Государственный комитет СССР
по делам строительства
(Госстрой СССР)

Инструкция

СН 510-78

по проектированию сетей водоснабжения и канализации для районов распространения вечномерзлых грунтов

Москва 1979

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Общие положения	3
2. Нормы водопотребления и водоотведения	6
3 Принципы трассировки сетей	6
4. Способы прокладки сетей	9
5. Прокладка трубопроводов в сейсмических районах	18
6. Тепловые режимы трубопроводов	20
Минимальная допустимая температура воды в наиболее удаленных точках водопровода	21
Оледенение внутренних стенок труб	21
Оптимальные тепловые режимы надземных водопроводов	21
7. Предохранение водопровода и канализации от замерзания	24
8. Трубопроводы и трубопроводное оборудование	30
9. Колодцы, узлы переключений на сетях	35
10. Переходы трубопроводов через дороги, водотоки, овраги	37
11 Теплоизоляция	38
12. Теплотехнические расчеты	39
Основные положения теплотехнических расчетов	41
Температурный режим грунтов	41
Надземные водопроводы	46
Трубопроводы в тоннелях или каналах	48
Подземные водопроводы	55
Приложение 1. Основные обозначения и определения, принятые в теплотехнических расчетах	60
Приложение 2. Примеры теплотехнических расчетов	62
Приложение 3. Значения экспоненциальных функций	69

ГОССТРОЙ СССР

Инструкция по проектированию сетей водоснабжения и канализации для районов распространения вечномерзлых грунтов

СН 510-78

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Г. А. Жигачева
Редактор Е. А. Волкова
Мл. редакторы М. А Жарикова, Л. Н. Козлова, А. Н. Ненашева
Технический редактор В. М Родионова
Корректор Н С. Сафронова

Сдано в набор 3 05.79. Подписано в печать 12.07.79 Формат 84×108¹/₃₂
Бумага типографская № 2 Гарнитура «Литературная» Печать высокая
Усл. печ л. 3.78 Уч.-изд л. 4,00 Тираж 13.000 экз. Изд. № XII-8329
Зак. № 263

Стройиздат
103006, Москва, Каляевская, 23а

Подольский филиал ПО «Периодика» Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Подольск, ул. Кирова, д. 25

Издание официальное

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ СТРОИТЕЛЬСТВА
(ГОССТРОЙ СССР)

ИНСТРУКЦИЯ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СЕТЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И КАНАЛИЗАЦИИ ДЛЯ РАЙОНОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

СН 510-78

Утверждена
постановлением Государственного комитета СССР
по делам строительства
от 11 декабря 1978 г. № 226



МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1979

УДК 628.1/.2.001 2:624.139](083.96)

Инструкция по проектированию сетей водоснабжения и канализации для районов распространения вечномерзлых грунтов СН 510—78/Госстрой СССР. — М. . Стройиздат, 1979 — 72 с.

Инструкция по проектированию сетей водоснабжения и канализации для районов распространения вечномерзлых грунтов разработана Красноярским Промстройниипроектом Минтяжстроя СССР.

При разработке Инструкции использованы работы НИИ оснований и подземных сооружений им. Н. М. Герсеванова Госстроя СССР, Ленинградского инженерно-строительного института, Зонального научно-исследовательского и проектного института типового и экспериментального проектирования жилых и общественных зданий Госгражданстроя, ВНИИ Водгео Госстроя СССР, ЦНИИЭП инженерного оборудования Госгражданстроя.

Редакторы: инж. *Б. В. Тамбовцев* (Госстрой СССР), кандидаты техн. наук *Ш. Ф. Акбулатов, А. В. Лютов,* инж. *Н. П. Данилова* (Красноярский Промстройниипроект).

И $\frac{30213—493}{047(01)—79}$ Инструкт.-нормат., II вып. — 4—79. 3206000000

© Стройиздат, 1979

	Строительные нормы	СН 510-78
Государственный комитет СССР по делам строительства (Госстрой СССР)	Инструкция по проектированию сетей водоснабжения и канализации для районов распространения вечномерзлых грунтов	—

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Требования настоящей Инструкции должны выполняться при проектировании наружных сетей водоснабжения и канализации, сооружаемых в районах распространения вечномерзлых грунтов, включая сейсмические районы (рис. 1) при строительстве по принципу I.

1.2. В зависимости от изменения физико-механических свойств мерзлых грунтов при оттаивании, температурных режимов трубопроводов и грунтов по трассе, а также температурного режима оснований зданий и сооружений, расположенных вблизи трубопроводов, надлежит принимать один из двух принципов использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований:

принцип I — вечномерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего заданного периода эксплуатации;

принцип II — вечномерзлые грунты основания используются в оттаивающем и оттаявшем состоянии.

1.3. При проектировании сетей водопровода и канализации для районов распространения вечномерзлых грунтов необходимо исходить из условия обеспечения:

Внесена проектным и научно-исследовательским институтом Красноярский Промстройниипроект	Утверждена постановлением Государственного комитета СССР по делам строительства от 11 декабря 1978 г. № 226	Срок введения в действие 1 января 1980 г.

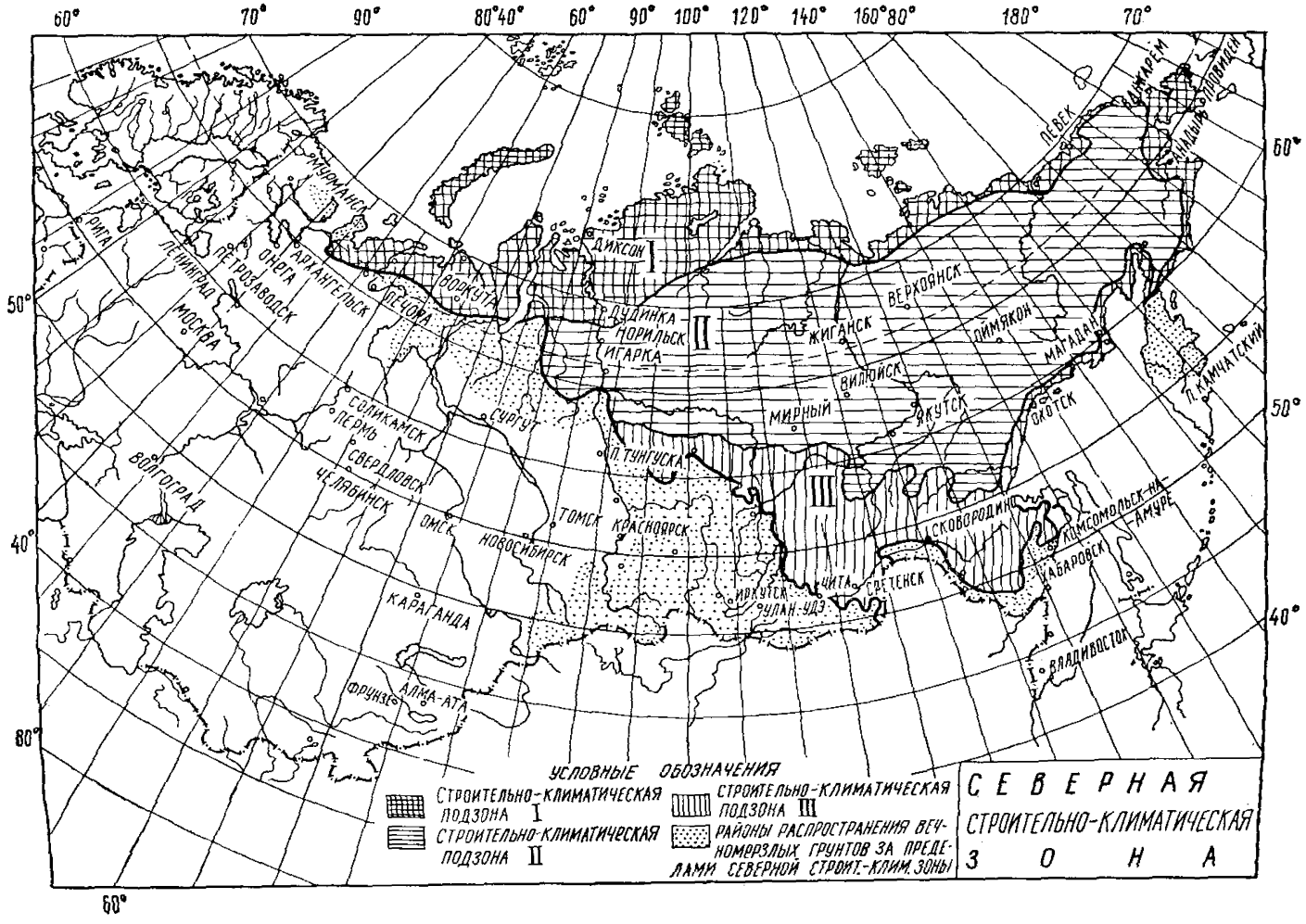


Рис. 1. Схематическая карта распространения вечномерзлых грунтов и сейсмики

наименьшей трудоемкости строительства и эксплуатации сетей;

применения оборудования и материалов, наиболее высокой надежности действия и долговечности;

снижения веса оборудования и материалов;

незамерзаемости жидкостей, транспортируемых по трубопроводам, при отклонениях теплового режима от нормы и в случаях аварий;

организации четкого контроля за тепловыми режимами сетей.

1.4. При проектировании сетей водопровода и канализации надлежит учитывать:

тепловое воздействие трубопроводов на основания близлежащих зданий и сооружений;

опасность непосредственного теплового воздействия воды на мерзлые грунты при повреждениях трубопроводов;

изменение мерзлотно-грунтовых условий при освоении территории.

1.5. Мерзлотно-грунтовые условия участков строительства трубопроводов характеризуются

распространением и залеганием вечномерзлых грунтов;

составом, сложением и строением грунтов;

мощностью сезоннопротаивающих и сезоннопромерзающих слоев грунта;

температурным режимом грунтов;

физико-механическими свойствами грунтов;

мерзлотными процессами (пучение, наледи, термокарст, трещинообразование);

наличием грунтовых вод.

1.6. Проектирование сетей по принципу I следует принимать, когда:

грунты характеризуются значительными осадками при оттаивании;

оттаивание грунтов вокруг трубопровода влияет на устойчивость расположенных вблизи зданий и сооружений, строящихся с сохранением основания в мерзлом состоянии.

1.7. Проектирование сетей по принципу II следует принимать, когда:

грунты характеризуются незначительными осадками на всю расчетную глубину оттаивания;

здания и сооружения по трассе трубопроводов распо-

ложены на значительном расстоянии от трубопроводов или строящихся с допущением оттаивания вечномерзлых грунтов в их основаниях.

2. НОРМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

2.1. Нормы и коэффициенты неравномерности водопотребления следует принимать в соответствии с требованиями глав СНиП по проектированию наружных сетей и сооружений водоснабжения и по проектированию внутреннего водопровода и канализации зданий.

2.2. При ограниченном дебите источника водоснабжения расчетные расходы воды допускается снижать по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы.

2.3. Расчетные расходы воды могут быть увеличены до 20% за счет сброса воды из водопровода в канализацию для предохранения сетей от замерзания. Целесообразность сбросов воды должна обосновываться технико-экономическим расчетом.

2.4. Нормы водоотведения бытовых сточных вод следует принимать в соответствии с требованиями глав СНиП по проектированию наружных сетей и сооружений канализации и по проектированию внутреннего водопровода и канализации зданий.

2.5. При определении общего коэффициента неравномерности притока бытовых сточных вод сбросы воды из системы водопровода не учитываются, однако сброс воды следует добавлять к расчетному расходу при проектировании насосных станций и очистных сооружений.

3. ПРИНЦИПЫ ТРАССИРОВКИ СЕТЕЙ

3.1. Проекты инженерных сетей и планировки населенных пунктов надлежит выполнять одновременно, взаимно увязывая их; при этом наиболее рационально применение совмещенной прокладки трубопроводов.

3.2. Способ прокладки трубопроводов следует выбирать в зависимости от мерзлотно-грунтовых, гидрогеологических и топографических условий строительства, а также от величины и плотности застройки населенного пункта и назначения трубопроводов.

3.3. Выбор способа прокладки сетей должен производиться с учетом:

способа предохранения трубопроводов от замерзания при расчетном тепловом режиме, при отклонении теплового режима от нормы и в случаях аварий;

мер по обеспечению устойчивости трубопроводов и близко расположенных зданий;

мер по увеличению надежности работы систем водоснабжения и канализации;

удобства эксплуатации.

3.4. Размещение сетей на плане следует предусматривать исходя из обеспечения:

максимального совмещения инженерных коммуникаций;

минимальной протяженности сетей;

блокировки зданий, позволяющей прокладывать сети на подвесках в проветриваемых подпольях;

сокращения числа подключений к сети водопровода за счет присоединения нескольких зданий к одному вводу водопровода, а также сокращения числа выпусков в канализацию.

3.5. Совмещение сетей различного назначения по одной трассе следует осуществлять путем прокладки их:

на общих лежневых и городковых опорах (рис. 2) или на свайных опорах (рис. 3);

в тоннелях или каналах.



Рис. 2. Надземная прокладка трубопроводов на общих лежневых опорах

3.6. Прокладку водопроводов и коллекторов вне населенных пунктов следует предусматривать вблизи дорог.

3.7. Трубопроводы следует прокладывать вдоль улиц в разделительных полосах между проезжими частями.

3.8. Расстояния в свету от подземных трубопроводов до фундаментов зданий и сооружений надлежит принимать в зависимости от результатов теплотехнических расчетов, но не менее 6 м при бесканальной прокладке трубопроводов.

3.9. Наземные инженерные сети при любых способах компенсации температурных деформаций трубопроводов (разрезные и упругие компенсаторы, прокладка «змей-

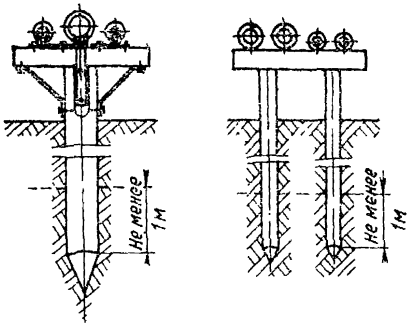


Рис. 3. Надземная прокладка трубопроводов на общих свайных опорах

кой» и пр.) следует прокладывать возможно ближе к поверхности земли в слое снежного покрова.

3.10. Схемы водоснабжения должны обеспечивать непрерывность движения транспортируемой воды на всех участках сети (рис. 4).

При этом:

тупиковая схема должна предусматривать подключение крупных потре-

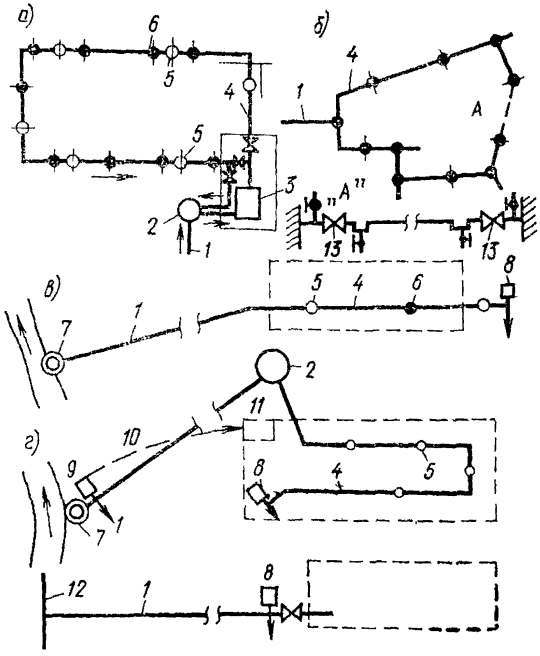


Рис. 4. Схемы водоснабжения

а — водопроводная кольцевая; *б* — тупиковая с сухой резервирующей перемычкой; *в*, *г* — с автоматической защитой от замерзания; *1* — водовод; *2* — резервуар; *3* — насосная станция; *4* — распределительная сеть; *5* — колодец; *6* — водоразборная колонка; *7* — насосная станция на водозаборе; *8* — автоматический выпуск; *9* — автоматический выпуск с телеустройством; *10* — передача сигнала; *11* — диспетчерский пункт; *12* — магистральный водовод; *13* — специальная задвижка для сухих перемычек

бителей воды в концевых участках (особенно эффективна, когда концевые участки водопровода совпадают с начальными участками канализации), а также устройство сухих перемычек;

кольцевая схема должна состоять из минимального числа колец, вытянутых по направлению основного потока воды к крупному потребителю; кольца сети надлежит замыкать на циркуляционную насосную станцию, в необходимых случаях совмещенную с пунктом подогрева воды;

двухтрубные схемы следует проектировать по аналогии со схемами тепловых сетей.

Всеми схемами водоснабжения должна предусматриваться установка автоматических выпусков воды.

3.11. Рекомендуется централизованная система канализации, позволяющая осуществлять сбор и отвод стоков от возможно большего числа объектов.

4. СПОСОБЫ ПРОКЛАДКИ СЕТЕЙ

4.1. В зависимости от расположения трубопроводов относительно поверхности земли, их механического и теплового взаимодействия с грунтом надлежит принимать один или несколько способов прокладки (рис. 5):

подземную (в том числе в каналах), наземную, надземную на низких или высоких опорах.

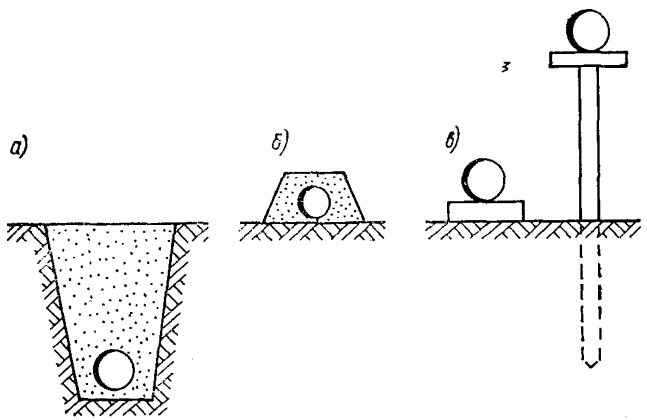


Рис. 5. Способы прокладки трубопроводов
а — подземная; *б* — наземная; *в* — надземная

4.2. Инженерные сети за границей населенного пункта при надземной прокладке следует укладывать на промежуточных опорах различной конструкции (скользящие, катковые, подвесные).

4.3. Укладку опор всех видов (кроме свайных) следует предусматривать непосредственно на поверхность земли или на призмы из галечникового или гравийного грунтов, гравелистого или крупного песчаного грунта. Допускается применение местных супесчаных и суглинистых грунтов, которые перед укладкой в призмы надлежит оттаивать.

4.4. Высоту насыпных грунтовых призм надлежит определять на основании профилей трубопровода и поверхности земли. При составлении профилей следует стремиться к максимальному приближению трубопровода к поверхности земли, исключая срезку естественной поверхности.

4.5. Лежневые опоры (см. рис. 2) должны выполняться из антисептированных деревянных брусьев или бревен.

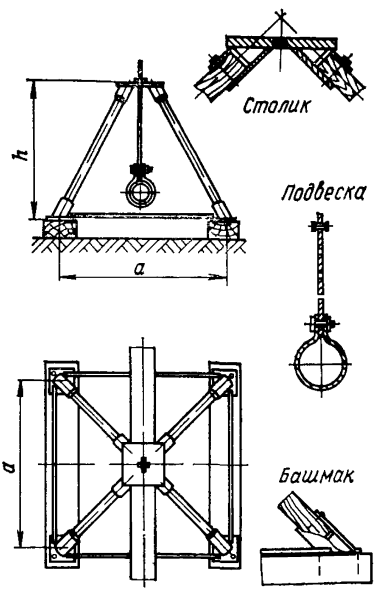


Рис 6. Металлодеревянная подвесная опора

4.6. Низкие свайные опоры следует применять на участках с грунтами, подверженными сильным сезонным пучениям, большим просадкам, способным нарушить устойчивость трубопроводов, а также на переходах через реки, ручьи, овраги.

Сваи надлежит принимать из железобетона или дерева и закладывать ниже слоя сезонного оттаивания грунта на глубину, определенную расчетом, но не менее чем на 1 м.

4.7. При прокладке трубопровода «змейкой» рекомендуется применять подвесные

опоры, выполненные по схеме четырехгранной пирамиды (рис. 6).

4.8. На участках местности с уклоном до 10° следует применять надземную прокладку трубопроводов на скользяще-подвесных опорах.

4.9. Надземную прокладку трубопроводов на высоких опорах следует принимать на мачтах, эстакадах и по конструкциям промышленных зданий и сооружений на высоте, обеспечивающей проезд транспорта (рис. 7).

