НИИОСП

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
имени Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТАНОВОК, РАБОТАЮЩИХ БЕЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ

МОСКВА—1984

gost.e-ecolog.ru

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
имени Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТАНОВОК, РАБОТАЮЩИХ БЕЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ

МОСКВА–1984

УДК 624.139.62

Рекомендации содержат положения по назначению, области применения, конструированию, устройству и эксплуатации автономных холодильных установок с легкокипящим теплоносителем, работающих за счет низких температур воздуха в зимний период. Приводятся рекомендации по предпостроечному замораживанию грунтов в основании сооружений, по их замораживанию в процессе строительства, по восстановлению мерзлого состояния грунтов, по созданию противофильтрационных экранов и мерзлотных завес. Дана методика теплотехнических расчетов замораживания грунта.

Рекомендации предназначены для проектных и строительных организаций, занимающихся вопросами строительства в суровых климатических условиях.

Работа одобрена Воркутинской секцией Научно-технического совета СО НИИОСП и рекомендована к изданию.

Рекомендации составлены научн.сотр.Ю.А.Александровым под научным руководством д-ра техн.наук Л.Н.Хрусталева.

Замечания и предложения по содержанию рекомендаций направлять по адресу: 169911, Коми АССР, г.Воркута, ул.Яновского,1, СО НИИОСП.

---

© Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова Госстроя СССР, 1984.

## СОДЕРЖАНИЕ


Стр.

I. Общие положения . . . . . 3

2. Конструкция парожидкостных охлаждающих установок. . . . . 7

3. Характеристика теплоносителей и расчет их количеств для зарядки парожидкостных установок . . . . . 23

4. Изготовление, монтаж, испытания и заправка охлаждающих установок . . . . . 30

5. Использование парожидкостных установок в строительстве. . . . 4I

6. Эксплуатация парожидкостных охлаждающих систем и основные положения по технике безопасности . . . . . 56

7. Теплотехнические расчеты парожидкостных охлаждающих установок 60

Литература. . . . . 73

Приложение I. Технический паспорт парожидкостной охлаждающей установки (рекомендуемая форма) . . . . . 74

Приложение 2. Журнал осмотра, профилактических и ремонтных работ парожидкостной охлаждающей установки (рекомендуемая форма). . 74

Приложение 3. Коэффициент теплопроводности теплоизоляционных материалов (в сухом состоянии). . . . . 75

Приложение 4. Значения интегрального логарифма $li\,(x)$ . . . . . 76



Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ПРИМЕНЕНИЮ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТАНОВОК, РАБОТАЮЩИХ БЕЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ

Отдел патентных исследований и научно-технической информации

Зав.отделом Б.И.Кулачкин

Редактор Г.Н.Кузнецова

---

М-78235. Подп. в печать I7/УП-84 .Заказ № 915 Формат 60x90 I/I6

Бумага офсетная. Набор машинописный. Уч.-изд.л.3,36. Усл.кр.-отт.3,45

Тираж 500 экз. Цена 30 коп.

---

ПЭМ ВНИИИС Госстроя СССР I2I47I,Москва,Можайское шоссе,25.

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Для ускорения внедрения в практику строительства последних достижений науки и техники и установления прямых связей между научно-исследовательскими и проектными организациями Госстрой СССР разрешил при разработке рабочих чертежей применять рекомендации головных институтов Госстроя СССР до включения их в нормативные документы. При этом соответствующая часть проекта, в которую вошли разработки научно-исследовательского института, должна быть выполнена с участием головного НИИ - автора работы.

I.2. Настоящие Рекомендации разработаны в развитие положений СНиП II-I8-76 "Нормы проектирования. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" /I/ и "Рекомендаций по проектированию и устройству парожидкостных охлаждающих установок при строительстве в суровых климатических условиях" /2/.

I.3. Рекомендации распространяются на проектирование, строительство и эксплуатацию сооружений, возводимых в условиях сурового климата с использованием искусственного замораживания талых или охлаждения мерзлых грунтов оснований парожидкостными охлаждающими установками.

I.4. Искусственное замораживание (охлаждение) грунтов позволяет расширить область применения I принципа их использования в качестве оснований сооружений /I/, повысить несущую способность и надежность оснований, упростить конструктивные решения и технологию нулевого цикла, а также во многих случаях сократить сроки, материалоемкость и стоимость строительства.

Наибольший технико-экономический эффект достигается при замораживании талых и охлаждении пластичномерзлых грунтов до температуры их твердомерзлого состояния.

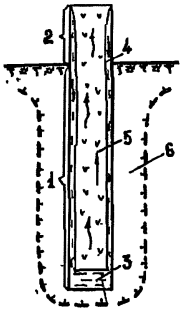
I.5. Парожидкостные автономные сезоннодействующие установки являются холодильными устройствами, работающими за счет низких температур атмосферного воздуха в зимнее время и не требующими энергетических затрат в процессе эксплуатации.

I.6. Работа парожидкостной охлаждающей установки основана на конвекции легкокипящей жидкости – теплоносителя – под влиянием естественной разности температур охлаждаемого массива грунта и атмосферного воздуха (рис.I). Жидкий теплоноситель 3, находящийся в нижней подземной части устройства (испарителе) I, испаряется и поднимается в виде пара 5 в верхнюю надземную часть (конденсатор) 2, охлаждаемую атмосферным воздухом. Отдавая тепло окружающему воздуху, теплоноситель конденсируется и стекает в виде пленки 4 по стенкам испарителя. Испаряющаяся пленка конденсата охлаждает окружающий грунт 6, а ее оставшаяся часть стекает на дно установки, где также испаряется. Фазовые превращения теплоносителя и его конвекция внутри установки происходят непрерывно в состоянии динамического равновесия жидкости и насыщенных паров (на линии насыщения).

Работает охлаждающая установка в такой период года, когда температура надземной конденсаторной части ниже температуры грунта, прилегающего к испарителю. В остальное время установка автоматически прекращает работу, "запирается". Первый период называется активным, второй – пассивным.

I.7. Автономные парожидкостные охлаждающие установки имеют следующие преимущества перед машинным аммиачно-рассольным замораживанием и замораживанием посредством принудительного вентилирования скважин холодным воздухом: а) простота устройства, б) отсутствие энергозатрат при работе, в) невысокая стоимость, г) отсутствие постоянного обслуживающего персонала, а по сравнению с жидкостными и воздушными автономными установками – значительно большая производитель-

ность.




I.8. Применение парожидкостных установок целесообразно в районах со среднезимней температурой атмосферного воздуха не выше – I0°С

Рис.I. Принципиальная схема парожидкостного охлаждающего устройства:
I – испарительная (подземная) часть; 2 – конденсаторная (надземная) часть; 3 – жидкий теплоноситель; 4 – пленка конденсата; 5 – парообразный теплоноситель; 6 –замороженный грунт

и продолжительностью безморозного периода не более I50 дней.

I.9. Парожидкостные установки могут быть использованы в строительстве по следующему назначению:

а) для предпостроечного замораживания грунтов оснований зданий и сооружений;

б) для замораживания грунтов основания в процессе строительства и эксплуатации;

в) для восстановления мерзлого состояния грунтов в основании зданий и сооружений, построенных по I принципу;

г) для создания противофильтрационных завес;

д) для создания тепловых завес.

I.I0. Парожидкостные установки могут применяться в строительстве как гражданских, так и промышленных объектов для:

I) фундирования жилых и общественных зданий;

2) фундирования промышленных зданий (цехи, склады, компрессорные станции и др.);

3) устройства фундаментов линейных сооружений (линии электропередачи, линий связи, трубопроводов и др.);

4) создания мерзлого основания дорог, взлетно-посадочных полос и надземных резервуаров;

5) обеспечения устойчивости шахтных стволов, нефте- и газодобывающих скважин и горных выработок;

6) устройства противофильтрационных льдогрунтовых ядер в теле дамб и плотин, а также льдогрунтовых стенок при проходке котлованов, колодцев и траншей;

7) образования мерзлотных завес с целью защиты мерзлого состояния грунтов оснований сооружений от воздействия близрасположенных тепловыделяющих объектов.

I.II. Охлаждающие установки одновременно с исполнением их прямых функций могут быть использованы как конструктивные элементы сооружений, например, в качестве свайных фундаментов, несущих частей ограждений, опор линий электропередачи и т.д.

I.I2. В зависимости от назначения парожидкостные установки могут быть однократного действия (восстановление мерзлого состояния грунтов в основании деформирующихся зданий и сооружений, создание льдогрунтовых завес при рытье котлованов, колодцев и т.д.) и постоянно - действующими (замораживание и поддержание мерзлого состояния грунтов в основании зданий и сооружений, находящихся в окружении талых массивов, создание противофильтрационных ядер в теле дамб и плотин),

I.I3. Выбор конструкции парожидкостных охлаждающих установок и всей замораживающей системы в целом определяется конструктивными особенностями зданий и сооружений, технологическими особенностями их строительства и эксплуатации и производится в соответствии с рекомендациями глав 2 и 5.

Параметры теплового взаимодействия в системе атмосферный воздух--теплоноситель-грунт определяются теплотехническими расчетами в соответствии с рекомендациями главы 7.

## 2. КОНСТРУКЦИИ ПАРОЖИДКОСТНЫХ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТАНОВОК

2.I. Основными конструктивными элементами парожидкостных охлаждающих установок являются испаритель (замораживающая колонка), конденсатор, соединительные линии, устройство для равномерного распределения конденсата по стенке испарителя, и запорно-зарядная арматура.

2.2. Испаритель является грунтовым теплообменником, в котором происходит испарение жидкого теплоносителя. Он представляет собой трубу с заглушенным нижним торцом, погруженную в грунт на глубину, определяемую глубиной замораживаемого массива.

Конденсатор является воздушным теплообменником, в котором происходит переход теплоносителя из парообразного в жидкое состояние.

Конструктивно испаритель и конденсатор могут быть связаны друг с другом различными способами. В простейшем варианте они представляют одну трубу с оребрением надземной части или без него, либо две трубы различного диаметра, расположенные коаксиально относительно друг друга (рис.2). Во многих случаях (при замораживании грунтов под зданиями без вентилируемых подполий или при их малой высоте, под резервуарами, под опорами ЛЭП и трубопроводов и т.д.) конденсатор должен располагаться на некотором расстоянии от испарителя и быть связан с ним соединительными линиями (рис.3).

Соединительные линии представляют собой трубопроводы для пропуска пара от испарителя к конденсатору и жидкого теплоносителя в обратном направлении. В зависимости от конструкции конденсатора паропровод и конденсатопровод могут быть раздельными или совмещены в одной трубе.

Запорно-зарядная арматура предназначена для пневматических испытаний замораживающей системы или отдельных ее узлов, вакуумирования, зарядки системы теплоносителем и манометрического контроля в процессе

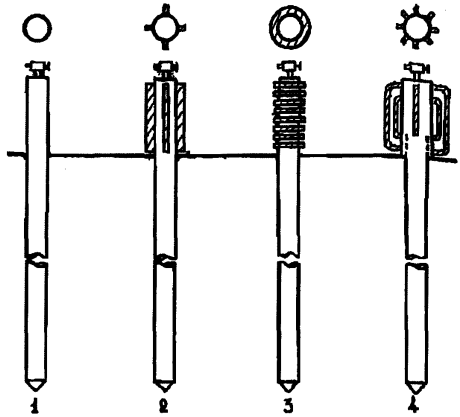



Рис.2. Схемы простейших охлаждающих устройств:

I - без оребрения конденсатора; 2 - с вертикальным полосовым оребрением; 3 - с горизонтальным пластинчатым оребрением; 4 - с многотрубным конденсатором

эксплуатации.

2.3. Соединения отдельных элементов охлаждающих установок должны выполняться электросварными за исключением крепления зарядно - запорной арматуры и защитных колпаков для нее. Фланцевые и резьбовые соединения следует при-

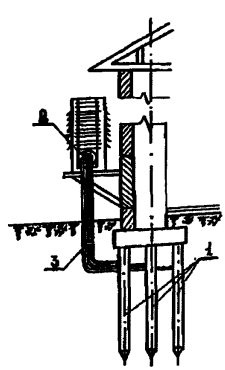



Рис.3. Схема охлаждающих устройств с раздельным размещением испарителей и конденсаторов:

I - железобетонная свая с замораживающей колонкой; 2 - блок конденсаторов; 3 - соединительные линии (паро-конденсатопроводы)

менять только в исключительных случаях.

2.4. Конструкцию охлаждающих установок рекомендуется разрабатывать с таким расчетом, чтобы исключить их сборку, испытания, вакуумирование и зарядку теплоносителем в условиях строительной площадки, то есть обеспечить поставку установок с завода в полной эксплуатационной готовности.

Исключения составляют установки с раздельным размещением испарителя и конденсатора при длине соединительной линии, не позволяющей транспортировку установок и погружение их в грунт в собранном виде.

2.5. Охлаждающие установки, испарители которых предполагается погружать в скважины с неустойчивыми стенками, следует проектировать с учетом возможности задавливания их в грунт.

2.6. Охлаждающие установки или их отдельные элементы должны иметь такелажные и транспортные приспособления.

Конденсаторы должны быть защищены кожухами многократного использования с целью исключения механического повреждения при транспортировке, складировании и погружении в скважины.

Рекомендуется разрабатывать специальные контейнеры или стеллажи, обеспечивающие компактную укладку, удобную погрузку и разгрузку, безопасную транспортировку и складирование установок.

2.7. Длинномерные испарители следует оборудовать кондукторами и захватами, исключающими поломку труб при подъеме и погружении в скважину.

2.8. Для изготовления испарителей используются стальные горячекатанные трубы (ГОСТ 8732-70) диаметром 100-150 мм. Наиболее целесообразно по технико-экономическим показателям (холодопроизводительность, бурение, металлоемкость, технологичность, транспортировка, монтаж) применение труб с наружным диаметром 108 и 114 мм с толщиной сте-

нок 4 мм.

Допускается изготовление длинномерных испарителей (более 8 м) из отдельных звеньев со стыковкой на сварке. При этом необходимо предусматривать усиление мест стыковки продольными сегментами из труб того же или меньшего диаметра, косынками, профилированным прокатом.

С торцов испарители герметизируются стальными крышками, причем верхние крышки изготавливаются из листовой стали толщиной не менее 5 мм, а нижние выполняются конусными.

Для предохранения испарителей от коррозии следует предусматривать обмазку их наружной поверхности горячим битумом или выполнять другое антикоррозийное покрытие. Для частей испарителей, расположенных в слое сезонного оттаивания, оно должно быть усиленным, а в случае необходимости рассчитано на воздействие агрессивных грунтовых вод.

2.9. Если испарители используются одновременно в качестве металлических свайных фундаментов (термосвай), то их диаметр и толщина стенки определяются передаваемой на них нагрузкой. Оголовки таких испарителей конструируются с учетом крепления на них конструктивных элементов здания или сооружения (например, рандбалок, опорных частей трубопроводов, опор линий электропередачи и т.д.). Испарители диаметром 100-120 мм могут быть вмонтированы в серийные железобетонные сваи, что уменьшает расход бетона и арматуры (рис. 4).

Стальные термосваи с целью компенсации сил пучения, действующих на них со стороны слоя сезонного промерзания, рекомендуется оребрять спиральной навивкой стального прутка диаметром 10-20 мм с шагом 0,1 - 0,3 м. Крепление прутка производится электросваркой со сплошным швом. Оребрению подлежит только часть испарителя, расположенная ниже слоя сезонного промерзания.

2.10. В испарителях охлаждающих установок с раздельным размещением конденсаторов необходимо предусматривать устройства для равномер-

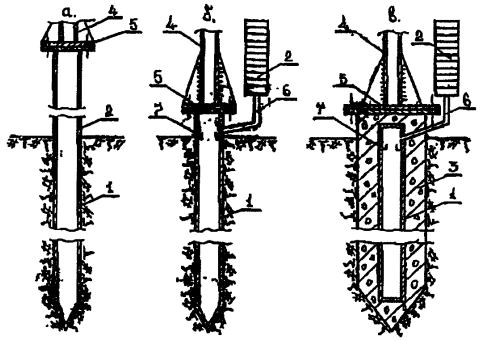


Рис.4. Примеры термосвай:

а – с совмещенными испарителями и конденсатором; б – с раздельным размещением испарителя и конденсатора; в – то же с испарителем, вмонтированным в железобетонную сваю; I – испаритель; 2 – конденсатор; 3 – железобетонная свая; 4 – опора ЛЭП, линии связи и др.; 5 – фланцевое соединение; 6 – соединительная линия (конденсато-паропровод); 7 – распределительное устройство

ного распределения теплоносителя по стенке испарителя.

Простейшее распределительное устройство (рис.5-а) выполняется в виде трубки высотой 50-70 мм с кольцом в нижней части. Внутренний диаметр кольца должен соответствовать диаметру трубки, а наружный – внутреннему диаметру испарителя. Ширина кольца должна составлять I0-I5 мм. Кольцо приваривается к нижнему концу трубки по всей окружности. По внешнему ранту кольца производится вертикальная или косая насечка глубиной 0,5 мм для пропуска жидкого теплоносителя. Пространство между трубкой распределителя и стенкой испарителя заполняется пористым материалом (например, асбестовым шнуром) слоем толщиной 40-60 мм. Для более равномерного распределения конденсата по стенке испарителя рекомендуется устанавливать два и более распределителей с таким расче –

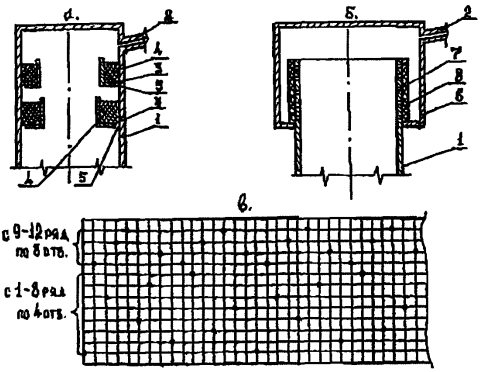



Рис.5. Схемы распределительных устройств:
а - с пористыми вкладышами; б - с перфорацией верхнего торца испарителя; в - пример развертки перфорированной поверхности для испарителя диаметром 114 мм; 1 - испаритель; 2 - соединительный патрубок; 3 - кольцо с трубкой; 4 - пористый материал; 5 -отверстия насечки; 6 - цилиндрический оголовок; 7 - отверстия перфорации; 8 - стеклоткань

том, чтобы при переполнении верхних распределителей обеспечивался слив конденсата из них в нижние.

