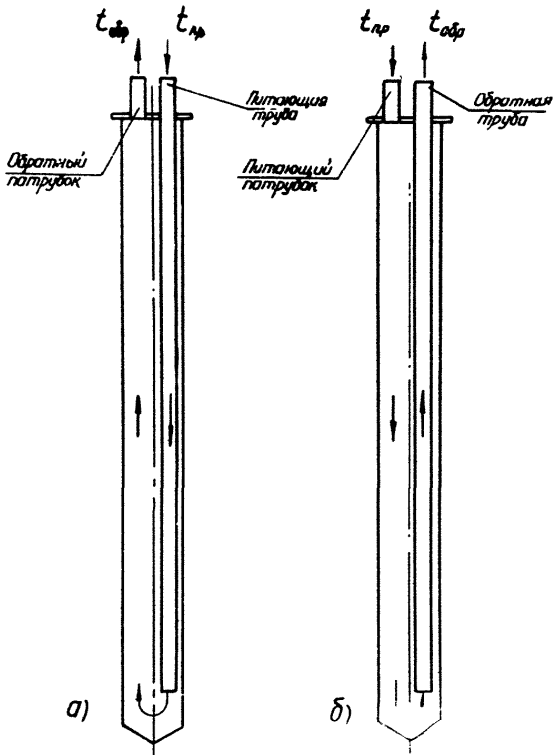


Рис. 1. Замораживание пород на всю глубину:  
а) прямая циркуляция;  
б) обратная циркуляция.

заморозить верхние пласты пород, а нижние пласты будут заморожены либо за время проходки верхнего участка ствола, либо при переходе в дальнейшем на прямую циркуляцию рассола.

### Ступенчатое замораживание пород

По этой схеме (рис.2) ледопородное ограждение ствола образуется последовательными во времени и нисходящими по глубине интервалами – ступенями с помощью съезжин, пробуренных на всю глубину залегания водоносных и неустойчивых пород.

Для осуществления этой схемы каждую замораживающую колонку оснащают двумя внутренними трубами: питающей и отводящей, которые опускают до соответствующих границ очередной ступени. Наибольший отбор тепла от пород каждой раз осуществляется в пределах очередной ступени.

При переходе к замораживанию следующей ступени обычно до ее нижней границы опускают трубу, служившую отводящей при замораживании предыдущей ступени, а бывшую питающую трубу используют в качестве отводящей без наращивания. При этом необходимо соответственно изменить подачу рассола в колонки.

Применяется при:

– большой мощности всей толщи водоносных и неустойчивых пород (свыше 200 м);

– наличии в толще водоносных пород пластов водоупорных пород, которые могут служить границами ступеней и обеспечить невозможность прорыва воды в забой со стороны нижней ступени при проходке ствола в пределах верхней.

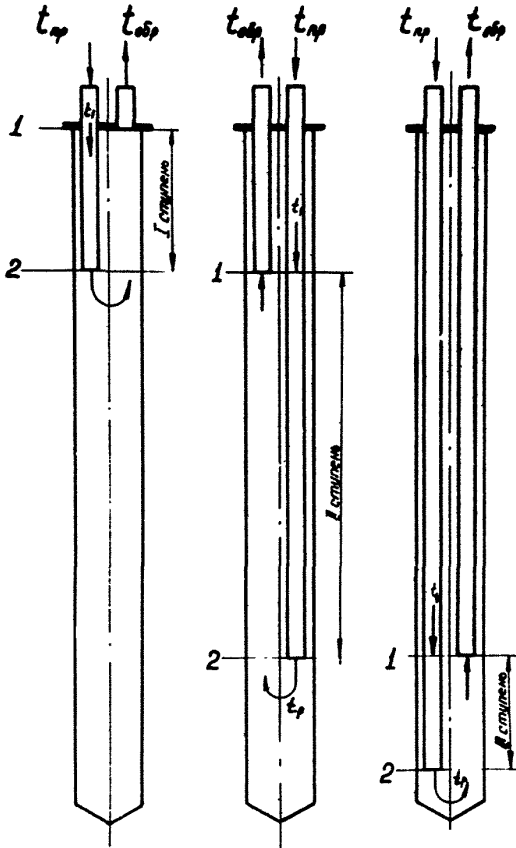


Рис. 2. Ступенчатое замораживание пород:  
1 - верхняя граница рабочего участка;  
2 - нижняя граница рабочего участка

Разновидностью данной схемы является схема зонального замораживания, при которой из всей толщи пород предусматривают активно замораживать отдельные зоны водоносных пород. Эту схему можно применять, когда в геологическом разрезе встречаются толщи водоупорных пород мощностью 30-40 м, которые по ряду причин замораживать нецелесообразно (возрастают расход холода и мощность замораживающей станции, возможны пучение пород и повреждения колонок).

#### Местное замораживание пород

По этой схеме (рис.3) ледопородное ограждение вокруг ствола на участках пересечения водоносных пород создают с помощью скважин, пробуренных непосредственно из забоя ствола.

Применяется при:

- ограниченной мощности отдельного пласта или пачки пластов водоносных пород - не более 100 м и залегании их кровли на глубине, превышающей в 1,5-2 раза мощность самой водоносной толщи;

- неожиданном вскрытии при проходке ствола пласта водоносных пород (как аварийный способ), особенно при наличии на готовом участке ствола такого типа пород, которые при их замораживании могут вспучиваться и создавать опасные нагрузки на крепь ствола.

Для осуществления этой схемы проходку ствола следует прервать, оставив над кровлей водоносной толщи достаточно мощный (по расчету) щелик из водоупорных пород, разделить буровую камеру, установить кондукторы скважин и уложить на забое водо- непроницаемую бетонную псдушку, пробурить скважины и смонтировать в них замораживающие колонки с питающими трубами.

При наличии в водоносных породах гидростатического напора следует бурить скважины с применением средств их герметизации - сальников, превентеров - или с применением уравнильного трубопровода. В первом случае буровые станки можно установить в забое ствола, во втором - на его нулевой площадке или на полке в стволе выше статического горизонта подземных вод. По окончании монтажа каждой колонки устье скважины следует герметизировать

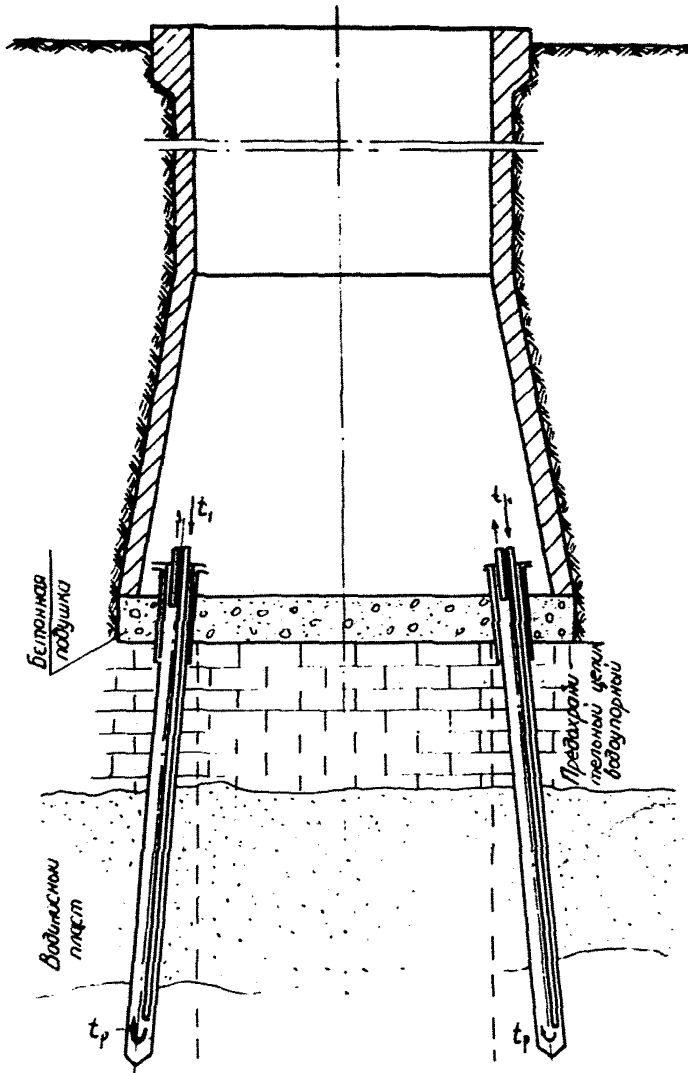


Рис. 3. Местное замораживание пород.

путем цементации или с помощью запорного устройства.

Выбор для конкретных условий той или иной схемы замораживания следует обосновывать технико-экономическими расчетами.

## II. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПОРОД

### 1. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Для проектирования замораживания пород должны быть представлены следующие инженерно-геологические данные:

- геологический разрез по оси закладываемого ствола, характеристика залегания пород в его районе;
- минералогический и гранулометрический состав пород;
- объемный вес, пористость, влажность (весовая или объемная), угол внутреннего трения пород;
- предел прочности пород на одноосное сжатие в естественном и в замороженном состоянии (при температурах  $-5$ ,  $-10$  и  $-15^{\circ}\text{C}$ );
- коэффициенты теплопроводности и теплоемкость пород в естественном и замороженном состоянии, распределение температуры пород по глубине;
- коэффициенты фильтрации пород, гидравлические уклоны, направления и истинные скорости движения подземных вод, статические напоры по каждому водоносному горизонту и характеристика гидравлической связи между горизонтами;
- степень и состав минерализации подземных вод, температуры замерзания естественных минеральных растворов;
- источники водоснабжения, дебит и температура воды, используемой для замораживающей станции.

Значения некоторых свойств пород приведены в справочных таблицах 7-18. Их также можно определить по номограммам (рис.4 - 19).

### 2. ГЛУБИНА ЗАМОРАЖИВАНИЯ

Глубину замораживания пород соответственно геологическим условиям проходки ствола следует принимать:

- при неустойчивых водоносных породах вне зависимости



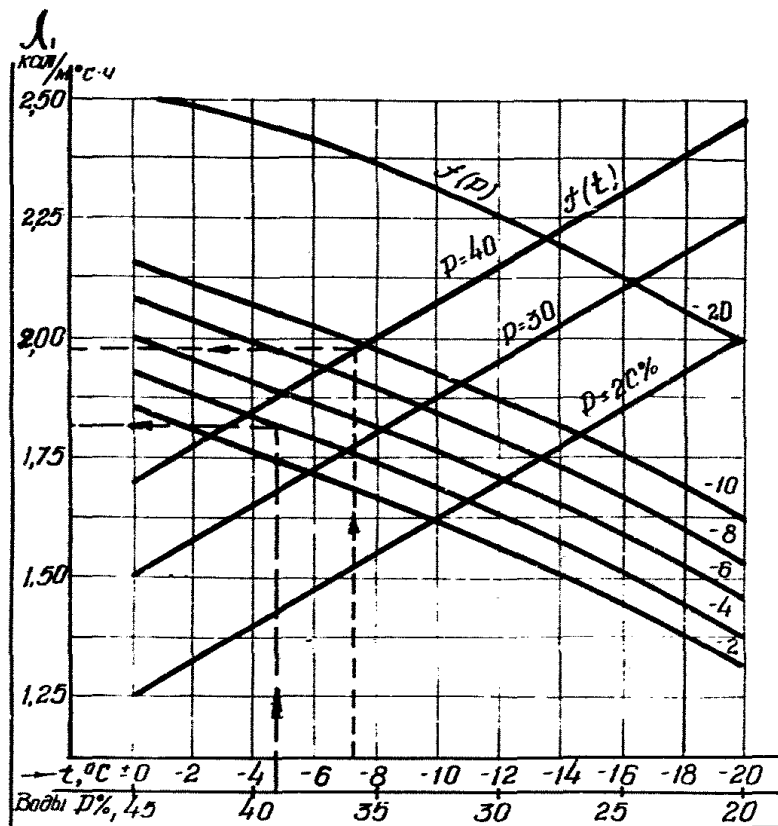


Рис. 4. Графики для определения коэффициента теплопроводности песка  $\lambda_1$ .

$p$  - пористость породы, %;

$t$  - температура замороженной породы, °C.

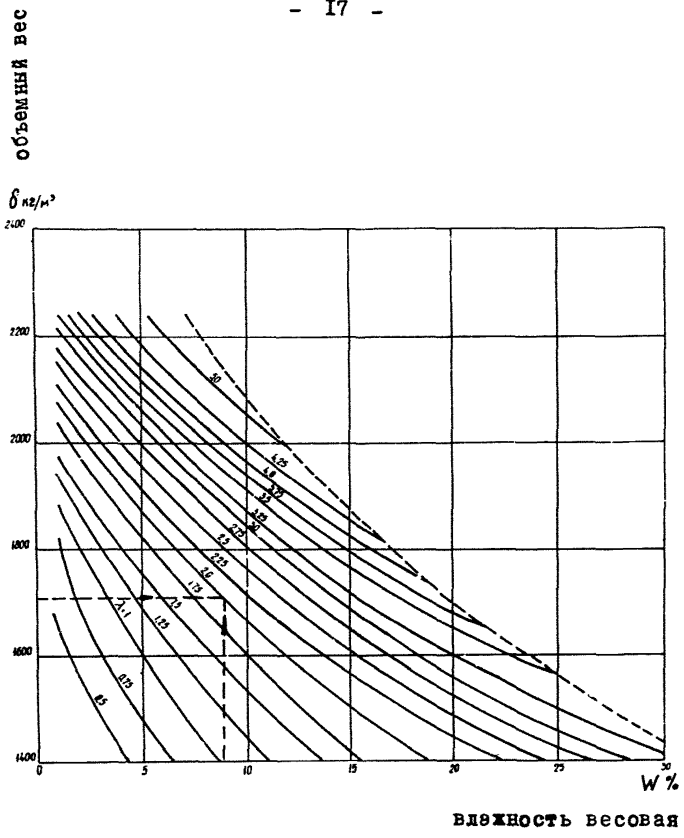


Рис. 5. Номограмма для определения коэффициента теплопроводности замороженного песка  $\lambda$ , в зависимости от объемного веса скелета породы (кг/м<sup>3</sup>) и весовой влажности (W %)

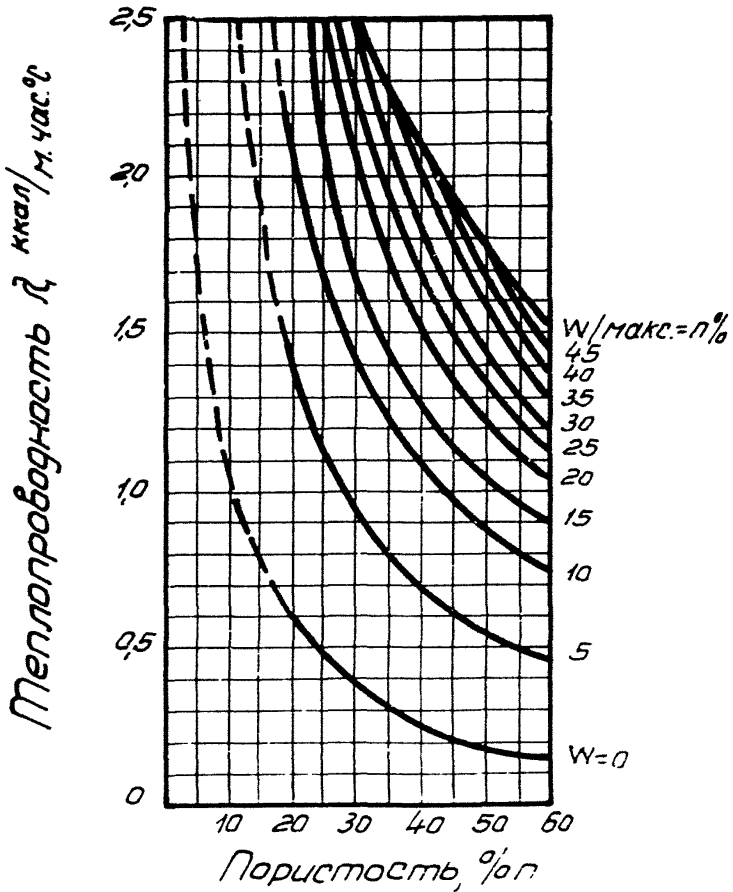


Рис. 6. Графики значений коэффициента теплопроводности чистого песка в функции объемной влажности и пористости (при  $t = +20^\circ\text{C}$ )

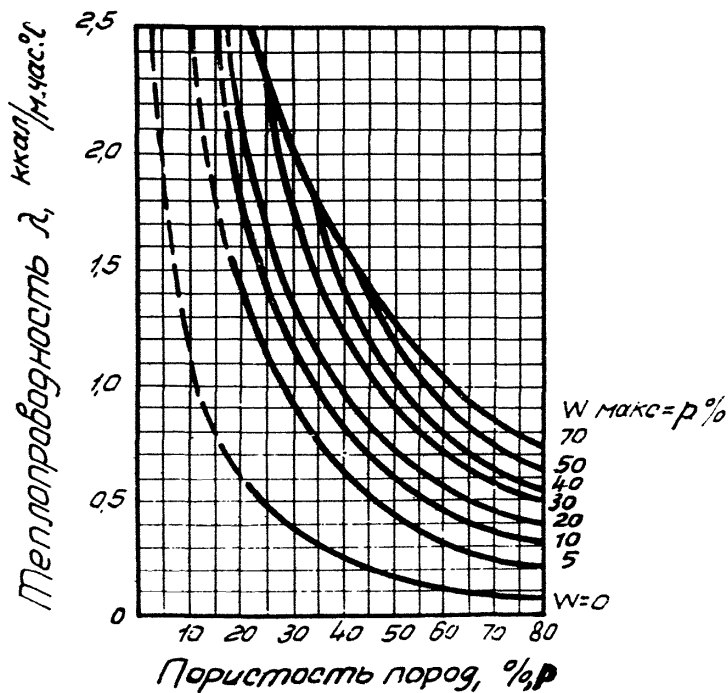


Рис. 7. Графики значений коэффициента теплопроводности супесчаной и суглинистой породы в функции объемной влажности и пористости (при  $t = +20^{\circ}\text{C}$ )

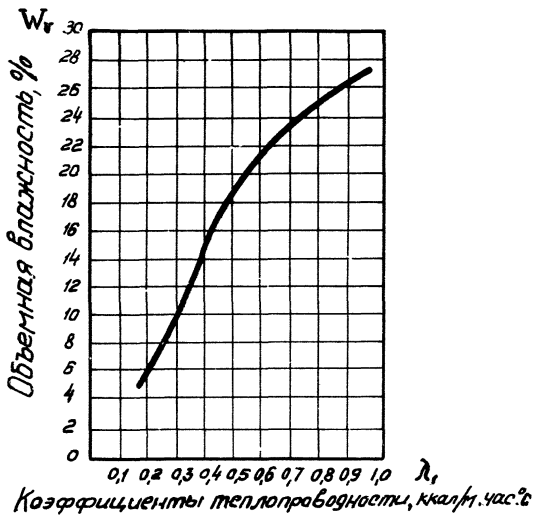


Рис. 8. График зависимости теплопроводности  
глины от влажности

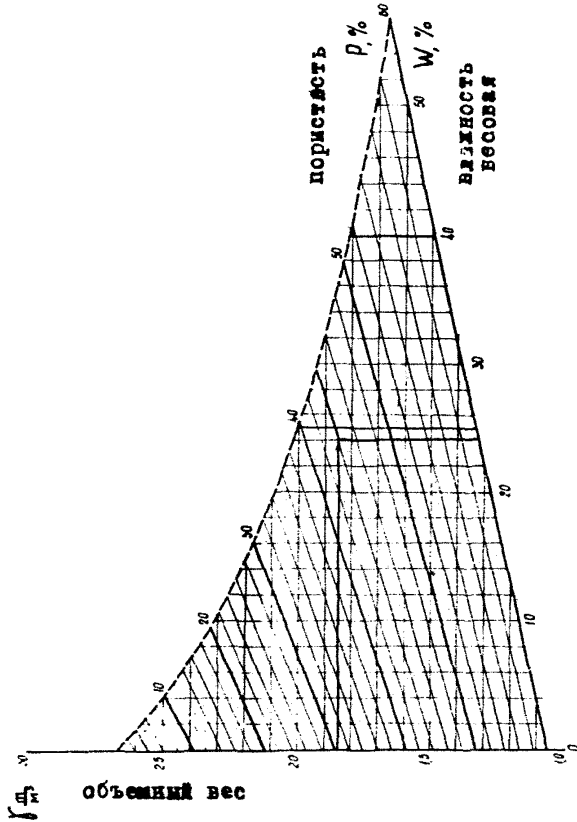


Рис. 9. Номограмма для определения пористости породы в зависимости от объёмного веса и весовой влажности породы