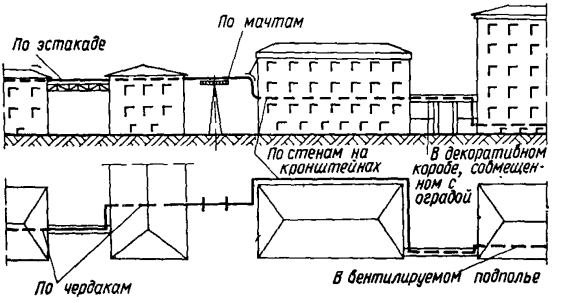


Рис. 7. Схемы надземных прокладок трубопроводов по мачтам, эстакадам, оградам и строительным конструкциям зданий

4.10. Надземная прокладка трубопроводов на высоких опорах в населенных пунктах не рекомендуется.

4.11. Подземная бесканальная прокладка водопроводных и канализационных трубопроводов допускается в непросадочных грунтах или грунтах I типа просадочности при оттаивании (рис. 8). При этом должна обеспечиваться герметичность стыков вне зависимости от изменения температурного режима мерзлых грунтов.

4.12. В пределах застройки населенного пункта допускается подземная бесканальная прокладка водопроводных труб диаметром до 300 мм в грунтах I типа просадочности при оттаивании. Вид прокладки труб диаметром более 300 мм определяется по результатам теплотехнического расчета.

4.13. Талик вокруг трубы в летнее время не должен влиять на устойчивость трубопровода и близлежащих зданий и сооружений, а в зимнее время должен предохранять транспортируемую жидкость от замерзания.

4.14. При защите водопроводных труб от замерзания автоматическими выпусками воды или греющим электрическим кабелем допускается их прокладка в слое сезонного промерзания грунта.

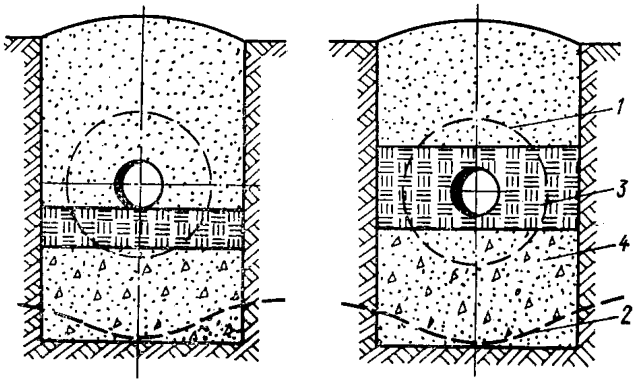


Рис. 8. Бесканальная прокладка низкотемпературных трубопроводов
1 — граница талика в зимнее время; *2* — граница протаивания в летнее время; *3* — глинобетон; *4* — замененный грунт

4.15. Тоннели или каналы для инженерных сетей, прокладываемых в вечномерзлых грунтах, могут быть одноярусными, двухъярусными и двухсекционными (рис. 9).

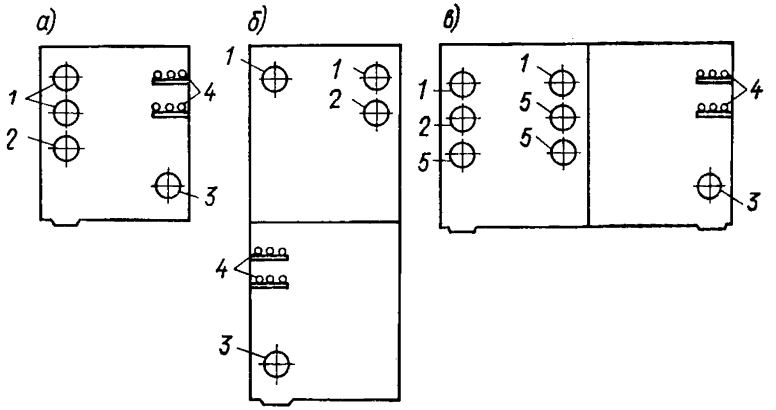


Рис. 9. Схемы проходных каналов
а — одноярусный; *б* — двухъярусный; *в* — двухсекционный; *1* — тепловые сети; *2* — водопровод; *3* — канализация; *4* — электрические кабели; *5* — технологические трубопроводы

Тип тоннеля или канала должен определяться в зависимости от результатов технико-экономического сравнения вариантов; при этом необходимо учитывать:

одноярусный наиболее экономичен;

двухъярусный с отдельным ярусом для канализационных труб облегчает прокладку канализационных труб с необходимым уклоном;

двухсекционный с вертикальной разделяющей стенкой экономичен при размещении в нем большого количества трубопроводов различного назначения;

подземный целесообразно применять в городах и поселках с компактной многоэтажной застройкой для совмещенной прокладки инженерных коммуникаций.

4.16. Прокладка сетей канализации в тоннеле или канале совместно с сетями водопровода допускается только по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы.

4.17. В целях экономии и снижения теплового воздействия на грунты оснований зданий подземные тоннели или каналы следует прокладывать с минимальным заложением.

4.18. Просадочные при оттаивании грунты в основании тоннеля или канала следует заменять на расчетную величину оттаивания непросадочными грунтами (рис. 10).

Вместо замены грунта допускается протаивание и тщательное уплотнение грунтов основания.

4.19. Для трубопроводов, прокладываемых в тоннелях или каналах, следует предусматривать раздельную кольцевую теплоизоляцию.

4.20. Тоннели или каналы надлежит проектировать с уклоном не менее 0,002; при укладке в них канализационных трубопроводов уклон тоннелей или каналов определяется уклоном трубопроводов.

4.21. Уклон тоннелей или каналов должен обеспечивать выпуск аварийной воды в пониженные участки местности за чертой города или в систему канализации. При плоском рельефе местности для удаления аварийной воды допускается предусматривать насосные станции.

4.22. Для смыва и транспортирования по дну тоннеля или канала наносов, поступающих с поверхностными сточными водами, на водопроводной сети следует предусматривать установку через 150—200 м незамерзающих поливочных кранов.

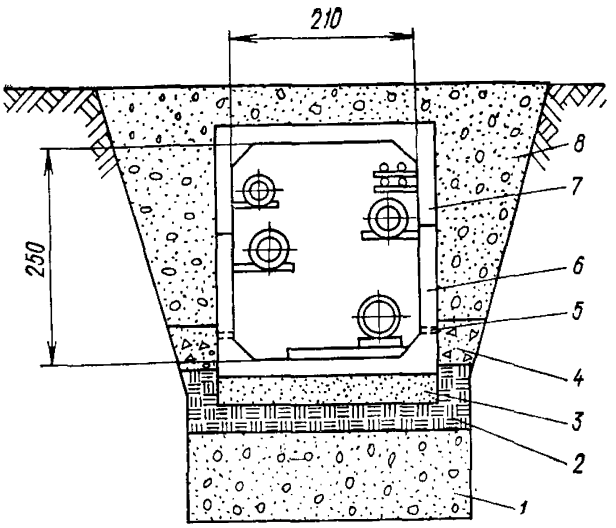


Рис. 10. Конструкция канала на просадочных при оттаивании грунтах

1 — замененный грунт; *2* — глинобетон; *3* — песчаная подготовка; *4* — дренаж; *5* — дренажные отверстия; *6, 7* — железобетонные секции; *8* — обратная засыпка

4.23. Следует предусматривать вентиляцию подземных тоннелей и каналов. Рекомендуется принимать естественную систему вентиляции с использованием гравитационного и ветрового напоров; при этом число приточных и вытяжных шахт (рис. 11) должно быть минимальным.

4.24. Необходимо предусматривать меры предохранения вентиляционных шахт от заносов и завалов снегом.

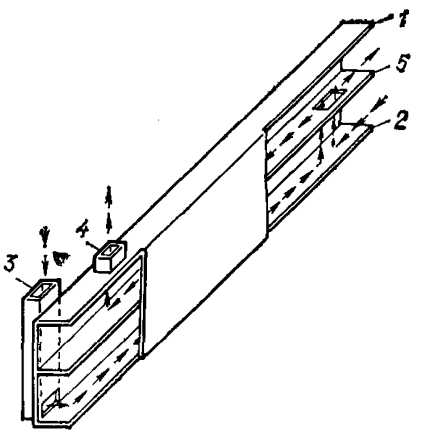


Рис. 11. Схема вентиляции канала

1, 2 — верхний и нижний ярусы канала; *3* — входная вентиляционная шахта; *4* — вытяжная вентиляционная шахта; *5* — отверстие для вентиляции

4.25. Принудительную вентиляцию тоннелей и каналов, расположенных в населенных пунктах, применять не рекомендуется, ее допускается применять для тоннелей и каналов, расположенных на территории промышленных предприятий и предназначенных для одновременной прокладки технологических трубопроводов с большими тепловыделениями.

4.26. Для приточных и вытяжных шахт должна предусматриваться установка регулирующих заслонок.

4.27. На водопроводах, прокладываемых в тоннелях или каналах, следует устанавливать самоуплотняющиеся компенсаторы.

4.28. Для исключения возможности протекания воды вдоль стенок тоннеля или канала следует предусматривать устройство поперечных глинобетонных перемычек, врезаемых в боковые стенки и дно траншей на 1 м; при этом применяемый глинобетон должен иметь следующий состав, %:

Жирная глина	30
Песок	20
Щебень и галька	50

Вода в количестве, обеспечивающем консистенцию глинобетона, при которой осадка конуса равна нулю.

4.29. Под тоннелями и каналами следует предусматривать устройство основания из песчаной подготовки толщиной до 15 см, слоя глинобетона толщиной до 20 см или замененного и уплотненного слоя грунта, толщина которого определяется теплотехническим расчетом.

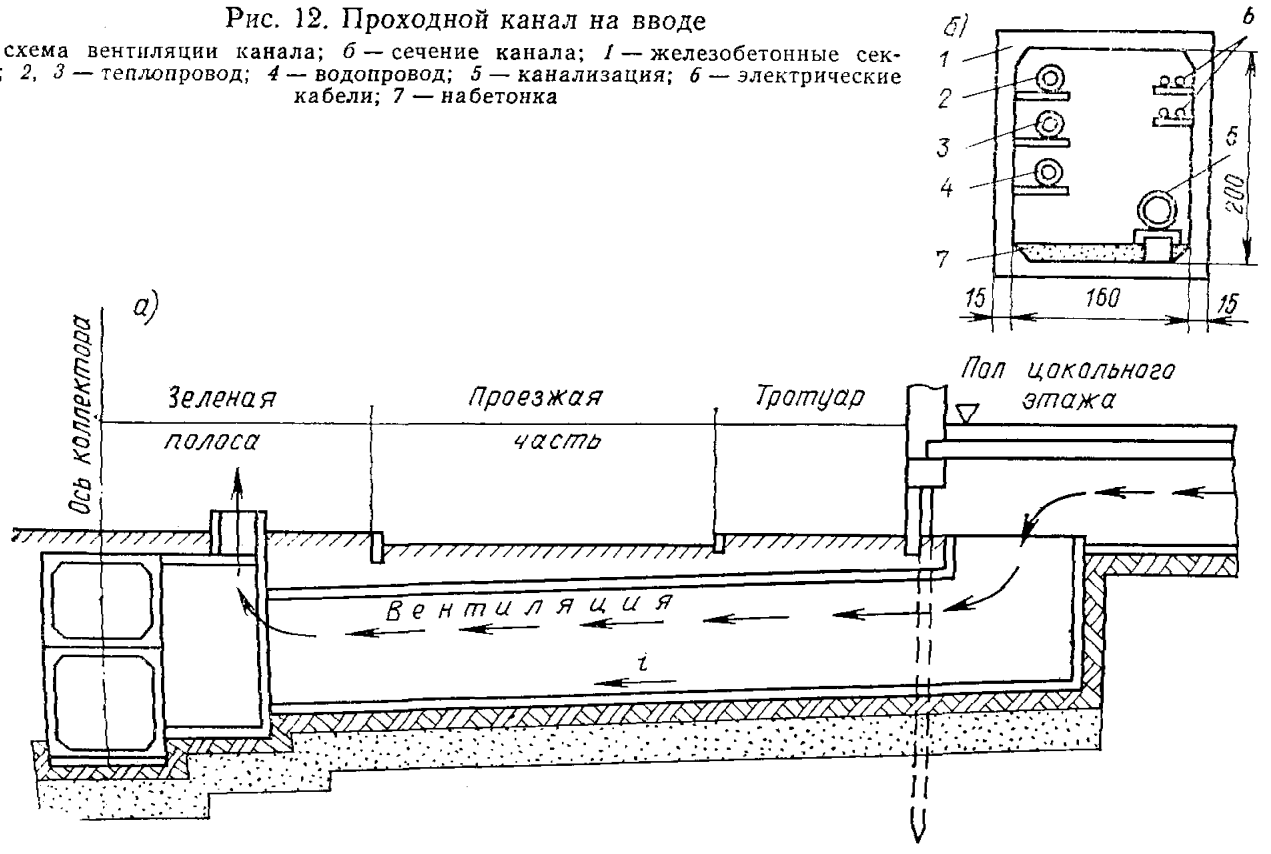
4.30. Устройство каналов допускается предусматривать на коротких участках трассы (пересечение улиц, дорог) с непросадочными при оттаивании грунтами или при замене просадочных грунтов непросадочными.

4.31. Для исключения возможного нарушения вечномерзлого состояния грунтов в основании зданий вводы водопровода и выпуски канализации следует прокладывать в подземных вентилируемых тоннелях или каналах (рис. 12, 13); при этом следует совмещать прокладку в тоннелях или каналах различных инженерных сетей. Допускается принимать надземную прокладку вводов водопровода.

4.32. Естественную вентиляцию тоннелей или каналов на вводах следует принимать раздельно от вентиляции магистральных тоннелей или каналов. При этом дви-

Рис. 12. Проходной канал на вводе

а — схема вентиляции канала; *б* — сечение канала; *1* — железобетонные секции; *2, 3* — теплопровод; *4* — водопровод; *5* — канализация; *6* — электрические кабели; *7* — набетонка



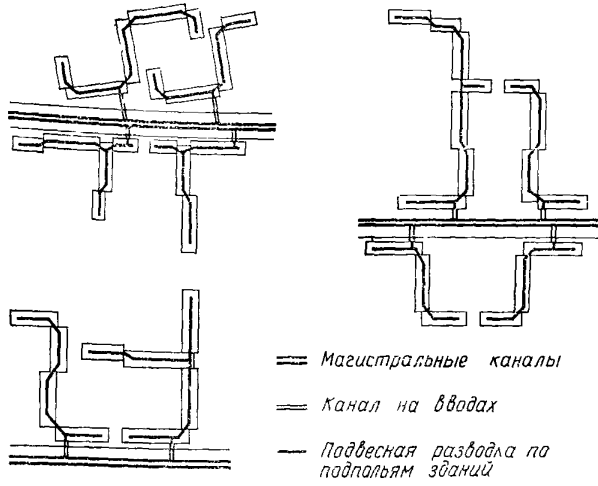


Рис. 13. Вводы в здание

жение воздуха надлежит принимать от здания к магистральному тоннелю или каналу.

4.33. На вводах уклон тоннелей или каналов, а также прокладываемых в них трубопроводов, должен приниматься от здания.

4.34. Число вводов и выпусков должно быть минимальным.

4.35. Диаметры вводов следует принимать не менее 50 мм.

4.36. Для защиты сетей от замерзания в конце ввода допускается предусматривать сброс воды в сеть внутренней канализации с разрывом струи и устройством гидравлического затвора на сети канализации

Необходимость и величина сброса воды определяются теплотехническим расчетом.

4.37. Прокладываемые в проветриваемых подпольях сети водопровода и канализации надлежит подвешивать к перекрытию на металлических подвесках.

4.38. Для трубопроводов водопровода и канализации, подвешиваемых к перекрытию подполья, следует предусматривать кольцевую теплоизоляцию.

4.39. К одному вводу следует предусматривать присоединение возможно большего числа зданий.

4.40. На трубопроводах, прокладываемых в проветриваемых подпольях зданий, установка запорной и регулирующей арматуры, а также воздушных клапанов не допускается. Число сварных стыков и других соединений на трубопроводах должно быть минимальным.

4.41. Внеплощадочные канализационные коллекторы (самотечные и напорные), если позволяет рельеф местности и условия планировки, рекомендуется укладывать на лежневых, городковых или низких свайных опорах.

5. ПРОКЛАДКА ТРУБОПРОВОДОВ В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

5.1. В сейсмических районах рекомендуется надземная прокладка трубопроводов.

5.2. При прокладке трубопроводов «змейкой» должны применяться подвесные, скользяще-подвесные и шаровые опоры (см. рис. 6, 14, 15).

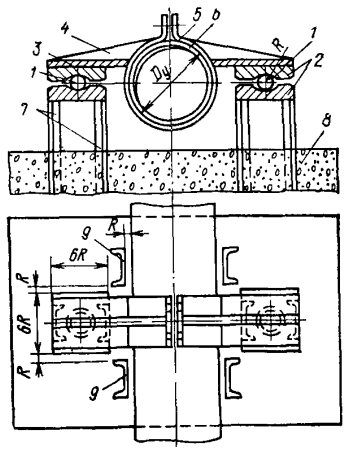


Рис. 14. Конструкция шаровой опоры

1 — шар; *2* — опорные полусферические чаши; *3* — лист; *4* — косынка; *5* — хомут; *6* — трубопровод; *7* — швеллер; *8* — бетонный массив; *9* — швеллеры, ограничивающие перемещение трубопровода

5.3. Подвесную прокладку трубопроводов «змейкой» следует предусматривать на четырехстоечных опорах (см. рис. 6), при этом устройства неподвижных опор не требуется.

5.4. При прямолинейной надземной прокладке трубопроводов следует предусматривать применение компенсаторов с кольцевым самоуплотняющимся затвором или компенсаторов упругого типа (П-, Л-образные).

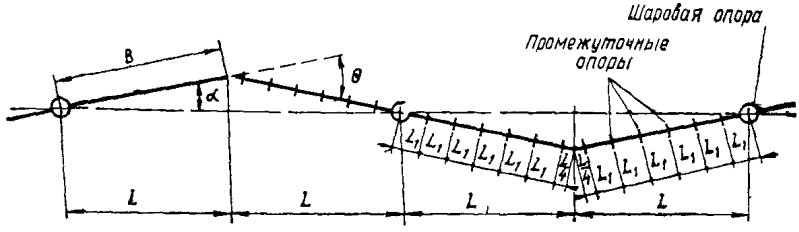


Рис 15 Прокладка трубопровода на шаровых и скользящих опорах
Q — угол зигзага, $2L$ — расстояние между углами зигзага по оси трассы, L_1 — расстояние между промежуточными опорами

5.5. В населенных пунктах и на площадках промышленных предприятий рекомендуется совмещенная прокладка коммуникаций в каналах с подвеской труб (рис. 16), конструкция которой должна предусматривать регулировку высотного положения трубопроводов.

5.6. Для районов вечномерзлых грунтов и при наличии сейсмичности прокладку надземных трубопроводов следует предусматривать возможно ближе к поверхности земли (15—30 см в свету)

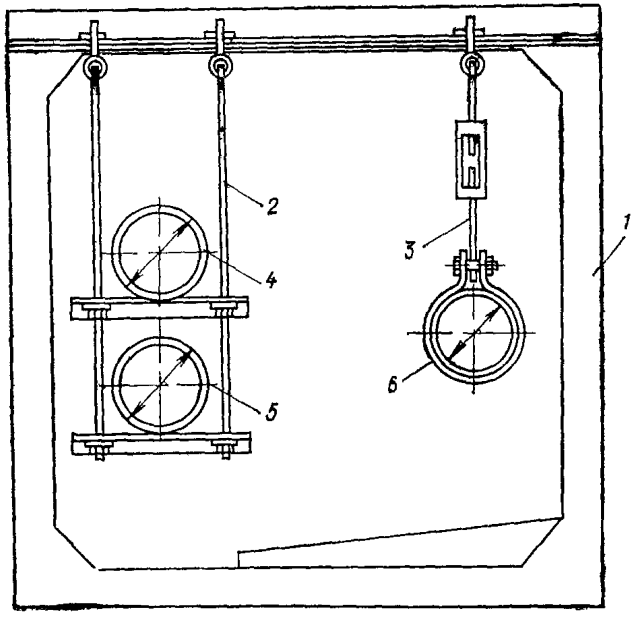


Рис 16 Прокладка трубопроводов на подвесках в канале
1 — железобетонный канал, *2 3* — подвески с устройством для регулирования высотного положения, *4, 5, 6* — трубопроводы

5.7. Водоводы из двух и более ниток должны приниматься без переключений. В случае аварий на одной из ниток водовода увеличение расхода воды должно достигаться повышением напора на насосной станции.

5.8. Для повышения надежности водоснабжения в сейсмических районах по согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы необходимо предусматривать возможность соединения раздельных сетей хозяйственно-питьевого и производственного водопроводов, а также возможность подачи неочищенной обеззараженной воды в сеть хозяйственно-питьевого водопровода.

Примечание. Конструкция перемычки в этих случаях должна обеспечивать воздушный разрыв между сетями и исключать возможность обратного тока воды в сеть хозяйственно-питьевого водопровода.

6. ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ ТРУБОПРОВОДОВ

Минимальная допустимая температура воды в наиболее удаленных точках водопровода

6.1. При определении минимальной допустимой температуры воды в наиболее удаленных точках водопровода необходимо учитывать:

теплотехнические данные трубопровода (тепловые потери трубопровода, отнесенные к объему транспортируемой воды);

способ прокладки (подземная, наземная, надземная);

время остановки трубопровода, необходимое для устранения аварии;

величину неравномерности расхода воды;

величину погрешности измерения температуры воды;

стоимость тепла, идущего на подогрев воды;

условия эксплуатации (доступность участков водопровода для надзора и ликвидации повреждений, требования объекта к бесперебойности подачи воды и пр.).

6.2. Минимальная температура воды должна определяться теплотехническим расчетом, при этом допускается принимать колебание температуры в интервале от долей градуса до нескольких градусов (плюс 3—5°С).

6.3. Температура воды в водопроводах с большими теплопотерями на единицу объема подаваемой воды и значительной неравномерностью расходов воды должна иметь большие значения минимальных температур.

6.4. Для водопроводов подземной прокладки следует принимать меньшие значения минимальных температур.

6.5. Минимальная температура воды в конце водопровода должна проверяться теплотехническим расчетом на время, необходимое для ликвидации повреждения или аварии на трубопроводе.

Оледенение внутренних стенок труб

6.6. При эксплуатации водопровода, проложенного над землей, образование льда на стенках трубопроводов не допускается.

6.7. В случаях аварий допускается образование льда на стенках трубопроводов водопровода при наличии на трубопроводах специальной арматуры, обеспечивающей их работу при льдообразовании.

Оптимальные тепловые режимы надземных водопроводов

6.8. Скорость движения воды в трубопроводе $v_т$, м/с (рис. 17), при которой затраты средств на подачу воды и компенсацию тепловых потерь надземного трубопровода при электрическом подогреве воды имеют минимальную величину, определяется по формуле

$$v_т = \frac{1}{3600\,\omega}\sqrt[3]{\frac{b}{a}}, \qquad (1)$$

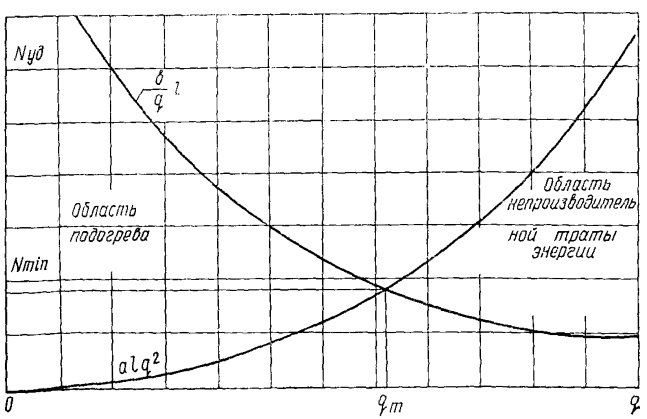


Рис. 17. Оптимальная скорость движения воды в трубопроводах при надземной прокладке $q_т$

где ω — площадь сечения трубопровода, м²,

$$b = \frac{\theta}{860\,R}\ ;\quad \theta = t_{ср} - t_{в},$$

$t_{ср}$ — среднее из значений $t_н$ и $t_к$;
$t_н$ — температура воды в начальной точке трубопровода, °С;
$t_к$ — температура воды в конечной точке трубопровода, °С;
$t_в$ — температура атмосферного воздуха (для канальной прокладки — температура воздуха в тоннеле или канале), °С;
R — термическое сопротивление изоляции, м·град/Вт;

$$a = \frac{A\,k\,\rho}{3600^2\,\eta}\ ,$$

A — удельное гидравлическое сопротивление трубопровода (при расходе воды, м³/с);
k — коэффициент, зависящий от принятых единиц, равный 0,00272;
ρ — плотность воды, кг/м³;
η — КПД насоса.

6.9. Наиболее экономичная скорость движения воды в трубопроводе при компенсации затрат на тепловые потери с использованием других видов энергии определяется по формулам:

$$v_т = \frac{1}{3600\,\omega}\sqrt[3]{\frac{b}{a}}\sqrt[3]{\frac{C_т}{2\,(C_э - C_т)}} \quad \text{при } C_т < \frac{2}{3}\,C_э; \qquad (2)$$

$$v_т = \frac{1}{3600\,\omega}\sqrt[3]{\frac{b}{a}} \quad \text{при } C_т \geqslant \frac{2}{3}\,C_э, \qquad (3)$$

где $C_э$ — стоимость единицы тепла при электрическом подогреве, руб;
$C_т$ — стоимость единицы тепла при других видах подогрева (тепло котельных, ТЭЦ и др.), руб.

6.10. Изменение скорости движения воды $v_т$ в трубопроводе при изменении термического сопротивления изоляции следует определять по зависимости

$$v_{т_2} = v_{т_1}\sqrt[3]{\frac{R_1}{R_2}}\ . \qquad (4)$$

6.11. Скорости движения воды $v_{т_1}$ и $v_{т_2}$ в двух водоводах, имеющих соответственно диаметры d_1 и d_2, удельное сопротивление A_1 и A_2, при прочих равных условиях определяются по формуле

$$v_{т_2} = v_{т_1}\frac{\omega_1}{\omega_2}\sqrt[3]{\frac{A_1}{A_2}}\ . \qquad (5)$$

6.12. Скорость движения воды $v_{т_1}$ и $v_{т_2}$ в двух водоводах различных диаметров и термических сопротивлений изоляции следует определять по формуле

$$v_{т_2} = v_{т_1} \frac{\omega_1}{\omega_2} \sqrt[3]{\frac{A_1 R_1}{A_2 R_2}}. \qquad (6)$$

6.13. Скорость $v_т$ с увеличением диаметра трубопровода может изменяться в зависимости от величины термического сопротивления изоляции. В частном случае, когда $A_2 R_2 \omega_2^3 = A_1 R_1 \omega_1^3$, скорости воды равны $v_{т_1} = v_{т_2}$.

6.14. При изменении диаметра трубопровода для сохранения прежней скорости движения воды необходимо термическое сопротивление изоляции изменить в отношении:

$$\frac{A_1 \omega_1^3}{A_2 \omega_2^3}; \qquad R_2 = R_1 \frac{A_1 \omega_1^3}{A_2 \omega_2^3}. \qquad (7)$$

6.15. Скорости движения воды $v_{т_1}$ и $v_{т_2}$ в двух водоводах, имеющих различную тепловую изоляцию, при различных перепадах температуры следует определять по формуле

$$v_{т_2} = v_{т_1} \frac{\omega_1}{\omega_2} \sqrt[3]{\frac{A_1 R_1 \theta_2}{A_2 R_2 \theta_1}}. \qquad (8)$$

6.16. Минимальные удельные затраты электрической энергии на подачу воды и компенсацию тепловых потерь в течение года следует определять по формуле

$$N_{т.уд.год} = \frac{1}{860\, q_{т.ср.год}} \left(\frac{n \theta_{ср.год} + \Sigma \theta_i}{12} \right), \qquad (9)$$

где n — число месяцев в году, для которых $\theta < \theta_{ср.год}$;
θ_i — для месяцев, у которых $\theta > \theta_{ср.год}$;
$\theta_{ср.год}$ — значение θ среднее за год;

$$q_{т.ср.год} = \sqrt[3]{\frac{\eta \theta_{ср.год}}{860\, R A B}} \qquad (10)$$

при $B = \frac{k \rho}{3600^2}$.

7. ПРЕДОХРАНЕНИЕ ВОДОПРОВОДА И КАНАЛИЗАЦИИ ОТ ЗАМЕРЗАНИЯ

7.1. Проектами водоснабжения и канализации должны предусматриваться мероприятия по защите труб от замерзания.

7.2. Для предупреждения замерзания водопроводных труб необходимо:

обеспечивать непрерывное движение воды в трубопроводах;

принимать время остановки водопровода для ликвидации повреждений или аварий не более определенного теплотехническим расчетом;

снижать до минимума тепловые потери трубопроводов;

предусматривать подогрев воды или трубопроводов;

обеспечивать контроль за гидравлическими и тепловыми режимами водопровода;

применять оборудование, устойчивое против замерзания;

предусматривать оборудование водоводов системой автоматической защиты от замерзания.

7.3. Для предотвращения остановки движения воды в водоводах необходимо предусматривать:

бесперебойное электроснабжение насосной станции;

установку на площадке насосной станции резервной электростанции на жидком топливе или установку дополнительного агрегата с двигателем внутреннего сгорания, если имеется только одна ЛЭП;

установку в насосной станции не менее трех насосных агрегатов независимо от категории водопровода;

организацию непрерывного контроля за расходом воды в водоводах.

7.4. Снижение тепловых потерь трубопроводов при надземной прокладке следует обеспечивать за счет:

покрытия трубопроводов кольцевой теплоизоляцией;

прокладки трубопроводов у поверхности земли в слое снежного покрова;

принятия оптимальной величины скорости движения воды в трубопроводе;

исключения или сведения до минимума участков без тепловой изоляции с повышенными теплопотерями (фланцы, арматура, сальниковые компенсаторы, крепление трубопровода).

7.5. Снижение тепловых потерь в трубопроводах подземной канальной прокладки следует обеспечивать за счет покрытия труб кольцевой теплоизоляцией и регулирования работы естественной вентиляции.

7.6. В зависимости от местных условий следует предусматривать подогрев водопроводной воды:

путем добавления теплой воды из систем охлаждения технологического оборудования промышленных предприятий или ТЭЦ;

в котельных или бойлерных установках;

электрическими нагревателями;

теплотой гидродинамического трения, выделяемой в насосах и трубопроводах при повышенных скоростях движения воды.

7.7. Температуру подогрева воды следует определять на основании технико-экономических расчетов с учетом стоимости тепла и теплоизоляции.

7.8. При проектировании подогрева воды в котельных, бойлерных и других установках необходимо обеспечивать минимальный расход тепла, снижая среднюю температуру нагрева воды за счет ступенчатого подогрева.

7.9. Установки для подогрева воды должны быть оборудованы системами автоматики, поддерживающими заданный температурный режим воды в трубопроводах (с необходимым аварийным резервом).

7.10. В специальных котельных для подогрева водопроводной воды надлежит устанавливать электрические электродные котлы низкого напряжения (рис. 18), применение которых обеспечивает простоту автоматики управления, снижение веса и уменьшение габаритов помещений котельных.

7.11. Сопровождающий греющий кабель (рис. 19) предотвращает возможность замерзания жидкости в трубопроводах, а также позволяет прогревать трубы перед пуском воды по трубопроводам в зимнее время. Для автоматической работы греющего кабеля следует предусматривать установку терморегулятора (рис. 20).

7.12. Греющий кабель рекомендуется использовать при подземной бесканальной прокладке водопровода и канализации, а также на замыкающих перемычках водопровода в каналах, на участках, не совпадающих с трассировкой тепловых сетей, при диаметре труб до 300 мм.

7.13. Система подогрева должна обеспечивать расчетную температуру воды на концевых участках сети.

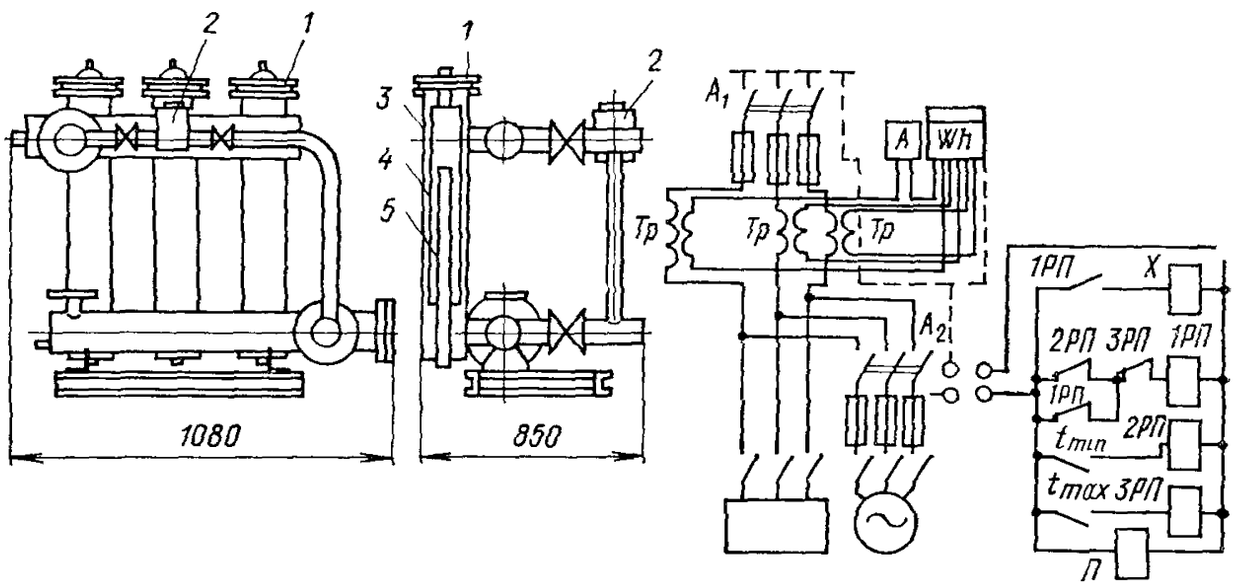


Рис. 18. Электродный котел

1 — грязевик; *2* — концентратор; *3* — корпус; *4* — электрод; *5* — нулевой электрод

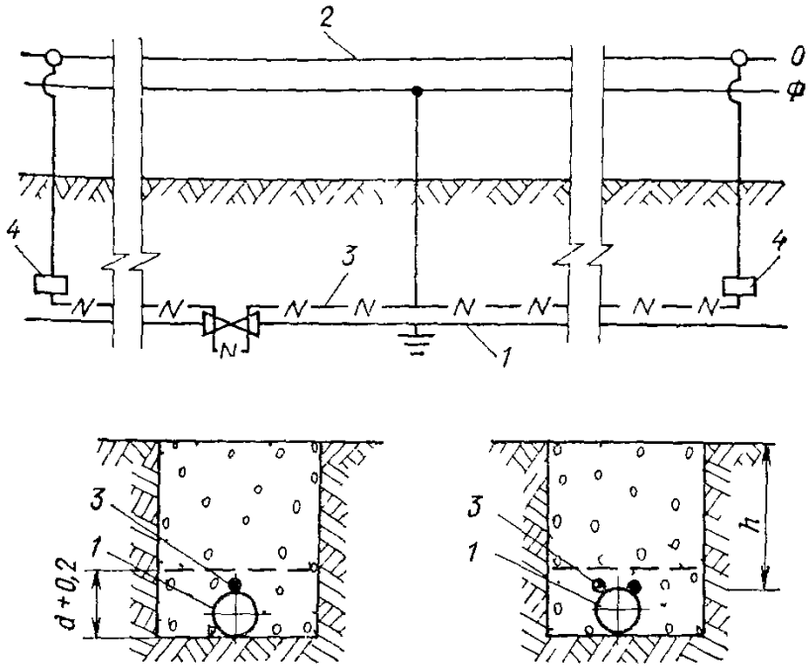


Рис 19 Схема оборудования водопровода греющим кабелем

1 — водопровод, *2* — питающая электросеть *3* — греющий электрокабель, *4* — терморегулятор

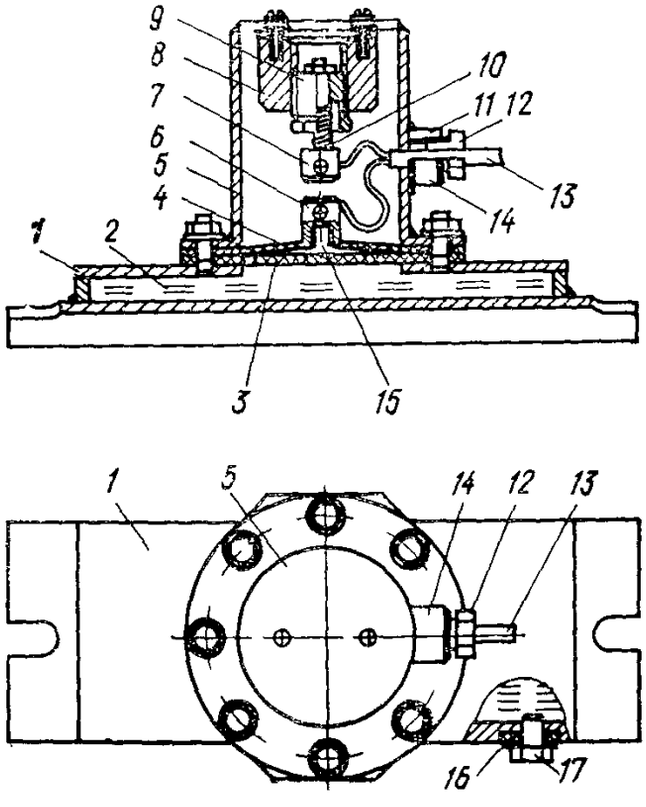


Рис 20 Конструкция терморегулятора

1 — камера заполняемая рабочей жидкостью *2* — рабочая жидкость (вода) *3* — резиновая диафрагма (рабочая) *4* — резиновая диафрагма для крепления контакта *5* — камера для размещения электроконтактов *6* — подвижный контакт *7* — неподвижный контакт *8* — диэлектрический стакан *9* — регулировочная втулка *10* — возвратная пружина *11* — резиновое уплотнительное кольцо *12* — втулка зажимная *13* — двужильный электропровод *14* — патрубок *15* — деталь крепления подвижного контакта к диафрагме *16* — уплотнительная прокладка *17* — завинчивающаяся пробка

7.14. Укладку греющего кабеля следует предусматривать непосредственно по поверхности трубы. Для предохранения его от механических повреждений, а также для более эффективного использования тепла за счет повышения теплоотдачи к трубопроводу, рекомендуется сверху кабеля укладывать профильную антисептированную деревянную рейку.

7.15. Применение электроэнергии для подогрева жидкостей или трубопроводов должно обосновываться технико-экономическими расчетами.

7.16. Контроль за тепловыми режимами водопровода, а также управление этими режимами должны осуществляться централизованной диспетчерской службой, оснащенной необходимыми приборами для обеспечения наблюдения:

за температурой воды в характерных точках водопроводной системы;

за работой систем подогрева воды;

за расходами воды в системе водопровода и у потребителей.

В зимнее время данные о температуре воды, переданные на диспетчерский пункт приборами или дежурным персоналом по телефону, должны регистрироваться через каждые два часа.

7.17. При наступлении положительных температур воздуха тепловой контроль ведется в тех случаях, когда он необходим для технологических целей.

7.18. Водоводы и водопроводные сети надземной или канальной прокладки, имеющие большие тепловые потери или работающие с большой неравномерностью водопотребления, следует защищать от замерзания автоматическими выпусками воды (рис. 21).

7.19. Автоматические выпуски обеспечивают работу системы:

при отсутствии электропитания;

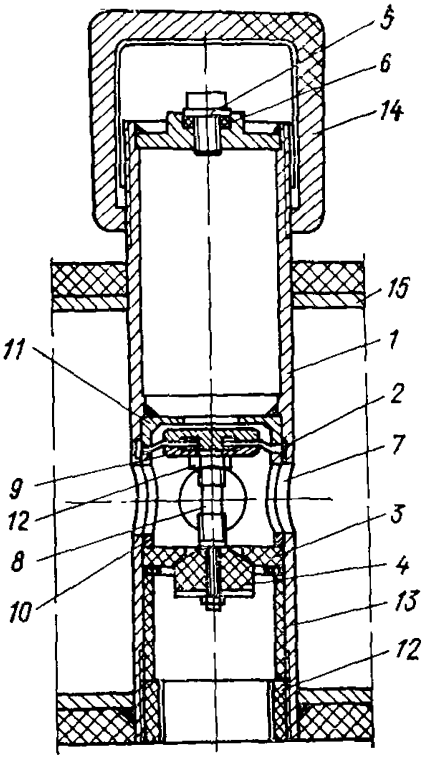
за счет автоматического включения в работу при появлении угрозы замерзания водопровода, а также автоматического прекращения сброса воды при повышении ее температуры в водопроводе до нормы;

за счет наличия в регуляторе устройства, позволяющего задавать в интервале температур, близких к нулю (от 0,2 до 1,5°С), определенную степень охлаждения воды в трубопроводе, при которой начинается ее сброс.