Другим вариантом распределительного устройства является перфорирование верхнего торца испарителя отверстиями диаметром 1-2 мм(рис. 5-б). Отверстия располагаются рядами, расстояние между которыми составляет 4-6 мм. Количество рядов в зависимости от диаметра испарителя принимается равным 8-14. Число отверстий рекомендуется увеличивать при переходе от нижних рядов к верхним (рис.5-в). С наружной стороны перфорированная поверхность покрывается 5-6 слоями стеклоткани. Накопителем жидкого теплоносителя служит цилиндрический оголовник, причем зазор между перфорированной поверхностью и стенкой оголовника должен составлять 10-15 мм.

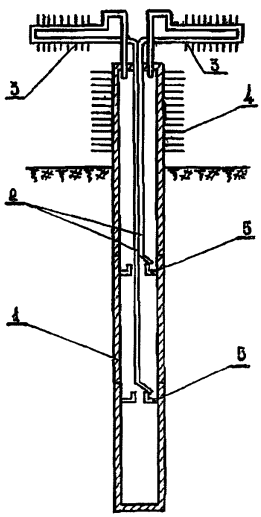



Рис.6. Принципиальная схема установки для глубинного замораживания:

I – секционный испаритель; 2 – внутренние конденсатопроводы; 3 – выносные конденсаторы; 4 – конденсатор совмещенный с испарителем; 5 – распределительные устройства

2.II. Для глубинного (более I5 м) замораживания грунтов испарители следует проектировать из двух и более секций. Длина секций не должна превышать I5 м (рис.6). Работа каждой секции обеспечивается собственным конденсатором. Подача жидкого теплоносителя из конденсаторов в секции производится по внутренним конденсатопроводам диаметром I5-30мм, для изготовления которых допускается применять как стальные бесшовные (ГОСТ 8732 – 70), так и водогазопроводные (ГОСТ3262 –75) трубы. Конденсат подается в распределительные устройства, устанавливаемые в верхних частях секций.

Допускается конструирование конденсатора верхней секции совмещенным с испарителем, если это позволяет расположение конструктивных элементов основного сооружения.

2.I2. При конструировании конденсаторов необходимо стремиться к максимальному развитию их поверхности. Соотношение площадей испарителя ( $F_и$ ) и конденсатора ( $F_к$ ) следует принимать от I до 0,5.

2.I3. Развитие рабочей поверхности конденсаторов достигается их оребрением и применением многотрубных систем (рис.2, схемы 2-4).

Вертикальное оребрение является самым простым в технологическом отношении, но приводит к неравномерному теплообмену при обдувании

конденсатора воздухом. Выполняется такое оребрение из стальных полос шириной 0,25–0,5 диаметра трубы конденсатора (рис. 2, схема 2). Его применение целесообразно в районах со средней скоростью ветра в активный период не более 4 м/с.

Горизонтальное оребрение несколько сложнее в изготовлении, но обеспечивает более равномерный теплосъем по окружности конденсатора. Выполняется оно из стальных пластин, шириной 0,4–0,6 диаметра конденсатора (рис.2, схема 3).

Толщина полос и пластин принимается равной толщине стенки конденсатора. Полосы и пластины привариваются к конденсатору сплошным швом по всей длине.

При расчете поверхности конденсатора коэффициент эффективности оребрения в зависимости от ширины ребра принимается равным 0,6–0,8.

Наиболее эффективным, но и самым сложным является развитие поверхности путем применения многотрубных систем. Конструктивные формы многотрубных конденсаторов могут быть самыми разнообразными. Для конденсаторов, совмещенных с испарителем, трубы могут располагаться вокруг объединяющей трубы, коаксиальной с испарителем (рис.2, схема 4). Многотрубные выносные конденсаторы монтируются на коллекторах. При этом предпочтительнее вертикальное расположение труб. (рис.7). Нижние коллекторы конденсаторов должны иметь уклон в сторону испарителей не менее 0,01.

2.14. Для изготовления многотрубных конденсаторов рекомендуется применять стальные бесшовные (ГОСТ 8732–70) или водогазопроводные (ГОСТ 3262–75) оребренные трубы диаметром 32–57 мм. В качестве коллекторов применяются трубы диаметром не менее 50–100 мм.

Оребрение труб производится стальной, мягкой, низкоуглеродистой обрезной лентой (ГОСТ 503–41), которая перед навивкой на трубы гофрируется. Рекомендуется использовать серийные ребристые трубы, выпус-

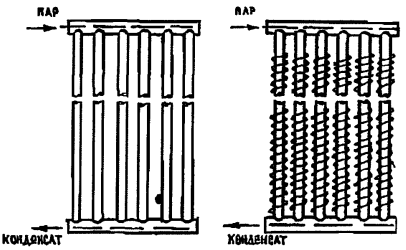



Рис.7. Многотрубные конденсаторы из гладких и оребренных труб

каемые для холодильной промышленности, характеристика которых приве - дена в таблице I.

Таблица I

Характеристика оребренных труб

| Диаметр трубы, мм | Ширина ленты, мм | Шаг, мм | Количество ребер на I пог.м | | Эффективная поверхность I пог.м оребренной трубы $м^2$ | Емкость I пог.м оребренной трубы, $м^3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | шт. | длина ленты | | |
| 57 | 50 х I,0 х I,2 | 35,8 | 28 | I3,8 | I,I2 | I,96 |
| 57 | 46 х I,0 | 35,8 | 28 | I3,8 | I,0 | -"- |
| 38 | 46 х I,0 - I,2 | 35,8 | 28 | II,5 | 0,8 | 0,88 |
| 38 | 30 х I,0 | 30,0 | 33 | I0,I | 0,54 | -"- |
| 38 | 30 х I,0 | 20,0 | 50 | I5,4 | 0,76 | -"- |
| 38 | 30 х I,0 | I3,3 | 75 | 23,0 | I,08 | -"- |
| 32 | 40 х I,0 - I,2 | 35,8 | 28 | 9,9 | 0,6 | 0,59 |
| 32 | 30 х I,0 | 20 | 50 | I4,5 | 0,69 | -"- |
| 32 | 30 х I,0 | I3,3 | 85 | 2I,8 | 0,98 | -"- |
| 32 | 30 х I,0 | I0 | I00 | 26,4 | I,05 | -"- |

2.I5. Целесообразно использование для конденсаторов стальных

оребренных секций охлаждающих батарей холодильных установок (ГОСТ 17645–78) следующих типов: С2К – двухколлекторные; СК – одноколлекторные; СС – средние (рис.8). Наиболее удобными являются двухколлекторные секции. При использовании типов СК и СС необходимо предусматривать установку дополнительных одного или двух коллекторов. Основные данные стальных оребренных секций приведены в таблице 2.

При необходимости увеличения поверхности конденсатора следует объединять отдельные секции в батареи.

2.16. Рекомендуется конструирование конденсаторов с применением элементов серийных батарей, используемых в холодильной промышленности: трубчато-змеевиковых испарителей для фреоновых установок, листотрубных и панельных испарителей для аммиачных установок (рис.9).

Фреоновые испарители типа ИРСН, выпускаемые промышленностью, имеют охлаждающую поверхность от 4,7 до 15 м$^2$. При использовании их в качестве конденсаторов для парожидкостных устройств требуется минимальная переделка, заключающаяся в объединении концов трубок на общие коллекторы (вместо змеевика).

Использование элементов листотрубных аммиачных испарителей для конденсаторов парожидкостных устройств позволяет разрабатывать компактные конструкции с практически любой поверхностью охлаждения.

Целесообразно конструирование конденсаторов с применением серийно выпускаемых отопительных конвекторов типа "КП", "Комфорт", "Прогресс" и "Аккорд" (рис.10). При небольших габаритах (длина 0,4–1,7 м) и малом весе (2–17 кг) конвекторы обладают значительной поверхностью (до 2,5 м$^2$). Они удобны для монтажа, а большое количество типоразмеров создает условия для конструирования конденсаторов с любой поверхностью охлаждения и практически выгодной конфигурацией. Основные показатели конвекторов приведены в таблице 3.

2.17. Допускается объединение конденсаторов в общий блок, обес –

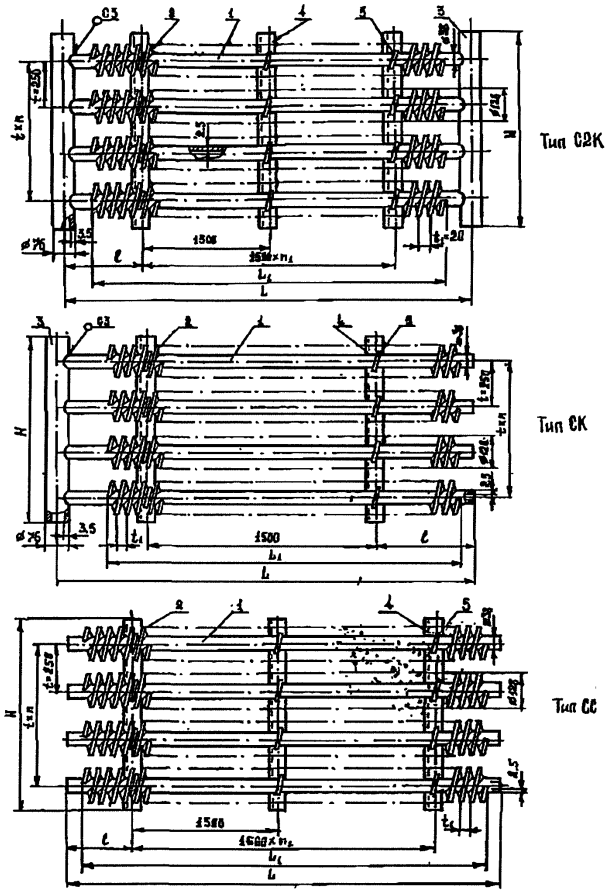



Рис.8. Секции стальные оребренные охлаждающих батарей и холодильных установок:
I - труба; 2 - лента; 3 - коллектор; 4 - уголок; 5- хомутик

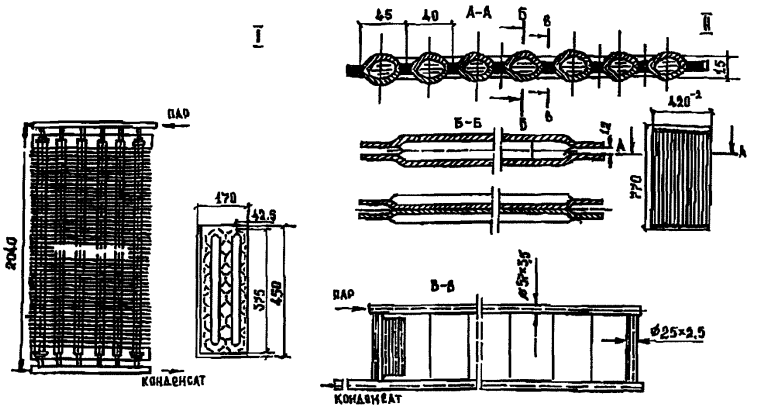



Рис.9. Серийный конденсатор типа ИРСН-I2,5 (I) для фреоновых установок и листотрубные конденсаторы (П) для других теплоносителей

печивающий работу нескольких испарителей. При этом конструкция распределительного коллектора должна обеспечивать равномерную подачу жидкого теплоносителя во все испарители, например, через перфорированные распределители (рис.II).

2.I8. Для опрессовки, вакуумирования и зарядки системы теплоносителя, а также для последующего манометрического контроля на конденсаторе устанавливается вентиль, защищаемый надежно закрытым металлическим колпаком. Для повышения надежности герметизации охлаждающей установки защитный колпак сам должен быть герметичным и устанавливаться на резьбе с уплотнительной прокладкой.

Вентиль следует располагать в месте удобном для операций по зарядке системы теплоносителем и последующей эксплуатации.

Для аммиачных установок рекомендуется использование вентилей ти-

Таблица 2

**Характеристика секций стальных оребренных охлаждающих батарей холодильных установок**

| Тип | L | $L_1$ | l | H | h | $h_1$ | Поверхность охлаждения, $м^2$, не менее | | Масса*, кг, не более | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | шт | | $t_1$=20 | $t_1$=30 | $t_1$=20 | $t_1$=30 |
| С2К | 2000 | 1800 | 250 | 1000 | 3 | – | 14,6 | 10,2 | 89,0 | 71,7 |
| | | | | 1500 | 5 | | 21,9 | 15,4 | 133,5 | 107,4 |
| | 4500 | 4300 | | 1000 | 3 | 2 | 34,2 | 23,7 | 133,3 | 142,0 |
| | | | | 1500 | 5 | | 51,4 | 35,6 | 274,5 | 212,5 |
| СК | 2750 | 2600 | | 1000 | 3 | – | 20,7 | 14,3 | 108,9 | 83,9 |
| | | | | 1500 | 5 | | 31,0 | 21,5 | 163,6 | 126,1 |
| СС | 3000 | 2900 | 750 | 1000 | 3 | – | 22,8 | 15,7 | 117,1 | 90,0 |
| | | | | 1500 | 5 | | 34,2 | 23,6 | 176,7 | 134,9 |
| | 4500 | 4400 | | 1000 | 3 | 2 | 34,5 | 23,8 | 178,2 | 135,7 |
| | | | | 1500 | 5 | | 51,8 | 35,7 | 267,2 | 203,7 |
| | 6000 | 5900 | | 1000 | 3 | 3 | 46,3 | 31,9 | 238,3 | 181,7 |
| | | | | 1500 | 5 | | 69,5 | 47,9 | 357,4 | 272,4 |

* Для труб 38 х 2,5 и ленты 45 х 1 мм.

па 1У-6-25 и 1У-10-25 (ГОСТ 100 94-62), для фреоновых - вентили типа 15-Б-34нI и 15-Б-35бкI. Диаметр условного прохода вентилей должен составлять 6-10 мм.

2.19. Допускается зарядка конденсаторов теплоносителем в заводских условиях. Такие конденсаторы должны иметь перепускные запорные вентили с диаметром условного прохода равным диаметру соединительной линии. Испарители в таких случаях должны иметь дополнительные

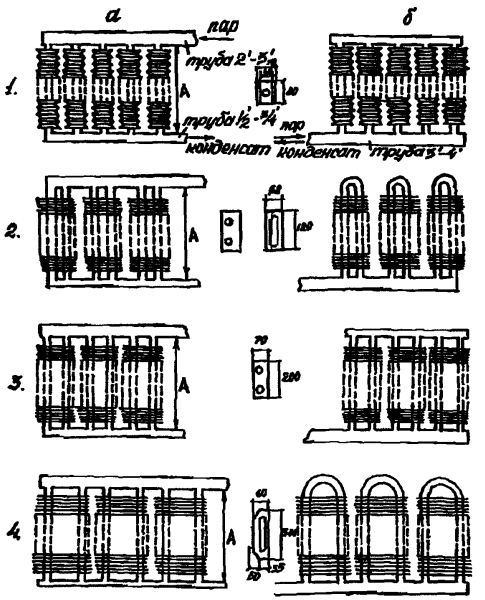



Рис.10. Конденсаторы с применением отопительных конвекторов:

а – с раздельными пароконденсатопроводами; б – с общим пароконденсатопроводом; 1 – с однотрубными конвекторами "КП"; 2 – с двухтрубными конвекторами "Комфорт"; 3 – с двухтрубными конвекторами "Прогресс"; 4 – с двухтрубными конвекторами "Аккорд"

запорные вентили для вакуумирования на объекте.

2.20. В верхних точках конденсаторов должны устанавливаться металлические пробки на резьбе с уплотнительными прокладками для сброса остаточного воздуха из охлаждающей системы после ее зарядки теплоносителем. Рекомендуется использование стандартных пробок, например, ти-

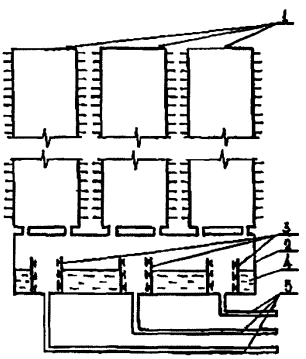
Таблица 3

Характеристика отопительных конвекторов, применяемых для изготовления конденсаторов

| Вид и тип конвектора | Поверхность, $м^2$ | Длина А, мм | Масса, кг | Емкость, л |
|---|---|---|---|---|
| "КП" однотрубный | | | | |
| I5 КП - I,0 | 0,46 | I000 | 3,4 | 0,20 |
| I5 КП - I,5 | 0,7 | I500 | 5,0 | 0,30 |
| 20 КП - I,5 | 0,89 | I500 | 6,0 | 0,503 |
| 20 КП - I,75 | I,04 | I750 | 7,2 | 0,567 |
| "Комфорт" двухтрубный | | | | |
| К - I7 (К-23) | I,24 | 706 (653) | 4,2 | 0,320 (0,296) |
| К - I8 (К-24) | 2,I5 | II06 (I053) | 6,9 | 0,502 (0,477) |
| К - I9 (К-25) | 2,87 | I506 (I453) | 9,6 | 0,683 (0,659) |
| "Комфорт" четырехтрубный | | | | |
| К - 30 (К-33) | I,53 | 706 (653) | 8,2 | 0,64I (0,593) |
| К - 3I (К-34) | 2,55 | II06 (I052) | I0,8 | I,004 (0,956) |
| К - 32 (К-35) | 3,57 | I506 (I453) | I5 | I,367 (I,3I9) |
| "Прогресс-I5" "Прогресс-20" двухтрубные | | | | |
| № I | 0,5 | 5I7 | 3,95 (4,I2) | 0,II7 (0,235) |
| № 3 | 0,75 | 7I7 | 5,92 (6,2) | 0,I62 (0,325) |
| № 5 | I,0 | 9I7 | 7,9 (8,25) | 0,207 (0,4I6) |
| № 6 | I,I3 | I0I7 | 8,95 (9,3) | 0,230 (0,46I) |
| № 9 | I,5 | I3I7 | II,85 (I2,45) | 0,298 (0,598) |
| "Аккорд" двухтрубный | | | | |
| А - 20 | I,0 | 930 | 8,97 | 0,422 |
| А - 28 | I,4 | I250 | I2,29 | 0,567 |
| А - 40 | 2,0 | I730 | I7,27 | 0,785 |

па КГ I/2" ГОСТ I2720-67.