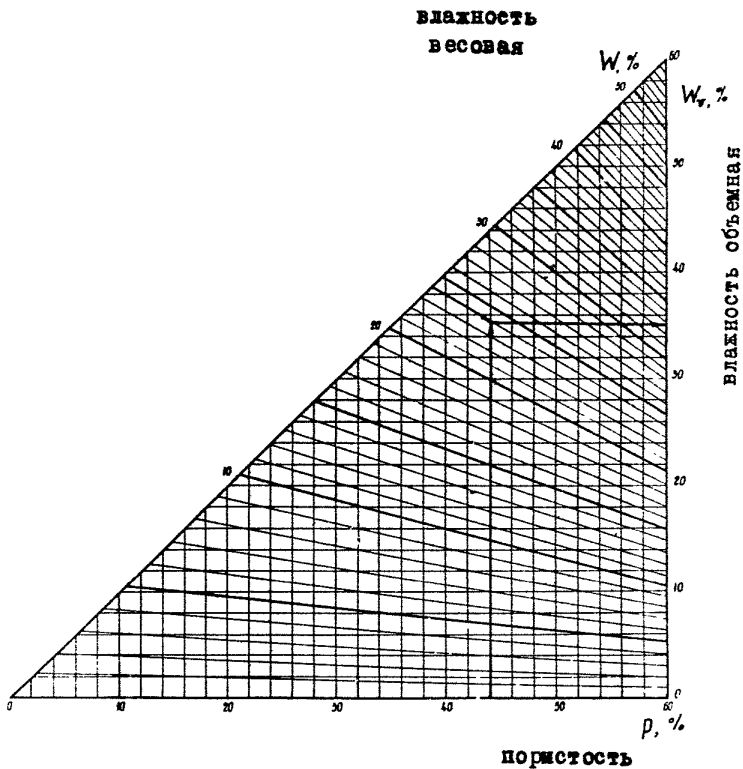


Рис. 10. Номограмма для определения объёмной влажности породы в зависимости от пористости и весовой влажности

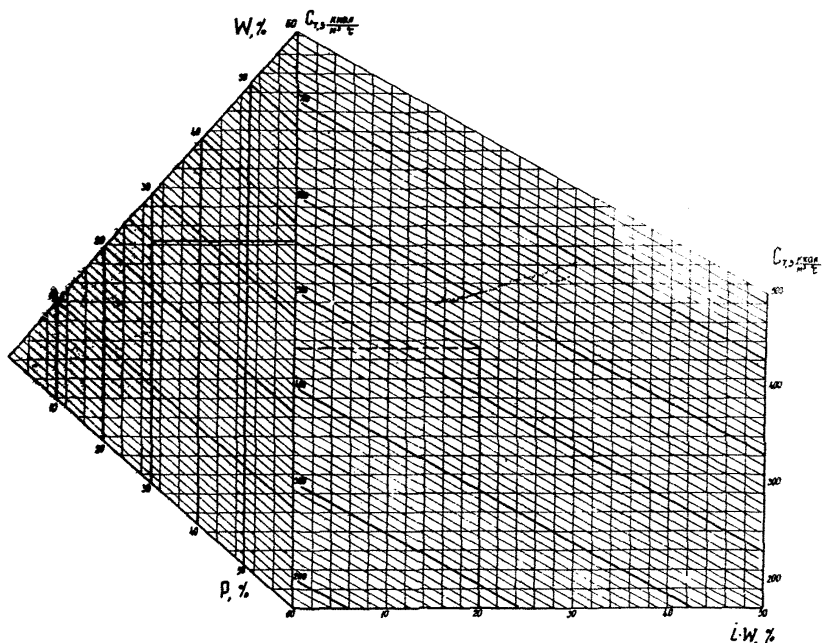


Рис. II. Номограмма для определения объёмной теплоёмкости породы в естественном (талом) и замороженном состояниях в зависимости от пористости, объёмной влажности и льдистости

$P$  - пористость породы, %;  
 $i$  - льдистость породы, в долях единицы;  
 $W$  - влажность весовая, %;  
 $C$  - теплоёмкость объёмная породы,  $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$



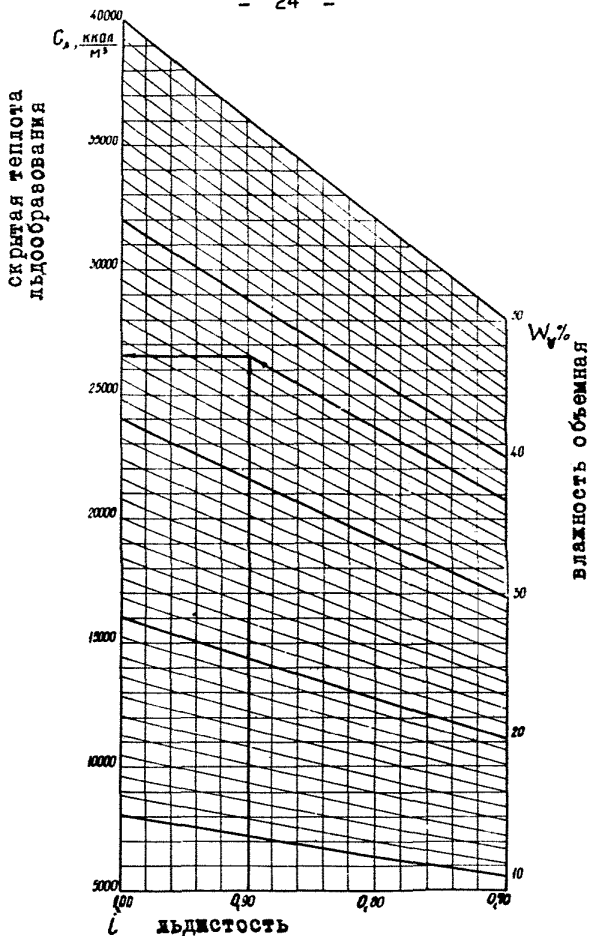


Рис. 12. Номограмма для определения скрытой теплоты льдообразования для 1 м<sup>3</sup> породы в зависимости от объемной влажности и льдистости

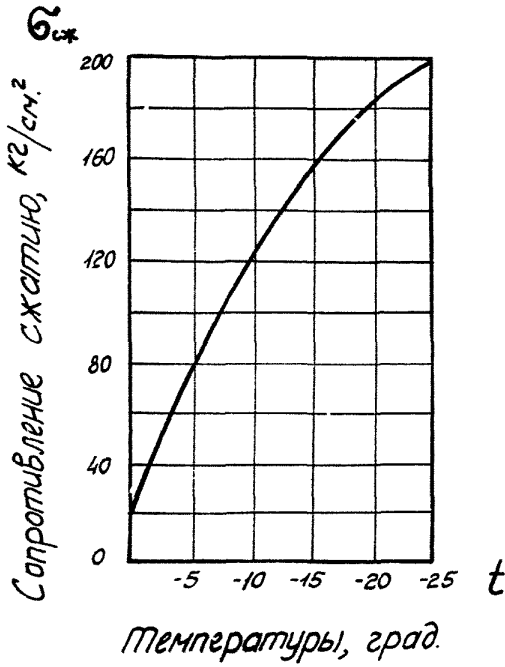


Рис.13 . Кривая прочности замороженного песка.

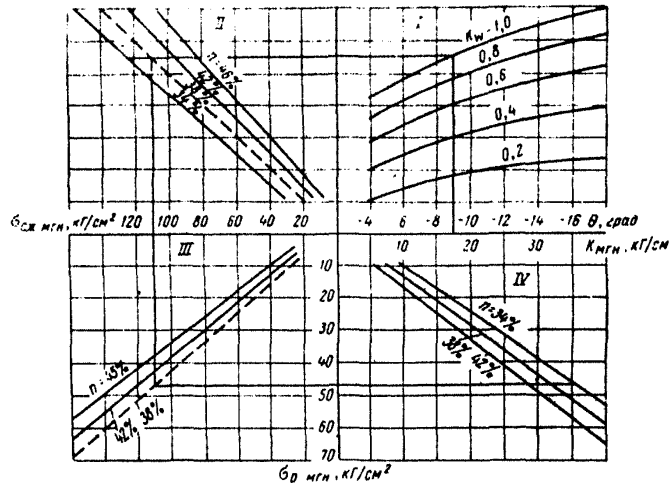


Рис. 14. Номограмма для определения условно-мгновенных прочностных характеристик замороженного песка средней крупности в зависимости от температуры, коэффициента влажности и пористости

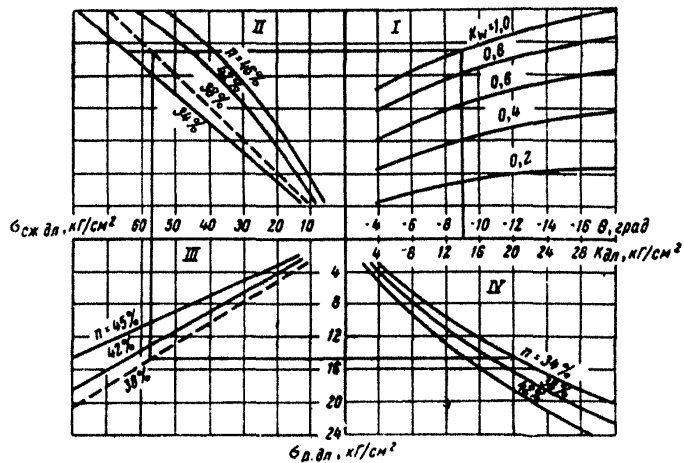


Рис. 15. Номограмма для определения длительных прочностных характеристик замороженного песка средней крупности в зависимости от температуры, коэффициента влажности и пористости

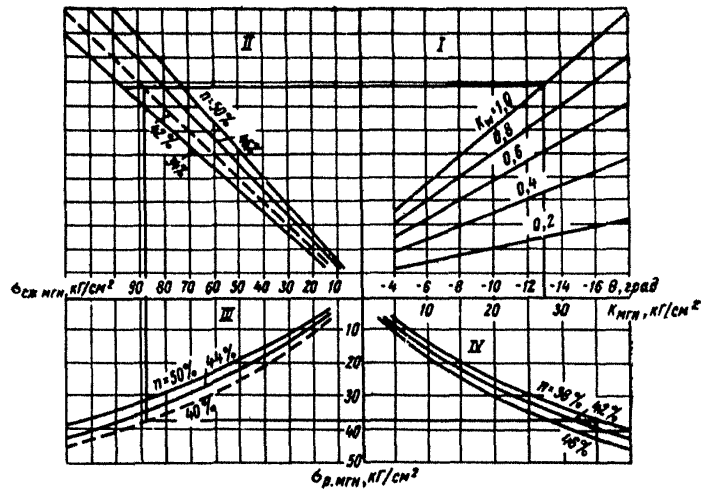


Рис. 16. Номограмма для определения условно-мгновенных прочностных характеристик замороженного пылеватого песка в зависимости от температуры, коэффициента влажности и пористости

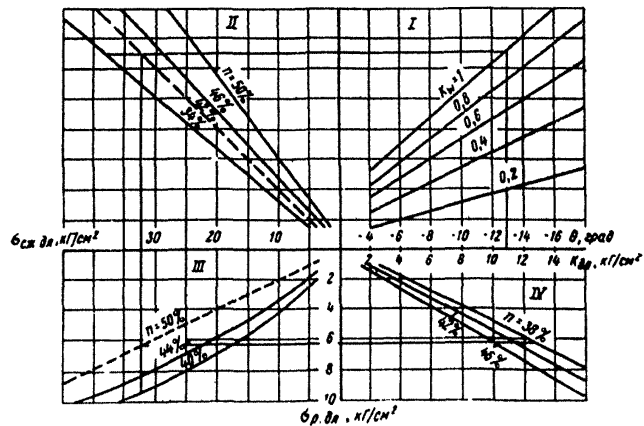


Рис. 17. Номограмма для определения длительных прочностных характеристик замороженного пылеватого песка в зависимости от температуры, коэффициента влажности и пористости

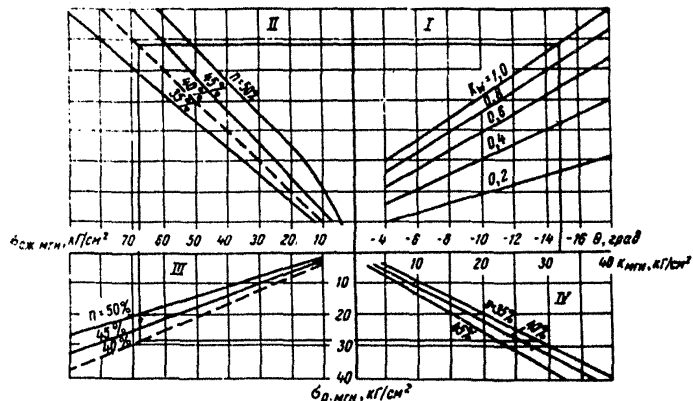


Рис. 18. Номограмма для определения условно-мгновенных прочностных характеристик замороженной глины в зависимости от температуры, коэффициента влажности и пористости

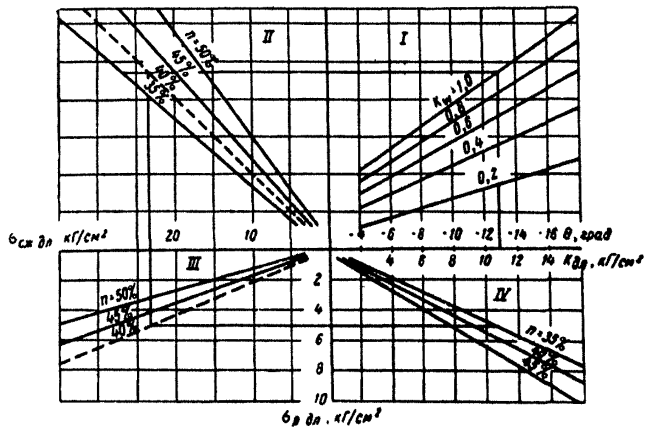


Рис. 19. Номограмма для определения длительных прочностных характеристик замороженной глины в зависимости от температуры, коэффициента влажности и пористости



Обозначения к рис. № 14-19:

1.  $\rho$  - пористость породы, % ;
2.  $K_w$  - коэффициент влажности в долях единицы ;
3.  $\theta$  - температура породы, °С ;
4.  $\sigma_{сж.мгн.}$  - мгновенная прочность породы на одноосное сжатие, кг/см<sup>2</sup> ;
5.  $\sigma_{сж.дл.}$  - то же длительная , кг/см<sup>2</sup> ;
6.  $\sigma_{р.мгн.}$  - мгновенная прочность породы на растяжение, кг/см<sup>2</sup> ;
7.  $\sigma_{р.дл.}$  - то же длительная, кг/см<sup>2</sup> ;
8.  $K_{мгн.}$  - мгновенное сцепление породы, кг/см<sup>2</sup> ;
9.  $K_{дл.}$  - то же длительное, кг/см<sup>2</sup> ;

от ожидаемых притоков воды - на всю мощность этих пород с заглублением в подстилающие водоупорные породы для обеспечения промерзания контакта пород и предотвращения поступления воды в ствол через донную часть ледопородного ограждения (величину заглубления определять проектом и принимать не менее 2 м);

- при устойчивых водоносных породах - до глубины, ниже которой приток воды в ствол ожидается не более 8 м<sup>3</sup>/час или его можно довести до этой величины применением тампонажа.

При расположении зумфа ствола в водоносных породах или недостаточной мощности водоупора необходимо предусматривать создание ледопородного дна. Глубину замораживания в этом случае следует увеличить на толщину этого дна, определяемую расчетом по формуле:

$$h = \frac{D_{\text{пр}} \cdot P_{\text{гст}}}{4 \cdot K}, \text{ м}, \quad (I)$$

где  $D_{\text{пр}}$  - диаметр ствола в проходке, м;

$P_{\text{гст}}$  - гидростатическое давление в водоносных породах, кг/см<sup>2</sup>;

$K$  - допускаемое напряжение на срез (скалывание) замороженных пород дна, кг/см<sup>2</sup> (табл. I6-I8).

При местном замораживании толщину предохранительного целика из водоупорных пород следует определять по этой же формуле (I), при допускаемом напряжении на срез пород целика - по табл. I9.

На калийных месторождениях, где водоупором является отложение каменной соли, заглубление замораживающих скважин в соленосную толщу следует принимать не более 2 м.

### 3. НАГРУЗКА НА ЛЕДОПОРОДНОЕ ОГРАЖДЕНИЕ СТВОЛА

Горное давление на внешнюю поверхность ледопородного ограждения в неустойчивых породах следует определять по формуле

$$P_r = (\gamma_1 h_1 + \gamma_2 h_2 + \dots + \gamma_n h_n) t_g^2 \frac{90 - \varphi_n}{2}, \text{ м/м}^2 \quad (2)$$

где  $\gamma_i$  - объемные веса пород геологического разреза, т/м<sup>3</sup>;  
 $h_i$  - соответственно мощности пластов пород, м;

$\varphi_n$  - угол внутреннего трения породы того пласта, в котором определяется давление.

Для водонасыщенных пород, залегающих ниже статического уровня подземных вод, при определении горного давления следует принимать взвешенный объемный вес пород по табл.6 и отдельно учитывать гидростатическое давление, определяемое по формуле

$$P_{гст} = \gamma_v \cdot H_{гст}, \text{ т/м}^2, \quad (3)$$

где  $\gamma_v$  - объемный вес подземной воды, т/м<sup>3</sup>;

$H_{гст}$  - высота статического уровня воды над отметкой глубины, для которой определяется давление, м.

Полную нагрузку на ледопородное ограждение ствола следует принимать как сумму горного и гидростатического давлений

$$P = P_{г} + P_{гст}, \text{ т/м}^2; \quad (4)$$

Нагрузку на ледопородное ограждение ствола в устойчивых водоносных породах следует определять согласно "Временной инструкции ВНИИМ", утвержденной Госкомитетом по топливной промышленности 27.УП.64 г.

### III. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛЕДОПОРОДНОГО ОГРАЖДЕНИЯ СТВОЛА

#### 1. РАСПОЛОЖЕНИЕ ЗАМОРАЖИВАЮЩИХ СКВАЖИН

Расположение замораживающих скважин вокруг ствола шахты, как правило, следует предусматривать однорядное. Большое число рядов допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании в следующих случаях:

- два ряда (по концентричным окружностям) при расчетной толщине ледопородного ограждения более 3 м;

- два-три ряда в качестве барьера со стороны фильтрационного потока при его истинной скорости более 0,25 м/сутки и температуре воды выше 20°C.

Основные параметры схемы расположения скважин следует определять с учетом возможных отклонений скважин от вертикали. Допускаемое предельное отклонение скважин от вертикали на глу-

бине  $H$ , принимается до глубины 50 м в размере 1% от глубины, а свыше 50 м определяется по формуле

$$\alpha = 0,5 + 0,002 \cdot H, \text{ м} \quad (5)$$

Диаметр окружности ряда скважин следует принимать

$$D_3 = D_{пр} + E + 2\alpha, \text{ м} \quad (6)$$

при обязательном условии

$$D_3 - 2\alpha \geq D_{пр} + 1,2 \text{ м}. \quad (7)$$

Здесь

$D_{пр}$  - диаметр ствола в проходке, м;  
 $E$  - расчетная толщина ледопородного ограждения, м.

Расстояние между устьями замораживающих скважин, как правило, следует принимать в пределах  $l_0 = 1,2 + 1,3 \text{ м}$ .

Расстояние между скважинами на горизонте, для которого производится расчет толщины ледопородного ограждения, нужно определять для случая отклонений двух соседних в ряду скважин от вертикали в противоположные стороны друг от друга. Допускаемое при этом наибольшее расстояние

$$l = l_0 + 2\alpha, \text{ м} \quad (8)$$

а при условии обязательной закладки по проекту между такими скважинами одной дополнительной

$$l = 0,5 \cdot l_0 + 2 \cdot \alpha, \text{ м} \quad (9)$$

Корректировать и окончательно выбирать задаваемые расстояния между устьями скважин следует на основании техни-

ко-экономических расчетов.

Количество замораживающих скважин

$$N = \frac{\Sigma D_2}{l_0}, \text{ шт.} \quad (10)$$

Дополнительные замораживающие скважины для закладок их между основными, где фактические расстояния на расчетном горизонте превышают допустимые, следует предусматривать при глубине скважин:

- до 100 м в количестве 10% от основных;
- более 100 м - " - 20% .