7.20. В наиболее характерных точках водопроводной системы следует предусматривать установку автоматиче-

Рис. 21. Автоматический выпуск воды

1 — корпус; *2* — диафрагма; *3* — седло; *4* — клапан; *5* — шайба; *6* — прокладка; *7* — отверстие; *8* — шток; *9* — диск; *10* — стакан; *11* — ограничитель; *12* — гайка; *13* — стакан; *14* — регулятор; *15* — труба



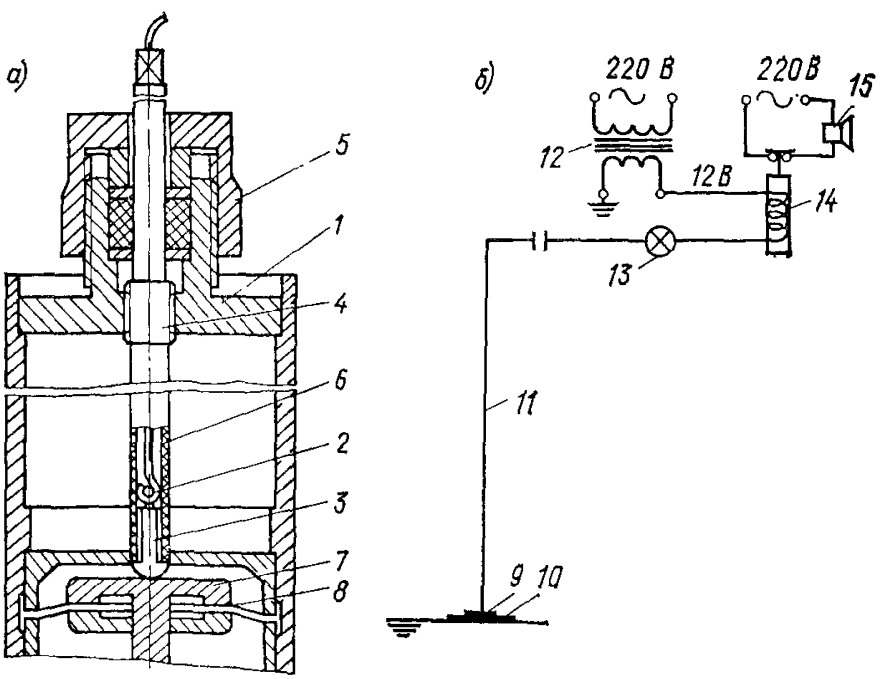


Рис. 22. Телеустройство автоматического выпуска воды

а — конструкция телеустройства; *б* — схема телеустройства автоматического выпуска воды; *1* — выпуск; *2* — диэлектрический стержень; *3* — электропроводящий контакт; *4* — резьба; *5* — сальник; *6* — проводник; *7* — нижний контакт; *8* — медная фольга; *9* — головка контакта в верхней камере автоматического выпуска; *10* — контакт на верхнем диске диафрагмы; *11* — телефонный провод; *12* — трансформатор 220×12; *13* — лампа К-12 на 12 В; *14* — реле; *15* — звуковой сигнал

ских выпусков воды с телеустройством, сигнализирующим на диспетчерский пункт об отклонении теплового режима водопровода от нормы (рис. 22).

7.21. Автоматический выпуск воды с телеустройством следует применять также при автоматической работе водопроводных систем (автоматическое включение дополнительных средств подогрева воды или резервных насосных агрегатов).

8. ТРУБОПРОВОДЫ И ТРУБОПРОВОДНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

8.1. В соответствии с требованиями глав СНиП по проектированию наружных сетей и сооружений водоснабжения и канализации в районах распространения вечномерзлых грунтов:

для водоводов и сетей водопровода необходимо применять стальные и пластмассовые трубы; чугунные трубы допускается применять при подземной прокладке в проходных каналах. Применение железобетонных и асбестоцементных труб не допускается;

материал труб для напорных сетей канализации следует принимать как для труб водопроводных сетей;

для самотечных сетей канализации надлежит применять трубы полиэтиленовые и чугунные с резиновой уплотнительной манжетой.

8.2. При наземной и канальной прокладке водопроводных сетей из стальных труб следует применять компенсаторы упругого (П-, Л-образные) и разрезного (самоуплотняющиеся) типов (рис. 23, 24, 25, 26).

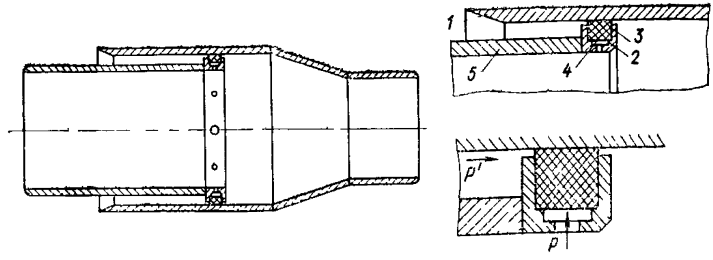


Рис. 23 Самоуплотняющийся компенсатор для воды

1 — стакан, *2* — эластичное кольцо; *3* — обойма, *4* — полость под эластичным кольцом; *5* — патрубок

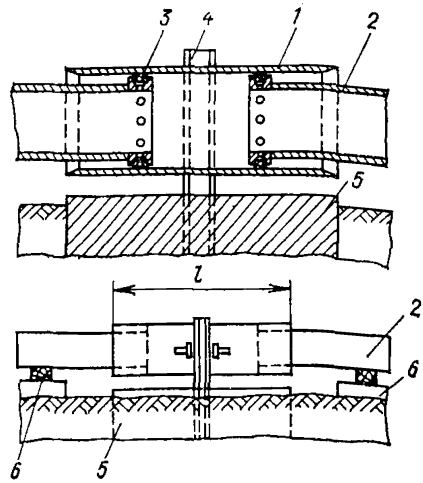


Рис. 24. Двусторонний самоуплотняющийся компенсатор для воды

1 — стакан; *2* — патрубок; *3* — эластичное кольцо; *4* — неподвижная опора; *5* — основание неподвижной опоры; *6* — скользящая опора

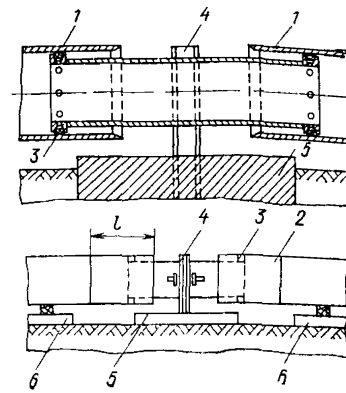


Рис. 25. Двусторонний самоуплотняющийся компенсатор для воды

1 — стакан; *2* — патрубок; *3* — эластичное кольцо; *4* — неподвижная опора; *5* — основание неподвижной опоры; *6* — скользящая опора

Компенсаторы упругого типа надлежит принимать на напорных трубопроводах диаметром до 300 мм; при диаметре труб свыше 300 мм следует применять самоуплотняющиеся компенсаторы.

8.3. Компенсаторы разрезного типа следует применять при укладке трубопроводов всех диаметров в канале или тоннеле.

8.4. На трубопроводах водопровода следует предусматривать установку стальной незамерзающей арматуры, конструкция которой должна обеспечивать:

отказ от внешнего обогрева;

использование тепла воды, протекающей в трубопроводе, для восполнения тепловых потерь арматуры;

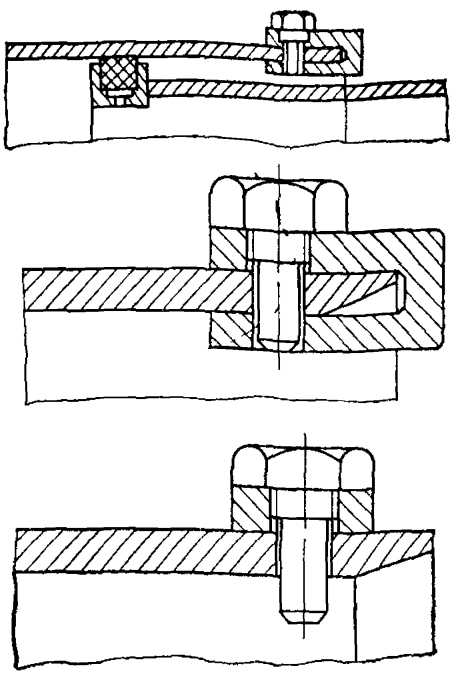


Рис. 26. Самоуплотняющийся компенсатор для воды с устройством против разрыва

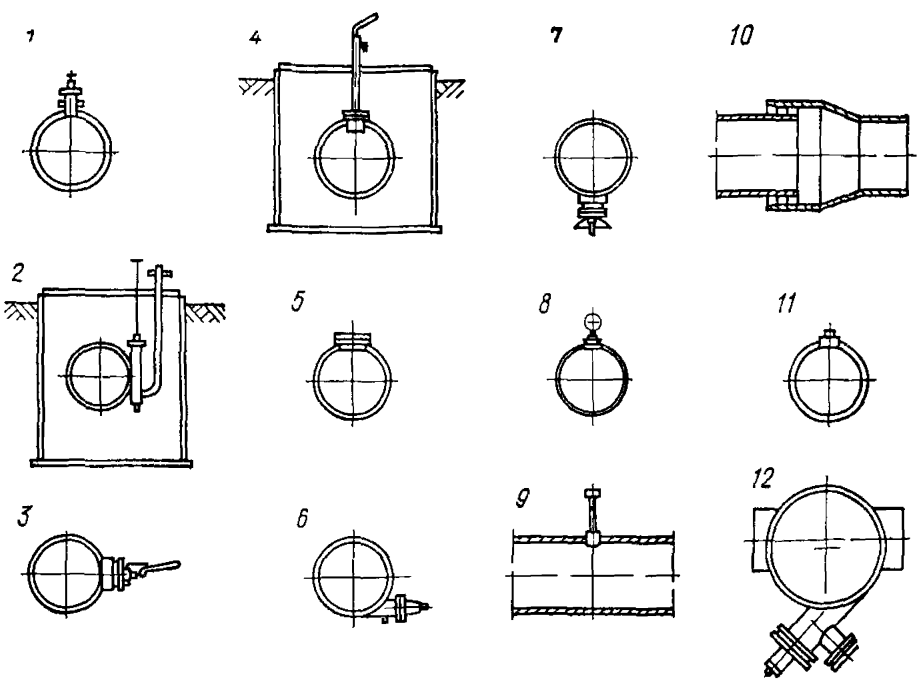


Рис. 27. Установка незамерзающей арматуры на водопроводе

1 — пожарный гидрант для сети наземной прокладки; *2* — пожарный гидрант для подземной сети; *3* — плунжерный кран; *4* — водоразборная колонка; *5* — аэрационный клапан; *6* — выпуск; *7* — задвижка для перемычек; *8* — незамерзающая подставка под манометр; *9* — прибор для измерения толщины льда на внутренних стенках труб; *10* — самоуплотняющийся компенсатор; *11* — вантуз; *12* — уловитель с промывкой

размещение затвора арматуры в потоке воды или близко к трубопроводу;

автоматический слив воды, находящейся выше затвора (за затвором по направлению движения воды), после каждого отключения арматуры;

сокращение площади поверхностей контакта частей арматуры с окружающим воздухом;

исключение замкнутых объектов в арматуре, удаленных от теплового потока, в которых возможно замерзание воды;

применение в затворах и сальниках принципа самоуплотнения.

8.5. Примеры установки незамерзающего водопроводного оборудования (рис. 27):

Пожарный гидрант для сети наземной прокладки	Устанавливается сверху трубы, расстояние от верха трубы до клапана не более 50 мм
Пожарный гидрант для подземной сети	Врезается в трубу сбоку, так чтобы корпус гидранта на 0,5 диаметра трубы погружался в трубопровод
Плунжерный кран . .	Устанавливается сбоку трубы, корпус крана располагается горизонтально
Водоразборная колонка с опорожнением стояка в емкость	Устанавливается сверху трубы, емкость погружается в трубопровод
Аэрационный клапан .	Устанавливается сверху трубы, корпус погружается в трубопровод на 70% своей высоты
Выпуск	Врезается у дна трубы сбоку, ось шпинделя составляет с горизонтальной плоскостью угол от 10 до 15°
Задвижка для перемычек	Устанавливается снизу трубы
Незамерзающая подставка под манометр . . .	Устанавливается сверху трубы, корпус подставки погружается в трубопровод
Самоуплотняющийся компенсатор	Эластичное кольцо устанавливается за середину стакана компенсатора в сторону его перехода

Вантуз	Устанавливается сверху трубы
Прибор для измерения толщины льда на внутренних стенках труб . .	Корпус прибора устанавливается так, чтобы его дно располагалось по оси трубопровода. Измерительная трубка поднимается выше тепловой изоляции
Уловитель с промывкой	Ось решеток устанавливается горизонтально и перпендикулярно оси трубопровода, выпуск располагается снизу

8.6. Для увеличения времени остановки водовода и повышения надежности его работы следует применять арматуру, обеспечивающую работу трубопровода в ледовых режимах.

Примеры арматуры, работающей при оледенении тру-

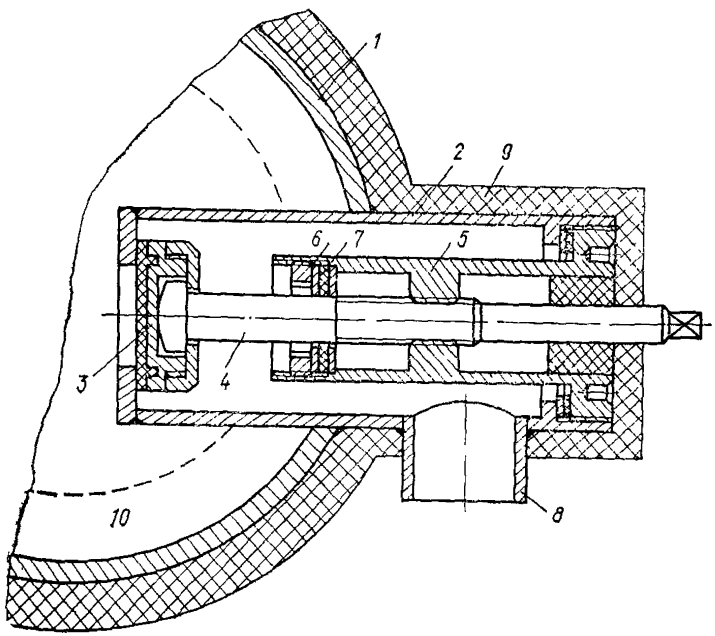


Рис. 28. Конструкция выпуска воды при оледенении трубопровода на 50%

1 — трубопровод; *2* — корпус арматуры; *3* — клапан; *4* — шпиндель; *5* — ходовая гайка; *6* — нажимная гайка; *7* — уплотнение шпинделя; *8* — выпускной патрубок; *9* — теплоизоляция; *10* — лед

бопровода на 50% живого сечения трубы, показаны на рис. 28 и 29.

8.7. Конструкцией арматуры, устанавливаемой на трубопроводах в ледовых режимах, должно предусматриваться:

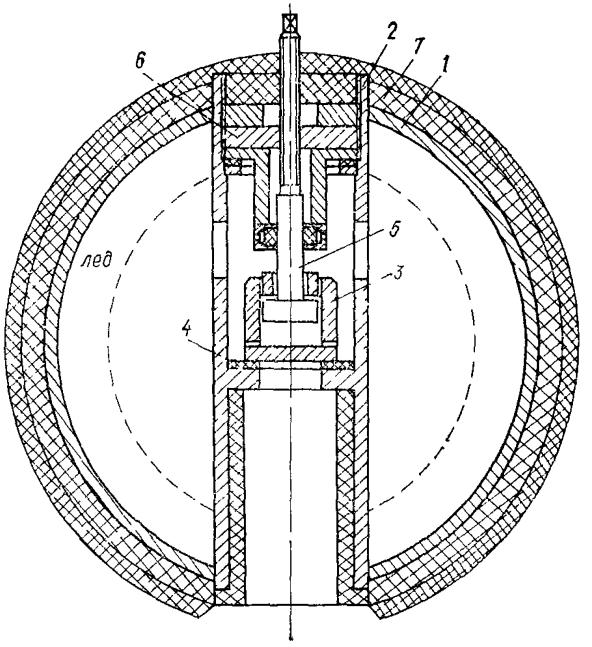


Рис. 29. Конструкция аэрационного клапана при оледенении трубопровода на 50%

1 — трубопровод; *2* — корпус арматуры, *3* — клапан, *4* — уплотнение, *5* — шпиндель, *6* — нажимная гайка *7* — теплоизоляция

размещение входных каналов и затвора в середине сечения трубопровода;

автоматический слив воды из корпуса после закрытия затвора;

расположение выходных каналов снизу трубопровода;

применение деталей, влияющих на тепловые потери арматуры, из материалов с низким коэффициентом теплопроводности или их теплоизоляцию.

9. КОЛОДЦЫ, УЗЛЫ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЙ НА СЕТЯХ

9.1. При подземной прокладке водопроводных труб следует применять сборные железобетонные колодцы с

водонепроницаемыми стенками и днищем. Конструкц ей узлов сопряжения труб с колодцами должна предусм втриваться возможность неравномерной осадки колодцев и трубопроводов.

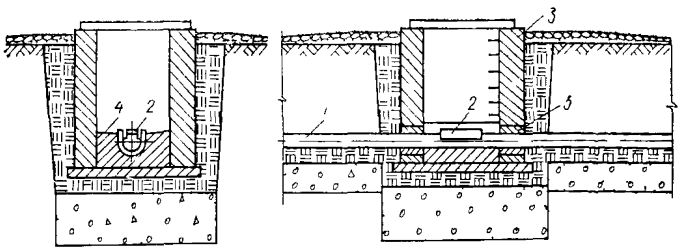


Рис. 30. Смотровой колодец на сети канализации, оборудованный закрытой ревизией с клиновым уплотнением крышки

1 — труба; *2* — ревизия, *3* — колодец; *4* — дно колодца (бетон); *5* — эластичное уплотнение

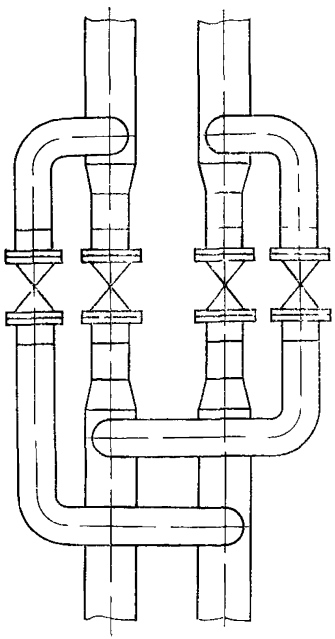


Рис 31. Узел переключений с перекрестными перемычками

9.2. При проектировании колодцев для пучинистых грунтов надлежит предусматривать меры, исключающие «выталкивание» колодцев из грунта: обратную засыпку непучинистыми грунтами, гидроизоляцию вокруг колодцев из глинобетона и отвод поверхностных вод.

9.3. Устройство открытых лотков в колодцах на сетях канализации не допускается; для прочистки труб следует предусматривать ревизии (рис. 30).

9.4. На водоводах, состоящих из двух ниток, следует применять узлы переключения по перекрестной схеме (рис. 31).

9.5. Проектирование соо жений для условий вечном злых грунтов должно вы олняться в соответствии с тр бованиями главы СНиП по про-

ектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах и главы СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций.

10. ПЕРЕХОДЫ ТРУБОПРОВОДОВ ЧЕРЕЗ ДОРОГИ, ВОДОТОКИ, ОВРАГИ

10.1. Переходы трубопроводов через улицы, железные и автомобильные дороги надлежит осуществлять в каналах или стальных футлярах; надземная прокладка трубопроводов на стойках или по эстакадам допускается в случаях, когда прокладка сети водопровода на данном участке трассы осуществляется на стойках или по эстакадам.

Переходы трубопроводов через водные преграды, овраги и другие препятствия следует предусматривать надземной прокладкой на стойках или по эстакадам (рис. 32).

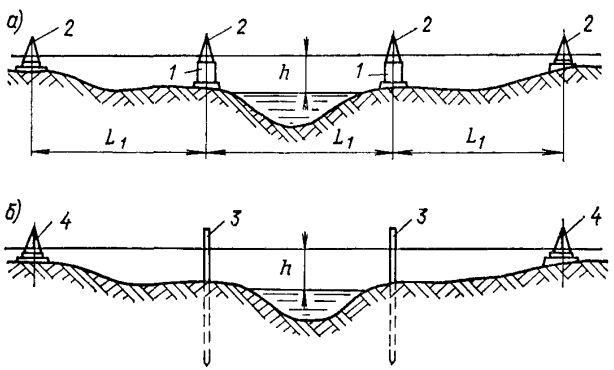


Рис. 32. Переходы через водотоки

а — переход через реку на железобетонных опорах; *б* — переход через реку на свайных опорах; *1* — опоры из железобетонных колец; *2* — подвесные опоры; *3* — свайные опоры; *4* — подвесные опоры

10.2. Бесканальная прокладка трубопроводов, а также устройство дюкеров не допускается.

10.3. На трубопроводах с обеих сторон переходов следует предусматривать колодцы, размещая в них вентиляционные шахты и водоприемные приямки.