2.2I. Конструкция и размещение конденсатора должны обеспечивать



свободный доступ к его отдельным узлам во время эксплуатации для профилакти - ческих осмотров и ремонта.

2.22. Монтаж конденсаторов про -

Рис.II. Блок конденсаторов на три испарителя:

I - конденсаторы; 2 - распределитель - ный коллектор; 3 - перфорированные распределители; 4 - конденсат теплоносителя; 5 - соединительные конденсатопаропроводы

изводится с учетом ветровой нагрузки на них и с таким расчетом, чтобы была исключена возможность заноса снегом. Установку конденсаторов следует, по возможности, производить на элементах зданий и сооружений при помощи скоб, хомутов, кронштейнов, на консолях и т.д. При необходимости установки конденсаторов на отдельных опорах последние должны обеспечивать устойчивость от воздействия сил пучения.

2.23. Рекомендуется размещать конденсаторы в затененных местах.

Конденсаторы и соединительные линии для уменьшения нагрева за счет длинноволнового излучения и предохранения от коррозии рекомендуется оцинковывать или покрывать двумя слоями белой краски, устойчивой к атмосферному воздействию.

2.24. Соединение испарителя с конденсатором в случае их раз - дельного расположения производится стальными бесшовными (ГОСТ 8732-70) трубами. Для стока жидкого теплоносителя применяются трубы диаметром I5-40 мм, парообразный теплоноситель пропускается по трубам диаметром не менее 50 мм. Конденсатопровод врезается в нижний коллектор конденсатора, паропровод - в верхний.

При пропуске конденсата и пара по одной трубе ее диаметр должен быть не менее 70 мм. Врезка объединенного конденсато-паропровода производится в нижний коллектор.

Уклоны соединительных трубопроводов в сторону испарителя должны быть не менее 0,01.

Во всех случаях длина соединительных линий должна быть минимальной.

2.25. В проектах необходимо предусматривать мероприятия для защиты подземных соединительных линий от повреждений динамическими нагрузками, вызываемыми проходящим транспортом.

Следует производить прокладку соединительных трубопроводов по стенам, перекрытиям и другим элементам зданий и сооружений, избегая свободную воздушную прокладку.

При необходимости прокладки трубопроводов через перекрытия, стены, рандбалки и т.д. обязательным является установка стальных гильз диаметром, обеспечивающим сохранность трубопроводов в случае деформаций зданий и сооружений.

2.26. Все надземные элементы охлаждающих систем должны размещаться таким образом, чтобы исключить их механическое повреждение. В необходимых случаях следует предусматривать защиту конденсаторов и соединительных линий специальными кожухами или устройством ограждений с предупредительными подписями.

2.27. В качестве уплотнительного материала используются паронитовые, фибровые или севанитовые прокладки толщиной 2-5 мм.

## 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ И РАСЧЕТ ИХ КОЛИЧЕСТВА ДЛЯ ЗАРЯДКИ ПАРОЖИДКОСТНЫХ УСТАНОВОК

3.1. Наиболее приемлемыми теплоносителями для парожидкостных установок в настоящее время являются: хладоны (фреоны) 12 и 22, аммиак и

пропан.

По своим технико-экономическим и термодинамическим показателям эти теплоносители существенно отличаются друг от друга. Сравнительная их оценка дана в п.п. 3.7–3.8.

3.2. В активном и пассивном режимах работы парожидкостных установок теплоноситель находится в двух фазах – в виде жидкости и насыщенного пара – при динамическом равновесии между ними. В связи с этим основное внимание следует уделять термодинамическим параметрам теплоносителя на линии насыщения.

3.3. Х л а д о н – I2 (дифтордихлорметан $CF_2Cl_2$, ГОСТ 8501-57) – холодильный агент, получивший в последнее время весьма широкое распространение. Хладон-I2 не имеет запаха, безвреден, совершенно не воспламеняется и не взрывоопасен. Лишь при высоких температурах он разлагается с образованием небольшого количества ядовитого газа – фосгена. Поэтому в помещениях с установками и емкостями с хладоном – I2 не рекомендуется курить, пользоваться открытым огнем и электронагревательными приборами. При сильных утечках хладона – I2, создающих концентрацию в помещении более 30% по объему, может наступить удушье от недостатка кислорода.

В диапазоне температур, при которых работают парожидкостные установки, хладон-I2 во взаимодействие с металлами не вступает, но растворяет обычную резину.

Хладон-I2 обладает свойством проникать через малейшие неплотности в соединениях и даже через поры в металлах. Поэтому при использовании этого теплоносителя необходимо обеспечивать повышенную герметизацию охлаждающих систем.

Стоимость хладона-I2 пока выше стоимости аммиака, но она в настоящее время непрерывно и значительно снижается, а его производство увеличивается.

Некоторые свойства хладона-I2 на линии насыщения приведены в таблицах 4 и 5.

3.4. Х л а д о н - 22 (дифтормонохлорметан $CHF_2Cl$, ГОСТ 8502--57) - сравнительно новый теплоноситель, обладающий хорошими термодинамическими свойствами и эксплуатационными качествами и получающий все большее практическое применение.

Хладон-22, как и хладон-I2, не ядовит и не взрывоопасен, к металлам, за исключением магниевых сплавов, нейтрален, обладает большой текучестью.

В широком диапазоне температур, характерных для районов с суровыми климатическими условиями, кривая давлений насыщения хладона - 22 протекает несколько выше, чем соответствующие кривые хладона-I2 и аммиака.

В настоящее время имеется некоторый дефицит этого теплоносителя, однако его производство непрерывно увеличивается.

Некоторые свойства хладона - 22 приведены в таблицах 4 и 5.

3.5. А м м и а к ($NH_3$, ГОСТ 6221) - химическое соединение азота с водородом характеризуется резким удушливым запахом, ядовитостью и взрываемостью. Допустимая концентрация его в воздухе производственных помещений не опасная для здоровья человека согласно действующему ГОСТу не должна превышать 0,02 мг/л. Смесь аммиака с воздухом при концентрации II-I5% воспламеняется при температуре 780°С, а при концентрации I6,5-26,8% смесь взрывается при соприкосновении с открытым пламенем.

По отношению к черным металлам аммиак нейтрален, в присутствии влаги сильно корродирует цинк, медь и ее сплавы, которые нельзя применять в аммиачных установках.

Стоимость аммиака сравнительно невелика.

Некоторые свойства аммиака на линии насыщения приведены в таб -

лицах 4 и 5.

Таблица 4

Зависимость избыточного давления ( $P_{изб}$) от температуры для различных теплоносителей на линии насыщения

| °С | Теплоносители | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Хладон-12 | Хладон-22 | Аммиак | Пропан |
| -60 | -0,77 | -0,62 | -0,78 | -0,52 |
| -50 | -0,60 | -0,34 | -0,58 | -0,29 |
| -40 | -0,35 | -0,08 | -0,27 | 0,19 |
| -30 | 0,03 | 0,67 | 0,30 | 0,77 |
| -20 | 0,54 | 1,51 | 0,94 | 1,56 |
| -10 | 1,23 | 2,63 | 1,97 | 2,80 |
| -5 | 1,66 | 3,29 | 2,70 | 3,31 |
| -4 | 1,75 | 3,46 | 2,76 | 3,43 |
| -3 | 1,85 | 3,62 | 2,91 | 3,56 |
| -2 | 1,94 | 3,77 | 3,06 | 3,68 |
| -1 | 2,04 | 3,94 | 3,22 | 3,81 |
| 0 | 2,15 | 4,10 | 3,38 | 3,94 |
| 1 | 2,25 | 4,27 | 3,55 | 4,10 |
| 2 | 2,36 | 4,44 | 3,72 | 4,26 |
| 3 | 2,47 | 4,63 | 3,89 | 4,43 |
| 4 | 2,58 | 4,82 | 4,07 | 4,60 |
| 5 | 2,70 | 5,00 | 4,26 | 4,77 |
| 10 | 3,31 | 5,99 | 5,27 | 5,63 |
| 20 | 4,78 | 8,35 | 7,74 | 7,71 |
| 30 | 6,58 | 11,26 | 10,90 | 10,24 |
| 40 | 8,77 | 14,79 | 14,85 | 13,28 |

3.6. Пропан ($C_3H_8$, ГОСТ 10197-62) - насыщенный углеводород со специфическим запахом. Ядовит, горюч и взрывоопасен. Температура воспламенения равна 510-580°С. Предел взрываемости составляет 2,1-9,5%.

Стоимость пропана наименьшая по сравнению со стоимостью всех приведенных выше теплоносителей, а мощная промышленность по добыче природного газа способна обеспечить практически любую потребность в

нем.

Некоторые свойства пропана приведены в таблицах 4 и 5.

3.7. При выборе теплоносителя следует учитывать, что наиболь - шей величиной коэффициента теплоотдачи обладает аммиак. Пропан и хладоны имеют коэффициенты теплоотдачи несколько ниже, чем аммиак.Недостаточно высокие теплопередающие свойства этих теплоносителей могут быть компенсированы увеличением рабочей поверхности охлаждающих уст - ройств, например, путем оребрения труб.

3.8. По физиологическим показателям, а также в отношении восп - ламеняемости и взрываемости наиболее опасным является пропан, менее опасным - аммиак и практически безопасными фреоны.

В местах большого скопления людей и в местах массового применения открытого огня, не допускается применение пропановых и аммиачных устройств. Эти теплоносители могут быть использованы для опор линей - ных сооружений, дамб и плотин и т.д. Аммиак, кроме того, можно ис - пользовать для охлаждающих устройств под жилыми, общественными и производственными зданиями, имеющими проветриваемое подполье, для опор галерей эстакад и т.п.

Во всех остальных случаях рекомендуется применять хладоны.

Таблица 5

Плотность теплоносителей в состоянии насыщения при -20°С

| Плотность, кг/м³ | Хладон-12 | Хладон-22 | Аммиак | Пропан |
|---|---|---|---|---|
| Жидкости | 1456 | 1350 | 665 | 555 |
| Пара | 9,03 | 10,76 | 1,60 | 5,90 |

3.9. Определение количества теплоносителя, необходимого для зарядки охлаждающего устройства, производится из расчета обеспечения пленки конденсата на стенках испарителя и конденсатора, создания не -

обходимого уровня конденсата в распределительных устройствах, коллекторах, соединительных линиях и запасного количества конденсата на дне испарителя, а также с учетом количества парообразного теплоносителя во всем объеме системы. При этом высота столба запасного количества конденсата на дне испарителя принимается равной 0,16 м.

Общее количество теплоносителя для зарядки охлаждающей установки расчитывается по формуле

$$P = Q_к \left[ 0{,}00015 \left( F_и + F_к + F_к' + F_с + 2\pi d_и \ell_с \right) + V_р + V_к' + 0{,}04\pi d_и^2 \right] + V_п Q_п \quad (1)$$

где $P$ – количество теплоносителя, кг; $F_и, F_к, F_к', F_с$ – поверхности, покрытые пленкой конденсата, соответственно в испарителе, конденсаторе, коллекторах и соединительных линиях, $м^2$; $d_и$ – диаметр испарителя, м; $\ell_с$ – длина соединительной линии (конденсатопровода), м; $V_р, V_к', V_п$ – соответственно объемы, занятые конденсатом в распределительных устройствах, коллекторах и объем, занятый парообразным теплоносителем, $м^3$; $Q_к, Q_п$ – соответственно плотность конденсата и пара, $кг/м^3$, определяемые по таблице 5.

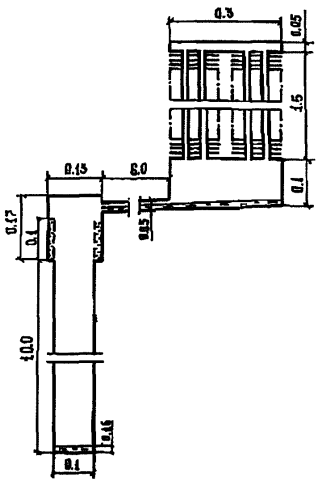



Рис.12. Схема охлаждающего устройства к примеру расчета количества теплоносителя

Пример 1. Определить количество хладона-12, необходимое для заправки охлаждающей установки (рис.12), длина испарителя которой $\ell_и$ = 10 м, а его внутренний диаметр $d_и$ = 0,1 м. Длина соединительной линии $\ell_с$ = 6,0 м, а ее диаметр $d_с$ = 0,05 м. Конденсатор собран из двухтрубных конвекторов типа К-19 (таблица 3) с длиной труб $\ell_к$ = 1,5м

и внутренним диаметром $d_к$ = 0,02 м, емкость каждого конвектора $V_к$ = = 0,0068 м$^3$. Верхним коллектором является труба длиной $l'_к$ = 0,3 м и диаметром $d'_к$ = 0,05 м, нижним – труба длиной $l''_к$ = 0,3 м и диаметром $d''_к$ = 0,1 м. Уровень конденсата в нижнем коллекторе (по условиям вварки в него соединительной линии) равен $h_к$ = 0,04 м.Испаритель снабжен перфорированным распределительным устройством с длиной перфорированного участка $l_р$ = 0,1 м и диаметром $d_р$ = 0,1 м. Кожух распределителя имеет длину $l'_р$ = 0,17 м и диаметр $d'_р$ = 0,13 м.

Решение. По таблице 5 определяется плотность хладона-12 в жидком и парообразном состояниях, соответственно равная $\varrho_к$ = 1456 кг/м$^3$ и $\varrho_п$ = 9,03 кг/м$^3$.

Поверхность, покрытая пленкой конденсата в испарителе, составляет

$$F_и = \pi\left[d_и(l_и - 0{,}16) + d'_р(l'_р - l_р) + \frac{(d'_р)^2}{4}\right] =$$

$$= 3{,}14\left[0{,}1(10{,}0 - 0{,}16) + 0{,}13\ (0{,}17 - 0{,}1) + \frac{(0{,}13)^2}{4}\right] = 3{,}13\ м^2 \quad (2)$$

То же соответственно в конденсаторе, коллекторах и соединительной линии

$$F_к = 4\pi d_к l_к = 4 \times 3{,}14 \times 0{,}02 \times 1{,}5 = 0{,}38\ м^2 \quad (3)$$

$$F'_к = \pi\left[d'_к l'_к + \frac{(d'_к)^2}{2} + d''_к l''_к + \frac{(d''_к)^2}{2}\right] =$$

$$= 3{,}14\left[0{,}05 \times 0{,}3 + \frac{(0{,}05)^2}{2} + 0{,}1 \times 0{,}3 + \frac{(0{,}1)^2}{2}\right] = 0{,}05\ м^2; \quad (4)$$

$$F_с = \pi d_с l_с = 3{,}14 \times 0{,}05 \times 6{,}0 = 0{,}94\ м^2 \quad (5)$$

Объем конденсата в распределительном устройстве

$$V_р = \frac{1}{4}\pi\left[(d'_р)^2 - (d_р)^2\right] l_р = \frac{1}{4} \times 3{,}14\left[(0{,}13)^2 - (0{,}1)^2\right] 0{,}1 = 0{,}0005 м^3 \quad (6)$$

Объем конденсата на дне нижнего коллектора

$$V_к' = F_к'' \cdot \ell_к'' \,, \qquad (7)$$

где $F_к'' = \frac{h_к}{15}\left(12\sqrt{h_к d_к'' - h_к^2} + 8\sqrt{h_к d_к''}\right)$ – площадь сегмента, занятая конденсатом в нижнем коллекторе (приближенно), м$^2$

$$V_к' = \frac{h_к}{15}\left(12\sqrt{h_к d_к'' - h_к^2} + 8\sqrt{h_к d_к''}\right)\ell_к'' =$$

$$= \frac{0{,}04}{15}\left[12\sqrt{0{,}04 \times 0{,}1 - (0{,}04)^2} + 8\sqrt{0{,}04 \times 0{,}1}\right] \times 0{,}3 =$$

$$= 0{,}00065 \text{ м}^3 \qquad (8)$$

Объем, занятый парообразным теплоносителем (приближенно, без учета объема конденсата)

$$V_п = \frac{1}{4}\pi\left[d_ц^2 \ell_ц + d_с^2 \ell_с + (d_к')^2 \ell_к' + (d_к'')^2 \ell_к''\right] + 2V_к =$$

$$= \frac{1}{4} 3{,}14\left[(0{,}1)^2 \times 10{,}0 + (0{,}05)^2 \times 6{,}0 + (0{,}05)^2 \times 0{,}3 + (0{,}1)^2 \times\right.$$

$$\left. \times\, 0{,}3\right] + 2 \times 0{,}0068 = 0{,}107 \text{ м}^3 \qquad (9)$$

Подставив значения соответствующих параметров в формулу (I), получим искомое количество хладона-12.

$$P = 1456\left[0{,}00015\,(3{,}13+0{,}38+0{,}05+0{,}94 + 2 \times 3{,}14 \times 0{,}1 \times 6{,}0) + \right.$$

$$\left. + 0{,}0005+0{,}00065+0{,}04 \times 3{,}14 \times (0{,}1)^2\right] + 0{,}107 \times 9{,}03 = 6{,}28 \text{ кг}$$

3.10. При расчете производственной потребности теплоносителя для какого-либо объекта в целом следует учитывать потери на сброс при удалении остаточного воздуха (0,1–0,3 кг на каждую установку) и потери в шлангах и соединительных узлах при заправке (в зависимости от объема шлангов и соединительных узлов).