Количество контрольно-температурных скважин в каждом случае проектирования принимать в зависимости от сложности условий замораживания пород, но не менее двух, а гидронаблюдательных - по одной на каждый обособленный водоносный горизонт.

## 2. СРЕДНЯЯ ТЕМПЕРАТУРА И ПРОЧНОСТЬ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОРОД

Среднюю температуру замороженных пород определять по формулам

- в замковой плоскости, проходящей посередине между замораживающими колонками

$$t_{3м} = \frac{\ln \frac{2\rho}{l}}{2 \ln \frac{2\rho}{D_0}} t_{ст}, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (11)$$

- в главной плоскости, проходящей через ось ствола и ось замораживающей колонки

$$t_{гп} = \frac{\rho - \frac{D_0}{2} - \frac{D_0}{2} \ln \frac{2\rho}{D_0}}{(\rho - \frac{D_0}{2}) \ln \frac{2\rho}{D_0}} t_{ст}, \text{ } ^\circ\text{C};$$

- по всему сечению в плане ледопородного ограждения при значениях  $\frac{\ell}{2 \cdot E} \geq 0,6$   $t_{\text{ср}} = 0,5 (t_3 + t_{\text{пл}}), ^\circ\text{C};$  (13)

при значениях  $0,15 \leq \frac{\ell}{2 \cdot E} \leq 0,6$   
 $t_{\text{ср}} = (0,72 - 0,55 \frac{\ell}{2 \cdot E}) \cdot t_{\text{ст}}, ^\circ\text{C}.$  (14)

Для предварительных расчетов, когда величины  $\ell$  и  $E$  еще не известны, следует принимать

$$t_{\text{ср}} = 0,4 \cdot t_{\text{ст}}, ^\circ\text{C} . \quad (15)$$

В приведенных формулах (II) - (15):

$t_{\text{ст}}$  - принятая проектом температура внешней поверхности стенки замораживающей колонки,  $^\circ\text{C};$

$D_0$  - внешний диаметр замораживающей колонки, м;

$\rho$  - радиус промерзания пород от колонки, определяемый как

$$\rho = \sqrt{0,25 \cdot E^2 + 0,25 \cdot \ell^2} , \text{ м}; \quad (16)$$

$E$  - толщина ледопородного ограждения в замковой плоскости, м;

$\ell$  - расстояние между замораживающими колонками на расчетном горизонте, м.

Соответственно расчетному значению  $t_{\text{ср}}$  следует принимать прочностные показатели замороженных пород ограждения.

### 3. ТОЛЩИНА ЛЕДОПОРОДНОГО ОГРАЖДЕНИЯ СТВОЛА

#### Расчет по методу Ляме-Гадолина

Ледопородное ограждение рассматривается как жестко-упругий толстостенный цилиндр правильной формы и бесконечно большой длины, сжатый равномерно распределенной внешней нагрузкой. По условию прочности максимальное тангенциальное (круговое) напряжение на внутренней поверхности цилиндра не должно превышать допустимого напряжения на сжатие замороженных пород

$$[\sigma_{\sigma}] = 0,5 \cdot \overset{-38}{\sigma_c}, \text{ кг/см}^2, \quad (17)$$

где  $\sigma_c$  - предел мгновенной прочности замороженных пород на одноосное сжатие, кг/см<sup>2</sup> (табл. I2-I4, рис. I3-I8).

Расчетная формула имеет вид

$$E = 0,5 \cdot D_{\text{пр}} \cdot \left( \sqrt{\frac{[\sigma_{\sigma}]}{[\sigma_c] - 2 \cdot P}} - 1 \right), \text{ м} \quad (18)$$

Расчет по этому методу применять при глубине залегания подошвы водоносных неустойчивых пород до 100 м.

#### Расчет по методу О.Домке

Ледопородное ограждение рассматривается как упруго-пластический толстостенный цилиндр правильной формы и бесконечно большой высоты, сжатый равномерно распределенной внешней нагрузкой и вертикальным давлением от веса цилиндра. По условию прочности замороженные породы на внешней поверхности цилиндра не должны переходить в пластическое состояние, достигаемое в случае, когда разность наибольшего и наименьшего главных нормальных напряжений становится равной пределу прочности замороженных пород на сжатие. Для получения запаса прочности в формулу введен предел длительной прочности  $\sigma_{\text{дл}}$  - при действии нагрузки свыше 10-15 часов (табл. I1-I4, рис. I4-I9).

Расчетная формула в упрощенном виде

$$E = 0,5 \cdot D_{\text{пр}} \cdot \left[ 0,29 \cdot \left( \frac{P}{\sigma_{\text{дл}}} \right) + 2,3 \cdot \left( \frac{P}{\sigma_{\text{дл}}} \right)^2 \right], \text{ м} \quad (19)$$

### IV. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПОРОД

#### I. ПАРАМЕТРЫ ДВИЖЕНИЯ РАССОЛА

Конструкция замораживающих колонок и параметры движения в них рассола (расход, скорость, режим) должны обеспечивать возможно больший отбор тепла от пород в единицу времени при минимальных затратах энергии на движение рассола и потерях выработанного замораживающей станцией холода.

Соответственно принятой схеме замораживания колонки снабжают одной внутренней питающей или обратной трубой или обеими. Диаметры каждой из них и замораживающей трубы принимают по результатам расчетов из условия минимума полного гидравлического сопротивления движению рассола.

Гидравлическое сопротивление или потерю напора насоса при движении рассола на каждом участке трубопровода, отличающегося своими размерами и режимом движения рассола, следует определять по формуле

$$h_T = \lambda \frac{L}{d_{вн}} \cdot \frac{W^2}{2g}, \text{ м}, \quad (20)$$

а полное гидравлическое сопротивление - как сумму сопротивлений по всему пути движения рассола.

Здесь

- $d_{вн}$  - внутренний диаметр трубопровода, м;
- $L$  - длина участка трубопровода одного диаметра, м;
- $W$  - скорость движения рассола в трубопроводе, м/сек;
- $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$  - ускорение силы тяжести;
- $\lambda$  - коэффициент гидравлического сопротивления.

Скорость движения рассола в трубопроводе

$$W = \frac{q}{900 \cdot \pi \cdot d_{вн}^2}, \text{ м/сек}; \quad (21)$$

где

- $q$  - расход рассола через колонку, м<sup>3</sup>/час;
- $d_{вн}$  - внутренний диаметр трубопровода, м.

Для потока рассола в межтрубном пространстве колонки при наличии на ее рабочем участке одной питающей (или обратной) трубы вместо  $d_{вн}$  следует принимать эквивалентный диаметр

$$d_{эк} = D_{вн} - d_n, \text{ м}; \quad (22)$$

а при наличии на этом участке двух труб одинакового диаметра, из которых одна не работает,

$$d_{эк} = D_{вн} - \sqrt{2} \cdot d_i, \text{ м}, \quad (23)$$



где  $D_{вн}$  - внутренний диаметр замораживающей трубы, м;  
 $d_H$  - наружный диаметр питающей (обратной) трубы, м.

Коэффициент гидравлического сопротивления по длине трубопровода  $\lambda$  определяется в зависимости от режима движения рассола на данном участке трубопровода, характеризующегося числом Рейнольдса

$$Re = \frac{W \cdot d_{вн} \cdot \gamma}{\mu g}, \quad (24)$$

где, кроме указанных выше обозначений,

$\gamma$  - удельный вес рассола, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\mu$  - коэффициент динамической вязкости, кг сек/м<sup>2</sup>.

При  $Re \leq 2320$  режим движения ламинарный,  
 при  $Re > 2320$  - турбулентный.

При ламинарном режиме  $\lambda = \frac{64}{Re}; \quad (25)$

при турбулентном режиме  $\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}. \quad (26)$

Потери напора в стальных трубопроводах на единицу длины можно принимать по табл. 20, 21.

В качестве замораживающих труб следует применять специальные трубы типа ТЗК (трубы для замораживающих колонок); при их отсутствии для замораживания пород на глубину до 300 м с температурой рассола до - 25°С допускается применение труб всеядных муфтовых, ГОСТ 632-64, обсадных выпелельных групп прочности С, Д и Е. При выборе диаметров труб следует руководствоваться данными табл. 22.

Для замораживающих колонок с одной питающей (или отводящей) трубой средний диаметр последней по условию минимальных гидравлических сопротивлений при ламинарном (обычно) режиме движения рассола можно принимать из соотношения

$$d_{cp} = 0,5 (d_H + d_{BH}) = 0,58 D_{BH} \cdot m. \quad (27)$$

Для питающих и отводящих труб следует применять полиэтиленовые трубы (МРТУ 6 № М-821-61 и МРТУ 6 № М-856-61), а для замораживания пород на глубину до 200 м допускаются стальные водогазопроводные трубы, ГОСТ 3262-62.

## 2. ТЕМПЕРАТУРА РАССОЛА

Температура циркулирующего в замораживающей колонке рассола изменяется во времени и по длине колонки.

Значением рабочей температуры рассола  $t_p$  характеризуется полный теплообмен между рассолом в межтрубном пространстве колонки и окружающими породами на определенном горизонте с учетом тепловых потерь в процессе теплопередачи через стенку замораживающей колонки. Эту температуру определять по известной температуре внешней поверхности стенки колонки  $t_{CT}$  (заданной при расчете ледопородного ограждения ствола шахты) и перепаду температур на стенке

$$t_p = t_{CT} - \Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (28)$$

Приближенные значения перепада температур необходимо принимать по справочным данным (табл.26) или в общем случае определять по формуле

$$\Delta t = \frac{K}{\pi \cdot D_{BH} \cdot d}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (29)$$

где

- $D_{BH}$  - внутренний диаметр замораживающих труб колонки, м;
- $K$  - линейный (для 1 м труб) коэффициент теплопередачи колонки, ккал/м час  $^\circ\text{C}$  (см. раздел 3);
- $d$  - коэффициент теплоперехода, ккал/м<sup>2</sup> час  $^\circ\text{C}$ .

Коэффициент  $\alpha$ , в свою очередь, определяется по формуле

$$\alpha = 1,66 \frac{\lambda^{0,682}}{D_{вн}^{0,364}} \left( 3600 \frac{Wc\gamma}{H} \right)^{0,318}, \text{ ккал/м}^2\text{час}^\circ\text{C}, \quad (30)$$

- где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности рассола, ккал/м.час,  $^\circ\text{C}$ ;  
 $W$  - скорость движения рассола в замораживающей трубе колонки (межтрубном пространстве), м/сек;  
 $c$  - теплоемкость рассола, ккал/кг,  $^\circ\text{C}$ ;  
 $\gamma$  - удельный вес рассола, кг/м<sup>3</sup>.

Значениями температуры рассола на входе в замораживающую колонку  $t_1$  и на выходе  $t_2$  характеризуется работа всей замораживающей колонки с учетом внешнего теплообмена - с окружающими породами по всей глубине, и внутреннего - между нисходящим и восходящим потоками рассола через стенку питающей (обратной) трубы.

Для определения значений  $t_1$  и  $t_2$  по известному значению  $t_p$ , а также при определении температуры рассола на любой отметке глубины следует учитывать изменения температуры рассола на каждые 100 м глубины:

- в питающих и обратных трубах - на  $0,3 + 0,5^\circ\text{C}$ ;
- в межтрубном пространстве - на  $0,7 + 0,8^\circ\text{C}$ .

Приведенные данные справедливы для диаметров замораживающих труб и расходов рассола, принятых согласно рекомендациям настоящего временного руководства (табл.22).

### 3. ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЗАМОРАЖИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ

#### Коэффициент теплопередачи рабочего участка колонки

Для рабочего участка колонки общий коэффициент теплопередачи  $I$  и замораживающей трубы следует определять по формуле

$$K_p = \lambda_1 \frac{t_{cp}}{D_3} S_1 S_2 (t_{1p} - t_3), \text{ ккал/м.час} \quad (31)$$

где  $\lambda_1$  - коэффициент теплопроводности замороженной породы,

залегающей в интервале границ рабочего участка колонки,  
ккал/м.ч °С.

При залегаии разнородных пород в указанном интервале следует учитывать средневзвешенный по мощностям пластов коэффициент теплопроводности

$$\lambda_{ср} = \frac{1}{H_p} (\lambda_{1-1} h_1 + \lambda_{1-2} h_2 + \dots + \lambda_{1-n} h_n) \text{ ккал/м.ч}^\circ\text{С} \quad (32)$$

Здесь  $h_i$  - мощность в м,  $\lambda_{1-i}$  - коэффициент теплопроводности породы в замороженном состоянии каждого пласта в пределах длины рабочего участка колонки  $H_p$ .

$l_{ср}$  - среднее расстояние между замораживающими скважинами на всем интервале глубин, соответствующем рабочему участку колонки, м.

По данным производственного опыта, среднее для всего кольца скважин расстояние между ними на каком-либо горизонте

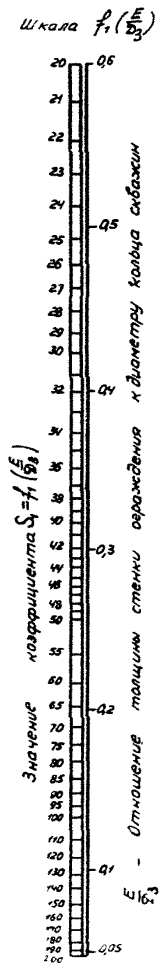
$$l_{ср} = l_0 + (0,1 \div 0,15) \cdot a, \text{ м}; \quad (33)$$

где  $a$  - допускаемое отклонение скважин от вертикали на данном горизонте, определяемое согласно формуле (5). Для рабочих участков протяженностью до 20+30 м следует принимать среднее расстояние между колонками, определяемое по формуле (33) для отметки нижней границы участка; для участков большой протяженности среднее расстояние между колонками следует определять по той же формуле для глубины, соответствующей середине рабочего участка колонки;

$D_3$  - диаметр окружности расположения замораживающих колонок на поверхности, м;  
 $S_1$  - функция отношения  $\frac{E}{D_3}$ , определяемая по шкале (рис. 20);  
 $S_2$  - функция величин  $E$  и  $l_{ср}$ , определяемая по таблице (приложение 27)

Примечание: При расчете средней холодопроизводительности станции на активном режиме следует принимать среднюю толщину стенки ограждения, равную 0,5 от проектной толщины (при малых толщинах для оценки средней холодопроизводительности следует пользоваться формулой проф. Н.Г. Трупака).

$t_j$  - температура замерзания подземной воды ( для пресной воды  $t_j = \pm 0^\circ\text{С}$  )



$E$  - расчетная толщина ледопородного ограждения, м;  
 $D_g$  - диаметр окружности заложения замораживающих связей, м.

Рис. 20. График для определения значений коэффициента  $S_1$

$t_{np}$  - приведенная температура осевой плоскости (средняя температура пород в осевой плоскости и самих колонок), определяемая по формуле

$$t_{np} = t_{ст} \left[ S_2 \left( 1 - \frac{d_k}{l_{cp}} \right) + \frac{\pi d_k}{2 l_{cp}} \right]. \quad (34)$$

Здесь  $t_{ст}$  - температура стенки колонки на входе в рабочий участок, назначаемая по температуре рассола с приведенными в табл.26 поправками;

$d_k$  - диаметр замораживающих колонок, м.

Изложенным расчетом определяется общий коэффициент теплопередачи колонки на рабочем участке  $K_p$ , необходимый для определения полной холодопроизводительности замораживающей станции. Действительный коэффициент теплопередачи колонки на конкретном горизонте пород  $K_d$ , необходимый для ряда контрольных расчетов при образовании ледопородного ограждения, следует определять по формуле (31) с учетом:

- значения коэффициента теплопроводности замороженной водоносной породы, залегающей на данном горизонте;
- среднего расстояния между колонками на том же горизонте;
- температуры внешней поверхности стенки замораживающей колонки  $t_{ст}$  на том же горизонте вместо температуры  $t_{np}$ .

Коэффициент теплопередачи нерабочего участка колонки

В пределах нерабочего участка колонки рассол движется по питающим и отводящим трубам, а в межтрубном пространстве практически находится в неподвижном состоянии (конвекционное перемешивание рассола не учитывается). Внешний (с окружающими колонку породами) и внутренний (между потоками рассола в питающей и отводящей трубах) теплообмен происходит через неподвижный рассол в межтрубном пространстве. По данным производственного опыта следует принимать коэффициент теплопередачи  $k$  м замораживающей трубы для нерабочего участка колонки

$$K_{np} = 0,5 \cdot K_p, \text{ ккал/м. час.} \quad (35)$$

Холодопроизводительность замораживающей станции

Холодопроизводительность замораживающей станции при рабочих условиях (расчетном значении температуры подаваемого в колонки рассола  $t_1$  и соответствующем значении температуры испарения аммиака) следует определять по формуле

$$Q_0 = 1,20 (K_p \cdot H_p + K_{np} \cdot H_{np}) N, \quad \text{ккал/час}, \quad (36)$$

где

$K_p$  и  $K_{np}$  - коэффициенты теплопередачи соответственно для рабочего и нерабочего участков колонки, ккал/м ч °С;

$H_p$  и  $H_{np}$  - протяженности по глубине соответственно рабочего и нерабочего участков колонки, м;

1,20 - коэффициент учета потерь холода (20%) в рассольной сети на поверхности;

$N$  - полное количество включаемых в работу замораживающих колонок, шт;

4. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ АКТИВНОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ ПОРОД

Продолжительность активного замораживания пород

$$T = \frac{(1 + \psi) q}{8 \cdot 24 (t_3 - t_{ст}) \lambda_1} \left[ \frac{\ell^2}{82} \ln \frac{\ell}{D_0} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{2P}{D_0} (8\rho^2 \arcsin \frac{\ell}{2P} - \sqrt{\ell^2 + 4\ell \sqrt{\rho^2 - 0,25\ell^2}}) \right], \quad \text{суток}. \quad (37)$$

Коэффициент учета теплопритока от охлаждаемых пород

$$\psi = \frac{\pi \cdot D_{np}^2}{4 \cdot N} \frac{q_1}{E \ell \cdot q} + 0,45 \frac{A}{q} \sqrt{\frac{q}{(t_3 - t_{ст}) \lambda_1} \ln \frac{2P}{D_0}}, \quad (38)$$

где постоянная

$$A = 1,13 t_H \sqrt{\lambda_2 c_2 \rho_2}. \quad (39)$$

В формулах (37-39)

$\ell$  - расстояние между замораживающими колонками (в м) на расчетном горизонте, определяемое по формулам (8) и (9), поскольку продолжительность активного замораживания рассчитывается по наиболее слабому участку ледопородного образования;

- $D_{пр}$  - диаметр ствола в проходке, м;  
 $D_0$  - внешний диаметр замораживающих труб колонки, м;  
 $\rho$  - радиус промерзания пород вокруг колонки, м; при расчете продолжительности активного замораживания до смыкания ледопородного ограждения следует принимать  $\rho = 0,5 \cdot l$ , а при расчете до получения полной необходимой толщины ограждения  $E$  - определять по формуле (16); следует иметь в виду, что  $\arcsin \frac{E}{2\rho}$  дает значение угла в радианах;  
 $t_H$  - начальная (естественная) температура пород, °C;  
 $t_z$  - температура замерзания воды в породах, °C;  
 $t_{ст}$  - температура внешней поверхности стенки замораживающей колонки на расчетном горизонте, °C;  
 $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  - коэффициенты теплопроводности породы соответственно в замороженном и естественном (талом) состоянии, ккал/м.ч. °C;  
 $\delta_2$  и  $c_2$  - соответственно объемный вес в кг/м<sup>3</sup> и теплоемкость в ккал/кг °C породы в естественном состоянии;  
 $q$  и  $q_1$  - количество отбираемого от породы тепла в ккал/м<sup>3</sup> (теплосодержание породы) соответственно при ее охлаждении от начальной (естественной) температуры до температуры  $t_{ср}$ , включая скрытую теплоту льдообразования, и при охлаждении до температуры льдообразования;  
 $N$  - полное количество работающих замораживающих колонок.

Количество отбираемого от пород тепла  $q$  и  $q_1$

$$q = i W_{об} \gamma_0 q_1 + a t_z + b t_{ср} + c t_H, \text{ ккал/м}^3; \quad (40)$$

$$q_1 = 0,5 \cdot c \cdot t_H, \text{ ккал/м}^3. \quad (41)$$

где

$i$  - льдистость (коэффициент учета части воды в породе, переходящей в лед); для глины  $i = 0,6$ , для чистого песка  $i = 1,0$ ;



- $W_{об}$  - объемная влажность породы в долях единицы;  
 $\gamma_в$  - объемный вес подземной воды, кг/м<sup>3</sup>;  
 $q_n$  - скрытая теплота льдообразования, для пресной воды  
 $q_n = 80$  ккал/кг, для рассолов  $q_n = 50$  ккал/кг;  
 $t_z$  - температура заморзания породы, °C; при пресной воде  
 принимать: для песков, песчаников, гравелитов  
 $t_z = + 0^{\circ}\text{C}$ ; для различных глин  $t_z = - 2^{\circ}\text{C}$ ;  
 $t_{ср}$  - средняя температура замороженной породы по всему  
 сечению в плане ледопородного ограждения  
 (см. III, разд. 2), °C;  
 $t_H$  - начальная (естественная) температура пород, °C.