10.4. Каналы на переходах через улицы и дороги сле-

дует принимать из железобетонных деталей заводского изготовления; применение дерева и кирпича не рекомендуется.

11. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

11.1. Величину термического сопротивления теплоизоляции, а также ее конструктивные решения (кольцевая, засыпная, ограждения каналов и пр.) следует выбирать на основании технико-экономических расчетов.

11.2. При выборе теплоизоляционных материалов следует учитывать:

условия эксплуатации трубопроводов в резко переменных температурно-влажностных режимах при прокладке их на открытом воздухе и в вентилируемых подземных каналах;

влияние ветра, дождя и снега при эксплуатации труб на открытом воздухе;

возможность механических повреждений трубопровода;

стоимость доставки материалов;

ограниченные сроки производства наружных строительных работ с мокрыми процессами.

11.3. При наземной прокладке трубопроводов в земляных валиках в качестве теплоизоляции надлежит использовать местный или привозной грунт, а также подстилающие засыпки из горелых пород, мхов или торфов.

11.4. При надземной прокладке трубопроводов в каналах следует применять кольцевую теплоизоляцию.

11.5. При бесканальной прокладке труб следует применять тепловую изоляцию из водонепоглощающих пеноматериалов с замкнуто-ячеистой структурой.

11.6. В качестве теплоизоляции трубопроводов надлежит применять высокоэффективные изоляционные материалы на базе стекловолокна и пенопластов, а также пенобетонные и диатомовые сегменты.

11.7. При изоляции трубопроводов минеральной ватой следует предусматривать устройство прочного и влагонепроницаемого защитного слоя.

11.8. Для трубопроводов, транспортирующих жидкости с температурой не выше 95°С, в качестве теплоизоляции рекомендуется использовать антисептированную деревянную рейку.

11.9. Для защиты кольцевой теплоизоляции необходимо применять алюминиевый лист, асбестоцементную

штукатурку по проволочной сетке или рулонные изоляционные материалы.

Применение толя, а также мешковины и других тканей с масляной покраской не допускается

11.10. При надземной прокладке трубопроводов рекомендуется применять дополнительную защиту изоляции деревянной рейкой, покрытой битумом.

11.11. Древесные опилки, торф, мох и другие органические материалы допускается применять для трубопроводов со сроком эксплуатации 1—2 года, прокладываемых на низких опорах в деревянных коробах.

12. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

12.1. Особенностями проектирования сетей водоснабжения и канализации в районах распространения вечномерзлых грунтов, определяющими их технологические и конструктивные решения, являются отрицательная в течение длительного периода года температура окружающей среды (воздуха, грунта) и резкое изменение физико-механических свойств большинства грунтов при их оттаивании.

12.2. Номенклатуру мерзлых грунтов надлежит принимать в соответствии с номенклатурой, приведенной в главе СНиП по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах.

12.3. Основными характеристиками температурного режима грунта являются среднегодовая температура, глубина сезонного промерзания и оттаивания, а также минимальная температура грунта на глубине заложения трубопровода.

12.4. Среднегодовую температуру грунта t_0 в естественных условиях следует принимать по данным разовых измерений, проведенных на глубинах, указанных в табл. 1.

12.5. Глубина сезонного оттаивания грунта $H_т$ должна приниматься наибольшей из ежегодных максимальных глубин за срок наблюдений не менее 10 лет:

в пределах застройки — по данным наблюдений на осушенной площадке без растительного и торфяного покрова, очищаемой весной от снега;

вне населенных пунктов — на площадке с естественными условиями.

При отсутствии указанных данных глубину сезонного оттаивания грунта $H_т$ следует определять теплотехническим расчетом в соответствии с п. 12.17.

Таблица 1

Время измерения температуры грунта	Глубина, на которой производится измерение температуры грунта, м, при его среднегодовой температуре, °С		
	От 0 до минус 2	ниже минус 2 до минус 4	ниже минус 4
С середины лета до момента полного промерзания сезонноталого слоя грунта	3,5—4	5—6	7—8
С момента полного промерзания сезонноталого слоя грунта до середины лета	5—6	7—8	9—10

Примечание. В песчаных и скальных грунтах глубины, на которых производят измерение температур, следует увеличивать на 1—2 м.

12.6. Глубина сезонного промерзания грунта $H_м$ должна приниматься равной средней из ежегодных максимальных глубин по данным наблюдений за срок не менее 10 лет:

в пределах застройки — по данным наблюдений на осушенной площадке без растительного и торфяного покрова, очищаемой зимой от снега;

вне населенных пунктов — на площадке с естественными условиями.

При отсутствии указанных данных глубину сезонного промерзания грунта $H_м$ следует определять теплотехническим расчетом, в соответствии с п. 12.16.

12.7. Минимальную температуру грунта $t_г$ в расчетах следует принимать равной минимальной среднемесячной температуре грунта на глубине заложения трубопровода (считая от поверхности грунта до оси трубы или середины канала), определяемой по данным наблюдений за срок не менее 10 лет.

При отсутствии данных расчетную температуру грунта $t_г$ надлежит определять теплотехническим расчетом в соответствии с п. 12.15.

12.8. При проектировании сетей водопровода и канализации в зависимости от физико-механических и мерзлотных свойств грунтов следует учитывать возможную осадку трубопроводов при оттаивании грунтов; при этом давление трубопроводов на грунт допускается не учитывать.

Основные положения теплотехнических расчетов

12.9. Теплотехническими расчетами определяется температурный режим сетей водопровода и канализации, а также окружающих их грунтов.

12.10. Теплотехнические расчеты следует производить для принятого гидравлического режима работы трубопроводов.

12.11. Принятые в теплотехнических расчетах основные обозначения и определения приведены в прил. 1. Примеры теплотехнических расчетов даны в прил. 2.

Температурный режим грунтов

12.12. Температурный режим грунтов характеризуется их среднегодовой температурой t_0, минимальной среднемесячной температурой грунта на глубине заложения трубопровода $t_г$ и глубиной сезонного промерзания и оттаивания грунтов $H_м$ и $H_т$, принимаемых в соответствии с указаниями, приведенными в пп. 12.4—12.7.

12.13. При определении значений температурного режима грунтов t_0, $t_г$, $H_м$ и $H_т$ теплотехническими расчетами следует учитывать возможные изменения теплофизических свойств грунтов, их влажности и условий теплообмена на поверхности, которые произойдут в результате освоения территории.

12.14. В теплотехнических расчетах суммарную влажность грунта $w_с$ для площадок, где сохраняется естественный покров и природный режим грунтовых вод, следует принимать равной естественной; для площадок, где предусматривается вертикальная планировка, осуществление мероприятий по регулированию поверхностного стока или по понижению уровня надмерзлотных вод и другие меры по инженерной подготовке территории, приводящие к уменьшению влажности грунтов, величина $w_с$ принимается равной для:

песков	$w_с = w_р = 0,15 \div 0,25$;
супесей	$w_с = 0,5\,w_т = 0,10 \div 0,15$;
суглинков	$w_с = w_м = 0,02 \div 0,07$,

где $w_р$ — влажность на границе раскатывания в долях единицы;
$w_т$ — влажность на границе текучести в долях единицы;
$w_м$ — максимальная молекулярная влагоемкость грунта в долях единицы.

12.15. Минимальную температуру грунта $t_г$ следует определять по формуле

$$t_г = t_0 + \Omega_э A B, \qquad (11)$$

где A — определяется по графику рис 33 в зависимости от $\tau_з$;

$\Omega_з$ — отрицательная сумма градусо-часов за зимний период года (минимальная за срок наблюдений 10 лет),

$\tau_з$ — продолжительность периода года с отрицательными среднемесячными температурами воздуха (зимний период), ч.

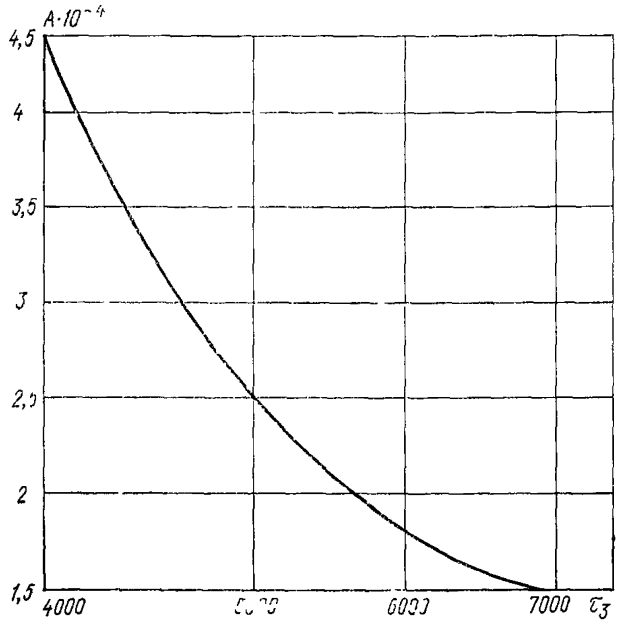


Рис. 33 Номограмма для определения значения A

Значение B находится по номограмме рис. 34 по параметрам φ и μ:

$$\varphi = S\sqrt{\frac{C_м}{\lambda_м}}, \quad \mu = h\sqrt{\frac{C_м}{\lambda_м}}. \tag{12}$$

Величина коэффициентов теплопроводности $\lambda_м$ и объемной теплоемкости $C_м$ мерзлого грунта принимается для значений влажности и объемной массы грунта в естественных условиях. Для территории застройки значение S принимается равным нулю, т. е. значение B находится по номограмме рис. 34 при $\varphi=0$. При определении значения $t_г$ для участков вне населенных пунктов толщина снежного покрова при вычислении значения S по формуле (68) принимается равной минимальной среднезимней за срок наблюдений 10 лет.

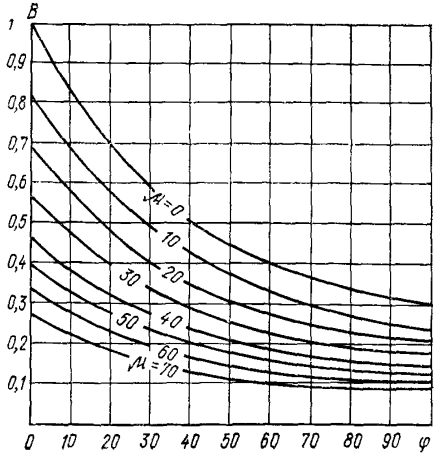


Рис 34 Номограмма для определения значения B

12.16. Глубину сезонного промерзания грунта $H_м$, м, надлежит определять по формуле

$$H_м = \sqrt{\frac{2\lambda_м t_з \tau_з}{q + 0{,}5 C_м t_з} + S^2} - S, \qquad (13)$$

где $t_з$ — средняя температура воздуха, °С, за период с отрицательными среднемесячными температурами воздуха — среднезимняя температура воздуха (принимается со знаком плюс);

$\tau_з$ — продолжительность периода с отрицательными среднемесячными температурами воздуха (зимний период), ч.

За расчетную среднезимнюю температуру воздуха следует принимать минимальную среднезимнюю температуру за срок наблюдений 10 лет.

Определение теплоты замерзания грунта q надлежит производить по формуле (69) при значении $\omega_н = 0$.

При вычислении глубины промерзания грунта для участка на территории застройки снежный покров не учитывается, т. е. в формуле (68), по которой вычисляется значение S, принимается $H_с = 0$. Величины коэффициентов теплопроводности $\lambda_м$ и теплоемкости $C_м$ грунта и теплота замерзания грунта q определяются для значений влажности грунта на застроенной территории. Значения

влажности грунта на этой территории следует принимать согласно указаниям, приведенным в п. 12.14.

При вычислении глубины промерзания грунта для участков, расположенных вне населенных пунктов, толщина снежного покрова принимается равной минимальной среднезимней за срок наблюдений 10 лет. Величины коэффициентов теплопроводности $\lambda_м$ и объемной теплоемкости $C_м$ грунта и теплота замерзания грунта q определяются для влажности грунта в естественных условиях, если не предусматриваются мероприятия по осушению грунта по трассе трубопровода; в случае осушения грунтов вдоль трассы значения указанных величин принимаются как для участков в пределах населенных пунктов.

12.17. Глубину сезонного оттаивания грунта $H_т$, м, надлежит определять по формуле

$$H_т = \sqrt{\frac{2\lambda_т t_1 \tau_1}{q_1} + \left(\frac{Q_м}{q_1}\right)^2} - \frac{Q_м}{q_1}, \qquad (14)$$

где $t_1 = 1{,}4\, t_л + 2{,}4;$ (15)

$$\tau_1 = 1{,}15\, \tau_л + 360;$$

$t_л$ — средняя температура воздуха за период положительных температур, °С;

$\tau_л$ — продолжительность периода с положительными температурами воздуха, ч,

$$q_1 = q + 0{,}5\, C_т\, t_л; \qquad (16)$$

$$Q_м = -\frac{5}{6}\, t_з\, \tau_з\, \eta\, K_м \sqrt{\lambda_м C_м}, \qquad (17)$$

где $t_з$ — средняя температура воздуха за зимний период, °С;

$\tau_з$ — продолжительность зимнего периода, мес.

Значения $t_л$ и $\tau_л$ следует принимать по табл. 1 главы СНиП по строительной климатологии и геофизике, причем для климатических подрайонов 1Б и 1Г значения $t_л$ и $\tau_л$ принимаются с коэффициентом 0,9.

Коэффициент η определяется по номограмме рис. 35 в зависимости от $R_c\sqrt{\lambda_м C_м}$, где $R_c = \frac{H_c}{\lambda_c}$ — термическое сопротивление снежного покрова; H_c — толщина снега; λ_c — коэффициент теплопроводности снега (табл. 3).

Если глубина сезонного оттаивания определяется для участков, с поверхности которых снег сдувается или счищается, значение коэффициента η принимается равным 1.

Значение коэффициента $K_м$ в формуле (17) определяется по номограмме рис. 35 в зависимости от продолжи-

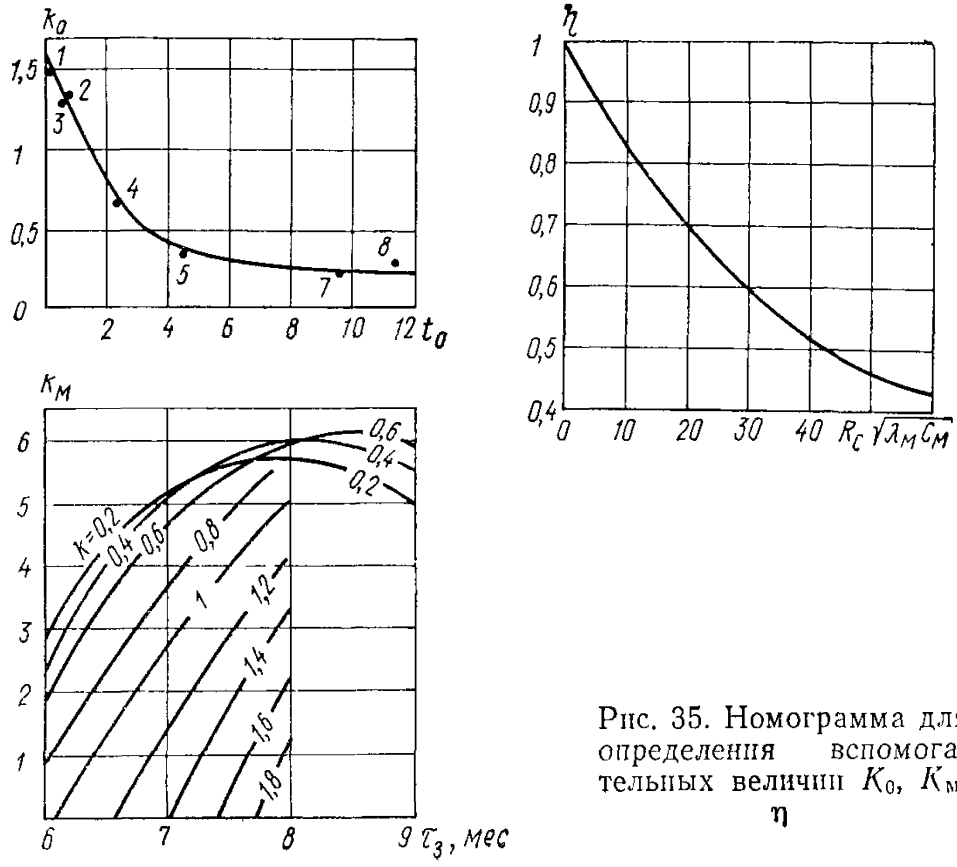


Рис. 35. Номограмма для определения вспомогательных величин K_0, $K_м$, η

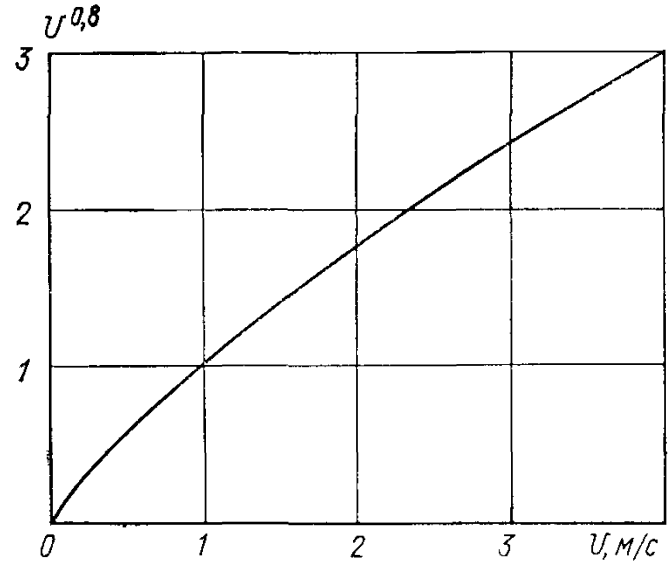


Рис. 36. График для определения величины $v^{0,8}$

тельности зимнего периода $\tau_з$, мес и величины коэффициента K_0.

Значение коэффициента K_0 предварительно находится по графику рис. 35 по величине средней годовой температуры грунта t_0.

Теплота таяния льда в грунте q вычисляется по формуле (69) при значении $w_н$, определенной для $t=t_0$.

Величины коэффициентов теплопроводности и объемные теплоемкости грунта принимаются по табл. 4 для значений влажности, указанных в п. 12.14.

Надземные водопроводы

12.18. В зависимости от условий эксплуатации и диаметра водопровода возможны следующие случаи его работы:

образование ледяной корки на внутренних стенках труб не допускается;

образование ледяной корки на внутренних стенках труб допускается.

12.19. Если образование ледяной корки на внутренних стенках трубопровода не допускается, то расчетом надлежит определять или начальную температуру воды $t_н$, или толщину теплоизоляции $\delta_и$ при заданной начальной температуре воды.

Температура воды в начале расчетного участка трубопровода (сети или водовода) $t_н$ и толщина теплоизоляции $\delta_и$ связаны соотношением

$$t_н = \left[1 - \left(1 + \frac{R_в}{R_и}\right) e^{\varphi_з}\right] t_в, \qquad (18)$$

где $t_в$ — минимальная среднесуточная температура наружного воздуха, °С;

e — экспонент (показательная функция). Значения приведены в прил. 3;

$$\varphi_з = \frac{l}{C\,G\,(R_в + R_н)}; \qquad (19)$$

$$R_в = \frac{1}{2\,\pi\,\alpha_в\,r}; \qquad (20)$$

$$R_н = \frac{1}{2\,\pi\,\alpha_н\,(r+\delta_и)} + \frac{1}{2\,\pi\,\lambda_и} \ln\frac{r+\delta_и}{r}, \qquad (21)$$

$\alpha_в$ — коэффициент теплоотдачи от воды к внутренним стенкам трубы, Вт/(м²·°С), определяемый по формуле

$$\alpha_в = 1415\,\frac{v_в^{0,8}}{(2r)^{0,2}}, \qquad (22)$$

$\alpha_н$ — коэффициент теплоотдачи от поверхности трубопровода к наружному воздуху, Вт/(м^2·°С), определяемый в зависимости от наружного радиуса (с изоляцией) и скорости ветра

$$\alpha_н = 37\,\frac{v^{0,8}}{[2\,(r+\delta_и)]^{0,2}}\,, \qquad (23)$$

v — скорость ветра, м/с.

Значения $v^{0,8}$, $(2r)^{0,2}$ и $[2(r+\delta_и]^{0,2}$ определяются по графикам рис. 36, 37.