## 4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ, МОНТАЖ, ИСПЫТАНИЯ И ЗАПРАВКА ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТАНОВОК

4.1. Изготовление охлаждающих установок и их монтаж на объекте

должны производиться раздельно. Установки в сборе или их отдельные узлы: испарители и конденсаторы в сборе, гнутые, сварные и штампованные отводы, тройники, переходы и крестовины, трубопроводная арматура в сборе с фланцами, отдельные фланцевые соединения с патрубками, прокладки, а также детали крепления (опоры, подвески, хомуты, кронштейны и т.д.) - следует изготавливать и испытывать в заводских условиях. Изготовление их на монтажной площадке допускается только в исключительных случаях.

4.2. Изготовление охлаждающих установок должно производиться в полном соответствии с проектной документацией и настоящими Рекомендациями. Отступления от чертежей и настоящих Рекомендаций допускается только по согласованию с проектной организацией.

В исключительных случаях, при обнаружении в документации явной ошибки, вызывающей брак или задержку производственного цикла, а также требующей уточнения графики и редакции текста, необходимые исправления могут быть произведены немедленно, но с последующим извещением об этом проектной организации.

4.3. Покупные изделия, используемые для комплектования пароводкостных охлаждающих установок, должны отвечать требованиям соответствующих стандартов и данным паспортов завода-изготовителя.

В случае замены или изменения стандартов (ГОСТ, ОСТ, ТУ, НО и т.д.), на которые имеются ссылки в настоящих Рекомендациях и в рабочих чертежах, завод-изготовитель обязан руководствоваться требованиями новых или измененных стандартов.

4.4. В процессе изготовления деталей и сборочных единиц, сборки, монтажа, испытания и приемки охлаждающих установок обязательному контролю подлежат: а) качество материалов и термической обработки; б) размеры всех деталей и сборочных единиц; в) качество механической обработки; г) качество сварки; д) результаты испытаний; е) комплект -

ность охлаждающих установок согласно чертежам; ж) качество покрытий и внешний вид; з) качество комплектующих изделий.

4.5. Материалы, применяемые для изготовления охлаждающих установок, должны соответствовать государственным стандартам и техническим условиям, указанным в спецификациях и технических требованиях на поле чертежа.

Допускается замена материала, указанного на чертеже, материалом по своим физическим и химическим характеристикам не ниже основного и не ухудшающим эксплуатационных характеристик изделия.

4.6. Перед изготовлением охлаждающих устройств их рабочие поверхности тщательно очищаются от ржавчины и окалины. Внутренние рабочие поверхности, кроме того, подвергаются специальной химической обработке (обезжириванию) растворителями (ацетоном ГОСТ 2768-69, дихлорэтаном ГОСТ 1942-74).

4.7. Допускаемые радиусы изгиба труб:

а) при гнутье с нагревом и набивкой труб песком – не менее трех с половиной диаметров трубы;

б) при гнутье на приводных станках без нагрева и набивки песком – не менее четырех диаметров трубы.

В местах изгибов не должно быть вмятин, морщин и трещин. Овальность труб в местах изгиба допускается не более, чем на 10% от их диаметра.

4.8. Отверстия в коллекторах конденсаторов для труб малого диаметра следует вырезать на сверлильных станках. Диаметр отверстия под трубу должен быть на 0-2 мм больше ее диаметра.

Вырезать отверстия газосваркой не рекомендуется.

4.9. Механическая обработка деталей должна выполняться по размерам, предельным отклонениям и шероховатости, указанным в чертежах.

Механически обработанные поверхности не должны иметь забоин, задиров и других повреждений. Острые углы и ребра должны быть притуплены радиусом 0,2–0,5 мм за исключением мест, затупление которых не допускается по чертежу.

4.10. Предельные отклонения должны выполняться для размеров:

от 1 мм до 3150 мм – по СТ СЭВ 144–75,

от 3150 мм до 10000 мм – по СТ СЭВ 177–75.

Допускаемые отклонения по овальности и конусообразности, а также радиальное биение посадочных поверхностей сопрягаемых деталей не должны превышать допуска на диаметр.

4.11. Резьбовые соединения должны быть выполнены согласно требованиям соответствующих стандартов и указаниям на чертежах.

Предельные отклонения резьб должны выполняться по указанному в чертеже классу точности:

метрическая – по ГОСТ 16093–70;

трубная цилиндрическая – по ГОСТ 6357–73;

коническая трубная – по ГОСТ 6211–69;

трапецеидальная – по ГОСТ 9562–75.

На концах или заходах резьб должны быть выполнены фаски согласно ГОСТ 10549–63.

Предельные отклонения метрической резьбы с натягом должны выполняться по ГОСТ 4608–65.

Предельные отклонения угловых размеров должны выполняться по ГОСТ 8908–58, если нет дополнительных указаний на чертеже.

4.12. Сортовой материал и трубы, подаваемые на сварку, должны быть отрихтованы. Кромки деталей, отрезанные ножницами, не должны иметь заусенцев. Кромки деталей после газовой резки должны быть зачищены от наплывов.

Детали сварных конструкций, подаваемых на сварку должны быть

очищены от масла, грязи, ржавчины, влаги.

4.13. Части сварных узлов и конструкций после сварки не должны быть погнутыми или покоробленными.

4.14. Зазор между свариваемыми кромками должен быть 0-2 мм. Неправильную подгонку торцов и большие зазоры между ними следует устранять вваркой вставки длиной не менее 100 мм. Устранение указанных дефектов вытяжкой трубопроводов производить запрещается.

4.15. Приварка фланцев выполняется строго перпендикулярно оси трубы с применением специального фланцевого угольника. Приварка производится с наружной и внутренней сторон фланца.

4.16. Для лучшего уплотнения фланцевых соединений рекомендуется смазка паронитовых или клингеритовых прокладок графитом, разведенном в веретенном масле ГОСТ 1642-75 (для аммиачных установок) и на глицерине ГОСТ 2659-75 (для хладоновых). После затяжки болтов между фланцами должен оставаться зазор не менее 1,5-2,0 мм для устранения неплотностей, которые могут появиться в процессе эксплуатации.

Сборку фланцевых соединений целесообразно выполнять в стационарных условиях с испытанием их на герметичность. Длина патрубков при этом должна составлять 150-200 мм. На объекте производится врезка патрубков в систему с испытанием только врезных швов. Это повышает надежность герметизации системы и упрощает производство работ.

4.17. Замена труб большого диаметра на меньший без согласования с проектной организацией не допускается.

Непринципиальные изменения в проекте расположения узлов системы или направления трубопроводов можно производить с согласия заказчика.

4.18. Комплектующие элементы (испарители, конденсаторы, запорная арматура и др.) перед сборкой (сваркой) должны быть испытаны согласно п.п. 4.2-4.3.

Запорная арматура проходит перед испытанием полный цикл ревизии (разборка, очистка, подгонка уплотняющих поверхностей, смазка, сборка). Установка запорной арматуры вниз маховиками не допускается.

4.19. В процессе сборки (монтажа) системы ее отдельные узлы должны быть подвергнуты продувке для окончательной очистки системы от загрязнений, окалины и воды.

При продувке один конец продуваемой части (узла) отсоединяется от общей системы и в него забивается деревянная пробка или вваривается запорный вентиль. Другой конец подсоединяется к компрессору или баллону со сжатым воздухом через редуктор. Продувку производят под давлением в 5-6 кг/см$^2$ резким выбиванием пробки или открытием запорного вентиля. Продувка производится несколько раз до тех пор, пока от выходящего воздуха на листе картона не остается следов грязи и влаги.

4.20. Подготовка металлических поверхностей, подлежащих окраске, производится по ГОСТ 9025-74. Нанесение покрытий выполняется при температуре воздуха не ниже +15°С и относительной влажности не выше 70%.

На неокрашенные поверхности (кроме оцинкованных, алюминиевых и т.п.) наносится смазка по ГОСТ 1033-73.

4.21. После изготовления конденсаторов, испарителей и других комплектующих узлов их внутренние полости должны быть герметично заглушены.

4.22. На каждую охлаждающую установку наносится маркировка, включающая следующие сведения:

а) завод изготовитель;

б) месяц и год изготовления;

в) заводской номер.

4.23. Погружение испарителей в грунт производится в скважины ,

диаметр которых на 20-50 мм больше наружного диаметра трубы испарителя. При бурении скважин особое внимание следует обращать на соблюдение их вертикальности. Отклонение установленных испарителей от вертикали не должно превышать 3,0% для аммиачных установок и 1,5% для хладоновых и пропановых установок.

После погружения испарителей в скважины пазухи между стенками испарителей и скважин засыпаются песком или заполняются глинистым раствором.

4.24. При монтаже конденсатора с испарителем на объекте следует соблюдать меры предосторожности, исключающие попадания во внутреннюю полость испарителя, конденсатора и соединительной линии различных предметов, воды и грязи.

4.25. Отклонение конструкций опорных элементов от местоположений, указанных в проекте, не должно превышать в плане и по высотным отметкам $\pm$10 мм.

4.26. Отклонение трубопроводов от проектного положения не должно превышать в плане $\pm$10 мм и по уклону не более 0,001.

Совершенно не допускается изгиб и провисание труб, способствующих образованию жидкостных и паровых мешков.

4.27. Отдельные узлы, в которых находится теплоноситель, подвергаются испытаниям на прочность и плотность, а вся установка в сборе подвергается испытанию на плотность. Испытания производят сжатым воздухом.

4.28. Для испытаний можно использовать компрессор или стандартные баллоны со сжатым воздухом, вмещающие до 6000 л воздуха в пересчете на нормальное давление при начальном давлении 125-150 кгс/см$^2$. Подача воздуха из баллонов производится через редуктор, позволяющий снижать давление с 250 кгс/см$^2$ на высокой стороне до 0 - 25 кгс/см$^2$ на низкой стороне.

Подача воздуха от источника к испытываемому изделию осуществляется стальными или резиновыми шлангами высокого давления с накидными гайками. Шланги должны быть рассчитаны на давление не менее 25 кгс/см$^2$.

4.29. Испытание на прочность производится под давлением I8 кгс/см$^2$. Поднимать давление следует постепенно ступенями, равными 6, I2 и I8 кгс/см$^2$, с осмотром испытываемых узлов на отсутствие деформаций.

Изделие признается выдержавшим испытание на прочность, если после достижения последней ступени в течение 5 мин. не произошло падения давления.

4.30. Испытание на плотность производится после положительного испытания на прочность. При этом давление в изделии снижается до I2 кгс/см$^2$ и выдерживается в течение I8 часов. В случае падения давления изделие следует нагрузить давлением I,5 кгс/см$^2$. Сварные швы, резьбовые и фланцевые соединения проверяются методом обмыливания. Для подваривания, в случае обнаружения мест утечек, давление в системе полностью сбрасывается. Во избежание деформаций сброс воздуха производится плавно. После ликвидации утечек воздуха испытание на плотность повторяется.

Допускается падение давления на величину до 0,5 кгс/см$^2$ в течение первых 6 часов (за счет выравнивания температуры сжатого воздуха). Фиксирование давления производится каждый час.

Если испытание проводится в условиях, когда температура окружающего воздуха изменяется в пределах нескольких градусов, то изменение давления допускается на величину $\Delta P$, определяемую по формуле:

$$\Delta P = P_н \left(1 - \frac{T_н}{T_к}\right), \qquad (10)$$

где $P_н, P_к$ - давление в начале и в конце испытаний, кгс/см$^2$; $t_н, t_к$ - температура окружающего воздуха в начале и в конце испытаний, $^oC$.

Узел (система) признается выдержавшей испытание, если по его окончании не обнаружено утечек воздуха и остаточных деформаций.

4.31. Перед зарядкой системы теплоносителем производится ее вакуумирование до остаточного давления не более 40 мм.рт.ст. (0,055 кгс/см$^2$). Вакуумные испытания продолжаются не менее 18 часов. Давление фиксируется в первые шесть часов через каждый час. В этот период допускается повышение давления до 50% начального. Если в остальное время вакуум остается постоянным, то система признается выдержавшей испытание.

4.32. Для вакуумирования целесообразно использовать вакуум-насосы типа ВН-461, обладающие способностью давать достаточно глубокий вакуум (до остаточного давления 0,003-0,005 кгс/см$^2$) при весьма высокой геометрической производительности (до 50 л/мин.).

Присоединение вакуумнасоса к системе осуществляется вакуумным шлангом через тройник с вакуумметром.

4.33. Для контроля давления во время испытаний используются пружинные манометры и вакуумметры с классом точности не ниже 1,5 и диапазонами шкалы для манометров от 0 до 25 кгс/см$^2$ (например, ОБВМ1-100 бф, АНУ 1-160) и для вакуумметров от 0 до 760 мм.рт.ст. или от 0 до -1,0 кгс/см$^2$.

Пользоваться манометрами и вакуумметрами без пломб или с просроченными сроками проверки категорически запрещается.

4.34. Зарядку системы теплоносителем следует производить при условии, что температура теплоносителя в баллоне выше температуры охлаждаемого грунта на величину не менее 2,0°С. При необходимости баллоны с жидким теплоносителем следует перед зарядкой выдержать в теплом помещении и теплоизолировать ватными или войлочными чехлами.

4.35. Перед зарядкой теплоносителем охлаждающая установкаваку-

умируется до остаточного давления не более 40 мм.рт.ст.(0,055 кгс/см$^2$).

Допускается вакуумирование перед зарядкой не производить, если период до конца испытания вакуумированием согласно п.4.31 до момента зарядки теплоносителем составляет не более двух часов (или остаточное давление во внутренней полости установки составляет не более 40 мм. рт.ст.).

4.36. При зарядке баллоны со сжиженным теплоносителем размещаются на весах в наклонном полодении вентилем вниз на специальной подставке (рис.I3, в). Вентиль баллона должен быть расположен выше зарядного вентиля охлаждающей системы. Присоединение баллона к зарядному вентилю осуществляется стальной бесшовной трубкой или резиновым шлангом высокого давления.

4.37. Перед открытием зарядного вентиля сбрасывают воздух из соединительного шланга, для чего, ослабив гайку на зарядном вентиле, приоткрывают угловой вентиль на баллоне и после появления капель жидкого теплоносителя у зарядного

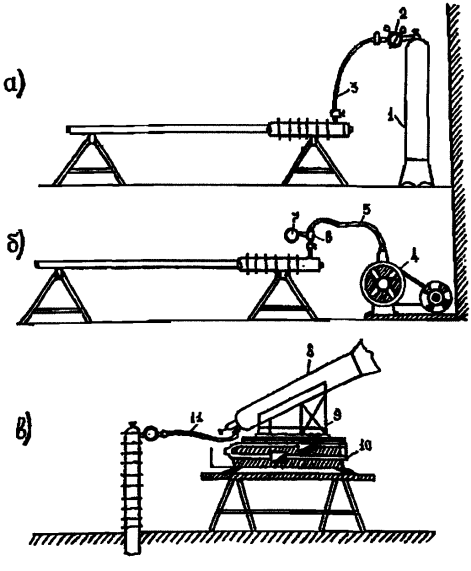



Рис.I3. Схема пневматических испытаний (а), вакуумирования (б) и зарядки охлаждающих устройств теплоносителем (в):

I - транспортный баллон со сжатым воздухом; 2 - кислородный редуктор; 3 - шланг высокого давления; 4 - вакуумнасос; 5 - вакуумный шланг; 6 - тройник; 7 -вакуумметр; 8 - баллон с жидким теплоносителем; 9 - наклонная подставка; I0 - весы; II - зарядный шланг

вентиля затягивают накидную гайку.

Подача теплоносителя производится с такой скоростью, чтобы можно было контролировать по весам его расход.

4.38. После зарядки на зарядный вентиль навинчивается заглушка с прокладкой, снимается маховичок и устанавливается защитный колпак с последующим опломбированием.

4.39. Остаточный воздух сбрасывается из системы через воздушную пробку в ее верхней части в 2-3 приема с интервалом 40-50 мин, в течение 5-10 секунд. Сброс остаточного воздуха из системы допускается при температуре наружного воздуха не ниже:

для фреоновых установок - минус 25°С;

для аммиачных установок - минус 30°С;

для пропановых установок - минус 40°С.

4.40. Разбивку оборудования на упаковочные узлы производит завод - изготовитель.

4.41. Оборудование должно отправляться заказчику в виде (или в таре), обеспечивающим сохранность узлов при погрузке, транспортировке и разгрузке.

4.42. Погрузочно-разгрузочные и транспортные операции должны выполняться с учетом мер безопасности и мероприятий исключающих образование трещин в сварных швах, погнутости и вмятин на трубных элементах и оребрении конденсатора, повреждение лако-красочного покрытия. При транспортировке упаковочные узлы не должны иметь перемещений, а крайние точки консольных частей должны быть жестко заневолены.

4.43. Упаковка узла должна обеспечивать невозможность попадания на оборудование грязи и атмосферных осадков.

4.44. Технические документы (акт приемки ОТК, упаковочная ведомость и технический паспорт по приложению I) должны быть завернуты в

бумагу, вложены в водонепроницаемый мешок и укреплены в основном упаковочном узле.

## 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРОЖИДКОСТНЫХ УСТАНОВОК В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

5.I. Парожидкостные замораживающие установки могут быть использованы для предварительного промораживания грунтов, которое производится: при строительстве зданий и сооружений по принципу I на участках с различной глубиной залегания вечномерзлых грунтов, при строительстве на слабых грунтах.

Промораживание осуществляется до образования сплошного льдогрунтового массива.