Обобщенные коэффициенты определяются по формулам

$$a = 500 \cdot W_{об}; \quad (42)$$

$$b = 500 \cdot (1 + W_{об} - P); \quad (43)$$

$$c = 500 \cdot (1 + 2 W_{об} - P); \quad (44)$$

где  $P$  - пористость породы в долях единицы

Для определения  $q$  и  $q_1$  следует также пользоваться номограммами (рис. 11, 12).

## 5. ПАССИВНОЕ ЗАМОРАЖИВАНИЕ ПОРОД И ЕГО ДЛИТЕЛЬНОСТЬ

Замораживание пород, осуществляемое после достижения ледопородным ограждением проектных размеров, средней температуры и прочности для сохранения этих параметров до окончания проходки ствола и крепления его постоянной крепью на участке залегания водоносных пород, называется пассивным. Продолжительность пассивного замораживания

$$T_n = \frac{H - H_r}{V_{пр}}, \text{ суток} \quad (45)$$

где

$H$  - полная глубина замораживачи, м;

$H_r$  - глубина готового участка ствола к концу периода активного замораживания пород по проекту, м;

$V_{пр}$  - средняя проектная скорость проходки ствола на участке залегания водоносных пород, м/сутки. Эту скорость следует определить по сводному графику проходки,

предусматривающему выполнение всего комплекса входящих работ в соответствии с установленными для них нормативами затрат времени.

Рабочую холодопроизводительность замораживающей станции для периода пассивного замораживания, как правило, следует принимать равной в среднем половине рабочей холодопроизводительности станции в период активного замораживания. Для особо важных объектов с весьма сложными горногеологическими условиями проектной организацией по согласованию с заказчиком и производителем работ холодопроизводительность станции на период замораживания до полного пересечения стволом шахты водонесных пород может быть принята равной холодопроизводительности периода активного замораживания.

## У. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАМОРАЖИВАЮЩЕЙ СТАНЦИИ

### 1. АММИАЧНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

При проектировании замораживающей станции выбор аммиачных компрессоров необходимо производить с учетом:

- значений основных параметров режима работы и необходимой рабочей холодопроизводительности станции;
- типа и парка компрессоров, имеющих в наличии у производителя работ;
- номенклатуры выпускаемых промышленностью компрессоров (по каталогам заводов-изготовителей).

Основными параметрами работы замораживающей станции являются характеристики состояния аммиака:

- температура и давление испарения;
- температура и давление конденсации;
- температура перед регулирующим вентилем;
- степень сжатия в цилиндрах компрессоров.

Температуру испарения аммиака  $t_0$  по отношению к расчетной температуре подаваемого в замораживающие колонки рассола  $t_1$  (IV, разд. 2, стр. 42) следует принимать:

- при одноступенчатом цикле сжатия - ниже на  $5^{\circ}\text{C}$ ;
- при двухступенчатом - ниже на  $7-8^{\circ}\text{C}$ .

Давление испарения аммиака  $P_0$  при известной температуре испарения  $t_0$  определяется по табл.2.

Температуру конденсации аммиака  $t_k$  принимать на  $10^{\circ}\text{C}$  выше температуры, подаваемой в конденсаторы воды, а давление конденсации  $P_k$  также по табл.2 соответственно значению  $t_k$ .

Степень сжатия паров аммиака определяется отношением

$$\varepsilon_p = \frac{P_k}{P_0} \quad (46)$$

При расчетном значении  $\varepsilon_p \leq 8$  следует предусматривать работу станции по циклу одноступенчатого сжатия аммиака, а при  $\varepsilon_p > 8$  - предусматривать перевод станции на работу по циклу двухступенчатого сжатия аммиака после достижения температуры испарения минус  $20+25^{\circ}\text{C}$ . Необходимо иметь в виду, что при высокой степени сжатия возрастает необратимые потери, и суммарная холодопроизводительность одноступенчатых машин оказывается меньше суммарной холодопроизводительности тех же машин, переведенных на двухступенчатый цикл с той же общей степенью сжатия.

При двухступенчатом цикле сжатия отношение часового объема, описываемого поршнями цилиндров второй ступени, к часовому объему, описываемому поршнями цилиндров первой ступени, должно соблюдаться в пределах

$$\varepsilon_v = \frac{V_{ч2}}{V_{ч1}} = 0,2 + 0,4 \quad (47)$$

Давление переохлажденных паров аммиака в промежуточном сосуде

$$P_{пс} = \sqrt{P_0 \cdot P_k}, \text{ ати}, \quad (48)$$

рабочая холодопроизводительность компрессоров при работе по циклу двухступенчатого сжатия

$$Q_{ор} = V_{ч1} \cdot q_{вр} \cdot \lambda_1, \text{ раб.ккал/час}, \quad (49)$$

где  $V_{ч1}$  - часовой объем, описываемый поршнями цилиндров первой ступени,  $\text{м}^3/\text{час}$ ;

$q_{вр}$  - объемная холодопроизводительность  $1 \text{ м}^3$  аммиака при рабочих температуре испарения и температуре перед регулирующим вентилем ( $t_{рв}$  в этом случае определяется по формуле

- 51 -

$t_{p.v} = t_{пс} + 2 + 3^{\circ}$ , а  $t_{пс}$  по табл.2  
при известном  $P_{пс}$ );

$\lambda_I$  - коэффициент подачи цилиндров I ступени.

Для подбора аммиачных компрессоров по их рабочей холодопроизводительности следует пользоваться заводскими графиками-нормальми, либо пересчитывать холодопроизводительность в стандартную и руководствоваться справочными данными компрессоров (табл.28,29).

Пересчет холодопроизводительности производится по формуле

$$Q_{орт} = \frac{q_{vст} \cdot \lambda_{ст}}{q_{vr} \cdot \lambda_r} \cdot Q_{ор,ст.ккал/час, 50}$$

где

$q_{vст}$  и  $q_{vr}$  - объемная холодопроизводительность I кг аммиака при стандартных условиях ( $t_0 = -15^{\circ}$ ,  $t_k = +30^{\circ}$ ;  $t_{pв} = +25^{\circ}$ ) и при рабочих условиях работы компрессоров;

$\lambda_{ст}$  и  $\lambda_r$  - коэффициент подачи компрессоров при стандартных и рабочих условиях.

Необходимо предусматривать установку не менее двух компрессоров - по возможности одностипных или имеющих одинаковую рабочую холодопроизводительность. На периоды плановых и возможных внеплановых остановок отдельных компрессоров надо предусматривать одностипные резервные компрессоры на 25 - 50% расчетной рабочей холодопроизводительности станции. При подборе ранее бывших в эксплуатации компрессоров их фактическую холодопроизводительность (в зависимости от степени изношенности) следует принимать на 15 - 20% ниже паспортной.

## 2. ХОЛОДИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

### Испарители

Испарители нужно устанавливать для каждого компрессора и подбирать по теплопередающей поверхности, равной

$$F_{и} = \frac{Q_{ор}}{q_1}, \text{ м}^2, \quad (51)$$

где

$Q_{ор}$  - рабочая холодопроизводительность компрессора, принимаемая для данного расчета при температуре испаре-

ния аммиака: для одноступенчатого цикла  $t_0 = -18^{\circ}\text{C}$ ;  
для двухступенчатого  $t_0 = -30^{\circ}\text{C}$ , ккал/ч  
 $q_f$  - удельная тепловая нагрузка, принимаемая при  $t_0 = -18+20^{\circ}$ :  
для кожухотрубных испарителей  $2000+2250$  ккал/м<sup>2</sup>ч;  
для вертикальных трубных  $2500+3000$  ккал/м<sup>2</sup>ч;  
для панельных и других при  $t_0 = -30^{\circ}\text{C}$  и ниже -  
 $q_f \approx 1000 - 1250$  ккал/м<sup>2</sup>ч .

При кожухотрубных испарителях вся рассольная сеть получается закрытой, благодаря чему рассол поглощает меньше влаги из воздуха, дольше сохраняет необходимую концентрацию, дает меньшую коррозию аппаратов и трубопроводов. Однако, для компенсации изменения объема всей сети при изменении температуры необходимо устанавливать дополнительно резервуар для запаса рассола - расширительный бак. Вертикальные трубные и панельные испарители более удобны в монтаже и эксплуатации.

#### Конденсаторы

Для каждого компрессора предусматривается установка отдельного конденсатора с теплопередающей поверхностью

$$F_k = 1,2 \frac{Q_{0,p}}{q_f}, \text{ м}^2, \quad (52)$$

где

- $Q_{0,p}$  - рабочая холодопроизводительность компрессора, ккал/ч ;  
1,2 - коэффициент учета теплового эквивалента работы компрессора;  
 $q_f$  - удельная тепловая нагрузка на конденсатор, которую принимать для кожухотрубных горизонтальных и вертикальных конденсаторов -  $3500+4500$  ккал/м<sup>2</sup>ч; для оросительных с промежуточным отводом жидкого аммиака -  $3500+5000$  ккал/м<sup>2</sup>ч .

Кожухотрубные конденсаторы следует применять при наличии охлаждающей воды малой жесткости и незагрязненной механическими примесями, при холодопроизводительности компрессоров до 300-400 тыс. ккал/ч - горизонтальные, а при большей - вертикальные. Более простые в монтаже и эксплуатации оросительные конденсаторы

следует применять для станций из двух-трех компрессоров общей холодопроизводительностью до 600-800 тыс.ккал/час.

### Промежуточные сосуды

Промежуточные сосуды подбирать по их диаметру

$$D_{\text{пс}} = \sqrt{\frac{V_{\text{чI}} \cdot \lambda_{\text{I}}}{2800 \cdot W}}, \text{ м}, \quad (53)$$

где

$V_{\text{чI}}$  - суммарный часовой объем, описываемый поршнями цилиндров первой ступени, подающих пары аммиака в промежуточный сосуд, м<sup>3</sup>/час;

$\lambda_{\text{I}}$  - коэффициент подачи цилиндров первой ступени;

$W$  - допускаемая скорость движения паров аммиака в промежуточном сосуде (принимать в пределах 0,5 - 1,0 м/сек).

Коэффициент подачи необходимо принимать при значении степени сжатия цилиндров первой ступени, при достижении которой осуществляется перевод станции на работу по двухступенчатому режиму.

Промежуточные сосуды следует применять со встроенными змеевиками.

### Маслоотделители

Маслоотделитель для каждого компрессора надо подбирать по диаметру нагнетательного патрубка компрессора и применять барботажного типа (табл.34 и 35).

### Маслособиратели

На всю замораживающую станцию надо иметь один-два маслособирателя для сбора масла при поочередном подключении их к маслоотделителям. Тип маслособирателя выбирается соответственно холодопроизводительности установленных компрессоров (табл.35).

### Аммиачные трубопроводы

Расчет диаметров аммиачных трубопроводов производить по формуле

$$d = \sqrt{\frac{Q_{\text{оп}} \cdot V_0}{2800 \cdot W \cdot \rho_0}}, \text{ м}, \quad (54)$$

- где  $Q_{op}$  - рабочая холодопроизводительность одного или нескольких компрессоров, от которых аммиак подается в данный трубопровод, ккал/час;
- $\eta_0$  - удельная холодопроизводительность аммиака при рабочих условиях - температурах испарения, конденсации и перед регулирующим вентилем, ккал/кг;
- $V_0$  - удельный объем аммиака, находящегося в данном трубопроводе в жидком или газообразном состоянии, м<sup>3</sup>/кг; следует принимать: для жидкостных трубопроводов - при температуре, взятой для расчета рабочей холодопроизводительности компрессора к выбору испарителей (см. выше); для нагнетательных трубопроводов газообразного аммиака - при температуре паров его на выходе из компрессора (не выше 150<sup>0</sup>С); для всасывающих трубопроводов газообразного аммиака - при температуре его испарения;
- $W$  - допускаемая скорость движения аммиака в трубопроводе,  $\frac{м}{сек}$ ; для нагнетательных трубопроводов газообразного аммиака - 20 + 25 м/сек и всасывающих - 12 + 15 м/сек; для трубопроводов жидкого аммиака до регулирующего вентиля - 0,2 + 0,3 м/сек и после регулирующего вентиля - 0,1 м/сек.

Толщину стенок труб необходимо проверять расчетом на прочность при внутреннем давлении 40 кг/см<sup>2</sup>.

Для аммиачных трубопроводов применять стальные бесшовные трубы: горячекатаные, ГОСТ 8732-58 и холоднотянутые, ГОСТ 8734-58.

#### Рассольные трубопроводы

Расчет диаметров рассольных трубопроводов производить по формуле

$$d = \sqrt{\frac{Q_{op}}{2800 \cdot W \cdot \gamma \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}} \text{ , м. } \quad (35)$$

- где  $Q_{op}$  - рабочая холодопроизводительность замораживающей станции, ккал/час;
- $\gamma$  - удельный вес рассола принятой концентрации, кг/м<sup>3</sup>;
- $c$  - теплоемкость рассола при средней температуре его к

концу периода активного замораживания  $t_{\text{ср}} = 0,5(t_1 + t_2)$ ;

$t_1$  и  $t_2$  - соответственно температура рассола на входе в замораживающие колонки и на выходе из них; разность этих температур следует принимать при обычном режиме замораживания  $2^\circ\text{C}$ , при низкотемпературном -  $3 + 4^\circ\text{C}$ ;

$W$  - скорость движения рассола в трубопроводе, м/сек; для магистральных рассолопроводов следует принимать в пределах  $1,5 - 2$  м/сек.

Потери напора на отдельных участках рассольной сети следует определять по формуле (20) (IV, разд. I, стр. 39), а от местных сопротивлений - по формуле

$$h_m = \frac{\gamma}{2g} \cdot W^2 \sum \xi_m, \text{ м}, \quad (55)$$

где, кроме известных обозначений,  $\xi_m$  - коэффициент местного сопротивления движению рассола (табл. 36).

Рассольные насосы надо выбирать по каталогам при расчетных значениях производительности и полного напора, предусматривая один-два насоса в работе и не менее одного в резерве. Мощность электродвигателя насоса

$$N = \frac{Q_H \cdot H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta}, \text{ квт}, \quad (57)$$

где

$Q_H$  - расход рассола на каждый насос в работе, м<sup>3</sup>/час;

$H = \sum h_T + \sum h_m$  - полный напор в рассольной сети, м;

$\eta$  - коэффициент полезного действия насоса, принимаемый равным  $0,7 + 0,8$ .

Характеристики основных типов насосов, применяемых для замораживающих станций, приведены в табл. 37.



### 3. ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ

#### Расход воды

Вода расходуется на охлаждение аммиака для превращения его в конденсаторах из газа в жидкость и на охлаждение цилиндров компрессоров. При прямоточном водоснабжении использованная вода полностью сбрасывается, при циркуляционном - часть воды используется повторно с добавлением к ней необходимого количества свежей. Как правило, необходимо предусматривать циркуляционное водоснабжение замораживающих станций. Температура подаваемой воды не должна превышать + 25°C.

Общее количество подаваемой на конденсаторы в единицу времени воды

$$Q_{\text{в}} = \frac{1,2 Q_{\text{о.р}}}{1000 \cdot (t_{\text{в}2} - t_{\text{в}1})}, \text{ м}^3/\text{ч}. \quad (58)$$

где

$Q_{\text{о.р}}$  - рабочая холодопроизводительность станции, ккал/ч;  
 $t_{\text{в}1}$  и  $t_{\text{в}2}$  - температура воды, соответственно подаваемой на конденсаторы и выходящей из конденсаторов, °C;  
разность  $(t_{\text{в}2} - t_{\text{в}1})$  в зависимости от типов конденсаторов следует принимать в пределах 3-х (оросительные конденсаторы) - 5-ти (кислототрубные конденсаторы) °C.

Расход добавляемой свежей воды следует определять по формуле (58) с подстановкой вместо  $t_{\text{в}1}$  температуры свежей воды  $t_{\text{в.с.в.}}$  (при прямоточном водоснабжении также  $t_{\text{в}1} = t_{\text{в.с.в.}}$ ). В целом расход свежей воды следует принимать в размере 30-50% общей подачи на конденсаторы.

Расход свежей воды при циркуляционном водоснабжении с использованием охлаждающих устройств (градирен) определяется специальным теплотехническим расчетом.

При оросительных конденсаторах для компенсации потерь воды от испарения необходимо учитывать дополнительный расход ее в размере 0,003-0,005 м<sup>3</sup>/ч на каждую 1000 ккал тепла, отбираемого от аммиака на конденсаторах.

Расход воды на охлаждение цилиндров компрессоров следует принимать по паспортным данным компрессоров (табл. 28-29).

### Расход хлористого кальция

Необходимое количество рассола определяют по емкости рассольной сети - объемам заполнения замораживающих колонок, рассольных трубопроводов, испарителей (по их паспортным данным) и расширительного бака.

Концентрацию (плотность) рассола надо принимать такой, чтобы температура замерзания его была ниже температуры испарения аммиака на 8-10°C. Расход воды и соли  $CaCl_2$  для приготовления 1 м<sup>3</sup> рассола принимать по справочным данным (табл.1). Полная потребность в соли хлористого кальция должна приниматься с запасом на 15-20% больше расчетного.

### Расход аммиака

Расчет потребности в жидком синтетическом аммиаке следует производить по емкости элементов аммиачной сети и нормам их заполнения (табл.38) с учетом потерь при зарядке (10%) и в процессе эксплуатации (10% ежемесячно).

### Расход электроэнергии

Потребление электроэнергии за весь период работы

$$Q_{эл} = 24 \cdot T \cdot \sum K_{г-и} \frac{N_i}{\eta_i}, \quad \text{квтч}, \quad (59)$$

где

$T$  - длительность периода замораживания при работе определенного числа электродвигателей компрессоров, насосов, рассоломешалок, вентиляторов; суток;

$K_{г-и}$  - коэффициент загрузки каждого электродвигателя;

$N_i$  - номинальная мощность каждого электродвигателя, квт;

$\eta_i$  - к.п.д. электродвигателя по его паспортным данным .