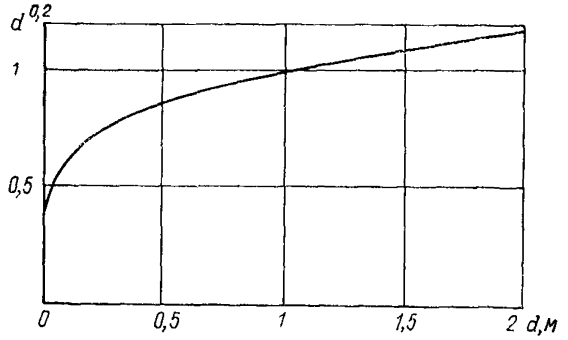


Рис. 37. График для определения величины $d^{0,2}$

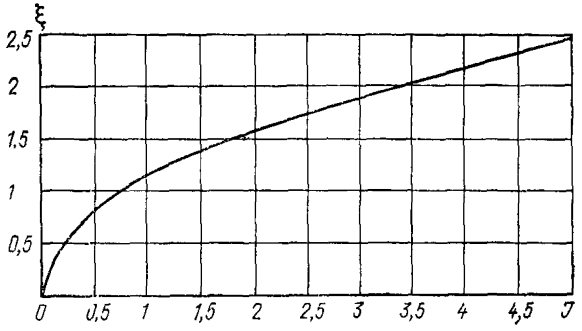


Рис. 38. График для определения коэффициента ξ

Толщина теплоизоляции $\delta_и$ при заданной температуре воды в начале расчетного участка трубопровода определяется подбором из формулы (18).

Выбор наиболее целесообразного сочетания начальной температуры воды и толщины теплоизоляции определяется теплотехническим и технико-экономическим расчетами.

12.20. При заданной температуре воды в конце расчетного участка трубопровода и толщине теплоизоляции $\delta_и$, температура воды в начале расчетного участка $t_н$ должна быть не менее

$$t_н = (t_к - t_в)\, e^{\varphi_з} + t_в, \qquad (24)$$

где $\varphi_з$ и $t_в$ — то же, что и в формуле (18).

12.21. При заданной температуре воды в начале $t_н$ и конце $t_к$ расчетного участка трубопровода, требуемую толщину теплоизоляции $\delta_и$ надлежит определять подбором из формулы

$$\frac{CG}{l}\left[\frac{1}{2\pi\alpha_в r} + \frac{1}{2\pi\lambda_и}\ln\left(\frac{\delta_и}{r}+1\right) + \frac{1}{2\pi\alpha_н(r+\delta_и)}\ln\frac{t_в - t_н}{t_в - t_к}\right] = 1. \qquad (25)$$

12.22. Если на внутренней поверхности трубопровода допускается образование ледяной корки (в периоды резкого похолодания), то толщина ледяной корки $\delta_л$ определяется по формуле

$$\delta_л = 1{,}2\left(\sqrt{S^2 + \frac{2\lambda_л t_м \tau_м}{\rho\gamma_в}} - S\right), \qquad (26)$$

откуда $$S = \lambda_л\left(\frac{r}{\lambda_и}\ln\frac{r+\delta_и}{r} + 0{,}05\right),$$

где $\lambda_л$ — коэффициент теплопроводности льда, Вт/(м·°С);

$\tau_м$ — продолжительность расчетного периода с температурой воздуха самого холодного месяца, ч;

$t_м$ — температура воздуха в расчетный период $\tau_м$, °С.

Значения $t_м$ и $\tau_м$ принимаются по таблице Справочника по климату СССР Госкомгидромета («Число дней со средней суточной температурой в различных пределах»), при этом величина $(t_м - t_в)\tau$ по абсолютной величине должна быть наибольшей.

Трубопроводы в тоннелях или каналах

12.23. В случае когда трубопроводы укладываются в тоннеле или канале, расчетом надлежит определять:

глубину оттаивания грунта в основании тоннеля или канала в летнее время;

температуру воздуха в тоннеле или канале в зимнее время, необходимую для промораживания слоя грунта, оттаявшего под каналом за летний период;

расход воздуха для вентилирования тоннеля или канала в летнее и зимнее время;

толщину теплоизоляции труб;

изменение температуры теплоносителя по длине трубопровода, уложенного в тоннеле или канале.

12.24. Устойчивость вентилируемого тоннеля или канала и уложенных в нем трубопроводов при наличии льдонасыщенных грунтов в основании обеспечивается при соотношении

$$H_т = H_м, \tag{27}$$

где $H_т$ — глубина оттаивания грунта в летнее время в основании тоннеля или канала, равная толщине слоя заменепного грунта или предварительно оттаянного и уплотненного, м;

$H_м$ — глубина промерзания грунта основания тоннеля или канала в зимнее время, м.

12.25. Расчет глубины оттаивания и промерзания грунта надлежит производить по средним температурам воздуха за летний и зимний периоды.

12.26. Глубину оттаивания грунта в основании вентилируемого тоннеля или канала следует определять по формуле

$$H_т = \left(\xi - \frac{\lambda_т R_1}{b}\right) b, \tag{28}$$

где ξ — коэффициент, определяемый по графику рис. 38 в зависимости от параметра J:

$$J = \frac{\lambda_т \cdot t_л \cdot \tau_л}{q \cdot b^2}; \tag{29}$$

$$R_1 = 0{,}05 + \frac{\delta_к}{\lambda_к}, \tag{30}$$

где $\delta_к$ — толщина стенки тоннеля или канала, м;

$\lambda_к$ — коэффициент теплопроводности стенки тоннеля или канала, Вт/(м·°С);

b — ширина тоннеля или канала, м;

$t_л$ — среднелетняя температура наружного воздуха, °С;

$\tau_л$ — продолжительность периода года с положительной среднесуточной температурой, ч.

12.27. Расход воздуха на вентилирование в расчете на 1 м тоннеля или канала в летний период $G_л$, кг/ч, следует определять по формуле

$$G_л = \frac{(t_{пр} - t_л) K_{пр} + (t_{об} - t_л) K_{об} - \frac{2}{3} \frac{q U H_т}{\tau_л}}{0{,}3 C_в t_л}, \tag{31}$$

где $C_в$ — теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С);

$t_{пр}$ — температура теплоносителя в прямой трубе теплопровода, °С,

$t_{об}$ — температура теплоносителя в обратной трубе теплопровода, °С,

U — внутренний периметр тоннеля или канала

Коэффициент теплопередачи K определяется по формулам для прямой трубы

$$K_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{2\pi\lambda_и}\ln\frac{r_{пр}+\delta_и}{r_{пр}} + \frac{1}{2\pi\alpha_н(r_{пр}+\delta_и)}}; \qquad (32)$$

для обратной трубы

$$K_{об} = \frac{1}{\frac{1}{2\pi\lambda_и}\ln\frac{r_{об}+\delta_и}{r_{об}} + \frac{1}{2\pi\alpha_н(r_{об}+\delta_и)}}, \qquad (33)$$

где $r_{пр}$ и $r_{об}$ — наружные радиусы прямой и обратной труб теплопровода, м,

$\alpha_н$ — коэффициент теплоотдачи от поверхности теплоизоляции труб теплопровода к воздуху в тоннеле или канале, Вт/(м²·°С)

Если в тоннеле или канале кроме теплопровода укладываются другие трубопроводы (водопровод, канализация и пр.), то расход воздуха на вентилирование определяется только исходя из теплопотерь теплопровода

12.28. Средняя температура воздуха в тоннеле или канале за период года с отрицательной температурой воздуха определяется по формуле

$$t_{з\,к} = -\frac{J\,b^2\,q}{\lambda_м\,\tau_з}, \qquad (34)$$

где J — определяется по формуле (29),

$\tau_з$ — продолжительность периода года с отрицательной среднемесячной температурой воздуха (зимний период), ч

12.29. Расход воздуха на вентилирование в расчете на 1 м в тоннеле или канале в зимний период $G_з$, кг/ч, следует определять по формуле

$$G_з = \frac{1}{C_в(t_{з\,к}-t_з)}\left[(t_{пр}-t_{з\,к})\,K_{пр} + (t_{об}-t_{з\,к})\,K_{об} - \frac{b(t_{з\,к}-t_з)}{R_2} + \frac{2}{3}\,\frac{qUH_т}{\tau_з}\right], \qquad (35)$$

где $\tau_з$ — среднезимняя температура наружного воздуха, °С;

$$R_2 = \frac{h_0}{\lambda_м} + \frac{H_с}{\lambda_ф} + 0{,}05, \qquad (36)$$

h_0 — расстояние от поверхности земли до верха канала, м.

12.30. Толщину теплоизоляции труб в тоннеле или канале $\delta_и$ надлежит определять предварительно по величине допустимых среднегодовых теплопотерь по формуле

$$\delta_и = r\left(e^{\frac{2\pi\lambda_и t_т}{q_{ср}}} - 1\right), \qquad (37)$$

где $t_т$ — температура теплоносителя в трубе, °С;

$q_{ср}$ — допустимая среднегодовая величина теплопотерь, Вт/м.

12.31. Перепад температуры теплоносителя Δt в самый холодный месяц следует рассчитывать по формуле

$$\Delta t = (t_т - t_{з\,к})(1 - e^{\varphi}). \qquad (38)$$

12.32. Если перепад температуры теплоносителя в трубах в самый холодный месяц окажется больше допустимого, то окончательная толщина теплоизоляции определяется по формуле

$$\delta_и = r\,(e^{\varphi_1} - 1), \qquad (39)$$

где $$\varphi_1 = \frac{2\pi\lambda_и l}{CG\ln\left(1 - \frac{\Delta t}{t_т - t_{з\,к}}\right)}.$$

12.33. Тепловой расчет вводов в здания, принятых к прокладке в тоннеле или канале, производится так же, как и для магистральных тоннелей или каналов.

12.34. Размеры зоны оттаивания грунтов вокруг тоннелей или каналов определяются для положительной средней годовой температуры воздуха в канале.

12.35. Предельная глубина оттаивания грунтов под тоннелями или каналами определяется по формуле

$$h_п = (\xi_п - m - 1)\,r. \qquad (40)$$

Предварительно вычисляется значение β:

$$\beta = -\frac{\lambda_м t_0}{\lambda_т t_ч}. \qquad (41)$$

В расчетах принимается эквивалентное значение радиуса тоннеля или канала, вычисляемое по формуле

$$r_э = \frac{U}{2\pi}, \qquad (42)$$

где U — внутренний периметр тоннеля или канала; значение m вычисляется по формуле

$$m = \frac{h}{r_э}. \tag{43}$$

По значениям β и m по номограмме (рис. 39) находится значение коэффициента $\xi_п$.

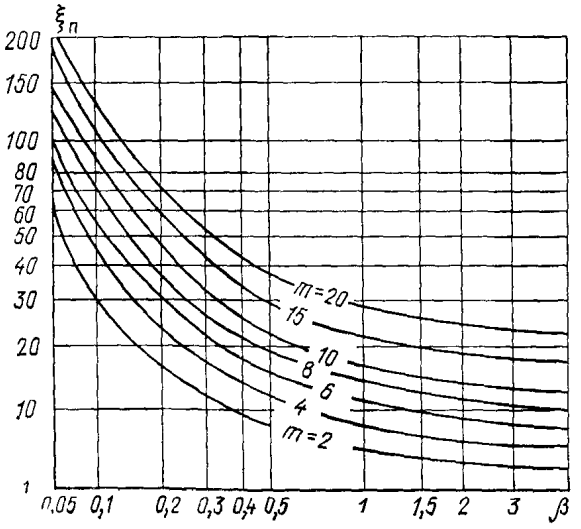


Рис. 39. Номограмма для определения коэффициента $\xi_п$

12.36. Глубина оттаивания грунта под тоннелем или каналом за время τ следует определять по формуле для значений $\beta \leqslant 0{,}1$

$$h_\tau = (\xi_0 - m - 1)\, r. \tag{44}$$

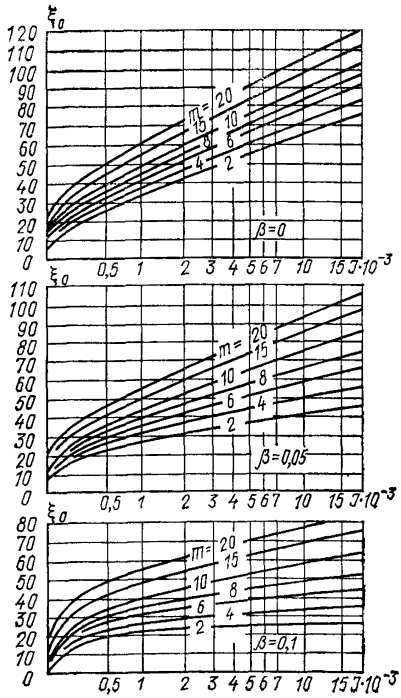
Коэффициент ξ_0 находится по номограммам рис. 40 по значениям β, m и параметру J, вычисляемому по формуле

$$J = \frac{\nu \lambda_т t \tau}{4 q r^2}. \tag{45}$$

Глубина оттаивания для промежуточных значений β и m определяется по интерполяции.

При значениях $\beta > 0{,}1$ расчет производится по формуле (40).

Рис. 40. Номограмма для определения коэффициента ξ_0



12.37. Предельное оттаивание грунта $l_п$ в горизонтальном направлении (от оси трубопровода) при $\beta > 0{,}1$ надлежит определять по формуле

$$l_п = 0{,}5\,\xi_п\,r, \tag{46}$$

где $\xi_п$ — коэффициент, определяемый по номограмме рис. 39 по значениям β по формуле (41) при $m = \dfrac{h}{r_э}$.

12.38. Оттаивание грунта в горизонтальном направлении l_τ при $\beta \leqslant 0{,}1$ за время τ следует определять по формуле

$$l_\tau = 0{,}5\,\varphi_0\,r, \tag{47}$$

где φ_0 — коэффициент, определяемый по номограмме рис. 41 по значениям β формула (41), $m = \dfrac{h}{r_э}$ и J формула (45).

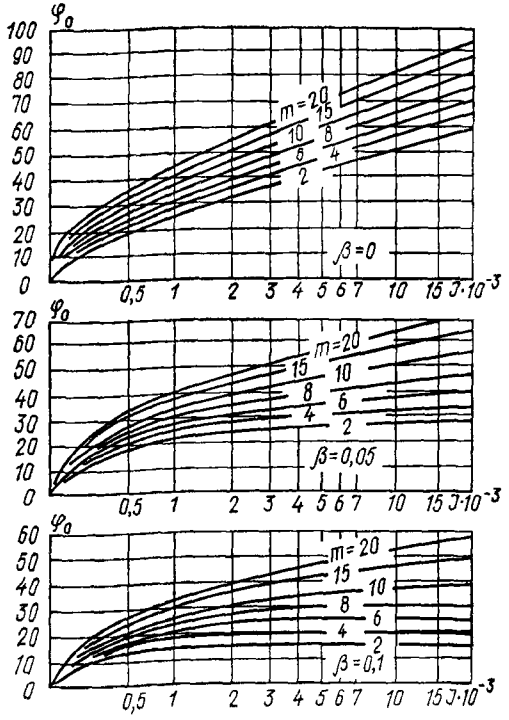


Рис. 41. Номограмма для определения коэффициента φ_0

Для значений $\beta > 0{,}1$ расчет производится по формуле (46).

12.39. При заданной глубине оттаивания грунта под серединой тоннеля или канала $H_з$ среднегодовую допустимую температуру воздуха в тоннеле или канале $t_{доп}$ в зависимости от значения

$$\beta = -\frac{\lambda_м t_0}{\lambda_т t_{доп}} \qquad (48)$$

надлежит определять по формулам:

при $\beta \leqslant 0{,}1$

$$t_{доп} = \frac{4 J q r_э^2}{\lambda_т \tau}, \qquad (49)$$

при $\beta > 0{,}1$

$$t_{доп} = \frac{\lambda_м t_0}{\lambda_т \beta}. \qquad (50)$$

Предварительно следует задаваться приближенным значением среднегодовой допустимой температуры воздуха в тоннеле или канале $t_{доп}$ и определять значение β по формуле (48), после чего определять значение m по формуле (43) и значение ξ_0, равное:

$$\xi_0 = \frac{H_э}{r_э} + m + 1. \qquad (51)$$

При $\beta \leqslant 0{,}1$ по значениям ξ_0, β и m по номограмме рис. 40 находится значение J. По формуле (49) вычисляется значение $t_{доп}$. В случае расхождения предварительно заданного значения $t_{доп}$ и вычисленного по формуле (49) более чем на 5° расчет повторяется.

При $\beta > 0{,}1$ по значениям $\xi_0 = \xi_п$ и m по номограмме рис. 39 находится значение β. При расхождении предварительно заданного значения $t_{доп}$ и вычисленного по формуле (50) более чем на 2° расчет повторяется.

12.40. При заданной величине оттаивания грунта от оси тоннеля или канала в горизонтальном направлении $L_з$ определение допустимой среднегодовой температуры воздуха в канале $t_{доп}$ следует производить способом, аналогичным изложенному в п. 12.39.

По заданному оттаиванию грунта в сторону от тоннеля или канала $L_з$ находится значение φ по формуле

$$\varphi = \frac{L_з}{r_э}, \qquad (52)$$

после чего задается приближенное значение $t_{доп}$ и по формуле (48) вычисляется значение β.

При $\beta \leqslant 0{,}1$ по значениям φ, β и m по номограмме рис. 41 находится значение J и по формуле (49) вычисляется значение $t_{доп}$.

При расхождении значений $t_{доп}$ (предварительно заданного и полученного расчетом) более чем на 5° расчет повторяется при полученном расчетом значении $t_{доп}$.

При $\beta > 0{,}1$ вычисляется $\xi_п = \frac{L_з}{r_э}$ (53) и по значению $\xi_п$ и m по номограмме рис. 39 находится значение β, по которому по формуле (50) определяется значение $t_{доп}$.

Подземные водопроводы

12.41. Температуру воды в конце $t_к$ и в начале $t_н$ расчетного участка трубопровода (сети или водовода),

если не учитывается нагрев за счет трения воды о стенки трубопровода, следует определять по формулам:

$$t_к = \frac{\lambda_м}{\lambda_т} t_г + \left(t_н - \frac{\lambda_м}{\lambda_т} t_г \right) e^{-\varphi}; \quad (54)$$

$$t_н = \frac{\lambda_м}{\lambda_т} t_г + \left(t_к - \frac{\lambda_м}{\lambda_т} t_г \right) e^{\varphi}; \quad (55)$$

$$\varphi = \frac{\nu K l}{C G}, \quad (56)$$

где ν — коэффициент, зависящий от степени заполнения трубопровода (для напорных трубопроводов $\nu = 1$); для самотечных трубопроводов, работающих неполным сечением, определяется по табл. 2;

K — коэффициент теплопередачи, Вт/(м·°С), определяемый по формулам:

для трубопроводов без теплоизоляции

$$K = \frac{\lambda_т}{R_0}, \quad (57)$$

где R_0 — определяется по графику рис. 42 в зависимости от отношения $\frac{h}{r}$;

для трубопроводов с теплоизоляцией

$$K = \frac{1}{R_и + \frac{1}{\lambda_т} R_0}, \quad (58)$$

где $R_и$ — термическое сопротивление теплоизоляции трубопровода, м·°С/Вт.

Таблица 2

Температура $t_г$, °С	Значение коэффициента ν в зависимости от материала и степени заполнения канализационной трубы, %					
	сталь, чугун			бетон, железобетон		
	10	30	100	10	30	100
0	0,8	0,95	1	0,7	0,8	1
—2	0,75	0,85	1	0,65	0,75	1
—4	0,7	0,8	1	0,6	0,7	1
—6	0,66	0,77	1	0,55	0,66	1

12.42. При подогреве трубопровода электрическим кабелем, уложенным вдоль трубопровода, не рекомендуется полностью срабатывать талую зону грунта, окру-

жающего трубопровод, даже во время аварий. За минимальную толщину слоя грунта сверху трубы принимается слой, равный по величине радиусу трубопровода (рис. 43).

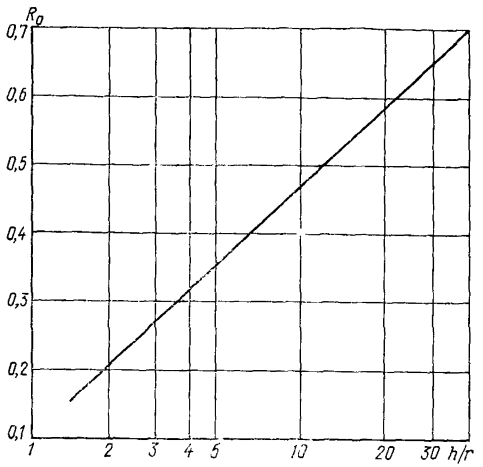


Рис. 42. Номограмма для определения вспомогательной величины R_0

12.43. Температуру воды в трубопроводе, °С, необходимую для образования над верхней образующей трубы талика толщиной $r_н$, надлежит определять по формуле

$$t_т = -t_г \frac{\ln \frac{4h}{d_н}}{\ln \frac{2h - d_н}{d_н}} + t_г, \qquad (59)$$

где $d_н$ — наружный диаметр трубопровода, м.