5.2. Глубину предварительного замораживания следует принимать на 0,5 м больше глубины залегания вечномерзлых грунтов или мощности мерзлого массива, обеспечивающей устойчивость здания или сооружения.

5.3. Размеры замораживания массива в плане принимаются равными площади талой зоны в пределах контура застройки. Если замораживаемый массив граничит с талыми грунтами, то в плане он должен выходить за контур крайних фундаментов на расстояние не менее 3 м.

5.4. Размещение испарителей установок (замораживающих колонок) в плане рекомендуется производить в шахматном порядке, располагая колонки в вершинах равностороннего треугольника. Размер стороны треугольника принимается равным I,73 $z_м$. Величина $z_м$ определяется расчетом согласно Рекомендациям главы 7.

5.5. Конденсаторы установок следует при предварительном замораживании располагать непосредственно над испарителем.

5.6. При предварительном замораживании слабых грунтов в основании линейных сооружений (линий электропередачи, трубопроводов и т.д.) рекомендуется использование испарителей в качестве металлических свай

(термосвай). В этом случае (п.2.9) диаметр испарителя и толщина его стенки назначаются в зависимости от величины передаваемой на него нагрузки.

Например, трубчатые опоры ПТТ-110 для ВЛ-110 кВ в зависимости от ветровой нагрузки могут быть установлены на одной или двух термосваях из стальных толстостенных труб диаметром 219-325 мм, погруженных в грунт на 5-6 м, при соотношении площадей испарителя и конденсатора $F_и/F_к$ = 2-3 (рис.14). Крепление опор к конденсаторам производится на сварных или болтовых соединениях (в верхней части) и на хомутах (в нижней части).

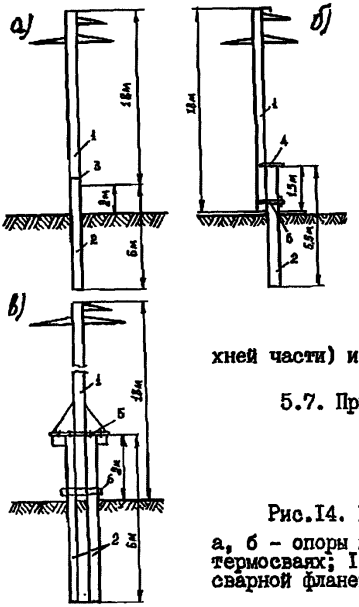



Рис.14. Конструкции термосвайных опор ЛЭП:
а, б - опоры на одной термосвае; в - опора на двух термосваях; 1 - опора ПТТ-110; 2 - термосвая; 3 - сварной фланец; 4 - сварное крепление; 5 - болтовое крепление; 6-хомуты

5.7. При строительстве по принципу I талые грунты, обладающие достаточной несущей способностью, рекомендуется промораживать после устройства фундаментов одновременно с возведением надфундаментных конструкций. Такое промораживание исключает выпучивание фундаментов в процессе эксплуатации за счет естественного промерзания грунта с его поверхности.

В этом случае конденсаторы установок также рекомендуется располагать непосредственно над испарителем. Вынос конденсатора за контуры

здания или сооружения следует производить только при малой высоте вентилируемого подполья.

Испарители установок во избежание выпучивания фундаментов в процессе промораживания должны располагаться симметрично осям фундаментов до глубины залегания вечномерзлых грунтов.

5.8. При замораживании грунтов одновременно с возведением надземной части сооружения замораживающие колонки располагаются:

а) при наличии столбчатых фундаментов - с двух или четырех сторон фундамента (рис.I5);

б) при наличии ленточных фундаментов - симметрично их продольной оси с шагом, равным диаметру льдогрунтового цилиндра (рис.I6);

в) при наличии свайного фундамента - располагая испаритель в теле железобетонной сваи (конструкция - "термосвая", см.п.2.9,рис.4,в).

Конденсаторы следует располагать в соответствии с указаниями п.2.2I-2.23.

5.9. Замораживание с целью восстановления мерзлого состояния грунтов оснований сооружений, построенных по принципу I, должно производиться после выявления и устранения причин, вызвавших оттаивание грунтов, например, теплового воздействия подземных инженерных коммуникаций (теплопровода, водопровода, канализации, сброса теплых вод под сооружение и т.п.).

Во избежание выпучивания фундаментов в процессе замораживания замораживаю-

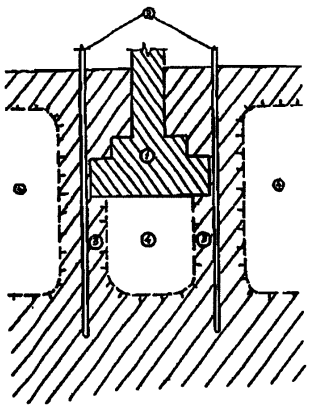


Рис.I5. Размещение замораживающих колонок возле столбчатого фундамента:
I - фундамент; 2 - замораживающие колонки; 3 - мерзлый грунт; 4 - талый грунт

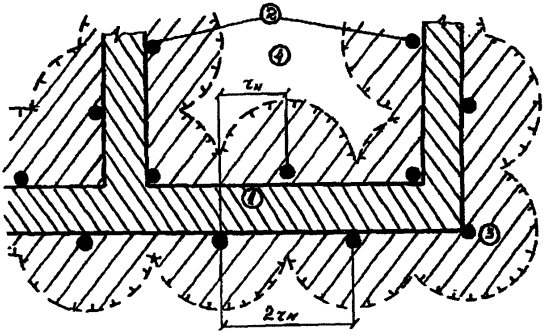



Рис.I6. Размещение замораживающих колонок возле ленточного фундамента:
I - фундамент; 2 - замораживающие колонки; 3 - мерзлый грунт; 4 - талый грунт

щие колонки следует располагать, по возможности, симметрично осям существующих фундаментов(рис.I7). Как исключение допускается расположение колонок за внешним контуром сооружения. При этом следует предусматривать соответствующие конструктивные мероприятия на случай возможных сооруже-

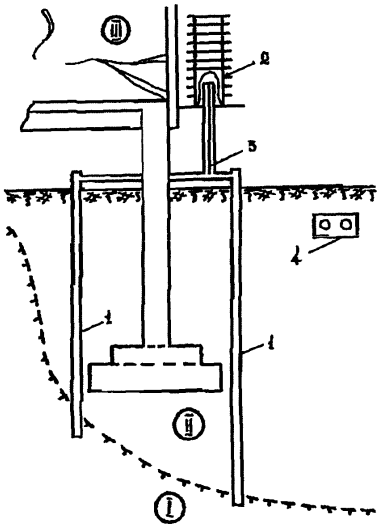



Рис.I7.Схема восстановления мерзлого состояния грунтов основания деформирующегося здания:
I - вечномерзлый грунт; II - оттаявший грунт; III - деформирующееся здание; 1 - замораживающие колонки; 2 - блок конденсаторов; 3 - соединительные линии; 4 - теплотрасса

ний.

Расположение конденсаторов следует производить согласно реко - мендациям по п.5.7.

Замораживание производится до достижения температуры грунта в контрольной скважине на 0,5°С ниже температуры вечномерзлого грунта, принятой при расчете несущей способности основания.

В течение всего периода замораживания необходимо вести наблюдения за состоянием сооружения.

При появлении опасных деформаций следует приостановить замора - живание до принятия мер по усилению конструкции.

Прекращение замораживания осуществляется путем выпуска из сис - темы теплоносителя.

5.10. Парожидкостные замораживающие установки могут быть ис - пользованы для создания противофильтрационных завес (противофильтра - ционные ядра дамб и плотин, льдогрунтовые ограждающие стенки котлова- нов, колодцев и т.д.) глубиной до 15 м, считая от дневной поверхности (рис.18). Ширина завесы (В) назначается расчетом, исходя из его теп -

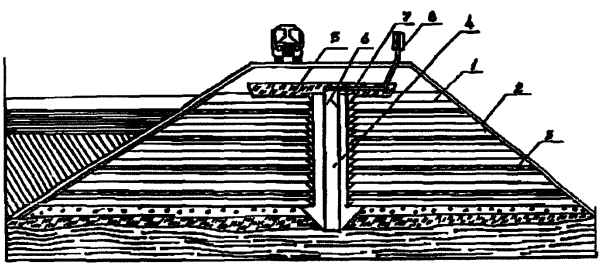



Рис.18. Дамба с противофильтрационным мерзлым ядром:
1 - местный грунт; 2 - защитное покрытие; 3 - суглинок; 4 - противофильтрационное ядро; 5 - теплоизоляционный слой; 6 - замораживающие колонки; 7 - соединительные линии; 8 - конденсаторы

ловой и механической устойчивости /3/.

Расположение замораживающих колонок в плане принимается в шахматном порядке с расстоянием между рядами равными I,5 расчетного радиуса льдогрунтового цилиндра ( $r_м$ ). Расстояние между замораживающими колонками в ряду принимается I,73 $r_м$. Крайние ряды замораживающих колонок должны располагаться внутри завесы на расстоянии 0,5 $r_м$ от ее границы (рис.I9).

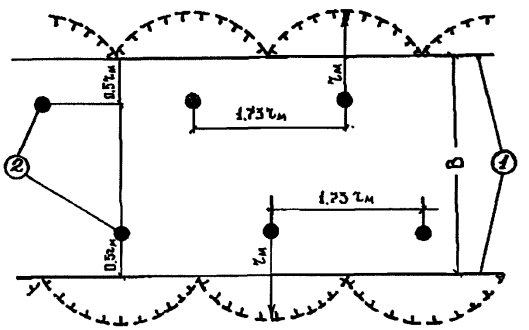



Рис.I9. Размещение замораживающих колонок для создания противофильтрационной завесы:
I - контур противофильтрационной завесы; 2 -замораживающие колонки

Число рядов ( n ) принимается в зависимости от отношения $B/r_м$ по данным таблицы 6.

Замораживающие колонки должны быть заглублены в водоупорный слой не менее 2,0 м.

При устройстве проезжей части над завесой конденсаторы замораживающих установок должны быть отнесены за пределы проезжей части.

Таблица 6

Число рядов ( n ) замораживающих колонок для создания противофильтрационных экранов

| $B/r_м$ | 2,5 | 4 | 5,5 | 7 |
|---|---|---|---|---|
| n | 2 | 3 | 4 | 5 |

5.II. Для охлаждающих установок, предназначенных для работы в условиях постоянного повышенного теплового воздействия со стороны прилегающих грунтовых массивов (мерзлотные завесы, льдогрунтовые проти - вофильтрационные ядра дамб и плотин), а также для одиночных термосвай в талых грунтах (опоры ЛЭП, трубопроводов и др.), целесообразно применение зероторов - устройств, аккумулирующих "холод" в зимнее время и расходующих его для работы охлаждающих установок в теплый период.

5.I2. Конструктивно зеротор представляет собой стальную оболочку, расположенную вокруг испарителя (грунтовый зеротор) или части конденсатора (наземный зеротор) заполненную жидкостью (антифризом), за - мерзающей при температуре ниже $0^0$С. (рис.20). Возможно применение конструкций с грунтовым и наземным зероторами.

Грунтовые зероторы могут быть использованы в качестве несущих элементов надземных конструкций (свайных фундаментов). В этом случае конденсаторы должны размещаться отдельно от испарителя.

5.I3. Грунтовые зероторы выполняются из стальных обсадных труб (ГОСТ 8732-70 или ГОСТ 3267-78) с толщиной стенки I0-25 мм (в зависимости от диаметра или из условия передаваемой на них нагрузки). Нижний и верхний торцы зеротора должны быть герметично закрыты. Наземные зероторы изготавливаются из листовой стали толщиной 3-5 мм. Форма наземных зероторов (цилиндр, параллелепипед и др.) определяется конструктивными требованиями.

5.I4. Уровень заполнения грунтового зеротора антифризом с уче -

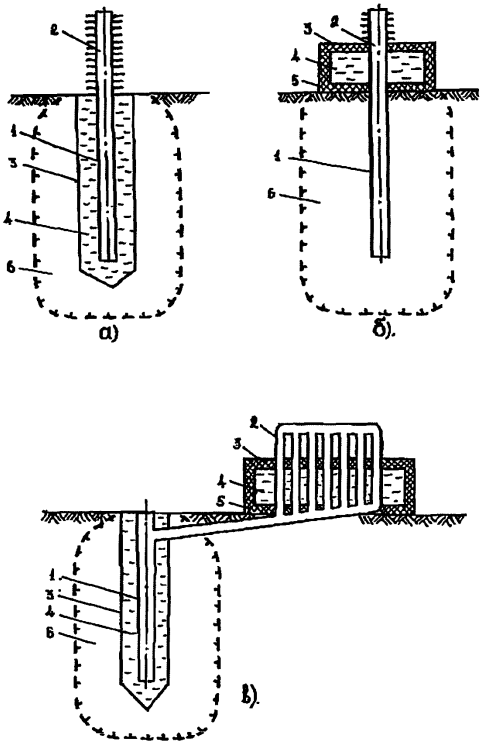



Рис.20. Принципиальные схемы охлаждающих установок с зероторами:

а – с грунтовым зеротором и соосными испарителем и конденсатором; б – с наземным зеротором и соосными испарителем и конденсатором; в – с грунтовым и наземным зеротором и раздельными испарителем и конденсатором; 1 – испаритель; 2 – конденсатор; 3 – оболочка зеротора; 4 – антифриз; 5 – теплоизоляция; 6 – мерзлый массив

том расширения последнего при замерзании, должен располагаться ниже слоя сезонного промерзания грунта на 0,15 м с тем, чтобы предотвратить смерзание льдогрунтового цилиндра с этим слоем и, таким образом, исключить воздействие на зеротор сил пучения.

5.15. В наземных зероторах должны быть предусмотрены расширители для компенсации увеличения объема антифриза при его замерзании.

5.16. Для сокращения потерь аккумулированного холода в летний период наземные зероторы покрываются теплоизоляцией. Ее рекомендуется проектировать съемной на зимний период с целью обеспечения более быстрого замораживания антифриза.

Она должна обладать достаточно малым коэффициентом теплопроводности (0,03–0,05 ккал/м.час.град.), устойчивостью к атмосферным воздействиям, быть не гигроскопической. Внешняя поверхность теплоизоляции должна иметь водонепроницаемое покрытие (руберойд, толь, полиэтилен и т.п.), окрашенное в белый цвет.

5.17. Принцип работы охлаждающей установки с зеротором заключается в следующем. В зимний период происходит охлаждение и замораживание грунта и аккумулирование холода в зероторе за счет замораживания антифриза. При этом часть конденсатора, размещенная в антифризе, работает в режиме испарителя. В летний период происходит отдача холода, накопленного антифризом, либо непосредственно в грунт от грунтового зеротора, либо через продолжающие работать конденсатор и испаритель от наземного зеротора. Часть конденсатора, расположенная вне антифриза, в летний период выключается из работы.

5.18. В качестве антифризов должны использоваться жидкости не расслаивающиеся при замерзании, обладающие достаточно большой удельной теплотой фазовых превращений и с температурой замерзания, минус 1-2°С.

Рекомендуется применение в качестве антифризов водных растворов

карбамида или ацетона с параметрами, приведенными в таблице 7.

Таблица 7

Расчетные параметры антифризов на основе карбамида и ацетона

| Содержание компонента, % вес. | Температура плавления, °С | Удельная теплота плавления, ккал/кг |
|---|---|---|
| карбамида | | |
| 3 | -I,02 | 62,2 |
| 4 | -I,36 | 56,8 |
| 6 | -I,80 | 48,8 |
| ацетона | | |
| 4 | -I,00 | 66,0 |
| 5 | -I,45 | 63,9 |
| 7 | -I,86 | 5I,8 |

5.I9. Температура антифриза назначается из условия обеспечения на поверхности грунтового зеротора или испарителя (при наземном расположении зеротора) расчетной температуры (например, для обеспечения твердомерзлого состояния грунта).

5.20. Количество антифриза определяется из условия компенсации теплопритока в летний период из замороженного массива грунта в грунтовый зеротор и от атмосферного воздуха в наземный зеротор.

Объем антифриза при использовании только грунтового зеротора вычисляется по формуле

$$V_г = \pi(r_з^2 - r_ц^2)(h_ц - h_{св} - 0{,}15). \qquad (II)$$

При этом радиус грунтового зеротора определяется подбором по формуле

$$\frac{2{,}4\,\lambda_м \gamma_п (T_в - T_А)}{\rho_А r_А} - (r_з^2 - r_ц^2)\ln(r_м/r_з) = 0. \qquad (I2)$$

Объем антифриза при использовании только наземного зеротора вы-

числяется подбором по формуле

$$\tau_п \left[ \frac{2.4\pi\lambda_м(T_0-T_А)h_и}{\ell_и(r_м/r_и)} + \frac{1.1F_{из}(T_{вп}-T_А)}{\delta_{из}/\lambda_{из}+1/\alpha_в} \right] - \rho_А \gamma_А V_н = 0. \quad (13)$$

Объем антифриза при совместном использовании грунтового и наземного зеротора вычисляется подбором по формуле

$$V_с = V_г + V_н. \quad (14)$$

При этом объем антифриза в наземном зероторе определяется подбором по формуле

$$\tau_п \left[ \frac{2.4\pi\lambda_м(T_0-T_А)(h_и-h_{сп}-0.15)}{\ell_и(r_м/r_з)} + \frac{1.1F_{из}(T_{вп}-T_А)}{\delta_{из}/\lambda_{из}+1/\alpha_в} \right] - \rho_А \gamma_А (V_г+V_н) = 0. \quad (15)$$

В формулах (II) – (I5) приняты следующие обозначения:

$V_г, V_н, V_с$ – объемы антифриза соответственно в грунтовом и наземном зероторах и при их совместном использовании, м³; $F_{из}$ – поверхность наземного зеротора, через которую проходит теплопоток к антифризу, м²; $r_з$, $r_и$, $r_м$ – радиусы соответственно грунтового зеротора, испарителя и льдогрунтового цилиндра на конец активного периода (определяется по указаниям главы 7), м; $h_и$, $h_{сп}$ – глубина соответственно погружения испарителя и сезонного промерзания грунта (определяется по данным натурных наблюдений, а при их отсутствии по приложению 4 СНиП II-I8-76/1/), м; $\delta_{из}$ – толщина теплоизоляции наземного зеротора, м; $\gamma_А$ – удельная плотность антифриза, принимаемая равной: для карбамидного антифриза – I0I0 кг/м³, для ацетонового антифриза – 990 кг/м³; $\rho_А$ – удельная теплота замерзания антифриза, определяемая по таблице 7, ккал/кг; $\lambda_м, \lambda_{из}$ – коэффициенты теплопроводности соответственно мерзлого грунта (определяется по опытным данным, а при их отсутствии по приложению I СНиП II-I8-76/1/) и теплоизоляции (определяется по приложению 3), ккал/м.час.град; $\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи от поверхности теплоизоляции к воздуху, принимаемый равным I0 ккал/м².час.град; $T_А, T_0, T_{вп}$ – температура соответственно антифриза, замерзания воды в грунте (определяется по опытным данным, а при их отсутствии по п.2.I3 СНиП II-I8-76 /1/ и

средняя атмосферного воздуха за пассивный период (определяется как среднемноголетняя по данным ближайшей метеостанции, а при их отсутствии по справочным данным, например, по таблице I СНиП П-А,6-72 [4] или по таблице I.I в работе [5]); $\tau_{п}$ – продолжительность пассивного периода, определяемая также, как и $\tau_{оп}$, час.