## Приложения



Таблица I

## ОСНОВНЫЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРА ХЛОРИДНОГО КАЛЬЦИЙ (РАСОЛА)

Удельный вес при $t = 15^{\circ}\text{C}$ г/см <sup>3</sup>	Щелочность раствора	Температура замерзания, $^{\circ}\text{C}$	Содержание соли, г		Составные части для 1 м <sup>3</sup> раствора		Теплопроводность, $\lambda$ , ккал/м час. $^{\circ}\text{C}$ , при $t$ , $^{\circ}\text{C}$					Теплоемкость, $C$ ккал/кг $^{\circ}\text{C}$ , при $t$ , $^{\circ}\text{C}$					Вязкость динамическая, $\mu$ , $\text{с} \cdot 10^{-4}$								
			Ca	Cl	Ca	Cl	$\pm 0$	- 10	- 20	- 30	- 40	- 45	$\pm 0$	- 10	- 20	- 30	- 40	- 45	$\pm 0$	- 10	- 20	- 30	- 40	- 45	
			100 г воды	100 г воды	г Ca	г Cl	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г	г
1,10	13,2	-7,1	11,5	13,0	125,35	974,47	0,475	-	-	-	-	-	0,836	-	-	-	-	-	1,69	2,34	-	-	-	-	-
1,11	14,4	-8,1	12,6	14,5	136,6	971,4	0,472	-	-	-	-	-	0,822	-	-	-	-	-	1,75	2,43	-	-	-	-	-
1,12	15,6	-9,1	13,7	16,0	152,07	967,9	0,469	-	-	-	-	-	0,806	-	-	-	-	-	1,82	2,52	-	-	-	-	-
1,13	16,7	-10,2	14,7	17,2	164,6	965,4	0,466	0,436	-	-	-	-	0,795	0,789	-	-	-	-	1,90	2,61	4,14	-	-	-	-
1,14	17,8	-11,4	15,8	18,5	178,6	961,4	0,463	0,435	-	-	-	-	0,782	0,776	-	-	-	-	1,99	2,71	4,30	-	-	-	-
1,15	18,9	-12,7	16,8	20,2	191,52	958,5	0,460	0,433	-	-	-	-	0,770	0,764	-	-	-	-	2,08	2,82	4,45	-	-	-	-
1,16	20,0	-14,2	17,8	21,7	206,48	953,5	0,456	0,430	-	-	-	-	0,756	0,753	-	-	-	-	2,18	2,93	4,60	-	-	-	-
1,17	21,1	-15,7	18,9	23,3	221,13	948,9	0,452	0,427	-	-	-	-	0,747	0,742	-	-	-	-	2,28	3,05	4,76	-	-	-	-
1,18	22,1	-17,4	19,9	24,9	234,82	945,2	0,448	0,424	-	-	-	-	0,737	0,731	-	-	-	-	2,38	3,18	4,94	-	-	-	-
1,19	23,1	-19,2	20,9	26,5	248,71	941,3	0,444	0,421	-	-	-	-	0,727	0,721	-	-	-	-	2,50	3,34	5,17	-	-	-	-
1,20	24,2	-21,2	21,9	28,0	262,6	937,2	0,440	0,418	0,40	-	-	-	0,717	0,711	0,705	-	-	-	2,64	3,51	5,43	8,78	-	-	-
1,21	25,1	-23,3	22,8	29,6	275,88	934,1	0,436	0,416	0,398	-	-	-	0,708	0,702	0,696	-	-	-	2,78	3,68	5,72	9,19	-	-	-
1,22	26,1	-25,7	23,8	31,2	290,36	929,6	0,432	0,413	0,395	-	-	-	0,700	0,694	0,688	-	-	-	2,93	3,89	6,04	9,66	-	-	-
1,23	27,1	-28,3	24,7	32,9	303,81	926,2	0,428	0,410	0,393	-	-	-	0,692	0,686	0,680	-	-	-	3,10	4,10	6,39	10,2	-	-	-
1,24	28,0	-31,2	25,7	34,6	318,68	921,3	0,424	0,407	0,391	0,376	-	-	0,685	0,679	0,673	0,667	-	-	3,28	4,34	6,81	10,8	15,1	-	-
1,25	29,0	-34,6	26,6	32,6	332,5	917,5	0,421	0,404	0,389	0,375	-	-	0,678	0,672	0,666	0,660	-	-	3,46	4,61	7,22	11,4	16,2	21,4	24,2
1,26	29,9	-38,6	27,5	37,6	346,5	913,5	0,416	0,401	0,386	0,374	-	-	0,671	0,665	0,659	0,653	-	-	3,68	4,90	7,67	12,1	17,2	23,3	26,5
1,27	30,8	-43,6	28,4	39,7	360,68	909,3	0,412	0,398	0,384	0,373	0,359	-	0,664	0,658	0,652	0,646	0,640	0,636	3,94	5,22	8,18	12,9	18,2	26,4	29,8
1,28	31,7	-50,1	29,4	41,6	376,32	903,7	0,408	0,395	0,382	0,372	0,359	0,346	0,658	0,652	0,646	0,640	0,634	0,628	4,25	5,60	8,8	14,1	21,7	32,8	33,9
1,286	32,2	-55,0	29,9	42,7	384,51	901,5	0,406	0,393	0,381	0,371	0,360	0,349	0,654	0,648	0,642	0,636	0,630	0,623	4,42	5,80	9,22	14,7	23,0	30,0	37,6
1,29	32,5	-50,6	30,8	43,5	397,52	892,5	0,404	0,392	0,380	0,370	0,360	0,351	0,351	-	-	-	-	-	4,60	6,0	9,51	15,3	24,3	34,9	40,0
1,30	33,4	-41,6	31,2	45,4	405,6	894,4	0,400	0,389	0,377	0,369	0,360	-	0,645	-	-	-	-	-	4,96	6,46	10,3	16,5	27,1	40,5	47,2

ПАРАМЕТРЫ НАСЫЩЕННЫХ ПАРОВ АММИАКА (ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА АММИАКА)

Темпера- тура, °C	Давление абсолют- ное, 2 кг/см <sup>2</sup>	Удельный объем		Объемный вес		Энтальпия	
		жидкости л/кг	пара, м <sup>3</sup> /кг	жидкости кг/л	пара, кг/м <sup>3</sup>	жидкости, ккал/кг	пара, ккал/кг
1	2	3	4	5	6	7	8
+ 35	13,765	1,7023	0,0959	0,5875	10,431	139,65	407,97
34	13,874	1,6977	0,0986	0,5890	10,138	138,48	407,88
33	12,991	1,6932	0,1015	0,5906	9,852	137,22	407,78
32	12,617	1,6888	0,1045	0,5921	9,573	136,16	407,67
31	12,252	1,6844	0,1075	0,5937	9,300	135,00	407,55
+ 30	11,895	1,6800	0,1107	0,5952	9,034	133,84	407,43
29	11,546	1,6757	0,1140	0,5968	8,775	132,69	407,30
28	11,204	1,6714	0,1174	0,5983	8,521	131,54	407,17
27	10,870	1,6672	0,1209	0,5998	8,273	130,39	407,03
26	10,544	1,6630	0,1245	0,6013	8,031	129,24	406,89
+ 25	10,225	1,6588	0,1283	0,6028	7,795	128,09	406,75
24	9,915	1,6546	0,1322	0,6043	7,564	126,94	406,59
23	9,611	1,6507	0,1363	0,6058	7,339	125,80	406,43
22	9,314	1,6466	0,1405	0,6073	7,119	124,66	406,27
21	9,024	1,6426	0,1449	0,6088	6,904	123,52	406,10
+ 20	8,741	1,6386	0,1494	0,6103	6,694	122,38	405,93
18	8,196	1,6308	0,1591	0,6132	6,289	120,11	405,57
16	7,677	1,6231	0,1694	0,6161	5,904	117,85	405,19
14	7,183	1,6156	0,1806	0,6190	5,537	115,59	404,79
12	6,715	1,6081	0,1927	0,6218	5,189	113,35	404,38
+ 10	6,271	1,6008	0,2058	0,6247	4,859	111,11	403,95
8	5,849	1,5938	0,2200	0,6275	4,546	108,87	403,50

Таблица 2 (продолжение)

I	2	3	4	5	6	7	8
6	5,450	1,5866	0,2353	0,6303	4,250	106,65	403,04
4	5,073	1,5796	0,2520	0,6331	3,969	104,43	402,55
2	4,716	1,5727	0,2700	0,6358	3,703	102,21	402,04
± 0	4,379	1,5660	0,2897	0,6386	3,452	100,00	401,52
2	4,060	1,5594	0,3111	0,6413	3,216	97,79	400,98
4	3,761	1,5528	0,3344	0,6440	2,991	95,59	400,42
6	3,481	1,5464	0,3599	0,6467	2,779	93,40	399,85
8	3,216	1,5400	0,3878	0,6497	2,579	91,81	399,27
- 10	2,966	1,5338	0,4184	0,6520	2,390	89,03	398,67
11	2,847	1,5307	0,4348	0,6533	2,300	87,94	398,37
12	2,732	1,5276	0,4520	0,6546	2,213	86,85	398,06
13	2,621	1,5245	0,4700	0,6559	2,128	85,76	397,75
14	2,514	1,5215	0,4880	0,6572	2,046	84,68	397,44
- 15	2,410	1,5185	0,5087	0,6585	1,966	83,59	397,12
16	2,309	1,5155	0,5295	0,6598	1,889	82,50	396,79
17	2,211	1,5125	0,5513	0,6611	1,814	81,41	396,46
18	2,117	1,5096	0,5742	0,6624	1,742	80,33	396,13
19	2,027	1,5066	0,5983	0,6637	1,672	79,25	396,13
- 20	1,940	1,5037	0,6236	0,6650	1,604	78,17	395,46
21	1,856	1,5008	0,6502	0,6663	1,538	77,08	395,12
22	1,774	1,4980	0,6782	0,6676	1,474	76,01	394,77
23	1,695	1,4951	0,7076	0,6688	1,413	74,93	394,42
24	1,519	1,4923	0,7386	0,6701	1,354	73,86	394,07
25	1,546	1,4895	0,7713	0,6714	1,297	72,78	393,72
26	1,475	1,4867	0,8056	0,6726	1,242	71,71	393,26
27	1,407	1,4839	0,8418	0,6739	1,188	70,63	393,00
28	1,342	1,4811	0,8801	0,6752	1,136	69,56	392,64



Таблица 2 (продолжение)

I	!	2	!	3	!	4	!	5	!	6	!	7	!	8
29		1,273		1,4784		0,9204		0,6764		1,086		68,49		392,28
- 30		1,219		1,4757		0,9630		0,6777		1,038		67,42		391,91
31		1,161		1,4730		1,0080		0,6789		0,922		66,35		391,54
32		1,105		1,4708		1,0555		0,6801		0,948		65,28		391,17
33		1,051		1,4676		1,1058		0,6814		0,905		64,21		390,79
34		1,000		1,4649		1,1589		0,6826		0,863		63,15		390,41
35		0,950		1,4623		1,2151		0,6839		0,823		62,08		390,03
36		0,903		1,4597		1,2746		0,6851		0,785		61,01		389,65
37		0,857		1,4571		1,3377		0,6863		0,748		59,94		389,27
- 38		0,814		1,4545		1,4045		0,6875		0,712		58,88		388,88
- 40		0,732		1,5500		1,5500		0,6900		0,645		56,80		388,10
- 42		0,657		1,4442		1,715		0,6924		0,583		54,6		387,3
- 44		0,588		1,4392		1,901		0,6948		0,526		52,5		386,5
- 46		0,526		1,4342		2,112		0,6972		0,473		50,4		385,7
48		0,469		1,4293		2,351		0,6996		0,425		48,4		384,9
- 50		0,417		1,4245		2,623		0,7020		0,381		46,2		384,1
52		0,370		1,4197		2,933		0,7044		0,341		44,2		383,3
54		0,327		1,4150		3,288		0,7067		0,304		42,2		382,5
56		0,289		1,4103		3,693		0,7091		0,271		40,2		381,7
58		0,254		1,4056		4,161		0,7114		0,240		38,1		380,8
- 60		0,223		1,4010		4,699		0,7138		0,213		36,1		380,0

ТАБЛИЦА 3

ОБЪЕМНАЯ ХОЛОДОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АММИАКА, ККАЛ/М<sup>3</sup>

Температура испарения, °С	Температура перед регулирующим вентилем, °С													
	- 30	- 25	- 20	- 15	- 10	- 5	± 0	+ 5	+ 10	+ 15	+ 20	+ 25	+ 30	+ 35
- 70	34,2	33,6	33,0	32,4	31,8	31,2	30,6	30,0	29,4	28,7	28,1	27,5	26,8	26,2
- 67,5	40,6	39,9	39,2	38,5	37,8	37,0	36,3	35,6	34,9	34,1	33,4	32,6	31,9	31,1
- 65	48,0	47,2	46,4	45,5	44,7	43,8	43,0	42,1	41,3	40,4	39,5	38,6	37,8	36,9
- 62,5	56,0	55,6	54,6	53,7	52,7	51,7	50,7	49,7	48,7	47,6	46,6	45,6	44,5	43,5
- 60	66,5	65,4	64,2	63,1	61,9	60,8	59,6	58,4	57,2	56,0	54,8	53,6	52,4	51,1
- 57,5	77,5	76,2	74,9	73,5	72,2	70,9	69,5	68,1	66,7	65,4	64,0	62,5	61,1	59,7
- 55	90,2	88,6	87,1	85,5	84,0	82,4	80,8	79,2	77,6	76,0	74,4	72,8	71,1	69,5
- 52,5	104,5	102,7	100,9	99,1	97,3	95,5	93,7	91,9	90,0	88,2	86,3	84,4	82,5	80,6
- 50	120,7	118,7	116,6	114,6	112,5	110,4	108,3	106,2	104,1	101,9	99,8	97,6	94,4	91,2
- 47,5	138,6	136,3	134,0	131,6	129,2	126,8	124,4	122,0	119,6	117,6	114,5	112,2	109,7	107,1
- 45	158,8	156,2	153,5	150,8	148,1	145,3	141,6	139,8	137,6	134,3	131,8	128,6	125,7	122,8
- 42,5	181,5	178,4	175,4	172,3	169,2	166,1	163,0	159,8	156,7	153,5	150,3	147,0	143,8	140,5
- 40	206,9	203,4	200,0	196,5	192,9	189,4	185,9	182,3	178,7	175,1	171,4	167,7	164,0	160,3
- 37,5	234,6	230,7	226,8	222,8	218,8	214,8	210,8	206,8	202,9	198,8	194,6	190,4	186,2	182,0
- 35	265,5	261,1	256,7	252,2	247,7	243,2	238,7	234,1	229,6	224,9	220,3	215,6	210,8	206,1
- 32,5	299,4	294,5	289,5	284,4	279,4	274,4	269,3	264,1	259,1	253,9	248,6	243,4	238,0	232,7
- 30	337,0	331,4	325,8	320,2	314,5	308,8	303,1	297,4	291,6	285,8	279,9	274,0	268,0	262,0
- 27,5	378,0	371,7	365,5	359,2	352,9	346,5	340,1	333,7	327,3	320,8	314,2	307,6	300,9	294,2
- 25	423,1	416,2	409,2	402,1	395,1	388,0	380,9	373,7	366,4	359,2	351,9	344,4	336,9	329,4
- 22,5	472,2	464,4	456,7	448,8	441,0	433,1	425,2	417,2	409,2	401,2	393,0	384,7	376,4	368
- 20	526,0	517,4	508,8	500,1	491,4	482,6	473,8	464,9	456,0	447,0	437,9	428,8	419,5	410,2
- 17,5	584,4	574,9	565,3	555,7	546,0	536,3	526,5	516,7	506,9	496,9	486,9	476,8	466,5	456,2
- 15	648,1	637,6	627,0	616,3	605,6	594,9	584,1	573,2	562,3	551,2	540,1	528,9	517,6	506,2
- 12,5	716,9	705,3	693,6	681,8	670,0	658,1	646,2	634,2	622,3	610,1	597,8	585,5	573,0	560,4
- 10	791,7	778,9	766,0	753,1	740,1	727,0	713,8	700,6	687,2	673,8	660,3	646,7	633,0	619,0
- 7,5	872,2	858,1	843,9	829,7	815,4	801,0	786,6	772,0	757,4	742,6	727,8	712,8	697,8	682,5
- 5	959,1	943,7	928,1	912,5	896,8	881,1	865,2	849,2	833,1	816,9	800,7	784,2	767,7	751
- 2,5	1046,5	1029,7	1012,8	995,8	978,7	961,5	944,3	926,9	914,7	896,9	879,1	861,1	843	824,7
± 0	1153,2	1134,8	1116,2	1097,4	1078,7	1059,8	1040,8	1021,7	1002,5	983,1	963,5	943,9	924,1	904

## ТЕМПЕРАТУРА ЗАМЕРЗАНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРОСТЫХ РАСТВОРОВ В °С

Вещество в растворе	Содержание вещества в граммах на 1 литр чистой воды									Криогидратная точка, °С	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>
	10	25	50	75	100	125	150	175	200		
<i>NaCl</i>	- 0,7	- 1,7	- 3,0	- 4,4	- 6,0	- 7,5	- 9,5	- 11,0	- 13,0	- 21,2	1,175
<i>KCl</i>	- 0,6	- 1,4	- 2,9	- 4,4	- 5,8	- 7,3	- 9,8	- 10,0	-	- 11,1	-
<i>MgCl<sub>2</sub></i>	- 0,6	- 1,4	- 3,0	- 4,8	- 6,9	- 9,7	- 13,0	- 17,1	- 22,0	- 33,6	1,184

Таблица 5

ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАМЕРЗАНИЯ<sup>1)</sup> НЕКОТОРЫХ СЛОЖНЫХ РАСТВОРОВ (по данным НИИОПС)

Состав раствора	NaCl	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	175	175	175	175	175	175	175	175
	MgCl <sub>2</sub>	20	20	50	50	70	70	70	100	100	100	120	20	20	50	50	50	70	70	100
	CaCl <sub>2</sub>	20	50	20	70	50	70	100	70	100	120	120	20	50	20	50	70	50	100	70
Температура	°C	-6,8	-8,8	-10,0	-13,3	-14,5	-15,7	-18,5	-24,4	-27,8	-33,2	-38,5	-17,6	-20,8	-21,5	-25,7	-26,4	-26,9	-30,5	-33,0
Состав раствора	NaCl	50	50	50	50	50	50	50	175	175	175	175	175							
	MgCl <sub>2</sub>	10	20	30	50	80	100	200	10	20	30	50	80							
Температура	°C	-3,4	-4,0	-5,1	-8,7	-11,3	-17,5	-35,0	-13,6	-15,8	-17,6	-21,1	-26,3							
Состав раствора	NaCl	50	50	50	50	50	50	175	175	175	175	250	250							
	CaCl <sub>2</sub>	10	20	50	70	100	120	20	50	70	100	10	50							
Температура	°C	-3,0	-4,1	-6,1	-7,4	-9,7	-11,4	-13,7	-17,2	-19,7	-23,0	-21,6	-23,6							

1. Температурой замерзания или начала кристаллизации называется температура, при которой кристаллы растворителя находятся в равновесии с раствором данного состава.
2. Приведенные данные действительны для микрообъемов растворов (в порах пород); при микрообъемах происходит расслаивание растворов на лед и растворы повышенной концентрации

ТАБЛИЦА ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД

Наименование характеристик	Обозначение	Едиг. измер.	Методы определения
I	2	3	4
Объем отобранного образца породы с естественной (не нарушенной) структурой	$V$	см <sup>3</sup>	Лабораторный
Объем твердого материала (скелета) породы в объеме $V$	$V_1$	"	- " -
Объем пор в объеме $V$	$V_2$	"	- " -
Объем воды в объеме		"	- " -
Вес скелета породы в объеме	$g_1$	г	- " -
Вес воды в порах в объеме породы $V$	$g_2$	г	- " -
Удельный вес породы	$\gamma_0$	г/см <sup>3</sup>	$\frac{g_1}{V_1}$
Удельный вес воды	$\gamma_в$	г/см <sup>3</sup>	
Объемный вес породы	$\gamma$	г/см <sup>3</sup>	$\frac{g_1 + g_2}{V_1 + V_2}$
Объемный вес скелета породы	$\delta$	г/см <sup>3</sup>	$\frac{g_1}{V_1 + V_2}$
Пористость	$P$	в долях единицы	$1 - \frac{\delta}{\gamma}$
Коэффициент пористости	$\epsilon$	- " -	$\frac{P}{1-P}$
Коэффициент пористости при полном заполнении пор водой	$\epsilon_n$	- " -	$W \cdot \frac{\gamma_в}{\gamma}$
Влажность весовая	$W$	- " -	$\frac{g_2}{g_1}$
Влажность объемная	$W_V$	- " -	$W \cdot \gamma$
Влагоемкость (влажность при полном заполнении пор водой)	$W_n$	- " -	$\epsilon \frac{\gamma_в}{\gamma_0}$
Коэффициент влажности (влажность относительная) или коэффициент насыщения	$G$	- " -	$W \frac{\gamma_в}{\epsilon \cdot \gamma_в}$
Взвешенный объемный вес породы (расчетный объемный вес породы, находящейся ниже горизонта подземных вод и испытывающей взвешивающее действие воды)	$\gamma'$	г/см <sup>3</sup>	$\frac{g_1 - g_2}{1 + \epsilon}$ или $(\gamma_0 - \gamma_в)(1 - P)$

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Наименование пород	Коэффициент теплопроводности, $\lambda$ ккал/м.ч. °С	Коэффициент температуропроводности, $a \cdot 10^8$ , м <sup>2</sup> /ч
Гранит	2,0-3,5	2,2-9,7
Кварцево-полевошпатовый порфир	2,9	-
Лемза	0,22 <sup>1)</sup> -0,43 <sup>2)</sup>	-
Альбитит	1,8	-
Диорит	2,0	4,4
Андезиты	2,6	до 4,5
Снежинты	1,6-1,9	~3,2
Габбро	1,5-2,5	2,8-4,8
Диабазы	1,8-2,0	-
Базальты	1,2-2,4	2,4-4,2
Дунит	4,3	-
Глинистые сланцы	0,5-1,5	-
Сланцы	1,5-2,0	-
Окварцеванные сланцы	2,2-4,0	-
Кварцит	2,5-5,5	от 4,3 до 11,1 и более
Мрамор	1,7-3,0	3,1-5,3
Гранит-гнейс	1,6-3,01	до 5,62
Глины	0,15-1,5	-
Пески	0,3-3,0	-
Песчаники	0,6-5,0	1,6-8,7
Известняки	0,7-3,5	1,8-7,1
Мел	0,8	-
Доломиты	до 4,0	до 8,0
Мергели	0,8-1,9	-
Гипс	0,65-1,1	1,1
Ангидрит	3,6	-
Каменная соль	6,2	14,8
Угли	0,15-4,0	0,4 и более
Антрацит	0,18-0,25	-

Примечание: 1) лемза сухая; 2) лемза влажная.