12.44. Уравнение нулевой изотермы вокруг неизолированного трубопровода выражается зависимостью

$$-t_г = \frac{Q}{2\pi\lambda_г} \ln \sqrt{\frac{x^2 + (y+h)^2}{x^2 + (y-h)^2}}, \qquad (60)$$

где Q — тепловые потери трубопровода при подземной прокладке, Вт/м;

$\lambda_г$ — приведенный коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м·°С);

$$\lambda_г = \frac{(h - y_1)\,\lambda_т + y_1\,\lambda_м}{h}, \qquad (61)$$

где y_1 — расстояние от поверхности земли до верха **талика, м,** рис. 43;
x, y — координаты нулевой изотермы.

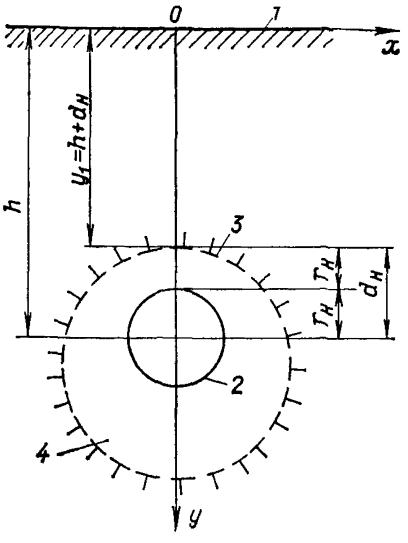


Рис. 43. Схема для расчета талика вокруг трубопровода
1 — поверхность грунта; *2* — трубопровод, *3* — нулевая изотерма; *4* — талик

При $x=0$, $y_1=h-d_н$

$$-t_г = \frac{Q}{2\pi\lambda_г}\ln\frac{2h-d_н}{d_н}. \qquad (62)$$

12.45. Тепловые потери трубопровода, для случая $x=0$; $y_1=h-d_н$ равны, Вт/м,

$$Q = \frac{-t_г\,2\pi\lambda_г}{\ln\dfrac{2h-d_н}{d_н}}. \qquad (63)$$

12.46. Теплопроизводительность системы попутного электроподогрева $T_{г.к}$, Вт, надлежит определять исходя из расчетного дефицита тепла с учетом непроизводительных затрат, а при движении воды также с учетом увеличения теплосодержания воды:

$$T_{г.к} = Q\,K_1\,K_2, \qquad (64)$$

где K_1 — коэффициент, учитывающий непроизводительные затраты тепла, выделяемого греющим кабелем;

K_2 — коэффициент, учитывающий отклонение фактических тепловых потерь от расчетных за счет изменения мерзлотно-грунтовых условий по трассе, отметок заложения трубопровода, неравномерности уплотнения грунта при обратной засыпке.

Для нескальных грунтов следует принимать: $K_1 = 1,2$; $K_2 = 1,1$.

12.47. Необходимую минимальную температуру греющего кабеля следует определять по формуле

$$t_{г.к} = t_т + \frac{T_{г.к}}{\pi d_к \alpha_к}, \qquad (65)$$

где $d_к$ — диаметр электрического кабеля, м;

$\alpha_к$ — коэффициент теплопередачи кабеля в окружающую среду, Вт/(м²·°С).

12.48. При заданном напряжении силу тока J надлежит определять по формуле

$$J = \frac{T_{г.к} L_к}{v}, \qquad (66)$$

где v — напряжение, подаваемое на греющий кабель, В;

$L_к$ — длина кабеля, м.

12.49. Требуемое сопротивление греющего кабеля $R_{г.к}$, Ом/км, следует определять по формуле

$$R_{г.к} = \frac{T_{г\,к}\,1000}{J^2 [1 + \beta_э (t_{г\,к} - 20)]}, \qquad (67)$$

где $\beta_э$ — температурный коэффициент электрического сопротивления греющего кабеля

12.50. Расчетом следует определять глубину оттаивания грунта под водоводами и разводящими сетями по формулам (40), (41), (44), (45) и оттаивание грунта в горизонтальном направлении от оси трубопровода по формулам (46), (47).

12.51. Канализационные коллекторы и канализационные выпуски из зданий рассчитываются так же, как водоводы, разводящие сети и вводы системы водоснабжения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ПРИНЯТЫЕ В ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ

r — внутренний радиус трубы, м;

$r_н$ — наружный радиус трубы, м;

h — глубина заложения трубы (от поверхности грунта до ее оси), м;

l — длина расчетного участка трубопровода, м;

$H_т$ — глубина оттаивания грунта, м;

$H_м$ — глубина промерзания грунта, м;

$H_с$ — толщина снежного покрова, м;

$r_и$ — радиус трубы с изоляцией, м;

$\delta_и$ — толщина теплоизоляции, м;

S — толщина слоя грунта, термическое сопротивление которого равно термическому сопротивлению изоляции, снега и т. п.; при наличии одновременно снега и теплоизоляции толщина слоя грунта S определяется по формуле

$$S = \lambda_м \left(\frac{H_с}{\lambda_с} + \frac{\delta_и}{\lambda_и} \right), \qquad (68)$$

$\lambda_т$ — коэффициент теплопроводности грунта в талом состоянии, Вт/(м·°С), определяемый по табл. 4;

$\lambda_м$ — коэффициент теплопроводности грунта в мерзлом состоянии, Вт/(м·°С), определяемый по табл. 4;

$\lambda_с$ — коэффициент теплопроводности снега, Вт/(м·°С), определяемый по табл. 3;

$\lambda_и$ — коэффициент теплопроводности теплоизоляции, Вт/(м·°С);

R_0 — вспомогательная величина для вычисления термического сопротивления трубы, уложенной в грунт, определяемая по номограмме рис. 42;

$R_и$ — термическое сопротивление кольцевой теплоизоляции трубопровода, м·°С/Вт;

v — скорость движения воздуха, м/с;

$v_в$ — скорость движения воды, м/с;

$C_т$ — коэффициент теплоемкости талого грунта, кДж/(м³·°С), определяемый по табл. 4;

$C_м$ — коэффициент теплоемкости мерзлого грунта, кДж/(м³·°С), определяемый по табл. 4;

t — температура жидкости, °С;

$t_н$ — температура жидкости в начале расчетного участка трубопровода, °С;

$t_к$ — температура жидкости в конце расчетного участка трубопровода, °С;

$t_в$ — температура воздуха, °С;

$t_г$ — расчетная температура грунта на глубине заложения трубопровода, °С;

t_0 — среднегодовая температура грунта, °С;

q — теплота замерзания воды или таяния льда в 1 м³ грунта, кДж/м³, равная:

$$q = \rho (w_с - w_н) \gamma_с = \rho \gamma_0 \frac{w_с - w_н}{w_с + 1}, \qquad (69)$$

Таблица 3

Значение коэффициента λ_c

Населенные пункты	λ_c	Населенные пункты	λ_c
Сковородино	0,20	Якутск	0,15
Игарка	0,26	Анадырь	0,32
Воркута	0,29	Тикси	0,32

Таблица 4

Коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м·°С)

Объемный вес γ_0, т/м³	Суммарная влажность грунта, доли ед. w_c	Пески		Супеси		Суглинки — глины		Объемная теплоемкость, Дж/(м³·°С)	
		$\lambda_т$	$\lambda_м$	$\lambda_т$	$\lambda_м$	$\lambda_т$	$\lambda_м$	$C_т$	$C_м$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,2	0,05	0,46	0,60	—	—	—	—	1197	1092
1,2	0,10	0,72	0,92	0,44	0,52	—	—	1344	1134
1,4	0,05	0,66	0,80	—	—	—	—	1386	1260
1,4	0,10	1,01	1,25	0,60	0,80	0,51	0,79	1554	1323
1,4	0,15	1,16	1,45	0,82	1,02	0,65	0,97	1722	1386
1,4	0,20	—	—	0,97	1,22	0,75	1,09	1890	1449
1,4	0,25	—	—	1,07	1,35	0,83	1,16	2058	1512
1,6	0,05	0,87	1,06	—	—	—	—	1596	1428
1,6	0,10	1,22	1,57	—	—	—	—	1806	1512
1,6	0,15	1,45	1,86	1,08	1,28	0,83	1,14	1974	1554
1,6	0,20	1,58	2,01	1,22	1,50	1,02	1,30	2184	1659
1,6	0,25	1,64	2,11	1,35	1,67	1,11	1,44	2373	1722
1,6	0,30	—	2,24	1,39	1,80	1,16	1,51	2562	1806
1,6	0,35	—	—	1,51	1,91	1,22	1,57	2730	1869
1,6	0,40	—	—	—	2,00	1,28	1,64	2940	1953
1,6	0,60	—	—	—	—	—	1,74	—	2100
1,8	0,10	1,51	1,86	—	—	—	—	2016	1680
1,8	0,15	1,80	2,20	1,38	1,52	1,16	1,43	2226	1764
1,8	0,20	1,91	2,44	1,55	1,76	1,30	1,60	2436	1848
1,8	0,25	2,03	2,59	1,66	1,97	1,44	1,77	2688	1932
1,8	0,30	—	2,69	1,72	2,11	1,48	1,87	2898	2016
1,8	0,35	—	—	1,75	2,24	1,54	1,93	3108	2100
1,8	0,40	—	—	—	2,32	1,62	2,00	3339	2184
1,8	0,60	—	—	—	—	—	2,09	—	2352
2,0	0,15	2,04	2,55	1,62	1,74	—	—	2478	1974
2,0	0,20	2,32	2,81	1,81	2,03	1,44	—	2478	2058
2,0	0,25	2,62	3,16	2,01	2,24	1,57	1,91	2961	2142
2,0	0,30	—	—	2,09	2,44	1,67	2,03	3234	2226
2,0	0,35	—	—	—	—	1,77	2,16	3444	2331

Q — тепловые потери, Вт/м;

ρ — удельная теплота плавления льда или замерзания воды, кДж/кг (336 кДж/кг);

γ_c — объемный вес скелета мерзлого грунта, кгс/м³;

γ_0 — объемный вес мерзлого грунта, кгс/м³;

w_c — суммарная весовая влажность грунта в долях единицы;

$w_н$ — весовое содержание незамерзшей воды в долях единицы; определяется по формуле

$$w_н = K_н w_р, \qquad (70)$$

$K_н$ — коэффициент, принимаемый по табл. 5 в зависимости от вида грунта, числа пластичности $w_п$ и температуры мерзлого грунта;

$w_р$ — влажность на границе раскатывания, доли единицы;

C — удельная теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг·°С);

G — весовой расход теплоносителя, кг/ч;

ν — коэффициент, зависящий от степени заполнения трубопровода;

τ — время, ч.

В расчетах необходимо привести в соответствие единицы измерения всех величин, входящих в формулы, для чего единицы измерения объемной теплоемкости $C_т$, $C_м$, удельной теплоемкости C, удельной теплоты плавления льда ρ, теплоты таяния льда в 1 м³ грунта q должны быть переведены соответственно в Вт·ч/(м³·°С), Вт·ч/(кг·°С), Вт·ч/кг, Вт·ч/м³, что достигается делением их на 3,6.

Таблица 5

Значение $K_н$

Грунт	Число пластичности	Температура грунтов, °С			
		минус 0,3	минус 0,5	минус 1	минус 2
Пески	$w_п \leqslant 1$	0	0	0	0
Супеси	$1 < w_п \leqslant 2$	0	0	0	0
	$2 < w_п \leqslant 7$	0,6	0,5	0,4	0,35
Суглинки	$7 < w_п \leqslant 13$	0,7	0,65	0,6	0,50
	$13 < w_п \leqslant 17$	1	0,75	0,65	0,55
Глины	$w_п \leqslant 17$	1	0,95	0,9	0,65

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПРИМЕРЫ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

Пример 1. Определить среднегодовую температуру грунта, глубину сезонного оттаивания $H_т$ и расчетную температуру грунта $t_г$ в районе Игарки для участка за пределами застройки. Глубина заложения трубопровода $h = 1{,}5$ м. Грунт — суглинок суммарной влажностью $w_c = 0{,}3$, пределом раскатывания $w_р = 0{,}15$, числом пластичности $w_п = 8$, с объемным весом $\gamma_0 = 1600$ кгс/м³. Среднегодовая температура грунта минус 2°С.

Согласно данным главы СНиП по строительной климатологии и геофизике основные климатические показатели для данного района следующие:

продолжительность зимнего периода $\tau_з = 240$ дн. $= 5760$ ч;

продолжительность летнего периода $\tau_л = 125$ дн. $= 3000$ ч;

сумма отрицательных градусо-часов температуры воздуха $\Omega_з = -(28{,}6 \cdot 720 + 25{,}6 \cdot 720 + 20{,}0 \cdot 720 + 11{,}7 \cdot 720 + 2{,}6 \cdot 720 + 6{,}7 \cdot 720 + 6{,}7 \cdot 720 + 21{,}2 \cdot 720 + 27{,}2 \cdot 720) = -103390$ °С/ч;

сумма положительных градусо-часов температуры воздуха

$$\Omega_л = (7{,}7 \cdot 720 + 14{,}8 \cdot 720 + 11{,}6 \cdot 720 + 4{,}7 \cdot 720) = 27940 \text{°С/ч};$$

среднезимняя температура воздуха

$$t_з = -\frac{\Omega_з}{\tau_з} = -\frac{103390}{5760} = -18 \text{°С};$$

среднелетняя температура воздуха

$$t_л = \frac{\Omega_л}{\tau_л} = \frac{27940}{3000} = 9{,}3 \text{°С};$$

среднезимняя толщина снежного покрова $H_с = 0{,}45$ м (по данным местной метеостанции).

Значения теплофизических характеристик грунта определяются по табл. 4 При $\omega_с = 0{,}3$ и $\gamma_0 = 1600$ кгс/м^3 получаем:

$$\lambda_т = 1{,}16 \text{ Вт/(м·°С)}; \quad \lambda_м = 1{,}51 \text{ Вт/(м·°С)};$$

$$C_т = 2562 \text{ кДж/(м}^3\text{·°С)}; \quad C_м = 1806 \text{ кДж/(м}^3\text{·°С)}.$$

Коэффициент теплопроводности снега $\lambda_с = 0{,}26$ Вт/(м·°С) (по табл. 3).

Приводим единицы измерения величин $C_т$, $C_м$ в соответствии с единицами измерения других величин, входящих в формулы:

$$C_т = \frac{2562}{3{,}6} = 712 \text{ Вт·ч/(м}^3\text{·°С)};$$

$$C_м = \frac{1806}{3{,}6} = 502 \text{ Вт·ч/(м}^3\text{·°С)}.$$

Задаваясь значением среднегодовой температуры грунта в данном районе $t_0 = -2$°С, по формуле (70) определяется расчетное количество незамерзшей воды в грунте $\omega_н = 0{,}50 \cdot 0{,}15 = 0{,}075$. Величина удельной теплоты таяния льда в грунте q вычисляется по формуле (69):

$$q = 93 \cdot 1600 \frac{0{,}30 - 0{,}075}{0{,}30 + 1} = 25754 \text{ Вт·ч/м}^3.$$

По формулам (68) и (12) определяются значения параметров φ и μ:

$$S = 0{,}45 \frac{1{,}51}{0{,}26} = 2{,}61 \text{ м};$$

$$\varphi = 2{,}61 \sqrt{\frac{502}{1{,}51}} = 47{,}5;$$

$$\mu = 1{,}5 \sqrt{\frac{502}{1{,}51}} = 27{,}3.$$

Расчетная температура грунта $t_г$ определяется по формуле (11). Находятся коэффициенты $A=1{,}9\cdot10^{-4}$ (по номограмме рис. 33 при $\tau_з=5760$) и $B=0{,}28$ (по номограмме рис. 34 при $\varphi=47{,}5$ и $\mu=27{,}3$). Подставляя эти значения коэффициентов A и B в формулу (11), получаем

$$t_г = -2 - 103390\cdot1{,}9\cdot10^{-4}\cdot0{,}28 = -7{,}5°C.$$

Глубина сезонного оттаивания грунта рассчитывается по формуле (14). Предварительно по формулам (15), (16) вычисляются значения t_1, τ_1, q_1 и значение комплекса $R_с\sqrt{\lambda_м C_м}$

$$t_1 = 1{,}4\cdot9{,}3 + 2{,}4 = 3{,}7°C;$$

$$\tau_1 = 1{,}15\cdot3000 + 360 = 3800 \text{ ч};$$

$$q_1 = 25754 + 0{,}5\cdot712\cdot9{,}3 = 29065 \text{ Вт·ч/м}^3;$$

$$R_с\sqrt{\lambda_м C_м} = \frac{0{,}45}{0{,}26}\sqrt{1{,}51\cdot502} = 47{,}6.$$

По значению $R_с\sqrt{\lambda_м C_м}=47{,}6$ по графику (см. рис. 35) определяется коэффициент $\eta=0{,}47$ и коэффициент $K_0=0{,}75$ (при $t_0=-2{,}0°C$). По значениям $K_0=0{,}75$ и $\tau_з=8$ мес по номограмме (см. рис. 35) находится коэффициент $K_м=5{,}5$.

По формуле (17) вычисляется величина $Q_м$.

$$Q_м = -\frac{5}{6}(-18)\,8\cdot0{,}47\cdot5{,}5\sqrt{1{,}51\cdot502} = 8530 \text{ Вт·ч/м}^2.$$

Искомая глубина сезонного протаивания грунта $H_т$ вычисляется по формуле (14)

$$H_т = \sqrt{\frac{2\cdot1{,}16\cdot3{,}7\cdot3800}{29065} + \left(\frac{8530}{29065}\right)^2} - \frac{8530}{29065} = 0{,}81 \text{ м}.$$

Пример 2. Определить температуру воды в начале напорного водовода, если образование ледяной корки в трубе не допускается. Радиус стальной трубы водовода $r=0{,}25$ м. Длина водовода $l=20\,000$ м. Расход воды $G=1\,000\,000$ кг/ч. Теплоизоляция трубы — стеклянный войлок толщиной $\delta_и=0{,}1$ м; коэффициент его теплопроводности $\lambda_и=0{,}03$ Вт/(м·°С). Минимальная среднесуточная температура воздуха $t_в=-50°C$. Скорость ветра $v=0{,}6$ м/с. Скорость воды при заданном расходе $v_в=1{,}5$ м/с.

По формуле (22) определяем значение

$$\alpha_в = 1415\,\frac{1{,}5^{0{,}8}}{(2\cdot0{,}25)^{0{,}2}} = 2227 \text{ Вт/(м}^2\cdot°C).$$

По формуле (20) вычисляется значение

$$R_в = \frac{1}{2\cdot3{,}14\cdot2227\cdot0{,}25} = 0{,}00028 \text{ м}\cdot°C/\text{Вт}.$$

По формуле (23) определяется значение

$$\alpha_н = 37\,\frac{0{,}6^{0{,}8}}{2\,(0{,}25+0{,}1)^{0{,}2}} = 26{,}0 \text{ Вт/(м}^2\cdot°C).$$

Значение $R_н$ вычисляется по формуле (21):

$$R_н = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14\,(0{,}25 + 0{,}1)\,26{,}0} + \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}03} \ln \frac{0{,}25 + 0{,}1}{0{,}25} =$$
$$= 1{,}80 \text{ м} \cdot °\text{C/Вт}.$$

По формуле (19) определяется величина коэффициента

$$\Phi_э = \frac{20000}{1{,}16 \cdot 1000000\,(0{,}00028 + 1{,}80)} = 0{,}011.$$

Температура воды в начале водовода должна быть не менее рассчитанной по формуле (18):

$$t_н = \left[1 - \left(1 + \frac{0{,}00028}{1{,}80}\right) e^{0{,}011}\right](-50) \approx 0{,}5°\text{C}.$$

Пример 3. Определить расход воздуха, необходимый для вентилирования канала при сохранении грунтов основания в мерзлом состоянии.

В железобетонном канале с внутренним сечением 1×1 м проложены прямая и обратная трубы теплопровода радиусами $r_{пр} = r_{об} = 0{,}15$ м. Трубы изолированы шлаковатой слоем $\delta_{и\,пр} = 0{,}07$ м и $\delta_{и\,об} = 0{,}05$ м. Толщина стенки канала 0,1 м. Глубина заложения до верха канала 0,5 м Температура теплоносителя $t_{пр} = 90°$C и $t_{об} = 70°$C. Расход теплоносителя $G = 100\,000$ кг/ч, его теплоемкость $C = 4{,}2$ кДж/(кг·°C), теплоемкость воздуха $C_в = 1{,}008$ кДж/(кг·°C).

Климатические условия среднелетняя температура воздуха $t_л = 9{,}5°$C; среднезимняя температура воздуха $t_з = -25°$C; среднезимняя высота снежного покрова $H_с = 0{,}3$ м.

Продолжительность летнего периода $\tau_л = 5$ мес $= 3600$ ч, продолжительность зимнего периода $\tau_з = 7$ мес $= 5100$ ч.