Пример 2. Определить радиус и объем антифриза грунтового зеротора из условия обеспечения на его контакте с грунтом температуры твердомерзлого состояния последнего в пассивный период. Глубина погружения испарителя составляет $h_{и}$ = I0 м, а его наружный радиус $r_{и}$ = 0,057 м. Глубина сезонного промерзания грунта составляет $h_{сп}$ = I,85 м. Грунт – суглинок с объемным весом скелета $\gamma_{ск}$ = I600 кгс/м$^2$ и суммарной влажностью $W_{с}$ = 0,I5. В качестве антифриза используется раствор ацетона. Радиус льдогрунтового цилиндра к началу пассивного периода $r_{м}$ = 2,I м.

Решение. Расчет радиуса зеротора производится по формуле I2, а количество антифриза расчитывается по формуле II. Предварительно определяются дополнительные расчетные параметры.

Температура антифриза, обеспечивающая твердомерзлое состояние грунта на его контакте с зеротором и температура начала замерзания грунта согласно СНиП П-I8-75 [1] составляют соответственно $T_{А}$ = –I$^{0}$C (п.2.4) и $T_{Б}$ = –0,2$^{0}$C (таблица 3, п.2.I3 при концентрации порового раствора $K_{кр.}$ = 0). Удельная теплота замерзания антифриза определяется по таблице 7 и составляет $\rho_{А}$ = 66 ккал/кг. Коэффициент теплопроводности мерзлого грунта определяется по приложению I СНиП П-I8-75 [1] и равен $\lambda_{м}$ = I,05 ккал/м.час.град. Продолжительность пассивного периода определяется по таблице I СНиП П-А 6-72 [4] как разность между количеством дней в году и количеством дней в активном периоде со среднесуточной температурой $\leq$ 0$^{0}$C (графа 23) и составляет $\tau_{п}$ = 365 – 245 = I20 сут = 2880 час.

Подбор радиуса зеротора осуществляется следующим образом. Задают-

ся произвольные радиуса зеротора с заведомо большими и меньшими величинами по сравнению с ожидаемой искомой величиной, в данном случае $r_з^{I} = 0{,}15$ м, $r_з^{II} = 0{,}2$ м и $r_з^{III} = 0{,}25$ м. Рассчитываются соответствующие этим величинам значения левой части уравнения (I2):

I) $\frac{2{,}4 \times I{,}05 \times 2880 \left[-0{,}2-(-I{,}0)\right]}{66 \times 990} - \left[(0{,}I5)^2-(0{,}057)^2\right] \ell_n (2{,}I/0{,}I5) =$

$= 0{,}038$ м$^2$;

2) $\frac{2{,}4 \times I{,}05 \times 2880 \left[-0{,}2-(-I{,}0)\right]}{66 \times 990} - \left[(0{,}2)^2-(0{,}057)^2\right] \ell_n (2{,}I/0{,}2) =$

$= 0{,}0025$ м$^2$;

3) $\frac{2{,}4 \times I{,}05 \times 2880 \left[-0{,}2-(-I{,}0)\right]}{66 \times 990} - \left[(0{,}25)^2-(0{,}057)^2\right] \ell_n (2{,}I/0{,}2) =$

$= 0{,}044$ м$^2$.

Строится график зависимости выражения левой части уравнения (12) от $r_з$, т.е. $f(r_з)$ (рис.2I) и в точке его пересечения с осью абсцисс определяется искомое значение радиуса зеротора $r_з = 0{,}203$ м.

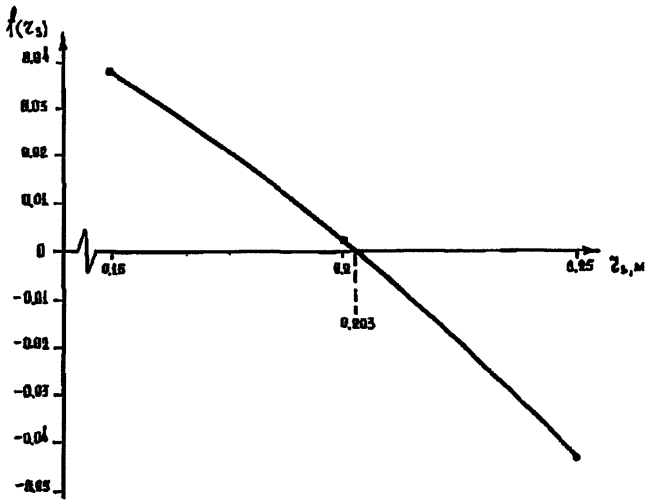



Рис. 2I. График зависимости $f(r_з)$ (к примеру 2 )

Объем антифриза вычисляется по формуле (II).

$$V_г = 3{,}14 \left[ (0{,}203)^2 - (0{,}057)^2 \right] (10\text{-}1{,}85\text{-}0{,}15) = 0{,}955 \text{ м}^3.$$

Пример 3. Определить объем антифриза в наземном зероторе при таких же условиях и исходных данных, как и в примере I. Дополнительные условия и данные следующие. Зеротор имеет форму параллелепипеда с высотой $h_з = 1{,}0$ м, шириной $b_з = 1{,}0$ м и длиной $l_з$, причем по конструктивным соображениям можно изменять только длину зеротора. Теплоизоляция - пенопласт толщиной $\delta_{из} = 0{,}1$ м.

Решение. По данным таблицы I (графы 7 - 10) СНиП П-А 6-72 /4/ рассчитывается средняя за пассивный период температура атмосферного воздуха

$$T_{оп} = \frac{5{,}9 + 13{,}4 + 10{,}4 + 3{,}6}{4} = 8{,}3^{\circ}\text{C}.$$

По приложению 3 определяется коэффициент теплопроводности пенопласта, равный $\lambda_{из} = 0{,}027$ ккал/м.час.град.

При данной конфигурации зеротора поверхность нагрева антифриза через теплоизоляцию и объем антифриза соответственно равны

$$F_{из} = 2h_з b_з + 2(h_з + b_з) l_з \quad \text{и} \quad V_н = h_з b_з l_з. \qquad (16) \text{ и } (17)$$

Подставляя выражения для $F_{из}$ и $V_н$ из (16) и (17) в (13) и решив его относительно $l_з$, а затем, подставив исходные данные в полученное уравнение, вычислим

$$l_з = \frac{\dfrac{2{,}4\,\pi\,\lambda_м (T_о - T_А)\, h_н}{l_п\, \tau_м/\tau_н} + \dfrac{1{,}1\,(T_{оп} - T_А)\cdot 2\, h_з b_з}{\delta_{из}/\lambda_{из} + 1/\alpha_в}}{\dfrac{\rho_А\, \gamma_А\, h_з b_з}{\tau_п} - \dfrac{1{,}1\,(T_{оп} - T_А)\cdot 2\,(h_з + b_з)}{\delta_{из}/\lambda_{из} + 1/\alpha_в}} =$$

$$= \frac{\dfrac{2{,}4 \times 3{,}14 \times 1{,}05\,[-0{,}2-(-1{,}0)] \times 1{,}0}{l_п\; 2{,}1/0{,}057} + \dfrac{1{,}1\,[8{,}3-(-1{,}0)] \times 2 \times 1{,}0 \times 1{,}0}{0{,}1/0{,}027 + 1/10}}{\dfrac{66 \times 990 \times 1{,}0 \times 1{,}0}{2880} - \dfrac{1{,}1\,[8{,}3-(-1{,}0)] \times 2\,(1{,}0 + 1{,}0)}{0{,}1/0{,}027 + 1/10}} =$$

$$= 1{,}92 \text{ м}. \qquad (18)$$

Объем антифриза составляет $V_н = 1{,}0 \times 1{,}0 \times 1{,}92 = 1{,}92$ м$^3$.

Пример 4. Определить объем антифриза при совместном использовании грунтового и наземного зероторов для таких же условий и исходных данных, как в примерах I и 2, если радиус грунтового зеротора составляет $r_з = 0,15$ м.

Решение. Предварительно определим длину наземного зеротора, для чего подставим выражения для $F_{из}$ и $V_н$ из (I6) и (I7) в уравнение (I5), введем обозначения:

$$A = \frac{2,4\pi\lambda_м(T_0 - T_A)(h_н - h_{сп} - 0,15)}{\ell_н(r_м/r_з)}; \qquad (I9)$$

$$B = \frac{1,1(T_{вп} - T_A)}{\delta_{из}/\lambda_{из} + 1/\alpha_в}; \qquad (20)$$

$$V_г = \pi(r_з^2 - r_м^2)(h_н - h_{сп} - 0,15). \qquad (2I)$$

Решим уравнение (I5) относительно $\ell_з$, тогда

$$\ell_з = \frac{\tau_п(A + 2Bh_зb_з) - \rho_A\gamma_A V_г}{\rho_A\gamma_A h_з b_з - 2\tau_п(h_з + b_з)}. \qquad (22)$$

Вычислим по формуле (2I) величину $V_г$ и по формулам (I9) и (20) величины $A$ и $B$:

$$V_г = 3,I4\left[(0,I5)^2 - (0,057)^2\right](I0 - I,85 - 0,I5) = 0,49 \text{ м}^3;$$

$$A = \frac{2,4 \times 3,I4 \times I,05\left[-0,2-(-I,0)\right](I0 - I,85 - 0,I5)}{\ell_п\ (2,I/0,I5)} = I9,I9 \frac{\text{ккал}}{\text{час}};$$

$$B = \frac{I,I\left[8,3 - (-I,0)\right]}{0,I/0,027 + I/I0} = 2,69 \text{ ккал/м}^2\text{.час}.$$

Подставив полученные величины $V_г$, $A$, $B$ и заданные исходные данные в формулу (22), получим

$$\ell_з = \frac{2880\ (I9,I9 + 2 \times 2,69 \times I,0 \times I,0) - 66 \times 990 \times 0,49}{66 \times 990 \times I,0 \times I,0 - 2 \times 2880\ (I,0 + I,0)} = 0,65 \text{ м}.$$

Объем антифриза в наземном зероторе $V_н = I,0 \times I,0 \times 0,65 = 0,65 \text{м}^3$.

Суммарный объем антифриза в системе $V_с = V_г + V_н = 0,49 + 0,65 = I,I4 \text{м}^3$.

5.2I. Проектом должно быть предусмотрено оборудование термометрических скважин для контроля за ходом замораживания. Контроль за

температурой грунта осуществляется на одном - трех контрольных участках с наиболее неблагоприятными условиями для замораживания (максимальная влажность грунта, его минимальная теплопроводность, отепляющее воздействие пограничных массивов грунта и т.д.).Термометрические скважины располагаются в центре между замораживающими колонками, а при использовании термосвай в одной с ней скважине. Глубина скважин должна быть на I,0 м больше глубины замораживания.

Термометрические скважины обсаживаются стальными трубами диаметром 40-70 мм. Нижние концы труб герметизируются стальными заглушками на сварке. Пазухи скважин засыпаются песком.

Измерения температуры по глубине производятся через I-2 м. Датчики температуры монтируются в термокомплектах, которые погружаются в обсадные трубы и засыпаются песком. Как исключение допускается использование вытяжных термокомплектов.

В качестве датчиков температуры можно использовать термометры сопротивления, термисторы, заленивленные ртутные термометры.

## 6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПАРОЖИДКОСТНЫХ ОХЛАЖДАЮЩИХ СИСТЕМ И ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

6.I. Парожидкостные охлаждающие установки не подлежат регистрации в органах Госгортехнадзора РСФСР.

Надзор за ними и проведение технического освидетельствования возлагается на администрацию предприятий (решение Комитета Госгортехнадзора РСФСР от 24 ноября 1961 г.).

6.2. Приемка в эксплуатацию вновь смонтированной или реконструированной парожидкостной охлаждающей системы производится с участием представителя технической инспекции предприятия. При приемке должны быть представлены следующие документы: а) проект системы; б)акты приемки производственных, строительных и монтажных работ; в) акты испы -

таний на прочность и плотность; г) технический паспорт (форму см.Приложение I).

Для каждой парожидкостной охлаждающей установки должен быть журнал, в котором отмечаются результаты визуальных осмотров, профилактические и ремонтные мероприятия, данные замеров давления теплоносителя и температуры грунта (форму см.Приложение 2).

6.3. Узлы охлаждающей установки до соединения их в общую систему должны пройти техническое освидетельствование в соответствии с "Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов,работающих под давлением".

6.4. Для создания нормальных условий работы парожидкостных охлаждающих систем необходимо регулярно (не реже одного раза в месяц) производить их осмотр и обеспечивать мероприятия по предохранению от механических повреждений, заноса конденсаторов или элементов их оребрения снегом и т.д.

6.5. Не реже одного раза в квартал следует производить контрольные измерения давления теплоносителя в системе. Измерения давления производятся через запорно-зарядный вентиль. Для присоединения манометра или мановакуумметра к вентилю используются стальные переходники с паронитовыми прокладками.

Если в зимний период давление в системе соответствует давлению насыщенных паров теплоносителя при температуре наружного воздуха в момент измерения (см.табл.4) либо несколько выше его (на 0,2 - 0,6 кгс/см$^2$), то это указывает на нормальное функционирование системы.Для удобства проведения контрольных замеров рекомендуется использовать манометры и мановакуумметры с температурной шкалой. Измерение температуры воздуха допускается производить любым ртутным или спиртовым термометром с ценой деления не более I$^{o}$C.

Если давление в системе оказывается ниже того, которое соответ-

ствует данной температуре наружного воздуха, необходимо произвести обследование системы химическими индикаторами для обнаружения мест утечки теплоносителя в соответствии с п.6.6.

6.6. Для обследования аммиачных установок используется лакмусовый индикатор, представляющий собой полоску фильтрованной бумаги (10х 15 см), пропитанную 1% раствором фенолфталеина в спирте-ректификате . Такие индикаторы хранят в сухом виде в воздухонепроницаемой упаковке. При обследовании лакмусовый индикатор смоченный в воде накладывают на проверяемый участок (сварные, фланцевые, резьбовые соединения, сальники и входные отверстия вентилей и т.д.). В присутствии даже следов аммиака индикатор окрашивается в ярко-красный цвет.

Для обследования хладоновых установок применяют специальные течеискатели, позволяющие обнаружить самые ничтожные утечки хладона.Наиболее простым и удобным течеискателем является галоидная лампа. В присутствии паров хладона пламя спирта, горящего в лампе, окрашивается в желтый цвет, при отсутствии паров хладона спирт горит бесцветным пламенем. Хладоновые электронные течеискатели (типа ВАГТИ-4) позволяют обнаружить утечки фреона, составляющие 0,5 г в год.

6.7. Незначительные утечки теплоносителя через микротрещины и поры, через неплотности во фланцевых соединениях и через вентили устраняются без выпуска теплоносителя из установки.

Утечки через микротрещины и поры в сварных соединениях и трубах устраняются путем наложения хомутов с прокладками из свинца или резины, устойчивой к воздействию теплоносителя, и путем наложения изоляции из стеклоткани на эпоксидной смоле (ЭД-5 или ЭД-6). В последнем случае перед наложением изоляции поврежденное место тщательно зачищается напильником и наждачной бумагой и промывается ацетоном или дихлорэтаном.

Утечки через неплотности во фланцевых соединениях и вентилях

устраняются путем дополнительной затяжки болтов, накидных гаек и заглушек на вентилях. При необходимости следует сменить сальниковую набивку и прокладки в заглушках.

6.8. Ликвидация значительных утечек, связанная с проведением сварочных работ, заменой отдельных узлов системы или участков трубопроводов, перемонтажом системы и т.д., производится только после откачки из нее остаточного теплоносителя и трехкратной продувки сжатым воздухом под давлением 7-10 кгс/см$^2$.

Повторные испытания, вакуумирование и зарядка системы теплоносителем производится в соответствии с п.п.4.27-4.39.

6.9. Контроль за охлаждением грунта осуществляется посредством измерения его температуры в термоскважинах (см.п.5.21). Периодичность замеров до достижения проектных размеров замораживаемой зоны должна составлять два раза в месяц, а в последующий период не реже одного раза в год в начале зимы.

В случае использования вытяжных термокомплектов время их выдержки в термометрических скважинах до начала замеров должно составлять не менее двух часов.

6.10. Защитные колпаки на зарядно-запорной арматуре должны быть опломбированы.