Таблица 8

## УГОЛ ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПОРОД

П о р о д ы	Объемный вес, т/м <sup>3</sup>	Угол внутрен- него трения, $\varphi$	Среднее зна- чение коэффи- циента, $\frac{\operatorname{tg} \frac{90-\varphi}{2}}$
Плывучие пески, плавумы	1,5-1,8	0,18°	0,76
Рыхлые породы, галька, песок	1,7	18-26°34'	0,45
Наносы, слежавшиеся грунты, сырой песок, суглинок	1,5-1,7	26°34'-50°	0,217
Мягкие глинистые сланцы, глина, мергель	1,8-2,3	50-70°	0,072
Известняки, песчаники средней плотности, креп- кие глинистые сланцы	2,5-2,8	70-80°	0,017

Таблица 9

ПОРИСТОСТЬ ОСНОВНЫХ ТИПОВ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Наименование пород	Пористость, %			
	от	до	наиболее вероятные значения	
			от	до
Пески	4	55	20	35
Песчаники	~ 0	40	5	30
Лессы	40	55	-	-
Алевриты	< I	> 40	3	25
И л ы	2	96	50	70
Глины	~ 0	75	20	50
Аргиллиты			5	20
Известняки	~ 0	> 35	1,5	15
Мел	40	55	40	50
Доломиты	< 2	> 35	3	20

Таблица 10

ПОРИСТОСТЬ НЕКОТОРЫХ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Наименование пород	Пористость, %	
	в пределах	в среднем
Гравий	до 35,0-40,0	27,0
Пески однородные	от 25,0 до 47,0	40,0
Пески разномерные с гравием	от 35,0 до 40,0	38,0
Пески мелкозернистые	-	42,0
Суглинки	от 44,0 до 47,0	47,0
Глины	до 52,0-55,0	50,0
Супеси	-	45,0



Таблица II

ЗНАЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ  
 $f$  ( $\Sigma = 720$  ч) ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОРОД

Порода	Тем- пера- тура, °С	Коеф. влаж- ности	Длит. проч. на сжатие, кг/см <sup>2</sup>	МГМ		Коеф. влаж- ности	Длит. проч. на сжатие, кг/см <sup>2</sup>	МГМ		Коеф. влаж- ности	Длит. проч. на сжатие, кг/см <sup>2</sup>	МГМ	
				М	Г			М	Г			М	Г
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<u>Пористость породы, %</u>													
		p=38			p=42			p=46					
	- 4	0,27	16,7	1,83	0,36	16,0	2,08	0,21	6,2	2,20			
		0,75	35,5	1,90	0,63	23,0	2,15	0,69	20,0	2,15			
		0,90	41,3	2,02	0,74	28,7	2,22	0,93	23,3	2,50			
есок редней рупности	- 8	0,27	23,7	1,78	0,36	22,0	2,04	0,23	10,0	2,13			
		0,52	30,0	2,16	0,64	31,3	2,13	0,34	16,5	2,20			
		0,74	42,7	2,02	0,78	39,3	2,12	0,78	28,0	2,45			
	-14	0,28	33,4	1,74	0,20	21,8	1,90	0,26	19,5	2,14			
		0,84	57,3	2,10	0,36	30,0	2,00	0,57	30,0	2,18			
		1,00	66,7	1,97	0,58	40,0	2,20	0,73	36,7	2,32			
		p=42			p=46			p=50					
	- 4	0,30	5,3	3,90	0,23	3,4	2,65	0,19	2,1	2,90			
		0,62	8,9	3,03	0,48	5,9	3,30	0,38	4,4	2,75			
		0,98	12,6	2,75	0,63	7,8	2,93	0,71	5,6	3,60			
влеватый песок	- 8	0,27	8,3	2,60	0,16	4,0	2,48	0,21	4,2	2,86			
		0,48	12,6	2,70	0,42	9,0	3,18	0,46	6,6	2,98			
		0,98	21,6	2,64	0,80	16,0	2,98	0,68	10,9	3,50			
		p=40			p=42			p=48					
	-14	0,33	14,0	2,74	0,33	15,8	2,50	0,28	10,0	3,00			
		0,73	30,7	2,37	0,60	23,4	2,60	0,56	17,9	3,10			
		0,82	34,0	2,42	0,92	34,4	2,70	0,90	28,6	3,16			
		p=40			p=45			p=50					
Глина	- 4	0,38	5,0	2,80	0,36	3,5	3,06	0,31	1,7	3,20			
		0,61	8,0	2,85	0,48	5,2	2,75	0,61	4,0	3,20			
		0,78	8,5	2,90	0,81	7,6	3,00	0,88	4,6	3,25			

Таблица II (продолжение)

	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II
Глина		0,33	8,3	2,70	0,40	8,7	2,65	0,40	5,2	3,00	
- 8		0,53	11,6	2,75	0,85	12,1	2,90	0,56	7,4	3,10	
		0,71	13,6	2,80	0,93	12,2	2,95	0,90	9,0	3,15	
		p=40			p=44			p=48			
		0,44	15,0	2,65	0,37	11,0	2,78	0,29	6,4	2,80	
-14		0,68	20,4	2,72	0,65	17,0	2,82	0,72	13,7	2,90	
		0,84	22,4	2,68	0,91	19,4	2,90	0,98	15,4	3,00	

ЗНАЧЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОРОД НА СЖАТИЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ  $t$

Для песка средней крупности  $\sigma_{сж} = \sigma' + c \cdot \sqrt{t}$

Для пылеватого песка и глины  $\sigma_{сж} = \sigma' + c \cdot t$

Порода	Пористость $\rho, \%$	Весовая влажность $W, \%$	Степень влажности, %	При кратковременном воздействии нагрузки, $t = 30$ сек		При длительном воздействии нагрузки, $t = 720$ ч			
				$\sigma', \text{кг/см}^2$	$t, \text{с}$	$\sigma', \text{кг/см}^2$	$t, \text{с}$		
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Песок средней крупности	38		6,2	0,27	1,3	13,8	0,9	7,1	
				10,0	0,44	11,2	17,1	3,3	9,7
				16,7	0,73	21,9	21,5	5,3	13,2
				22,5	0,97	37,6	21,6	13,0	14,4
	42			6,6	0,24	1,1	10,4	0,5	6,1
				9,3	0,34	4,8	14,3	0,8	8,9
				16,7	0,62	6,9	21,8	1,8	13,5
				22,0	0,82	11,2	26,2	5,8	15,7
	46			8,6	0,27	0,8	9,6	1,0	4,6
				14,1	0,44	3,0	13,4	1,2	6,4
				23,4	0,73	7,0	19,3	3,6	8,7
				32,4	0,97	11,3	23,8	4,2	11,0
Пылеватый песок	42		8,1	0,30	5,1	2,3	0,7	1,0	
				15,0	0,56	8,6	3,7	2,0	1,6
	45			23,0	0,85	11,5	5,2	2,7	2,1
				9,6	0,20	4,0	2,1	0,5	0,8
	50			17,6	0,55	7,2	3,5	1,5	1,3
				27,2	0,85	10,2	4,7	1,8	2,0
Глина	40		11,4	0,30	2,0	2,0	0,2	0,7	
				20,5	0,55	4,7	3,6	0,4	1,1
			30,0	0,80	5,5	4,6	0,6	1,5	
			8	0,33	5,9	2,0	1,4	0,8	
			16	0,66	10,2	3,1	2,8	1,1	
			24	0,98	15,7	3,5	4,3	1,5	

Таблица 12 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8
Глина	45	10	0,33	3,8	1,7	0,6	0,75
		18	0,60	6,0	3,7	1,4	1,1
		27	0,90	8,3	3,4	3,3	1,25
	50	12,4	0,33	1,0	1,4	0,2	0,6
		22,4	0,60	4,5	2,3	0,4	0,9
		31,7	0,85	5,0	3,2	0,7	1,1

ЗНАЧЕНИЕ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОРОД НА СЖАТИЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕСОВОЙ ВЛАЖНОСТИ  $W$

Общая формула  $\sigma_{сж} = d \cdot W^n$  ;

для глины при длительном воздействии нагрузки  $\sigma_{сж} = \frac{W}{d+n \cdot W}$

Порода	Пористость, Р %	Температура $t, ^\circ\text{C}$	При кратковременном воздействии нагрузки, $\tau = 30 \text{ сек}$		При длительном воздействии нагрузки, $\tau = 720 \text{ ч}$	
			$d$	$n$	$d$	$n$
Песок средней крупности	38	- 4	7,1	0,80	3,3	0,86
		- 8	11,3	0,72	5,3	0,75
		- 17	18,3	0,63	7,6	0,71
	42	- 4	4,1	0,91	2,1	0,92
		- 8	5,1	0,84	3,2	0,88
		- 15	9,0	0,84	6,2	0,79
46	- 4	3,3	0,84	3,3	0,70	
	- 8	5,2	0,79	3,5	0,71	
	- 15	7,5	0,76	4,3	0,70	
Пылеватый песок	42	- 4	2,6	0,80	0,1	0,73
		- 6	4,8	0,76	1,9	0,72
		- 14	7,3	0,78	3,2	0,74
	46	- 4	2,3	0,76	0,1	0,65
		- 8	3,3	0,82	0,1	0,81
		- 14	6,7	0,77	1,7	0,84
50	- 4	1,3	0,83	1,0	0,54	
	- 8	2,0	0,91	0,1	0,70	
	- 14	4,5	0,88	1,3	0,82	
Глина	40	- 4	3,0	0,72	1,32	0,042
		- 8	5,4	0,67	0,84	0,027
		- 14	10,5	0,57	0,43	0,026
	45	- 4	2,0	0,73	2,38	0,04
		- 8	3,2	0,73	1,22	0,034
		- 14	5,6	0,70	0,65	0,026
50	- 4	0,1	0,73	5,0	0,050	
	- 8	1,7	0,79	2,0	0,046	
	- 14	2,6	0,84	1,1	0,030	

Таблица I4

ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОРОД НА СЖАТИЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОРИСТОСТИ P

Для глины и песка средней крупности при условно-мгновенном воздействии нагрузки  $\sigma_{сж} = \sqrt{m - qP}$

Для пылеватого песка и песка средней крупности при длительном воздействии нагрузки  $\sigma_{сж} = m - qP$

Порода	Температура, °C t	Коэффициент влажности	При кратковременном воздействии нагрузки, $\tau = 30$ сек.		При длительном воздействии нагрузки, $\tau = 720$ ч	
			m	q	m	q
Песок средней крупности	-4	0,3	3750	70	56,1	1,0
		0,6	13500	260	102,8	2,4
		0,9	22400	420	135,2	2,4
	-8	0,3	7200	137	61,8	1,0
		0,6	19120	354	110,2	1,9
		0,9	30780	550	136,5	2,2
	-15	0,3	13150	248	66,0	1,0
		0,6	30800	550	116,0	1,8
		0,9	42950	720	157,3	2,5
Пылеватый песок	-4	0,3	39,2	0,60	11,3	0,2
		0,6	55,3	0,70	23,0	0,4
		0,9	73,7	0,96	37,7	0,6
	-8	0,3	48,7	0,6	23,3	0,4
		0,6	79	0,9	39,8	0,6
		0,9	85	0,8	57,0	0,9
	-14	0,3	62	0,6	42,2	0,7
		0,6	118	1,3	58,4	0,8
		0,9	154	1,6	67,0	0,85
Глина	-4	0,33	736	14	85	1,6
		0,6	1760	23	215	4
		0,9	3180	60	380	7
	-8	0,33	1625	29	205	3,6
		0,6	3720	66	538	9,6
		0,9	6200	109	920	16,6
	-14	0,33	3840	67	615	11
		0,60	9020	158	1130	19,2
		0,9	11760	125	1806	31

Таблица 15

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ СЦЕПЛЕНИЯ И УГЛА ВНУТРЕННЕГО ТРЕНИЯ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОРОД

Температура t, °C	Песок средней крупности						Пылеватый песок						Глина																																																											
	влаж- ность W, %	коэффи- циент влаж- ности	время действия нагрузки				влаж- ность, W, %	коэффи- циент влажнос- ти	время действия нагрузки				влаж- ность, W, %	коэффи- циент влаж- ности	время действия нагрузки																																																									
			τ = 30 сек		τ = 720 ч				τ = 30 сек		τ = 720 ч				τ = 30 сек		τ = 720 ч																																																							
			сцеп- ление, кг/см <sup>2</sup>	угол внутрен- него тре- ния, φ	сцеп- ление, кг/см <sup>2</sup>	угол внутрен- него тре- ния, φ			сцеп- ление, кг/см <sup>2</sup>	угол внутрен- него тре- ния, φ	сцеп- ление, кг/см <sup>2</sup>	угол внутрен- него тре- ния, φ			сцеп- ление, кг/см <sup>2</sup>	угол внутрен- него тре- ния, φ	сцеп- ление, кг/см <sup>2</sup>	угол внутрен- него тре- ния, φ	сцеп- ление, кг/см <sup>2</sup>	угол внутрен- него тре- ния, φ																																																				
Пористость породы P, %																																																																								
	P=38						P=42						P=40																																																											
- 4	6,5	0,28	8,2	28°30'	3,7	28°17'	6,8	0,25	3,9	25°12'	1,3	26°36'	9,3	0,31	4,3	24°00'	1,4	23°00'	13,0	0,57	17,3	25°00'	8,5	26°48'	12,6	0,42	6,1	24°12'	1,8	22°00'	17,9	0,78	22,0	23°00'	11,1	25°48'	20,8	0,70	10,3	26°36'	4,0	26°36'	22,2	0,74	10,1	16°48'	3,1	16°30'																								
- 8	5,98	0,25	11,2	29°10'	5,0	28°49'	7,2	0,24	6,1	28°30'	2,5	29°20'	9,2	0,31	8,0	15°12'	2,5	12°50'	12,0	0,52	20,0	25°54'	9,7	25°52'	13,5	0,50	11,5	24°00'	5,0	25°12'	12,8	0,43	11,2	13°48'	3,9	12°00'	23,0	1,0	31,2	21°00'	17,1	21°38'	20,9	0,78	18,0	23°40'	6,5	25°48'	17,3	0,58	13,8	15°18'	4,8	14°12'	6,5	0,28	14,8	27°00'	7,3	20°30'	21,9	0,81	30,9	16°12'	11,2	17°48'	28,0	0,93	25,8	13°24'	9,9	13°24'
	P=42						P=46						P=45																																																											
- 4	9,5	0,37	10,6	27°00'	4,0	28°24'	10,7	0,33	3,8	27°42'	1,5	29°30'	12,8	0,42	2,9	28°00'	0,9	23°30'	22,5	0,87	21,8	21°20'	9,6	21°40'	20,6	0,65	6,9	26°36'	2,5	26°36'	25,2	0,83	5,5	24°12'	1,8	16°42'	25,6	0,98	24,8	22°10'	11,2	20°00'	28,6	0,90	10,8	25°18'	3,7	26°06'	31,0	1,00	7,7	21°02'	2,5	12°00'																		
- 8	7,4	0,27	10,8	24°40'	4,6	24°10'	10,7	0,34	5,4	28°12'	2,0	27°36'	9,0	0,30	5,6	27°12'	1,9	22°00'	17,0	0,63	21,7	21°30'	10,9	20°00'	17,0	0,53	10,8	22°24'	4,5	23°54'	14,6	0,49	9,4	21°24'	2,9	19°06'	25,8	0,96	32,5	18°15'	12,7	23°00'	23,5	0,74	15,2	18°48'	5,3	21°00'	24,0	0,80	12,8	16°24'	4,0	12°18'																		
-14	6,3	0,24	13,6	22°00'	6,4	18°10'	6,4	0,20	7,8	25°12'	3,5	25°30'	18,4	0,61	16,4	21°24'	4,9	15°16'	16,0	0,62	27,2	15°50'	13,7	16°30'	18,7	0,59	20,6	22°10'	7,4	22°54'	22,8	0,76	18,8	13°54'	6,3	12°00'	24,0	0,92	36,1	16°00'	16,6	19°40'	27,8	0,88	32,5	17°15'	10,4	19°48'	30,8	1,00	21,3	14°06'	7,1	13°24'																		

87

ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОГО СЦЕПЛЕНИЯ  
ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОРОД (ЗА ВРЕМЯ  $\tau$ , мин.)

$$K_{дл} = \frac{\beta}{\ln\left(\frac{\tau}{B}\right)}$$

	Темпе- ратура $t, ^\circ\text{C}$	Коеф- фици- ент влажн.	Параметры		Коеф- фици- ент влажн.	Параметры	
			$\beta, \text{кг/см}^2$	$B, \text{мин.}$		$\beta, \text{кг/см}^2$	$B, \text{мин.}$
Перистость P, %							
			P=38			P=42	
	- 4	0,28	76,5	$4,5 \cdot 10^{-5}$	0,37	73	$5,00 \cdot 10^{-4}$
		0,57	189	$8,76 \cdot 10^{-6}$	0,87	198	$5,00 \cdot 10^{-5}$
		0,78	250	$5,89 \cdot 10^{-6}$	0,98	235	$3,47 \cdot 10^{-5}$
Песок сред- ней крупности	- 8	0,25	103	$4,50 \cdot 10^{-5}$	0,27	90	$1,23 \cdot 10^{-4}$
		0,52	216	$1,15 \cdot 10^{-6}$	0,63	248	$4,47 \cdot 10^{-6}$
		1,00	428	$5,62 \cdot 10^{-7}$	0,96	237	$3,04 \cdot 10^{-4}$
	- 14	0,28	164	$7,76 \cdot 10^{-6}$	0,24	139	$1,78 \cdot 10^{-5}$
		0,73	378	$5,75 \cdot 10^{-6}$	0,62	288	$3,16 \cdot 10^{-5}$
		0,98	525	$1,12 \cdot 10^{-6}$	0,92	352	$2,63 \cdot 10^{-5}$
			P=42			P=46	
	- 4	0,25	23,5	$6,11 \cdot 10^{-4}$	0,33	30,2	$7,50 \cdot 10^{-5}$
		0,47	46,8	$3,20 \cdot 10^{-4}$	0,65	47,5	$2,50 \cdot 10^{-4}$
		0,70	74,7	$3,35 \cdot 10^{-4}$	0,90	66,8	$5,53 \cdot 10^{-4}$
Песок пылева- тый	- 8	0,24	51,4	$5,25 \cdot 10^{-5}$	0,34	38,1	$2,25 \cdot 10^{-4}$
		0,50	106,5	$2,36 \cdot 10^{-5}$	0,53	93,5	$5,00 \cdot 10^{-4}$
		0,78	121,2	$3,35 \cdot 10^{-4}$	0,74	96,3	$5,53 \cdot 10^{-4}$
	- 14	0,28	95,3	$2,73 \cdot 10^{-5}$	0,20	76,5	$1,43 \cdot 10^{-5}$
		0,58	152	$2,25 \cdot 10^{-4}$	0,59	138,5	$3,35 \cdot 10^{-4}$
		0,81	207	$4,10 \cdot 10^{-4}$	0,88	182,5	$9,12 \cdot 10^{-4}$
			P=40			P=45	
Глина	- 4	0,31	23,6	$2,03 \cdot 10^{-3}$	0,42	17,7	$8,25 \cdot 10^{-4}$
		0,42	29,3	$3,70 \cdot 10^{-3}$	0,83	30,4	$20,3 \cdot 10^{-4}$
		0,74	51,5	$2,74 \cdot 10^{-3}$	1,00	45,3	$5,53 \cdot 10^{-4}$
	- 8	0,31	41,2	$3,03 \cdot 10^{-3}$	0,30	32,6	$1,50 \cdot 10^{-3}$
		0,43	68,0	$1,11 \cdot 10^{-3}$	0,49	45,3	$3,40 \cdot 10^{-3}$
		0,58	84,0	$1,11 \cdot 10^{-3}$	0,80	66,8	$2,50 \cdot 10^{-3}$
	- 12	0,48	97,2	$2,24 \cdot 10^{-3}$	0,61	79,5	$3,90 \cdot 10^{-3}$
		0,68	147	$7,47 \cdot 10^{-4}$	0,76	107,5	$1,60 \cdot 10^{-3}$
		0,93	181	$5,00 \cdot 10^{-4}$	1,00	120	$2,00 \cdot 10^{-3}$