Теплофизические свойства грунтов и материалов:

$$\lambda_м = 1{,}86 \text{ Вт/(м} \cdot °\text{C)}; \qquad \lambda_т = 1{,}39 \text{ Вт/(м} \cdot °\text{C)};$$
$$\lambda_с = 0{,}35 \text{ Вт/(м} \cdot °\text{C)}; \qquad \lambda_и = 0{,}06 \text{ Вт/(м} \cdot °\text{C)};$$
$$\lambda_к = 0{,}8 \text{ Вт/(м} \cdot °\text{C)}; \quad q = 100800 \text{ кДж/м}^3; \quad \alpha_н = 14 \text{ Вт/(м}^2 \cdot °\text{C)}.$$

Предварительно приведем единицы измерения величин C, $C_в$ в соответствие с единицами измерения других величин, входящих в формулы:

$$C = \frac{4{,}2}{3{,}6} = 1{,}16 \text{ Вт} \cdot \text{ч/(кг} \cdot °\text{C)};$$

$$C_в = \frac{1{,}008}{3{,}6} = 0{,}28 \text{ Вт} \cdot \text{ч/(кг} \cdot °\text{C)};$$

$$q = \frac{100800}{3{,}6} = 28000 \text{ Вт} \cdot \text{ч/м}^3.$$

Вычисляем по формулам (30) и (36) значения:

$$R_1 = 0{,}05 + \frac{0{,}1}{0{,}8} = 0{,}18 \text{ ;}$$

$$R_2 = \frac{0,5}{1,86} + \frac{0,3}{0,35} + 0,05 = 1,18.$$

Определим значение параметра J по формуле (29):

$$J = \frac{1,39\ 9,5 \cdot 3600}{1,2^2\ 28000} = 1,2.$$

По графику рис. 38 по значению $J = 1,2$ находим величину $\xi = 1,3$

Глубина летнего оттаивания грунтов под каналом по формуле (28) равна:

$$H_т = \left(1,3 - \frac{1,39\ 0,18}{1,2}\right) 1,2 = 1,3\ м.$$

Далее определяются величины $K_{пр}$ и $K_{об}$.

для прямой трубы по формуле (32)

$$K_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 3,14\ 0,06} \ln \frac{0,15 + 0,07}{0,15} + \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 14\ (0,15 + 0,07)}} =$$

$$= 0,89;$$

для обратной трубы по формуле (33)

$$K_{об} = \frac{1}{\frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,06} \ln \frac{0,15 + 0,05}{0,15} + \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 14\ (0,15 + 0,05)}} =$$

$$= 1,18.$$

Расход воздуха, кг/ч, для вентиляции 1 м канала в летний период по формуле (31) равен

$$G_л = \frac{(90 - 9,5)\ 0,89 + (70 - 9,5)\ 1,18 - \frac{2 \cdot 28000 \cdot 4 \cdot 1,3}{3 \cdot 3600}}{0,3 \cdot 0,28 \cdot 9,5} =$$

$$= 147\ кг.$$

Для промерзания грунтов под каналом зимой достаточно поддерживать в канале температуру, формула (34)

$$t_{з\ к} = -\frac{1,2 \cdot 1,2^2 \cdot 28000}{1,86 \cdot 5100} = -5,1°C.$$

Определим расход воздуха для вентилирования 1 м канала в зимний период по формуле (35)

$$G_3 = \frac{(90+5{,}1)\,0{,}89 + (70+5{,}1)\,1{,}18 - \dfrac{1{,}2\,(-5{,}1+25)}{1{,}18}}{0{,}28\,(-5{,}1+25)} + \frac{\dfrac{28000\cdot 4\cdot 1{,}3\cdot 2}{5100\cdot 3}}{0{,}28\,(-5{,}1+25)} = 30 \text{ кг/ч}.$$

Пример 4. Требуется определить допустимую среднегодовую температуру воздуха в канале $t_{доп}$ при заданном оттаивании грунта через $\tau=25$ лет в сторону от канала $L_з=8$ м. Внутреннее сечение канала $0{,}6\times 1{,}2$ м; глубина его заложения (до середины канала) $h=1{,}3$ м. Коэффициенты теплопроводности грунта: $\lambda_т=1{,}16$ Вт/(м·°С), $\lambda_м=1{,}39$ Вт/(м·°С); теплота таяния грунта $q=15000$ Вт·ч/м³. Среднегодовая температура вечномерзлого грунта $t_0=-0{,}8$°С. По формулам (42), (43) и (52) вычисляем:

$$r_э = \frac{2\,(0{,}6+1{,}2)}{2\cdot 3{,}14} = 0{,}57 \text{ м}; \quad m = \frac{1{,}3}{0{,}57} = 2{,}3;$$

$$\varphi = \frac{8}{0{,}57} = 14.$$

Задаемся значением $t_{доп}=20$°С.

По формуле (48) вычисляем

$$\beta = \frac{1{,}39\,(-0{,}8)}{1{,}16\cdot 20} = 0{,}57.$$

По значениям $m=2{,}3$; $\varphi=14$ и $\beta=0{,}05$ по номограмме (см. рис. 41) находим $J=0{,}18\cdot 1000$.

По формуле (49) вычисляем

$$t_{доп} = \frac{4\cdot 0{,}18\cdot 1000\cdot 15000\cdot 0{,}57^2}{1{,}16\cdot 25\cdot 8760} = 16\text{°С}.$$

Расхождения между заданным и полученным значением $t_{доп}$ менее 5°. Поэтому окончательно можно принять $t_{доп}=16$°С.

Пример 5. Требуется определить температуру воды в конце напорного стального водовода радиусом $r=0{,}05$ м, длиной $l=3000$ м и расходом воды $G=30000$ кг/ч. Глубина заложения водовода $h=0{,}7$ м. Температура поступающей в водовод воды равна $t_н=6$°С.

Грунт — суглинок объемным весом $\gamma_0=1600$ кг/м³, суммарной влажностью $w_c=0{,}2$. Минимальная температура грунта на глубине заложения водовода $t_г=-15$°С.

Предварительно по табл. 4 определяются коэффициенты теплопроводности грунта в мерзлом состоянии. Они соответственно равны:

$$\lambda_м = 1{,}30 \text{ Вт/(м·°С)}, \quad \lambda_т = 1{,}02 \text{ Вт/(м·°С)}.$$

По формуле (57) определяется величина коэффициента теплопередачи.

Предварительно по графику рис. 42 для $\frac{n}{r} = \frac{0,7}{0,05} = 14$ находим значение $R_0 = 0,53$.

Тогда $K = \frac{1,02}{0,53} = 1,92$ Вт/(м·°С).

По формуле (54) вычисляется температура воды в конце водовода

Предварительно определяем по выражению (56) значение

$$\varphi = \frac{1 \cdot 1,92 \cdot 3000}{30000 \cdot 1,16} = 0,166.$$

Тогда по формуле (54)

$$t_к = \frac{1,30}{1,02}(-15) + \left(6 + \frac{15 + 1,30}{1,02}\right) e^{-0,166} = 2,1°С.$$

Пример 6. Требуется определить температуру воды в водоводе, необходимую для образования вокруг трубопровода талого слоя, толщина которого над верхней образующей трубы равна радиусу трубопровода, необходимую теплопроизводительность греющего кабеля, уложенного вдоль стального водовода

Радиус трубы $r = 0,1$ м, длина водовода $l = 1700$ м глубина заложения $h = 1,2$ м. Температура грунта $t_г = -9,5°С$. Коэффициент теплопроводности грунта $\lambda_г = 1,9$ Вт/(м·°С). Коэффициент, учитывающий непроизводительные затраты тепла, выделяемого греющим кабелем, и неоднородность грунтовых условий, $K = 1,25$.

Температуру воды в водоводе, необходимую для образования над трубой талика толщиной $r_т$, определим по формуле (59):

$$t_т = \frac{-9,5 \ln \frac{4 \cdot 1,2}{0,2}}{\ln \frac{2 \cdot 1,2 - 0,2}{0,2}} - 9,5 = 3,1°С.$$

Тепловые потери водовода во время аварии найдем по формуле (63):

$$Q = \frac{9,5 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 1,9}{\ln \frac{2 \cdot 1,2 - 0,2}{0,2}} = 47 \text{ Вт/м}.$$

Необходимая теплопроизводительность греющего кабеля определяется по формуле (64): $T_{г\,к} = 47 \cdot 1,25 = 58,8$ Вт/м.

На всю длину трубопровода

$$58,8 \cdot 1700 = 99960 \text{ Вт} = 99,96 \text{ кВт}.$$

ЗНАЧЕНИЯ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

x	e^{x}	e^{-x}	x	e^{x}	e^{-x}
0,00	1,000	1,000	47	1,600	0,625
01	1,010	0,990	48	1,616	0,619
02	1,020	0,980	49	1,632	0,613
03	1,031	0,970	0,50	1,649	0,607
04	1,041	0,961	51	1,665	0,601
0,05	1,051	0,951	52	1,682	0,595
06	1,062	0,942	53	1,699	0,589
07	1,073	0,932	54	1,716	0,583
08	1,083	0,923	0,55	1,773	0,577
09	1,094	0,914	56	1,751	0,571
0,10	1,105	0,905	57	1,768	0,566
11	1,116	0,896	58	1,786	0,560
12	1,128	0,887	59	1,804	0,554
13	1,139	0,878	0,60	1,822	0,549
14	1,150	0,869	61	1,840	0,543
0,15	1,162	0,861	62	1,859	0,538
16	1,174	0,852	63	1,878	0,533
17	1,185	0,844	64	1,897	0,527
18	1,197	0,835	0,65	1,916	0,522
19	1,209	0,827	66	1,935	0,517
0,20	1,221	0,819	67	1,954	0,512
21	1,234	0,811	68	1,974	0,507
22	1,246	0,803	69	1,994	0,502
23	1,259	0,795	0,70	2,014	0,497
24	1,271	0,787	71	2,034	0,492
0,25	1,284	0,779	72	2,054	0,487
26	1,297	0,771	73	2,075	0,482
27	1,310	0,763	74	2,096	0,477
28	1,321	0,756	0,75	2,117	0,472
29	1,336	0,748	76	2,138	0,468
0,30	1,350	0,741	77	2,160	0,463
31	1,363	0,733	78	2,182	0,458
32	1,377	0,726	79	2,203	0,454
33	1,391	0,719	0,80	2,226	0,449
34	1,405	0,712	81	2,248	0,445
0,35	1,419	0,705	82	2,271	0,440
36	1,433	0,698	83	2,293	0,436
37	1,448	0,691	84	2,316	0,432
38	1,462	0,684	0,85	2,340	0,427
39	1,477	0,677	86	2,363	0,423
0,40	1,492	0,670	87	2,387	0,419
41	1,507	0,664	88	2,411	0,415
42	1,522	0,657	89	2,435	0,411
43	1,537	0,651	0,90	2,460	0,407
44	1,553	0,644	91	2,484	0,403
0,45	1,568	0,638	92	2,509	0,399
46	1,584	0,631	93	2,535	0,395

Продолжение

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
94	2,560	0,391	44	4,221	0,237
0,95	2,586	0,387	1,45	4,263	0,235
96	2,612	0,383	46	4,306	0,232
97	2,638	0,379	47	4,349	0,230
98	2,665	0,375	48	4,393	0,228
99	2,691	0,372	49	4,437	0,225
1,00	2,718	0,368	1,50	4,482	0,223
01	2,746	0,364	51	4,527	0,221
02	2,773	0,361	52	4,572	0,219
03	2,801	0,357	53	4,618	0,217
04	2,829	0,354	54	4,665	0,214
1,05	2,858	0,350	1,55	4,712	0,212
06	2,886	0,347	56	4,759	0,210
07	2,915	0,343	57	4,807	0,208
08	2,945	0,340	58	4,855	0,206
09	2,974	0,336	59	4,904	0,204
1,10	3,004	0,333	1,60	4,953	0,202
11	3,034	0,330	61	5,003	0,200
12	3,065	0,326	62	5,053	0,198
13	3,096	0,323	63	5,104	0,196
14	3,127	0,320	64	5,155	0,194
1,15	3,158	0,317	1,65	5,207	0,192
16	3,190	0,314	66	5,259	0,190
17	3,222	0,310	67	5,312	0,188
18	3,254	0,307	68	5,366	0,186
19	3,287	0,304	69	5,420	0,185
1,20	3,320	0,301	1,70	5,474	0,183
21	3,354	0,298	71	5,529	0,181
22	3,387	0,295	72	5,585	0,179
23	3,421	0,292	73	5,641	0,177
24	3,456	0,289	74	5,697	0,176
1,25	3,490	0,287	1,75	5,755	0,174
26	3,525	0,284	76	5,812	0,172
27	3,561	0,281	77	5,871	0,170
28	3,597	0,279	78	5,930	0,169
29	3,633	0,275	79	5,990	0,167
1,30	3,669	0,273	1,80	6,050	0,165
31	3,706	0,270	81	6,110	0,164
32	3,743	0,267	82	6,172	0,162
33	3,781	0,265	83	6,234	0,160
34	3,819	0,262	84	6,297	0,159
1,35	3,857	0,259	1,85	6,360	0,157
36	3,896	0,257	86	6,424	0,156
37	3,935	0,254	87	6,488	0,154
38	3,975	0,252	88	6,554	0,153
39	4,015	0,249	89	6,619	0,151
1,40	4,055	0,247	1,90	6,686	0,150
41	4,096	0,244	91	6,753	0,148
42	4,137	0,242	92	6,821	0,147
43	4,179	0,239	93	6,890	0,145

Продолжение

x	e^{x}	e^{-x}	x	e^{x}	e^{-x}
94	6,959	0,144	44	11,47	0,0872
1,95	7,029	0 142	2,45	11,59	0,0863
96	7,099	0,141	46	11,71	0,0854
97	7,171	0,140	47	11,82	0,0846
98	7,243	0,138	48	11,94	0,0837
99	7,316	0,137	49	12,06	0,0829
2,00	7,389	0,135	2,50	12,18	0,0821
01	7,463	0,134	51	12,31	0,0813
02	7,538	0,133	52	12,43	0,0805
03	7,614	0,131	53	12,55	0,0797
04	7,691	0,130	54	12,68	0,0789
2,05	7,768	0,129	2,55	12,81	0,0781
06	7,846	0,128	56	12,94	0,0773
07	7,925	0,126	57	13,07	0,0765
08	8,005	0,125	58	13,20	0,0758
09	8,085	0,124	59	13,33	0,0750
2,10	8,166	0 123	2,60	13,46	0,0743
11	8,248	0,121	61	13,60	0,0735
12	8,331	0,120	62	13,74	0,0728
13	8,415	0,119	63	13,87	0,0721
14	8,499	0,118	64	14,01	0,0714
2,15	8,585	0,117	2,65	14,15	0,0707
16	8,671	0,115	66	14,30	0,0700
17	8,758	0,114	67	14,44	0,0693
18	8,846	0,113	68	14,59	0,0686
19	8,935	0,112	69	14,73	0,0679
2,20	9,025	0,111	2,70	14,88	0,0672
21	9,116	0,110	71	15,03	0,0665
22	9,207	0,109	72	15,18	0,0659
23	9,300	0,108	73	15,33	0,0652
24	9,393	0,107	74	15,49	0,0646
2,25	9,488	0,105	2,75	15,64	0,0639
26	9,583	0,104	76	15,80	0,0633
27	9,679	0,103	77	15,96	0,0627
28	9,777	0,102	78	16,12	0,0620
29	9,875	0,101	79	16,28	0,0614
2,30	9,974	0,100	2,80	16,45	0,0608
31	10,07	0,099	81	16,61	0,0602
32	10,18	0,0983	82	16,78	0,0596
33	10,28	0,0973	83	16,95	0,0590
34	10,38	0,0963	84	17,12	0,0584
2,35	10,49	0,0954	2,85	17,29	0,0578
36	10,59	0,0944	86	17,46	0,0573
37	10,70	0,0935	87	17,64	0,0567
38	10,81	0,0926	88	17,81	0,0561
39	10,92	0,0916	89	17,99	0,0556
2,40	11,02	0,0907	2,90	18,17	0,0550
41	11,13	0,0898	91	18,36	0,0545
42	11,25	0,0889	92	18,54	0,0539
43	11,36	0,0880	93	18,73	0,0534

Продолжение

x	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
94	18,92	0,0529	44	31,19	0,0321
2,95	19,11	0,0523	3,45	31,50	0,0318
96	19,30	0,0518	46	31,82	0,0314
97	19,49	0,0513	47	32,14	0,0311
98	19,69	0,0508	48	32,46	0,0308
99	19,89	0,0503	49	32,79	0,0305
3,00	20,09	0,0498	3,50	33,12	0,0302
01	20,29	0,0493	51	33,45	0,0299
02	20,49	0,0488	52	33,78	0,0296
03	20,70	0,0483	53	34,12	0,0293
04	20,91	0,0478	54	34,47	0,0290
3,05	21,12	0,0474	3,55	34,81	0,0287
06	21,33	0,0469	56	35,16	0,0284
07	21,54	0,0464	57	35,52	0,0282
08	21,76	0,0460	58	35,87	0,0279
09	21,98	0,0455	59	36,23	0,0276
3,10	22,20	0,0451	3,60	36,60	0,0273
11	22,42	0,0446	61	36,97	0,0271
12	22,65	0,0442	62	37,34	0,0268
13	22,87	0,0437	63	37,71	0,0265
14	23,10	0,0433	64	38,09	0,0263
3,15	23,34	0,0429	3,65	38,48	0,0260
16	23,57	0,0424	66	38,86	0,0257
17	23,81	0,0420	67	39,25	0,0255
18	24,05	0,0416	68	39,65	0,0252
19	24,29	0,0412	69	40,05	0,0250
3,20	24,53	0,0408	3,70	40,45	0,0247
21	24,78	0,0404	71	40,85	0,0245
22	25,03	0,0400	72	41,26	0,0242
23	25,28	0,0396	73	41,68	0,0240
24	25,53	0,0392	74	42,10	0,0238
3,25	25,79	0,0388	3,75	42,52	0,0235
26	26,05	0,0384	76	42,95	0,0233
27	26,31	0,0380	77	43,38	0,0231
28	26,58	0,0376	78	43,82	0,0228
29	26,84	0,0373	79	44,26	0,0226
3,30	27,11	0,0369	3,80	44,70	0,0224
31	27,39	0,0365	81	45,15	0,0222
32	27,66	0,0362	82	45,60	0,0219
33	27,94	0,0358	83	46,06	0,0217
34	28,22	0,0354	84	46,53	0,0215
3,35	28,50	0,0351	3,85	46,99	0,0213
36	28,79	0,0347	86	47,47	0,0211
37	29,08	0,0344	87	47,94	0,0209
38	29,37	0,0341	88	48,42	0,0207
39	29,67	0,0337	89	48,91	0,0205
3,40	29,96	0,0334	3,90	49,40	0,0202
41	30,27	0,0330	91	49,90	0,0200
42	30,57	0,0327	92	50,40	0,0198
43	30,88	0,0324	93	50,91	0,0196

Продолжение

	e^x	e^{-x}	x	e^x	e^{-x}
)4	51,42	0,0195	6,8	897,9	0,00111
)5	51,94	0,0193	6,9	992,3	0,00101
)6	52,46	0,0191	7,0	1097	0,000912
)7	52,99	0,0189	7,1	1212	0,000825
)8	53,52	0,0187	7,2	1339	0,000747
)9	54,06	0,0185	7,3	1480	0,000677
)0	54,60	0,0183	7,4	1636	0,000611
1	60,34	0,0166	7,5	1808	0,000553
2	66,69	0,0150	7,6	1998	0,000500
3	75,70	0,0136	7,7	2208	0,000453
4	81,45	0,0123	7,8	2441	0,000410
5	90,02	0,0111	7,9	2697	0,000371
6	99,48	0,0101	8,0	2981	0,000335
7	110,0	0,00910	8,1	3295	0,000304
8	121,5	0,00823	8,2	3641	0,000275
9	134,3	0,00745	8,3	4024	0,000249
0	148,4	0,00674	8,4	4447	0,000225
1	164,0	0,00610	8,5	4915	0,000203
2	181,3	0,00552	8,6	5432	0,000184
3	200,3	0,00499	8,7	6003	0,000167
4	221,4	0,00452	8,8	6634	0,000151
5	244,7	0,00409	8,9	7332	0,000136
,6	270,4	0,00370	9,0	8103	0 000123
,7	298,9	0,00335	9,1	8955	0,000112
,8	330,3	0,00303	9,2	9897	0,000101
,9	365,0	0,00274	9,3	10938	0,000091
,0	403,4	0,00248	9,4	12088	0 000083
,1	445 9	0,00224	9,5	13360	0,000075
,2	492,8	0,00203	9,6	14765	0,000068
,3	544,6	0,00184	9,7	16318	0,000061
,4	601,9	0,00166	9,8	18034	0,000055
,5	665,1	0,00150	9,9	19930	0,000050
,6	735,1	0 00136	10,0	22026	0,000045
,7	812,4	0,00123			

gost.e-ecolog.ru