6.11. При манометрическом контроле, обнаружении утечек химическими индикаторами, сбросе теплоносителя из системы и при ее зарядке следует находиться с наветренной стороны вентиля или исследуемого узла

Сброс аммиака в атмосферу необходимо производить через шланг, опущенный в бочку с водой. Скорость сброса должна обеспечивать максимальное растворение аммиака в воде.

6.12. При сбросе теплоносителя из установки нахождение на рабочей площадке посторонних лиц не допускается.

6.13. Запрещается пользоваться на рабочей площадке заряженной

охлаждающей установки открытым огнем (газоэлектросварка и т.п.) без соответствующего разрешения технической службы предприятия.

6.I4. Хранение и транспортировка баллонов с жидким теплоносителем должны производиться в соответствии с "Правилами устройства и безопасности эксплуатации сосудов, работающих под давлением".

6.I5. Персонал, обслуживающий парожидкостные устройства, должен пройти инструктаж по оказанию доврачебной помощи при обморожении жидким теплоносителем, удушье и при попадании теплоносителя в глаза.

6.I6. Во время любых работ на площадке должна находиться аптечка состоящая из I) 2-4% раствора борной кислоты; 2) I-2% раствора лимонной кислоты; 3) 3% раствора молочной кислоты; 4) спирта технического; 5) бинта, ваты, антисептического лейкопластыря.

## 7. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПАРОЖИДКОСТНЫХ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТАНОВОК

7.I. Теплотехнические расчеты парожидкостных охлаждающих установок включают:

- определение размеров замороженной зоны грунта вокруг испарителя установки в активный и пассивный периоды;
- определение температуры грунта на контакте испаритель-грунт;
- определение температуры грунта в заданной точке замороженной зоны грунта;
- определение средней температуры замороженной зоны грунта.

7.2. Теплотехнические расчеты производятся по принятым конструктивным параметрам установки (радиусу испарителя и соотношению площадей испарителя и конденсатора), которые в свою очередь при необходимости могут быть откорректированы на основе проведенного теплотехнического расчета.

7.3. В теплотехнических расчетах приняты следующие основные оп-

ределения и обозначения:

$r$ – текущий радиус, м;

$r_и$ – радиус испарителя, м;

$r_к$ – радиус труб конденсатора, м;

$r_м$ – радиус замораживания, м;

$F_и$ – площадь испарителя, $м^2$;

$F_к$ – площадь конденсатора, $м^2$;

$\gamma_{см}$ – удельный вес скелета грунта, $кгс/м^3$;

$W_c$ – суммарная влажность грунта, доли единицы;

$W_н$ – количество незамерзшей воды при средней температуре в замороженной зоне $\bar{T}$ м, доли единицы, определяемое по опытным данным, а при их отсутствии по п.2.12 СНиП II-18-76 /1/;

$\rho$ – удельная теплота фазовых превращений воды в грунте, 80 ккал/кгс;

$\lambda_м, \lambda_т$ – коэффициенты теплопроводности грунта соответственно в мерзлом и талом состояниях ( определяется по опытным данным, а при их отсутствии по приложению 3), ккал/м.час.град.;

$C_т, C_м$ – удельные теплоемкости грунта соответственно в талом и мерзлом состояниях (определяются по опытным данным, а при их отсутствии по приложению I СНиП II-18-76 /1/);

$\alpha_в$ – коэффициент теплоотдачи от поверхности конденсатора к воздуху, ккал/$м^2$час.град., определяемый по таблицам 8 и 9 для стальных гладких и оребренных труб, а для серийных элементов (типа"Комфорт", ИРСН и др.) по паспортным данным;

$T_{вА}, T_{вП}$ – температура воздуха соответственно в активный и пассивный периоды (определяется как среднемноголетняя по данным ближайшей метеостанции, а при их отсутствии по справочным данным, например, по таблице I СНиП II-А 6-72 /4/ или по таблице I.I в работе /57/), град.;

$T_0$ – температура начала замерзания воды в грунте (определяется по опытным данным, а при их отсутствии по п.2.13 СНиП II-18-76 /1/, град.;

$T_{гр}$ – естественная температура грунта (определяется как средняя по глубине погружения испарителя ниже слоя сезонного промерзания

по данным натурных измерений), град.;

$T_и$ – температура на контакте испарителя с грунтом, град.;

$T_с$ – температура на контакте железобетонной оболочки (термосвай) испарителя с грунтом, град.;

$T_м$ – температура в заданной точке замороженного грунта, град.;

$\bar{T}_м$ – средняя температура замороженного грунта, град., определяемая по формуле

$$\bar{T}_м = \frac{T_{вА}}{3.7 + 1.15B}; \qquad (23)$$

$B$ – безразмерный параметр, определяемый по формуле

$$B = \frac{\lambda_м}{\alpha_в r_и} \cdot \frac{F_и}{F_к}; \qquad (24)$$

$\tau_А$ – продолжительность замораживания (активный период), час;

$\tau_п$ – продолжительность пассивного периода, час;

$li$ – знак интегрального логарифма, определяемого по приложению 4.

Таблица 8

Значения коэффициента $\alpha_в$ (ккал/м$^2$.час.град.) для стальных гладких труб

| Радиус трубы, м | Скорость ветра, м/сек | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 0,0170 | 5,9 | 18 | 29 | 39 | 47 |
| 0,0220 | 5,6 | 17 | 27 | 36 | 44 |
| 0,0285 | 5,2 | 15 | 25 | 33 | 41 |
| 0,0365 | 4,6 | 14 | 23 | 31 | 38 |
| 0,0445 | 4,2 | 13 | 22 | 29 | 35 |
| 0,0540 | 3,8 | 13 | 21 | 27 | 33 |
| 0,0635 | 3,5 | 12 | 20 | 26 | 32 |
| 0,0730 | 3,1 | 12 | 19 | 25 | 31 |
| 0,0840 | 2,9 | 11 | 18 | 24 | 30 |

7.4. Расчет радиуса замораживания производится подбором из уравнения

$$(r_м^2 - r_и^2)\left[\rho\gamma_{ск}(W_c - W_н) + C_т(T_{гр} - T_0) + C_м(T_0 - \bar{T}_м)\right] + 8{,}9 r_м^2 C_м (T_{гр} - T_0) - 2\lambda_м \tilde{r}_A (T_0 - T_A)\frac{l_i\left(\frac{r_м}{r_и} - e^{b}\right) - l_i e^{b}}{\left(\frac{r_м}{r_и} - 1\right)e^{b}} = 0 \qquad (25)$$

Таблица 9

Значения коэффициента $\alpha_в$ (ккал/м$^2$.час.град) для стальных оребренных труб (их нумерация соответствует порядковым номерам труб в табл.I)

| Скорость ветра, м/сек | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 2 | 4 | 6 | 8 |
| 7,5 | 2I | 32 | 42 | 5I |
| 7,9 | 2I | 33 | 43 | 52 |
| 9,6 | 26 | 4I | 53 | 64 |
| 9,7 | 26 | 4I | 53 | 64 |
| 8,9 | 23 | 36 | 47 | 56 |
| 7,I | 20 | 3I | 4I | 49 |
| I0,2 | 29 | 46 | 59 | 72 |
| 9,I | 25 | 39 | 5I | 62 |
| 8,6 | 22 | 34 | 45 | 54 |
| 7,0 | 20 | 3I | 4I | 49 |

Последовательность расчета подбором следующая. Выбирается несколько произвольных значений $r_м$, при которых часть значений левого выражения в уравнении (25) оказывается больше, а часть – меньше нуля. Затем строится график зависимости полученных величин от $r_м$, т.е. $A = f(r_м)$, где $A$ – выражение в левой части уравнения (25). Искомая величина $r_м$ определяется точкой пересечения этого графика с осью абсцисс.

Пример 5. Определить радиус замораживания за зимний период вокруг парожидкостной установки при следующих исходных данных.

Радиус испарителя $r_и = 0{,}057$ м. Конденсатор собран из стальных оребренных труб с наружным диаметром 0,032 м, сечением ленты 40 х

х I,0 мм и шагом 35,8 мм. Соотношение площадей испарителя и конденсатора $F_и / F_к$ = I. Грунт-незасоленный суглинок ( $k_{п.р.}$ = 0) с объемным весом скелета $\gamma_{ск}$ = I600 кгс/м$^3$ и суммарной влажностью $W_c$ = 0,2.Влажность грунта на границе раскатывания $W_р$ = 0,I3. Число пластичности грунта $J_р$ = 0,I5. Естественная температура грунта $T_{гр}$ = 0,3°С.Район строительства - г.Верхоянск.

Решение. Предварительно определим дополнительные исходные данные. Коэффициент теплопроводности грунта в мерзлом состоянии и удельные теплоемкости грунта в талом и мерзлом состояниях в соответствии с приложением I СНиП П-I8-76 /I/ равны $\lambda_м$ = I,3 ккал/м.час.град., $C_т$ = = 670 ккал/м$^3$.град., $C_м$ = 5I0 ккал/м$^3$.град. По таблице 9 определяем коэффициент теплоотдачи от конденсатора к воздуху при среднезимней скорости ветра 2 м/сек $\alpha_б$ = 29 ккал/м$^2$час.град.

По формуле (24) вычисляем безразмерный параметр $в$

$$в = \frac{I,3}{29 \times 0,057} = 0,79.$$

Продолжительность зимнего (активного) периода $\tau_а$ для г.Верхоянска в соответствии с таблицей I СНиП П-А.6-72 /4/ составляет (с октября по апрель)

$$\tau_а = 232 \text{ сут.} = 5568 \text{ час.}$$

Средняя температура воздуха за этот период $T_{ва}$ в соответствии с этой же таблицей равна

$$T_{ва} = \frac{(-48,6)+(-43,7)+(-30,0)+(-I3,3)+(-I4,4)+(-36,2)+(-45,4)}{7} =$$

$$= -33,I°С.$$

Среднюю за активный период температуру замороженного массива $\overline{T}_м$ вычисляем по формуле (23)

$$\overline{T}_м = \frac{-33,I}{3,7 + I,I5 \times 0,79} = -8,7°С.$$

По таблице I СНиП П-I8-76 /I/ интерполяцией находим величину коэффи -

циента $K_w = 0,457$. Количество незамерзшей воды в замороженном грунте $W_н$ вычисляем по формуле (I), приведенной там же, полагая $K_{п.р.} = 0$,

$$W_н = 0,457 \times 0,I3 = 0,06.$$

В соответствии с этим же руководством (таблица 3) температура начала замерзания воды в суглинке при $K_{п.р.} = 0$ составляет $T_0 = -0,2^{\circ}C$.

При заданных исходных данных выражение в левой части уравнения (25) будет иметь вид

$$A = \left[r_м^2 - (0,057)^2\right]\left\{80 \times I600\ (0,2-0,06) + 670\left[0,3-(-0,2)\right] + 5I0 \times \right.$$
$$\left. \times\left[(-0,2)-(-8,7)\right]\right\} + 8,9\, r_м^2\, 670\left[0,3-(-0,2)\right] - 2 \times I,3 \times 5568 \times$$
$$\times\left[(-0,2)-(-33,I)\right]\frac{li\left(\frac{r_м}{0.057}e^{0.79}\right)-li\,e^{0.79}}{\left(\frac{r_м}{0.057}-1\right)e^{0.79}}. \qquad (26)$$

По приложению 4 определим значение интегрального логарифма при $e^{0,79} = 2,2$: $li\,e^{0,79} = li\ 2,2 = I,32$.

Подставив эти значения в уравнение (26) и произведя соответствующие вычисления, получим

$$A = \left(r_м^2 - 0,003\right)\ 22590 + 2982 + 476287\,\frac{li\,(38,67\,r_м)-I,32}{(I7,54\,r_м-I) \times 2,2}. \qquad (27)$$

Зададимся следующими значениями радиуса замораживания $r_{1м} = 2,3$ м, $r_{2м} = 2,4$ м, $r_{3м} = 2,5$ м и по приложению 4 определим соответствующие им значения интегрального логарифма

$li_1\,(38,67 \times 2,3) = 27,92$; $li_2\,(38,67 \times 2,4)\ 28,55$; $li_3\,(38,67 \times 2,5) = 29,4$.

Тогда соответствующие значения $A$ будут равны

$$A_1 = \left[(2,3)^2 - 0,003\right]\ 22590 + 2982\,(2,3)^2 + 476287\,\frac{27,92 - I,32}{(I7,54x2,3-I)2,2} =$$

$= -II099$;

$$A_2 = \left[(2,4)^2 - 0,003\right]\ 22590 + 2982\,(2,4)^2 + 476287\,\frac{28,55 - I,32}{(I7,54x2,4-I)2,2} =$$

$= 3848$;

$$A_5 = \left[(2,5)^2 - 0,003\right] 22590 + 2982\ (2,5)^2 + 476287\ \frac{29,4 - 1,32}{(17,54 \times 2,5 - 1)2,2} =$$

= 17955.

Построив график зависимости $A = f(r_м)$ (рис.22), получим в точке пересечения этого графика с осью абсцисс искомую величину радиуса замораживания $r_м = 2,37$ м.

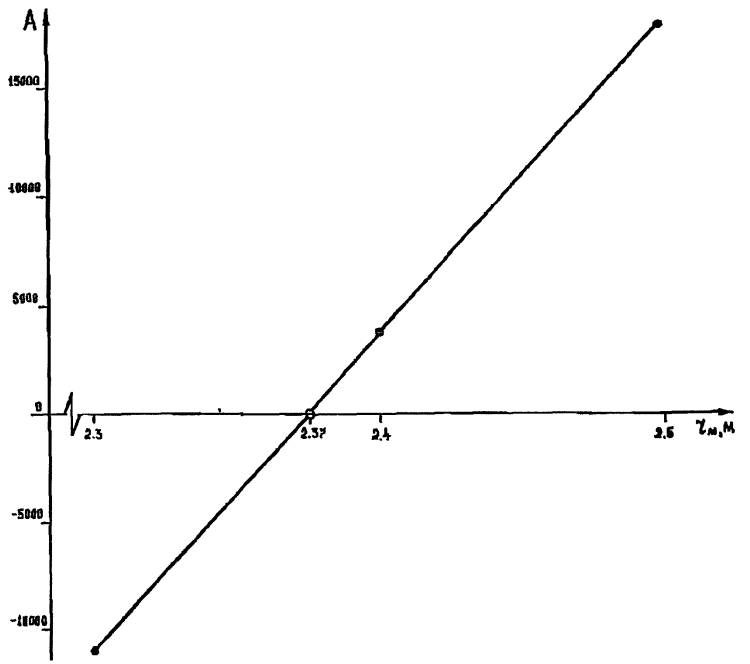



Рис. 22. К определению размера радиуса замораживания по примеру 5

7.5. Для условий замораживания, при которых разность между ес -

тественной температурой грунта и средней за активный период температурой грунта в мерзлой зоне $\Delta T = T_{гр} - \bar{T}_м$ составляет не более 4°С, а также для ориентировочных расчетов для любых условий допускается определение радиуса замораживания по номограмме на рис. 7 по параметрам $H_A$, $M$ и $\eta_A$

$$H_A = \frac{\lambda_м (T_0 - T_{вA}) \tau_A}{r_н \cdot \rho \gamma_{ск} (W_c - W_н)}; \tag{28}$$

$$M = \frac{\lambda_т (T_{гр} - T_0)}{\lambda_м (T_0 - T_{вA})}; \tag{29}$$

$$\eta_A = \frac{r_м}{r_н}. \tag{30}$$

Пример 6. Определить радиус замораживания за зимний период грунта с коэффициентами теплопроводности в талом и мерзлом состояниях, соответственно равными $\lambda_т$ = 1,4 ккал/м.час.град. и $\lambda_м$ = 1,5 ккал/м.час. град., температурой начала замерзания воды $T_0$ = -0,1°С и содержанием незамерзшей воды в интервале температур минус 3 - минус 4°С $W_н$ = 0,06. Район строительства с продолжительностью зимнего периода $\tau_A$ = = 238 сут = 5712 час, средней температурой воздуха и скоростью ветра за этот период соответственно $T_{вA}$ = -15,5°С и $v$ = 7 м/сек. Остальные исходные данные те же, что и в примере 5.

Решение. По таблице 9 интерполяцией определяем коэффициент теплоотдачи от поверхности конденсатора к воздуху $\alpha_в$ = 65,5 ккал/м$^2$.час. град. По формуле (24) определяем безразмерный параметр

$$b = \frac{1,5}{65,5 \times 0,057} \times 1 = 0,4.$$

По формуле (23) определяем среднюю за зимний период температуру грунта в мерзлой зоне

$$\bar{T}_м = \frac{-15,5}{3,7 \times 1,15 \times 0,4} = -3,7°С.$$

Разность между естественной температурой грунта и средней за

зимний период температурой грунта в мерзлой зоне составляет

$$\Delta T = 0,3 - (-3,7) = 4^{\circ}C,$$

что допускает определение радиуса замораживания по номограмме.

По формулам (28) и (29) вычислим параметры $H_A$ и $M$:

$$H_A = \frac{1,5\,[(-0,1) - (-15,5)]\ 5712}{(0,057)^2 \times 80 \times 1600\ (0,2-0,06)} = 2028;$$

$$M = \frac{1,4\,[0,3 - (-0,1)]}{1,5\,[(-0,1) - (-15,5)]} = 0,024.$$

По известным значениям $H_A$, $M$ и $\beta$ по номограмме (рис. 23) находим значение $\eta_A$ для чего отмеряем на шкале $M$ от ее левого конца отрезок до расчетного значения $M = 0,024$ и, располагая этот отрезок горизонтально совмещаем его концы с линиями $\beta = 0,4$ и $H_A = 2028$. Вертикальный отрезок от нижнего края номограммы до горизонтального отрезка $M$ и дает значение $\eta_A = 38$. Из уравнения (30) определяем искомую величину радиуса замораживания

$$r_м = \eta_A r_ц = 38 \times 0,057 = 2,17 \text{ м}.$$

7.6. Определение радиуса замораживания в пассивный период $r_{м.п.}$ производится по номограмме на рис.24 по параметрам $H_п$, $\eta_п$ и $\eta_A$

$$H_п = \frac{\lambda_т (T_{гг} - T_п)\tau_п}{r_м^2 \rho \gamma_{гк} (W_г - W_н)}, \qquad (31)$$

$$\eta_п = \frac{r_{м.п.}}{r_ц}, \qquad (32)$$

а $\eta_A$ определяется по указаниям п.7.5.