ЗНАЧЕНИЕ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОРОД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ  $t$ ,

$$K = K_0 + C \cdot t \text{ кг/см}^2$$

Порода	Пористость P, %	Весовая влажн. W, %	Коэффициент влажн.	При условно-мгновенном приложении нагрузки, $t = 30 \text{ сек}$		При длительном приложении нагрузки, $t = 720 \text{ ч}$	
				$K_0$	C	$K_0$	C
Песок средней крупности	38	6,5	0,28	1,5	3,5	0,4	1,7
		13,0	0,57	6,7	4,75	3,4	2,3
		22,5	1,00	13,1	6,6	7,6	3,7
	42	7,8	0,29	1,1	3,7	0,5	2,0
		16,7	0,62	5,0	6,0	1,0	3,25
		28,5	0,87	8,7	7,2	1,6	3,9
Пылеватый песок	42	6,8	0,25	0,35	0,73	0,5	0,3
		13,0	0,48	1,3	1,3	0,8	0,5
		23,0	0,85	2,8	2,0	1,4	0,65
	46	13,0	0,37	0,8	1,0	0,3	0,2
		21,0	0,66	1,5	1,57	0,4	0,4
		28,0	0,88	0,9	2,0	1,0	0,7
Глина	40	7,5	0,31	0,7	0,83	0,2	0,3
		16,0	0,65	1,6	1,4	0,3	0,55
		24,0	1,00	3,6	1,7	0,4	0,7
	45	10,0	0,33	0,2	0,85	0,1	0,25
		18,0	0,60	0,3	1,3	0,2	0,4
		30,0	1,0	1,4	1,65	0,3	0,6

Таблица 18

ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ  
ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОРОД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕСОВОЙ  
ВЛАЖНОСТИ (ЛЕДЯНОСТИ)  $W$   $K_{мгн} = dW^2$ ;

$$K_{дл} = \frac{W}{d + nW}$$

Порода	Пористость $\rho, \%$	Температура $t, ^\circ\text{C}$	При условно мгновенном воздействии нагрузки, $\tau = 30 \text{ сек.}$		При длительном воз- действии нагрузки, $\tau = 720 \text{ ч}$	
			$d$	$n$	$d$	$n$
	38	- 4	2,18	0,79	1,25	0,020
		- 8	3,30	0,72	1,0	0,015
		- 14	4,14	0,71	0,70	0,014
Песок сред- ней крупнос- ти	42	- 4	1,35	0,90	1,80	0,038
		- 8	1,95	0,89	1,20	0,029
		- 14	3,51	0,93	0,80	0,028
		- 4	0,12	0,78	3,80	0,06
		- 8	1,32	0,85	2,20	0,05
		- 14	1,71	0,93	1,30	0,08
Пылеватый	46	- 4	0,10	0,63	6,40	0,03
		- 8	0,11	0,83	3,50	0,03
		- 14	1,60	0,88	1,85	0,03
	40	- 4	1,70	0,024	5,65	0,08
		- 4	0,98	0,015	2,95	0,04
		- 12	0,62	0,014	2,05	0,03
Г л и н а	45	- 4	2,54	0,04	9,2	0,08
		- 8	1,20	0,027	4,5	0,06
		- 12	0,70	0,021	2,9	0,04

Таблица 19

ДОПУСКАЕМЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА СРЕЗ НЕКОТОРЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

Породы	! Коэффициент крепости $f$ по М.М. Протоdjeяконову !	! Допускаемое напряжение на срез (скальвание), $K$ , кг/см <sup>2</sup> !
Глина средней плотности (тугопластичная)	0,2 - 0,3	0,4 - 0,5
Глина плотная (полутвердая)	0,3 - 0,5	0,7 - 1,0
Мергель	2 - 4	4 - 8
Глинистый сланец	3 - 5	6 - 10
Песчанистый сланец	3 - 6	6 - 12
Известняк пористый	4 - 6	8 - 12
Известняк плотный	8 - 12	16 - 24
Песчаник средней крепости	6 - 10	12 - 20
Песчаник крепкий	10 - 15	20 - 30
Гранит	10 - 20	20 - 40

Таблица 20

ПОТЕРИ НАПОРА  $h$  НА 100 М ДЛИНЫ ТРУБОПРОВОДА ИЗ СТАЛЬНЫХ ТРУБ ПРИ  
ТЕМПЕРАТУРЕ  $t_p = -20^\circ\text{C}$

$V$ м/сек	$d_y$ в мм																		$V$ м/сек	$d_o$ в мм							
	30		40		50		65		80		100		125		150		200			250		300		30		37	
	$q$	$h$	$q$	$h$	$q$	$h$	$q$	$h$	$q$	$h$	$q$	$h$	$q$	$h$	$q$	$h$	$q$	$h$		$q$	$h$	$q$	$h$	$q'$	$h$	$q''$	$h$
0,5	1,4	1,5	2,3	0,9	3,5	1,1	6,0	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	1,95	0,33	1,81	0,21
0,6	1,7	1,7	2,7	2,0	4,2	1,5	7,2	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	2,92	0,48	2,71	0,32
0,7	2,0	3,5	3,2	2,7	4,9	2,0	8,4	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2	3,9	0,66	3,62	0,43
0,8	2,3	4,5	3,6	3,4	5,6	2,6	9,5	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	4,9	0,84	4,52	0,55
0,9	2,6	5,4	4,1	4,1	6,4	3,1	10,7	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3	5,8	1,0	5,42	0,66
1,0	2,9	6,6	4,5	4,9	7,0	3,8	11,9	2,7	18,0	2,0	28,3	1,6	44	1,2	65	0,9	113	0,7	177	0,5	254	0,4	0,35	6,8	1,2	6,33	0,77
1,1	3,2	7,8	5,0	5,9	7,8	4,5	13,1	3,2	20,0	2,5	31,0	1,9	49	1,4	70	1,1	124	0,8	194	0,6	280	0,5	0,4	7,8	1,3	7,23	0,87
1,2	3,5	9,0	5,4	6,8	8,5	5,1	14,3	3,7	22,0	2,8	33,9	2,2	53	1,6	76	1,3	136	0,9	212	0,7	305	0,6	0,45	8,8	1,5	8,14	0,96
1,3	3,8	10,0	5,9	7,8	9,2	5,9	15,5	4,3	23,5	3,3	36,7	2,5	57	1,9	83	1,5	147	1,0	230	0,8	331	0,65	0,5	9,7	1,7	9,04	1,1
1,4	4,0	12,0	6,3	9,0	9,9	6,8	16,7	4,9	25,3	3,8	39,6	2,8	62	2,2	89	1,7	158	1,2	247	0,9	356	0,7	0,55	10,7	1,8	9,95	1,2
1,5	4,3	13,0	6,8	9,7	10,6	7,3	17,9	5,3	27,1	4,1	42,4	3,1	66	2,4	95	1,9	170	1,3	265	1,0	382	0,8	0,6	11,7	2,0	10,8	2,2
1,6	4,5	15,0	7,2	11,0	11,3	8,5	19,1	6,2	28,9	4,8	45,2	3,6	71	2,7	102	2,1	181	1,5	283	1,1	407	0,9	0,65	12,7	2,2	11,8	2,6
1,7	4,9	17,0	7,7	13,0	12,0	9,7	20,3	7,0	30,7	5,4	48,0	4,1	75	3,1	108	2,4	192	1,7	300	1,3	432	1,0	0,7	13,6	2,3	12,7	2,9
1,8	5,2	18,0	8,1	13,5	12,7	10,0	21,5	7,3	32,5	5,7	50,9	4,3	80	3,3	114	2,6	204	1,8	318	1,4	458	1,1	0,75	14,6	4,3	13,6	3,3
1,9	5,5	20,0	8,6	15,0	13,4	11,0	22,7	8,1	34,3	6,3	53,7	4,7	84	3,6	121	2,8	215	2,0	336	1,5	483	1,2	0,8	15,6	4,9	14,5	3,7
2,0	5,8	22,0	9,0	16,0	14,1	12,0	23,9	8,9	36,2	6,9	56,5	5,2	88	4,0	127	3,1	226	2,2	353	1,7	509	1,3	0,85	16,6	5,4	15,4	4,1
2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	37,9	7,5	59,3	5,6	93	4,3	134	3,4	237	2,4	371	1,8	534	1,4	0,9	17,5	5,9	16,3	4,4
2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	39,8	8,4	62,2	6,4	97	4,8	140	3,8	249	2,6	388	2,0	560	1,6	0,95	18,5	6,5	17,2	4,7
2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	41,6	9,0	65,0	6,8	102	5,2	146	4,1	260	2,9	406	2,1	585	1,7	1,0	19,5	7,1	18,1	5,0
2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	43,4	9,6	67,8	7,2	106	5,5	153	4,4	271	3,1	424	2,3	610	1,8					
2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	45,2	10,0	70,6	7,9	110	6,0	159	4,7	283	3,3	441	2,5	636	2,0					

ПОТЕРИ НАПОРА  $h$  НА 100 М ДЛИНЫ ТРУБОПРОВОДА ИЗ СТАЛЬНЫХ ТРУБ  
ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ РАССОЛА  $t_p = -40^{\circ}\text{C}$

Таблица 21

$V, \text{ м}^3/\text{сек}$	$d \text{ в мм}$																							
	32		40		50		65		80		100		125		150		200		250		300			
	q	h	q	h	q	h	q	h	q	h	q	h	q	h	q	h	q	h	q	h	q	h	q	h
0,5	1,4	3,6	2,3	2,3	3,5	1,5	6,0	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,6	1,7	4,2	2,7	2,7	4,2	1,7	7,2	1,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,7	2,0	5,0	3,2	3,2	4,9	2,0	8,4	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,8	2,3	5,8	3,6	3,7	5,6	2,4	9,5	1,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0,9	2,6	6,4	4,1	4,1	6,4	2,6	10,7	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1,0	2,9	7,1	4,5	4,6	7,0	2,9	11,9	3,4	18,0	2,6	28,3	2,0	44	1,5	65	1,2	113	0,8	177	0,6	254	0,5	-	
1,1	3,2	7,9	5,0	5,1	7,8	3,2	13,1	4,0	20,0	3,1	31,0	2,3	49	1,8	70	1,4	124	1,0	194	0,7	280	0,6		
1,2	3,5	8,5	5,4	5,5	8,5	3,5	14,3	4,6	22,0	3,6	33,9	2,7	53	2,1	76	1,6	136	1,1	212	0,8	305	0,7		
1,3	3,8	9,3	5,9	5,9	9,2	3,8	15,5	5,3	23,5	4,1	36,7	3,1	57	2,4	83	1,9	147	1,3	230	1,0	331	0,8		
1,4	4,0	10,0	6,3	6,3	10,0	4,0	16,7	6,1	25,3	4,7	39,6	3,5	62	2,7	89	2,1	158	1,5	247	1,1	356	0,9		
1,5	4,3	10,5	6,8	6,8	10,6	4,3	17,9	6,6	27,1	5,3	42,4	3,9	66	2,9	95	2,3	170	1,6	265	1,2	382	1,0		
1,6	4,6	11,0	7,2	7,2	11,3	4,6	19,1	7,7	28,9	5,9	45,2	4,3	71	3,4	102	2,7	181	1,8	283	1,4	407	1,1		
1,7	4,9	11,5	7,7	7,7	12,0	4,9	20,3	8,7	30,7	6,7	48,0	5,1	75	3,8	108	3,0	192	2,1	300	1,6	432	1,3		
1,8	5,2	12,0	8,1	8,1	12,7	5,2	21,5	9,2	32,5	7,2	50,9	5,4	80	4,1	114	3,2	204	2,3	318	1,7	458	1,4		
1,9	5,5	12,5	8,6	8,6	13,4	5,5	22,7	10,0	34,3	7,8	53,7	5,9	84	4,5	121	3,6	215	2,5	336	1,9	483	1,5		
2,0	5,8	13,0	9,0	9,0	14,1	5,8	23,9	11,0	36,2	8,6	56,5	6,5	88	5,0	127	3,9	226	2,7	353	2,1	509	1,6		
2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	37,9	9,3	59,3	7,1	93	5,4	134	4,2	237	3,0	371	2,3	534	1,8		
2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	39,8	10,0	62,2	7,9	97	6,1	140	4,8	249	3,3	388	2,5	560	2,0		
2,3	-	-	-	-	-	-	-	-	41,6	11,0	65,0	8,5	102	6,5	146	5,1	260	3,6	406	2,7	585	2,2		
2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	43,4	12,0	67,8	9,1	106	6,9	153	5,5	271	3,8	424	2,9	610	2,3		
2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	45,2	13,0	70,6	9,9	110	7,5	159	5,9	283	4,1	441	3,1	636	2,5		

$V, \text{ м}^3/\text{сек}$	$d \text{ в мм}$			
	30		37	
	q'	h	q''	h
0,1	1,95	0,8	1,81	0,5
0,15	2,92	1,2	2,71	0,8
0,2	3,9	1,6	3,62	1,0
0,25	4,9	2,0	4,52	1,3
0,3	5,8	2,4	5,42	1,6
0,35	6,8	2,8	6,33	1,9
0,4	7,8	3,3	7,23	2,2
0,45	8,8	3,6	8,14	2,4
0,5	9,7	4,1	9,04	2,7
0,55	10,7	4,4	9,95	2,9
0,6	11,7	4,8	10,8	3,2
0,65	12,7	5,3	11,8	3,5
0,7	13,6	5,7	12,7	3,8
0,75	14,6	6,2	13,6	4,0
0,8	15,6	6,6	14,5	4,3
0,85	16,6	7,0	15,4	4,6
0,9	17,5	7,3	16,3	4,9
0,95	18,5	7,7	17,2	5,2
1,0	19,5	8,1	18,1	5,5

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РАЗМЕРЫ ТРУБ КОЛОНОК И РАСХОДЫ  
РАССОЛА

Наружный диаметр труб, $D_o$ , мм	Толщина стенок $\delta$ , мм	Внутренние диаметры $D_{вн}$ , мм	Расходы рассола через одну колонку $q$ , м <sup>3</sup> /ч	Условия применения
168	8; 9; 10	152; 150; 148	10-15,0	На глубины свыше 200 м
141 + 146	8; 9; 10	130; 128; 126; 125; 123; 121;	8-12,0	На все глубины
114	7; 8	100; 98	до 10,0	На средние и малые глубины
108	6,75	94,5	до 8,0	На малые глубины /до 100 м/
89	6,5	76	3-6,0	Для местного замораживания до 70 м
78	6,5	60	1-3,0	Для местного замораживания до 50 м.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБ ТИПА ТЭК

Наименование показателей	Обозначения	Тип труб		
		ТЭК-1	ТЭК-2	ТЭК-М
1	2	3	4	5
Наружный диаметр, мм	$D$	146	146	146
"- в высаженной части, мм	$D'$	$152 \pm 0,5$	-	-
Толщина стенки, мм	$S$	8	11	7; 8; 9; 10; 11;
Внутренний диаметр, мм	$d$	130	124	132; 130; 128; 126; 124;
Внутренний, в высаженной части, мм	$d'$	$121 \pm \begin{matrix} 1,5 \\ 1,0 \end{matrix}$	-	-
Теоретический вес 1 пог.м в кг	$G$	27,2	36,6	24,0; 27,2; 30,4; 33,5; 36,6
<u>Ниппельный конец</u>				
Средний диаметр резьбы в основной плоскости, мм	$d_{cp}$	139	137,966	144,816
Диаметр резьбы у торца				
наружный, мм	$d_2$	138,404	136,018	142,292
внутренний, мм	$d_3$	134,784	132,398	138,672
Длина резьбы от торца:				
общая/до конца сбег резьбы/, мм	$L$	95	76,0 $\pm$ 3	76,0

Таблица 28 (продолжение)

	1	2	3	4	5	
Т Р У Б Ы	до основной плоскости, мм	$l$	79,0	60,125	60,125	
	от основной плоскости до конца сбега резьбы, мм		16	15,875	15,875	
	Сбег резьбы, мм		7	7,248	7,248	
	<u>Муфтовый конец</u>					
	Диаметр цилиндрической расточки у торца, мм	$d_0$	$142 \pm 0,2$	$140,786-0,5$	-	-
	Длина цилиндрической расточки, мм	$l_0$	16	$12 \pm 1$	-	-
М У Ф Т Ы	Расстояние от торца до основной плоскости резьбы, мм	$l_1$	85	80	-	
	Сбег резьбы, мм		7	7,248	-	
	Наружный диаметр, мм	$D_n$	-	-	166	
	Длина, мм	$L_n$	-	-	177	
	Диаметр цилиндрической расточки, мм	$d_0$	-	-	148,4	
	Длина цилиндрической расточки, мм	$l_0$	-	-	12,7	
	Теоретический вес, кг	$G_n$	-	-	8	
	Примечание: трубы поставляются длиной от 9,5 до 13 м.					



РАЗМЕРЫ ПРОФИЛЯ РЕЗЬБЫ ТРУБ  
ТЭК-1, ТЭК-2, и ТЭК-М

Параметры резьбы /размеры в мм/	Обозначение	Число ниток на длине 25,4 мм	
		10 /только для ТЭК-1/	8 /для всех типов ТЭК/
Шаг резьбы	$S$	2,540	3,175
Глубина резьбы	$h_1$	1,412	1,810
Рабочая высота профиля	$h_2$	1,336	1,734
Радиусы закруглений	$r$	0,432	0,508
	$r_2$	0,356	0,432
Зазор	$z$	0,076	0,076
Угол наклона	$\varphi$	$0^\circ 53' 42''$	$1^\circ 47' 24''$

Примечание:

1. Профиль резьбы согласно ГОСТ 632-64, п.16
2. Конусность  $2 \text{ tg } \varphi$ : для ТЭК-1 -1:32  
для ТЭК-2, ТЭК-М-1:16

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ ТРУБ ТЭК  
после термической обработки

Таблица 25.

Наименование показателей свойств стали	Показатели при температуре, $+18+22^\circ$		
	ТЭК-1		ТЭК-2
	группа прочности стали		ТЭК-М
	А	Б	
Временное сопротивление, кгс/мм <sup>2</sup>	не менее 60		не менее 60
Предел текучести, кг/мм <sup>2</sup>	40	40	40
Относительное удлинение $\delta$ , %	12	29	15
Относительное сужение после разрыва $\varphi_2$ , %	40	60	50
Ударная вязкость $\alpha_n$ , кгсм/см <sup>2</sup>	8	20	7

Таблица 26

ЗНАЧЕНИЯ ПЕРЕПАДА ТЕМПЕРАТУР В СТЕНКЕ  
ЗАМОРАЖИВАЮЩЕЙ КОЛОНКИ

/по данным экспериментальных исследований МГУ/

Температура рабочего потока рассода, °С	Перепад температур $\Delta t = t_{cm} - t_p$ , °С		
	минимальный	максимальный	среднее значение за период актив- ного заморажива- ния
- 20	2	6	3
- 30	4	9	6
- 40	6	12	8

Значения коэффициентов

$$D_2 = f_{\mu}(E, l_{cp})$$

Таблица 27

$l_{cp}, m$ \ $E, m$	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	
0,8	0,16	0,19	0,21	0,23	0,24	0,25	0,25	0,26	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
1,0		0,15	0,17	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28
1,2			0,14	0,16	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27
1,4				0,14	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26
1,6					0,14	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25
1,8						0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24	0,24	0,24	0,24
2,0							0,13	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,23

Таблица 28

ОДНОСТУПЕНЧАТЫЕ КОМПРЕССОРЫ

	Марка компрессора			
	АУ-200	АУУ-400	АО-600	АО-1200
Т и п	У-образный	У-образный	Оппозитные	горизонталь- ные
Число цилиндров	4	8	2	4
Число оборотов вала в минуту	$\frac{720}{960}$	$\frac{720}{960}$	500	500
Холодопроизводительность при стандартных условиях, ккал/ч	$\frac{150000}{200000}$	$\frac{300000}{400000}$	575000	1150000
Часовой объем, описываемый поршнями, м <sup>3</sup> /ч	$\frac{397}{528}$	$\frac{794}{1056}$	1585	3170
Эффективная потребляемая мощность при стандартных условиях, кВт	$\frac{48}{64}$	$\frac{100}{133}$	190	390
Вес компрессора, кг	1290	2000	5150	10500
Электродвигатель: марка	АП-91-6	А-103- 8	$\frac{\text{СДКП}}{14-36-12}$	$\frac{\text{СДКП}}{15-34-12}$
число оборотов в мин.	980	780	500	500
мощность, кВт	55	125	320	630
напряжение, в	220/380	220/380	6000	6000
марка	АП-92-6	А-103-6		
число оборотов, в мин.	980	985		
мощность, кВт	75	160		
вес электродвигателя, кг		$\frac{1155}{1180}$	3870	3870
Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	$\frac{1,5}{2}$	$\frac{4}{3}$	6	10

Таблица 29

## ДВУХСТУПЕНЧАТЫЕ АГРЕГАТЫ

Показатели	Марка компрессоров	
	ДАО-550	ДАОН-350/Г
Тип	Опозитные горизонтальные двухступенчатые	
Число цилиндров:		
первой ступени	2	2
второй ступени	2	2
Режим работы:		
температура кипения, °С	- 40	- 50
температура конденсации, °С	+ 40	+35
Холодопроизводительность, ккал/ч	550000	350000
Число оборотов вала в минуту	500	500
Объем, описываемый поршнями, м <sup>3</sup> /ч:		
первой ступени	4200	5180
второй ступени	1474	1474
Мощность эффективная, квт	420	335
Электродвигатель:		
марка	СДКП-15-34-12	СДКП-14-36-12
мощность, квт	630	400
напряжение, в	6000	6000
число оборотов в мин.	500	500
вес, кг	5870	4130
Вес компрессора/без электродвигателя/, кг	11700	12000
Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч	6	6
Габаритные размеры;мм:		
длина	4900	4900
ширина	5250	5100
высота	1800	1750

Таблица 30

## ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПАРИТЕЛЕЙ

Т и п	Марка	Поверх- ность, м <sup>2</sup>	Размеры, мм			Вес, кг	Объем по рассолу, м <sup>3</sup>
			длина	ширина	высота		
Вертикаль- нотрубные	40И	40	3480	1040	1350	2785	3,67
	60И	60	4800	1040	1350	3820	5,50
	90И	90	4800	1595	1350	5365	8,20
	120И	120	5800	1595	1350	6475	9,50
	160И	160	5800	2145	1350	8645	12,90
	200И	200	5800	2675	1350	10510	16,20
	240И	240	6200	2090	2050	11985	18,00
	320И	320	6200	2800	2050	16,215	23,50
	60ИП	60	3670	1060	1050	2165	3,29
	90ИП	90	3570	1545	1050	3000	4,81
Панельные	120ИП	120	6100	1115	1200	4030	6,72
	180ИП	180	6100	1625	1200	5625	9,91
	240ИП	240	6100	2135	1200	7200	14,00
	320ИП	320	6100	2815	1200	9440	18,72
	50ИКТ	50	4580	Д=600		2400	0,32
	65ИКТ	65	5580	Д=600		2870	0,40
	90ИКТ	90	4670	Д=800		4110	0,61
Кожухо- трубные	110ИКТ	110	5670	Д=800		4860	0,72
	140ИКТ	140	4800	Д=1000		6400	1,02
	180ИКТ	180	5800	Д=1500		7660	1,20
	250ИКТ	250	5920	Д=1200		10830	1,72
	300ИКТ	300	6920	Д=1200		12630	2,00

Таблица 31

ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОНДЕНСАТОРОВ

1. Кожухотрубные вертикальные конденсаторы

Марка	Поверхность, м <sup>2</sup>	Габаритные размеры, мм		Емкость межтрубного пространства, м <sup>3</sup>	Вес, кг	
		диаметр	высота		аппарата	рабочий
50КВ	50	700	5500	1,12	2520	3500
75КВ	75	800	5500	1,27	3410	5200
100КВ	100	1000	5000	1,80	4750	6300
125КВ	125	1000	6000	2,20	5700	8800
150КВ	150	1200	5000	2,64	6820	10500
250КВ	250	1400	5500	3,64	10815	16300

2. Кожухотрубные горизонтальные конденсаторы

Марка	Поверхность, м <sup>2</sup>	Габаритные размеры, мм			Емкость, м <sup>3</sup>		Вес, кг	
		диаметр	длина	высота	межтрубного пространства	трубно-го пространства	аппарата	рабочий
50КТГ	50	600	4520	965	0,7	0,32	2120	2000
65КТГ	65	600	5520	965	0,885	0,4	2565	3600
90КТГ	90	800	4670	1265	1,26	0,61	3700	5050
110КТГ	110	800	5670	1265	1,58	0,72	4500	6200
140КТГ	140	1000	4760	1670	2,0	1,02	6000	7200
180КТГ	180	1000	5760	1670	2,5	1,23	7270	9980
250КТГ	250	1200	5860	1350	3,5	1,77	10300	14170
300КТГ	300	1200	6860	1350	4,1	2,0	12120	15580

3. Оросительные конденсаторы

Марка	Поверхность, м <sup>2</sup>	Число секций	Объем резервуара, м <sup>3</sup>	Вес, кг
45МКО	45	3	0,11	1912
60МКО	60	4	0,15	2530
75МКО	75	5	0,19	3140
90МКО	90	5	0,22	3735

Таблица 32

ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СОСУДОВ

Показатели	Типы промежуточных сосудов /со змеевиками/				
	50ПС <sub>з</sub>	60ПС <sub>з</sub>	70ПС <sub>з</sub>	80ПС <sub>з</sub>	120ПС <sub>з</sub>
Диаметр корпуса, мм	500	600	700	800	1200
Общая высота, мм	2850	2880	3250	3050	4000
Вес сосуда, кг	348	662	890	860	2035

Таблица 33

ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕСИВЕРОВ

Показатели	Типы ресиверов			
	0,7РЛ	1,5РЛ	2РЛ	2,5РЛ
Диаметр корпуса, мм	600	800	800	800
Общая длина, мм	3235	3810	4810	5810
Емкость, м <sup>3</sup>	0,72	1,5	2,0	2,5
Вес, кг	490	895	1080	1290

Таблица 34

ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МАСЛОУДЕЛИТЕЛЕЙ

Показатели	Типы маслоуделителей					
	50 ОММ	70 ОММ	80 ОММ	100 ОММ	1250ММ	150
Условный проход, мм	50	70	80	100	125	150
Диаметр корпуса, мм	273	273	325	426	500	600
Общая высота, мм	1470	1570	1600	1730	1970	2530
Вес, кг	100	110	136	260	270	363



Таблица 35

**ТИПОВАЯ КОМПЛЕКТАЦИЯ**  
**холодильной установки с одним компрессором, сосудами и аппаратами**

№ пп	Типы компрессоров	Варианты	Типы сосудов и аппаратов								Расход материалов			
			испарители	конденсаторы	ресиверы линейные	маслоотделители	маслосборники	промежуточные сосуды	отделители жидкостные	ресиверы дренажные	аммиак (кг)		масло кг/год	
											на первоначальное загрузку	годовые эксплуат. потери	холодильное-аммиачное	машинное
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.	АУ-200/3	А	60ИА	45МКО	-	80 ОММ	150 СМ	-	-	0,75 РД	630	555	1310	
	АУ-200/3	Б	60 ИП	45МКО	-	80 ОММ	150 СМ	-	100-ОЖ <sup>Г</sup>	0,75 РД	245	555	1310	
	АУ-200/3	В	65 ИКТ	45 МКО	-	80 ОММ	150 СМ	-	100 ОЖ <sup>Г</sup>	0,75 РД	600	555	1310	
	АУ-200/3	Г	60 ИА	50 КВ	0,75 РВ	80 ОММ	150 СМ	-	-	0,75 РД	630	555	1310	
	АУ-200/3	Д	60 ИП	50 КВ	0,75 РВ	80 ОММ	150 СМ	-	100 ОЖ <sup>Г</sup>	0,75 РД	275	555	1310	
	АУ-200/3	Е	65 ИКТ	50 КВ	0,75 РВ	80 ОММ	150 СМ	-	100 ОЖ <sup>Г</sup>	0,75 РД	770	555	1310	
2.	АУУ-400/3	А	120 ИА	90 МКО	-	150 ОММ	150 СМ	-	-	0,75 РД	1075	1110	2190	
	АУУ-400/3	Б	120 ИП	90 МКО	-	150 ОММ	150 СМ	-	150 ОЖ <sup>Г</sup>	0,75 РД	430	1110	2190	
	АУУ-400/3	В	140 ИКТ	90 МКО	-	150 ОММ	150 СМ	-	150 ОЖ <sup>Г</sup>	0,75 РД	1510	1110	2190	
	АУУ-400/3	Г	120 ИА	100 КВ	1,5 РВ	150 ОММ	150 СМ	-	-	0,75 РД	1075	1110	2190	
	АУУ-400/3	Д	120 ИП	100 КВ	1,5 РВ	150 ОММ	150 СМ	-	150 ОЖ <sup>Г</sup>	0,75 РД	775	1110	2190	
	АУУ-400/3	Е	140 ИКТ	100 КВ	1,5 РВ	150 ОММ	150 СМ	-	150 ОЖ <sup>Г</sup>	0,75 РД	1855	1110	2190	
3.	АУ-300/1	А	120 ИА	90 МКО	-	150 ОММ	150 СМ	-	-	0,75 РД	1075	1110	1750	
	АУ-300/1	Б	120 ИП	90 МКО	-	150 ОММ	150 СМ	-	150 ОЖ <sup>Г</sup>	0,75 РД	430	1110	1750	
	АУ-300/1	В	140 ИКТ	90 МКО	-	150 ОММ	150 СМ	-	150 ОЖ <sup>Г</sup>	0,75 РД	1510	1110	1750	
	АУ-300/1	Г	120 ИА	100 КВ	1,5 РВ	150 ОММ	150 СМ	-	-	0,75 РД	1075	1110	1750	
	АУ-300/1	Д	120 ИП	100 КВ	1,5 РВ	150 ОММ	150 СМ	-	150 ОЖ <sup>Г</sup>	0,75 РД	775	1110	1750	
	АУ-300/1	Е	140 ИКТ	100 КВ	1,5 РВ	150 ОММ	150 СМ	-	150 ОЖ <sup>Г</sup>	0,75 РД	1855	1110	1750	

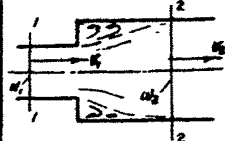
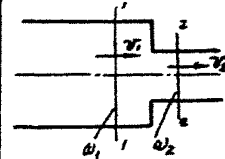
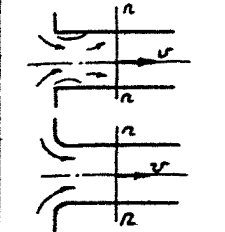
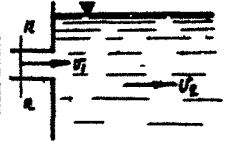

Таблица 35 (продолжение)

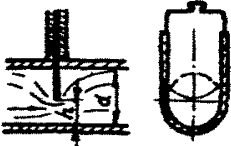


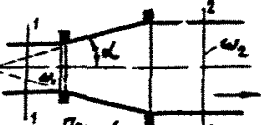

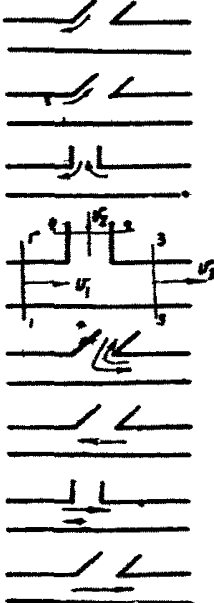
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
4.	АО-600	А	180 ИП	150 КВ	1,5 РВ	150 ОММ	150 СМ	-	150 ОЖ <sup>Г</sup>	1,5 РД	855	2220	1310	
	АО-600	Б	180 ИКТ	150 КВ	1,5 РВ	150 ОММ	150 СМ		150 ОЖ <sup>Г</sup>	1,5 РД	2140	2220	1310	
5.	АО-1200	А	320 ИП	250 КВ	2,5 РВ	200 ОММ	300 СМ	-	200 ОЖ <sup>Г</sup>	1,5 РД	1440	4440	2620	
	АО-1200	Б	300 ИКТ	250 КВ	2,5 РВ	200 ОММ	300 СМ	-	200 ОЖ <sup>Г</sup>	1,5 РД	3665	4440	2620	
6.	ДАО-275	А	180 ИП	150 КВ	1,5 РВ	150 ОММ	150 СМ	100 ПС <sub>3</sub>	150 ОЖ <sup>Г</sup>	1,5 РД	1010	3330	1750	
	ДАО-275	Б	180 ИКТ	150 КВ	1,5 РВ	150 ОММ	150 СМ	100 ПС <sub>3</sub>	150 ОЖ <sup>Г</sup>	1,5 РД	2500	3330	1750	
7.	ДАОН-175	А	180 ИП	150 КВ	1,5 РВ	150 ОММ	150 СМ	100 ПС <sub>3</sub>	150 ОЖ <sup>Г</sup>	1,5 РД	1010	4440	1750	
	ДАОН-175	Б	180 ИКТ	150 КВ	1,5 РВ	150 ОММ	150 СМ	100 ПС <sub>3</sub>	150 ОЖ <sup>Г</sup>	1,5 РД	2500	4440	1750	
8.	ДАО-550	А	320 ИП	250 КВ	2,5 РВ	200 ОММ	300 СМ	120 ПС <sub>3</sub>	200 ОЖ <sup>Г</sup>	1,5 РД	2085	6660	3500	
	ДАО-550	Б	300 ИКТ	250 КВ	2,5 РВ	200 ОММ	300 СМ	120 ПС <sub>3</sub>	200 ОЖ <sup>Г</sup>	1,5 РД	4310	6660	3500	
9.	ДАОН-350	А	320 ИП	250 КВ	2,5 РВ	200 ОММ	300 СМ	120 ПС <sub>3</sub>	200 ОЖ <sup>Г</sup>	1,5 РД	2085	8880	4380	
	ДАОН-350	Б	300 ИКТ	250 КВ	2,5 РВ	200 ОММ	300 СМ	120 ПС <sub>3</sub>	200 ОЖ <sup>Г</sup>	1,5 РД	4310	8880	4380	

Примечание: Замораживающая станция, состоящая из нескольких компрессоров, комплектуется только одним дренажным ресивером.

Значения коэффициентов  
местных сопротивлений

Таблица В8Б

№ пп	Характер местных сопротивлений	Эскиз, формула.	Значения коэффициента сопротивления $\zeta$																		
1	Внезапное расширение	 $\zeta = \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} - 1\right)^2$	<table border="1"> <tr> <td><math>\frac{d_2}{d_1}</math></td> <td>10</td> <td>8</td> <td>6</td> <td>4</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>81</td> <td>49</td> <td>25</td> <td>9</td> <td>1</td> </tr> </table>	$\frac{d_2}{d_1}$	10	8	6	4	2	$\zeta$	81	49	25	9	1						
$\frac{d_2}{d_1}$	10	8	6	4	2																
$\zeta$	81	49	25	9	1																
2	Внезапное сужение	 $\zeta = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}\right)$	<table border="1"> <tr> <td><math>\frac{d_2}{d_1}</math></td> <td>0,00</td> <td>0,10</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>0,50</td> <td>0,45</td> <td>0,40</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td>0,80</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td></td> <td>0,30</td> <td>0,20</td> <td>0,10</td> <td>0,00</td> </tr> </table>	$\frac{d_2}{d_1}$	0,00	0,10	0,20	$\zeta$	0,50	0,45	0,40		0,40	0,60	0,80	1,00		0,30	0,20	0,10	0,00
$\frac{d_2}{d_1}$	0,00	0,10	0,20																		
$\zeta$	0,50	0,45	0,40																		
	0,40	0,60	0,80	1,00																	
	0,30	0,20	0,10	0,00																	
3	Вход в трубу		$\zeta = 0,50$  $\zeta = 0,20$																		
4	Выход из трубы в резервуар больших размеров		$\zeta = 1,00$																		
5	Поворот трубы на угол	 $\zeta = \left[0,131 + 0,183 \left(\frac{\alpha}{90}\right)^2\right] \frac{v^2}{2g}$	<table border="1"> <tr> <td><math>\frac{\alpha}{90}</math></td> <td>0,1</td> <td>0,2</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td><math>\zeta'</math></td> <td>0,13</td> <td>0,14</td> <td>0,16</td> </tr> </table> <table border="1"> <tr> <td>0,4</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>0,21</td> <td>0,29</td> </tr> </table>	$\frac{\alpha}{90}$	0,1	0,2	0,3	$\zeta'$	0,13	0,14	0,16	0,4	0,5	0,21	0,29						
$\frac{\alpha}{90}$	0,1	0,2	0,3																		
$\zeta'$	0,13	0,14	0,16																		
0,4	0,5																				
0,21	0,29																				

6	Задвижка типа Лудло		<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\frac{d-h}{d}</math></th> <th>0</th> <th>1/4</th> <th>1/2</th> <th>3/4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td><math>0,11 \div 0,18</math></td> <td>0</td> <td>2,06</td> <td>1,0</td> </tr> </tbody> </table>	$\frac{d-h}{d}$	0	1/4	1/2	3/4	$\zeta$	$0,11 \div 0,18$	0	2,06	1,0		
$\frac{d-h}{d}$	0	1/4	1/2	3/4											
$\zeta$	$0,11 \div 0,18$	0	2,06	1,0											
7	Вентиль с прямым шпинделем при полном открытии		$\zeta = 3 + 5,5$												
8	Кран "пробковый"		<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\alpha</math></th> <th>15°</th> <th>30°</th> <th>45°</th> <th>55°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>0,75</td> <td>5,47</td> <td>3,2</td> <td>1,06</td> </tr> </tbody> </table>	$\alpha$	15°	30°	45°	55°	$\zeta$	0,75	5,47	3,2	1,06		
$\alpha$	15°	30°	45°	55°											
$\zeta$	0,75	5,47	3,2	1,06											
9	Расходящиеся переходные конусы	 <p>при <math>\alpha &lt; 45^\circ</math></p> $\zeta = \sin 2\alpha \left( \frac{w_2}{w_1} - 1 \right)^2$													
10	Сходящиеся переходные конусы		<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\alpha</math></th> <th>5°</th> <th>10°</th> <th>15°</th> <th>20°</th> <th>30°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>0,16</td> <td>0,20</td> <td>0,24</td> <td>0,28</td> <td>0,32</td> </tr> </tbody> </table>	$\alpha$	5°	10°	15°	20°	30°	$\zeta$	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32
$\alpha$	5°	10°	15°	20°	30°										
$\zeta$	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32										
11	Ответвления		$\zeta = 0,5$ $\zeta = 1,0$ $\zeta = 1,5$ $\zeta = 2,0$ $\zeta = 3,0$ $\zeta = 0,05$ $\zeta = 0,10$ $\zeta = 0,15$												

ХАРАКТЕРИСТИКА НЕКОТОРЫХ НАСОСОВ

Показатели	Марки насосов						
	!ЗК-9	!4НДв	!4НДв	!5НДв	!6НДв	!6НДв	!6НДс
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	45	90	108	150	216	360	330
Напор, м. вод. ст. *	31	25	22	28	42	34	64
Мощность двигателя, квт	7,2	12,0	12,0	22,0	40,0	55,0	100,0
Диаметры патрубков, мм:							
всасывающего	80	150	150	150	200	200	200
нагнетательного	50	100	100	120	150	150	150
Вес, кг	46	285	285	270	300	300	300

## СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
Предисловие .....	4
I. Общие сведения .....	5
1. Сушность способа замораживания горных пород .....	5
2. Режимы замораживания пород .....	6
3. Режимы работы замораживающей станции.....	7
4. Схемы замораживания пород .....	9
II. Исходные данные для проектирования заморажи- вания пород .....	15
1. Инженерно-геологические данные .....	15
2. Глубина замораживания .....	15
3. Нагрузка на ледопородное ограждение ствола .....	33
III. Проектирование ледопородного ограждения ствола .....	34
1. Расположение замораживающих скважин.....	34
2. Средняя температура и прочность заморожен- ных пород .....	36
3. Толщина ледопородного ограждения ствола....	37
IV. Расчет основных параметров процесса заморажи- вания пород .....	38
1. Параметры движения рассола .....	39
2. Температура рассола .....	41
3. Холодопроизводительность замораживающей станции .....	42
4. Продолжительность активного замораживания пород .....	43
5. Прочность замораженных пород и ее ин- тенсивность .....	45
V. Проектирование замораживающей станции.....	49
1. Адаптивные компрессоры .....	49
2. Холодильное оборудование .....	51
3. Основные методы и основные ресурсы .....	56
Климатические .....	58

Ответственный за выпуск В.А. НАЙКОДИ  
Редактор В.М. ЛЕХИВИК

---

Заказ 296/71 от 31 августа 1971 г. Формат 3-х4/4. Пер. л. 6,03;  
уч. изд. л. 6,5. Тираж 100 экз. Цена 70 коп.

---

Манускрипт ВНИИОМВСа, г. Харьков-92, УССР, ул. Шевченко, д. 13.