Пример 7. Определить радиус замороженного массива в конце летнего периода для условий и исходных данных, как в примере 6 при продолжительности летнего периода $\tau_п = (365 - 238)\ 24 = 3048$ час.

Решение. По формуле (31) вычислим значение

$$H_п = \frac{1,4\,[0,3 - (-0,1)]\ 3048}{(0,057)^2\ 80 \times 1600(0,2-0,06)} = 29,3.$$

По номограмме на рис.24 определяем величину $\eta_п = 36$, соответст-

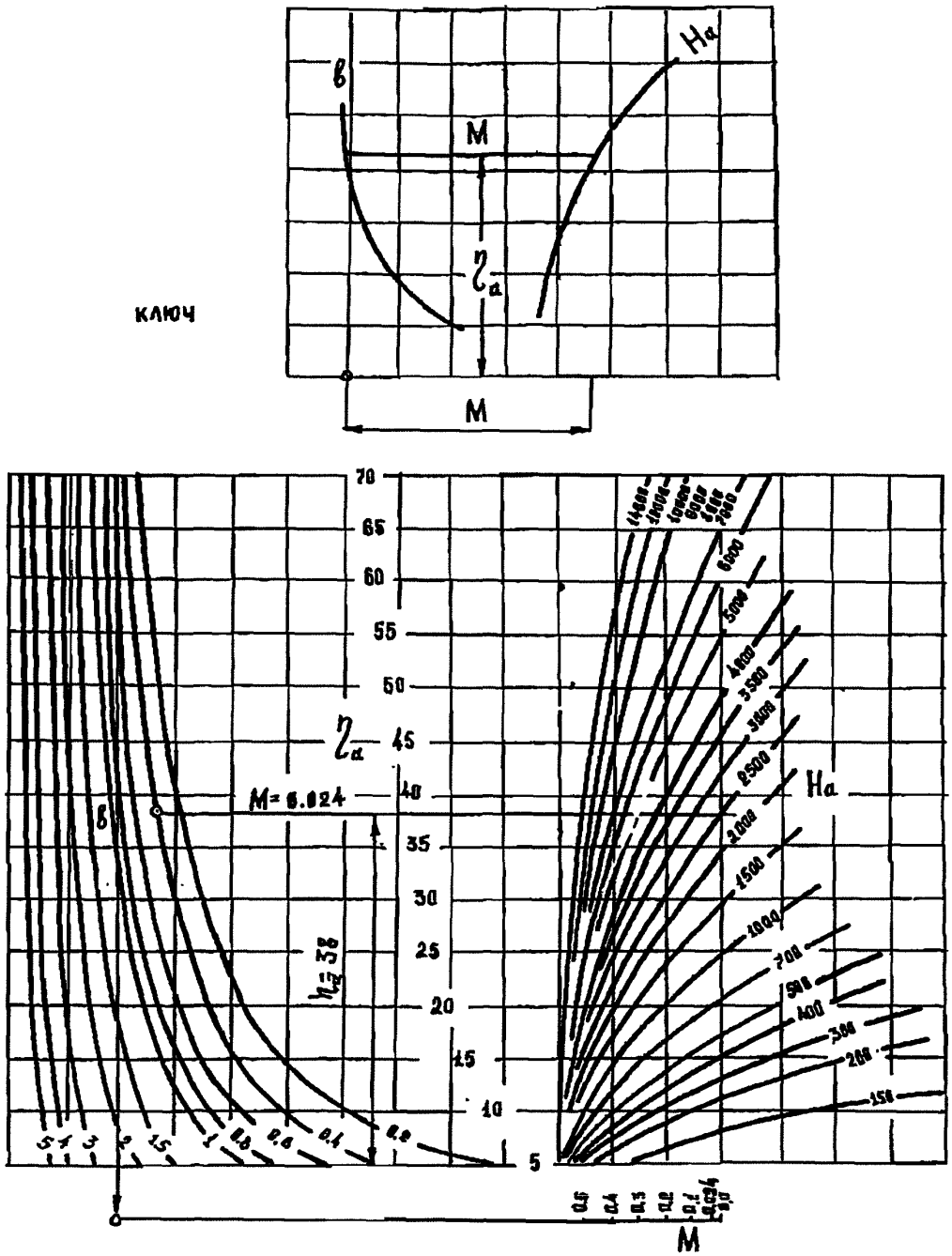



Рис.23. Номограмма для определения радиуса замораживания в активный период

вующую точке пересечения ординаты $\eta_A = 38$ и абсциссы $H_п = 29{,}3$. Из уравнения (32) определяем искомую величину радиуса замораживания в конце пассивного периода

$$r_{м.п.} = \eta_п r_и = 36 \times 0{,}057 = 2{,}05 \text{ м.}$$

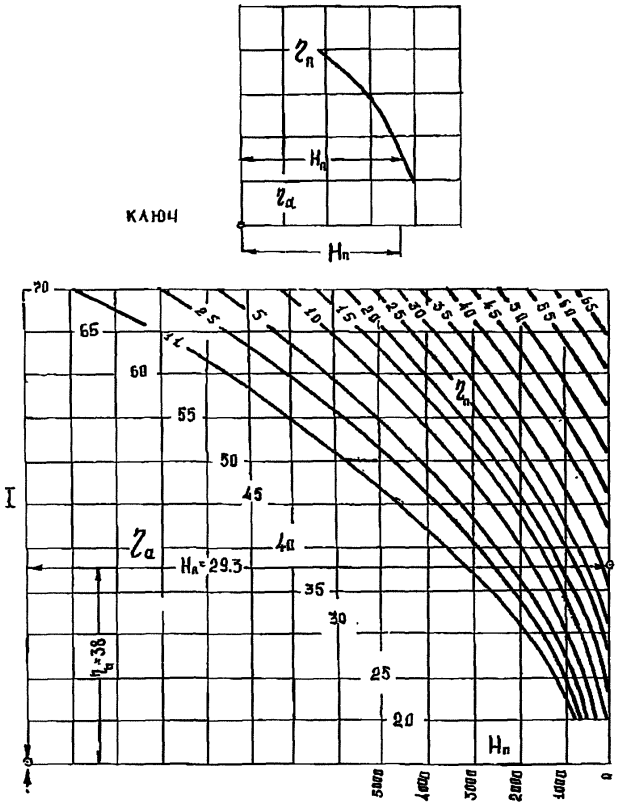



Рис.24. Номограмма для определения радиуса замораживания в пассивный период

7.7. Температура на контакте испарителя с грунтом определяется по формуле

$$T_и = \frac{T_{вА} - T_0}{1 + \frac{\lambda_м}{d_в r_и} \cdot \frac{F_и}{F_к} \cdot \frac{1}{\ell_н \frac{r_м}{r_и}}}, \qquad (33)$$

Температура на контакте железобетонной оболочки испарителя (термосваи) с грунтом определяется по формуле

$$T_с = \frac{T_{вА} - T_0}{1 + \frac{\lambda_м}{\lambda_с} \cdot \frac{\ell_н \frac{r_с}{r_и}}{\ell_н \frac{r_м}{r_с}} + \frac{\lambda_м}{d_в r_и} \cdot \frac{F_и}{F_к} \cdot \frac{1}{\ell_н \frac{r_и}{r_с}}}, \qquad (34)$$

где $r_с$ – радиус железобетонной оболочки испарителя, м, при прямо – угольном сечении эквивалентный радиус оболочки рассчитывается по фор – муле

$$r_с = \frac{S}{2\pi}; \qquad (35)$$

$S$ – периметр оболочки, м; $\lambda_с$ – коэффициент теплопроводности желе – зобетона, принимаемый равным I,3 ккал/м.час.град.

Температура воздуха в формулах (33) и (34) принимается средней за I5 суток, предшествующих расчетному моменту.

Пример 8. Определить температуру на контакте железобетонной термосваи с грунтом при радиусе замораживания $r_м$ = I,8 м. Радиус испарителя $r_и$ = 0,057. Оболочка термосваи квадратного сечения 0,3 х 0,3 м$^2$. Средняя температура воздуха за I5 суток, предшествующих расчетному моменту $T_{вА}$ = -22$^0$С. Остальные исходные данные такие же, как в примере 5.

Решение. По формуле (35) определим эквивалентный радиус оболоч – ки термосваи

$$r_с = \frac{4 \times 0{,}3}{2 \times 3{,}14} = 0{,}19 \text{ м}.$$

Значения натурального логарифма в формуле (34) соответственно равны

$$\ln \frac{r_c}{r_u} = \ln \frac{0,19}{0,057} = 1,20; \quad \ln \frac{r_м}{r_c} = \ln \frac{1,8}{0,057} = 3,45.$$

Подставляя величины исходных параметров в формулу (34) получим

$$T_c = \frac{-22 - (-0,2)}{1 + \frac{1,3}{1,3} \times \frac{1,20}{3,45} + \frac{1,3}{29 \times 0,057} \times 1 \times \frac{1}{3,45}} = -13,8^{\circ}C.$$

7.8. Температура в заданной точке мерзлого массива (на расстоянии $r$ ) определяется по формуле

$$T_м = T_u + (T_0 - T_u) \frac{\ln \frac{r}{r_u}}{\ln \frac{r_м}{r_u}}, \qquad (36)$$

где температура испарителя $T_u$ (или температура наружной стенки оболочки испарителя $T_c$ ) определяется по указаниям п.7.7, а радиус замороженного грунта $r_u$ определяется по указаниям п.7.4.

Пример 9. Определить температуру грунта в замороженной зоне на расстоянии от оси испарителя $r$ = 0,8 м при исходных данных таких же, как в примерах 5 и 8.

Решение. Определив предварительно значения натурального логарифма

$$\ln \frac{r}{r_u} = \ln \frac{0,8}{0,057} = 2,64; \quad \ln \frac{r_м}{0,057} = \ln \frac{1,8}{0,057} = 3,45,$$

получим по формуле (36)

$$T_м = -13,8 + \left[ -0,2 - (-13,8) \right] \frac{2,64}{3,45} = -3,4^{\circ}C.$$

7.9. Средняя температура замороженного грунта в заданный момент времени определяется по формуле (23). При этом температура воздуха назначается по указаниям п.7.7.

Пример 10. Определить среднюю температуру замороженного грунта при исходных данных таких же, как и в примерах 5 и 8.

Решение. Подставляя исходные данные в формулу (23) получим

$$\overline{T}_{м} = \frac{-22}{3,7 + 1,15 \times 0,79} = -4,8^{\circ}C.$$

## ЛИТЕРАТУРА


1. СНиП П-18-76 "Нормы проектирования. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах". М., Стройиздат, 1977, 48 с.

2. Рекомендации по проектированию и устройству парожидкостных охлаждающих установок при строительстве в суровых климатических условиях. М., изд-во НИИОСП Госстроя СССР, 1977, 50 с.

3. Трупак Н.Г. Замораживание грунтов в подземном строительстве. М., "Недра", 1974, с.82-277.

4. СНиП П-А, 6-72 "Строительная климатология и геофизика. Основные положения проектирования". М., Стройиздат, 1963, с.8-69.

5. Справочник по строительству на вечномерзлых грунтах. Л., Стройиздат Л.О., 1977, с.13-27.

6. Карпов К.А., Разумовский С.Н. Таблицы интегрального логарифма. М., изд-во АН СССР, 1956, 320 с.

Приложение I

Технический паспорт парожидкостной охлаждающей установки
(рекомендуемая форма)

| Наименование параметра | Величина параметра |
|---|---|
| Наименование предприятия - владельца | |
| Завод - изготовитель, адрес | |
| Заводской номер | |
| Месяц и год изготовления | |
| Наименование установки | |
| Назначение установки | |
| Соотношение площадей испарителя и конденсатора $F_и / F_к$ | |
| Теплоноситель | |
| Количество теплоносителя, кг | |
| Глубина погружения испарителя, м | |
| Дата установки на объекте | |

Приложение 2

Журнал осмотра, профилактических и ремонтных работ парожидкостной охлаждающей установки
(рекомендуемая форма)

I. Результаты визуальных осмотров - дата, подпись

II. Профилактические работы - дата, подпись

III. Ремонтные работы - дата, подпись

IУ. Данные замеров давления теплоносителя, температуры воздуха и грунта

| Инвентарный номер установки | Дата замеров | Давление теплоносителя, кгс/см$^2$ | Температура, $^oC$ | |
|---|---|---|---|---|
| | | | воздуха | грунта |
| | | | | |

## Коэффициент теплопроводности теплоизоляционных материалов (в сухом состоянии)

| Наименование материала | Плотность, кг/м$^3$ | Ккал/м.час.град. |
|---|---|---|
| Вата минеральная "товарная" | 100 | 0,043 |
| -"- -"- -"- | 325 | 0,057 |
| Вата шлаковая | 100 | 0,640 |
| -"- -"- | 300 | 0,050 |
| Вата стеклянная | 100 | 0,041 |
| -"- -"- | 325 | 0,057 |
| Войлок минеральный | 250 | 0,060 |
| Войлок обыкновенный | 300 | 0,040 |
| Войлок стеклянный | 50 | 0,038 |
| -"- -"- | 200 | 0,052 |
| Доски сосновые поперек волокон | 550 | 0,130 |
| Доски березовые поперек волокон | 710 | 0,147 |
| Доски еловые поперек волокон | 450 | 0;093 |
| Древесно-волокнистые плиты | 150 | 0,050 |
| -"- -"- -"- | 250 | 0,065 |
| Древесные плиты (в засыпке) | 250 | 0,080 |
| Костра льняная | 120 | 0,038 |
| -"- -"- | 240 | 0,059 |
| Крошка торфяная | 96 | 0,038 |
| -"- -"- | 250 | 0,065 |
| Мелочь торфяная (в засыпке) | 150 | 0,050 |
| -"- -"- | 250 | 0,070 |
| Маты минераловатные | 225 | 0,052 |
| Маты стеклянные | 75 | 0,030 |
| Плиты торфяные | 200 | 0,050 |
| Пенобетон (135-145 пор в см$^3$) | 280 | 0,064 |
| Пенопласт | 35 | 0,027 |
| Пробковая плита | 60 | 0,033 |
| -"- -"- | 350 | 0,043 |
| Резина пористая | 430 | 0,042 |
| Штукатурка известковая по драни | 1400 | 0,450 |

Значения интегрального логарифма $li\,(x)$

| x | li(x) | x | li(x) | x | li(x) | x | li(x) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,25 | -0,686 | 50,0 | 18,47 | 1700 | 274,9 | 4400 | 613,3 |
| 1,35 | -0,302 | 60,0 | 20,97 | 1800 | 288,3 | 4500 | 625,2 |
| 1,45 | -0,004 | 70,0 | 23,36 | 1900 | 301,6 | 4600 | 637,1 |
| 1,50 | 0,125 | 80,0 | 25,68 | 2000 | 314,8 | 4700 | 649,0 |
| 1,60 | 0,354 | 90,0 | 27,93 | 2100 | 327,9 | 4800 | 660,7 |
| 1,70 | 0,554 | 100 | 30,13 | 2200 | 341,0 | 4900 | 672,5 |
| 1,80 | 0,733 | 125 | 35,42 | 2300 | 353,9 | 5000 | 684,3 |
| 1,90 | 0,895 | 150 | 40,50 | 2400 | 366,8 | 5500 | 742,7 |
| 2,00 | 1,045 | 175 | 45,41 | 2500 | 379,6 | 6000 | 800,4 |
| 3,00 | 2,164 | 200 | 50,19 | 2600 | 392,4 | 6500 | 857,6 |
| 4,00 | 2,968 | 250 | 59,43 | 2700 | 405,0 | 7000 | 914,3 |
| 5,00 | 3,635 | 300 | 68,33 | 2800 | 417,7 | 7500 | 970,6 |
| 6,00 | 4,222 | 350 | 76,98 | 2900 | 430,2 | 8000 | 1026 |
| 7,00 | 4,757 | 400 | 85,42 | 3000 | 442,8 | 8500 | 1082 |
| 8,00 | 5,254 | 450 | 93,68 | 3100 | 455,2 | 9000 | 1136 |
| 9,00 | 5,721 | 500 | 101,70 | 3200 | 467,6 | 9500 | 1191 |
| 10,00 | 6,166 | 600 | 117,6 | 3300 | 480,0 | 10000 | 1246 |
| 12,00 | 7,001 | 700 | 133,1 | 3400 | 492,3 | 10500 | 1300 |
| 14,00 | 7,781 | 800 | 148,2 | 3500 | 504,6 | 11000 | 1354 |
| 16,00 | 8,520 | 900 | 163,0 | 3600 | 516,8 | 11500 | 1407 |
| 18,00 | 9,226 | 1000 | 177,6 | 3700 | 529,0 | 12000 | 1461 |
| 20,00 | 9,905 | 1100 | 192,0 | 3800 | 541,2 | 12500 | 1514 |
| 25,00 | 11,51 | 1200 | 206,2 | 3900 | 553,3 | 13000 | 1567 |
| 30,00 | 13,02 | 1300 | 220,2 | 4000 | 565,4 | 13500 | 1619 |
| 35,00 | 14,46 | 1400 | 234,1 | 4100 | 577,4 | 14000 | 1672 |
| 40,00 | 15,84 | 1500 | 247,8 | 4200 | 589,4 | 14500 | 1724 |
| 45,00 | 17,17 | 1600 | 261,4 | 4300 | 601,4 | 15000 | 1776 |

Примечание: Более подробные значения интегрального логарифма приведены в работе [6].



gost.e-ecolog.ru