МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ РСФСР

РУКОВОДСТВО

по проектированию искусственных сооружений автомобильных дорог на водотоках с наледями

МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1978

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ РСФСР

Одобрено
Научно-техническим советом
Минавтодора РСФСР
30 ноября 1977 г.

РУКОВОДСТВО

по проектированию искусственных сооружений автомобильных дорог на водотоках с наледями

МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1978

УДК 551.328.4 : 624.21

Руководство по проектированию искусственных сооружений автомобильных дорог на водотоках с наледями. Минавтодор РСФСР, М., «Транспорт», 1978, 61 с.

Изложены причины образования наледей, их классификация и вредные воздействия на искусственные сооружения, основные требования по выбору мест переходов через водотоки и их гидрогеологическому обследованию. Даются методы определения параметров наледей, проектирования мостов и труб и противоналедных сооружений, приводятся рекомендуемые типы сооружений.

Руководство предназначено инженерам и техникам.

Ил. 21, табл. 7.

Руководство разработано отраслевой научно-исследовательской дорожной лабораторией Воронежского инженерно-строительного института (ОНИДЛ ВИСИ) совместно с Омским филиалом Союздорнии на основе научно-исследовательских работ, выполненных ОНИДЛ ВИСИ и Омским филиалом Союздорнии, а также на основе обобщения опыта строительства и эксплуатации искусственных сооружений на водотоках с наледями на Северо-Востоке СССР. При составлении Руководства использованы материалы исследований СибЦНИИСа (С. М. Большакова), НИИЖТа (Д. М. Меркулова), ХабИИЖТа (Е. А. Румянцева).

Руководство составлено кандидатами техн. наук В. А. Дементьевым и Н. Ф. Савко при участии инженеров А. П. Казакова и Н. А. Морозовой. При окончательном редактировании Руководства учтены замечания рецензентов СибЦНИИСа, Ленгипротранса, НИИ мостов, Союзорнии и Гипродорнии.

Замечания по Руководству следует направлять в Главдортех Минавтодора РСФСР.

Выпущено по заказу Министерства строительства и эксплуатации автомобильных дорог.

Р 31801-601
049(1)-78 без объявл.

© Министерство строительства и эксплуатация автомобильных дорог РСФСР, 1978.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Наледью называется скопление льда, образовавшееся в результате вытекания на поверхность речных, грунтовых или подземных вод и их послойного замерзания.

1.2. Наледи образуются поздней осенью и зимой при промерзании потока речных и грунтовых вод, когда на их пути встречаются различные сопротивления — перекаты, мерзлотные перемычки, закупорки донным льдом Если в основании имеется водоупор ввиду водонепроницаемых пород или вечной мерзлоты, то в потоке речных или грунтовых вод создается напор, под действием которого образуются бугры пучения, происходит их растрескивание, периодическое вытекание воды на поверхность, ее растекание и замерзание. Совокупность этих физико-механических явлений называется наледным процессом.

1 3 В СССР наледи распространены главным образом на Северо-Востоке и в Восточной Сибири в районах с суровым климатом, сильно развитой сетью небольших горных рек и водотоков, относительно небольшим снежным покровом и неглубоким залеганием водоупоров в виде вечной мерзлоты или плотных горных пород.

1.4. На образование наледей, кроме природных факторов, большое влияние оказывает строительство дорожных сооружений, которое нарушает естественный режим протекания речных и грунтовых вод, что часто приводит к возникновению наледного процесса.

Классификация наледей

1.5. Наледи классифицируются по следующим факторам:

А. По источникам питания наледи бывают: 1) поверхностных вод (речные); 2) грунтовых вод рыхлой толщи (грунтовые); 3) подземных вод (ключевые); 4) от таяния снега; 5) смешанных вод.

Б. По происхождению наледи разделяются на: 1) природные, которые возникают и развиваются в естественных природных условиях, 2) искусственно вызванные, возникающие от нарушения водно-теплового режима водотоков и грунтов при дорожном строительстве.

В. По месту отложения наледи бывают: 1) русловые; 2) логовые; 3) косогорные и 4) откосные.

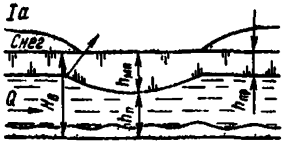
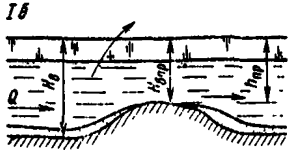
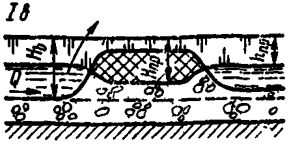
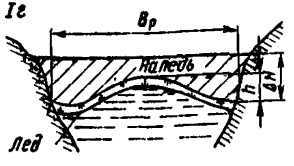
Г. По размерам наледи классифицируются: малые объемом до 1000 м^3; средние — 1000—10 000 м^3; большие — 10 000 — 100 000 м^3; очень большие — 100 000 — 1 000 000 м^3; гигантские — более 1 000 000 м^3.

Д. По степени опасности наледи разделяются на· 1) неопасные, не оказывающие вредного воздействия на инженерные сооружения; 2) опасные, которые вызывают нарушение нормальной работы сооружений, 3) очень опасные, представляющие непосредственную угрозу движению транспорта и устойчивости сооружений.

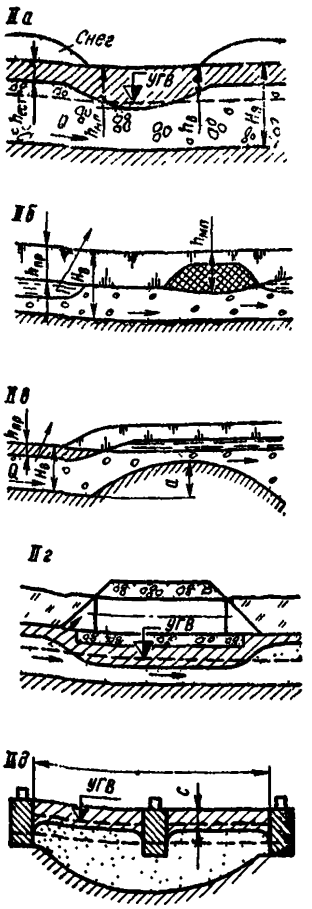
1.6. Сложные природные условия, в которых развиваются наледи, в сочетании с дополнительным влиянием на их развитие дорожных сооружений, обуславливают многообразие наблюдаемых в полосе дороги притрассовых наледей. Генетические типы наледей, их морфологические характеристики и ледотермический режим приводятся в табл 1.

Таблица 1

Генетические типы и морфологическая характеристика наледей

Тип наледей	Характерные схемы образования наледи	Морфологические признаки наледи	Ледотермический режим наледи
I. Наледи поверхностных вод	*Iа*  *Iб*  *Iв*  *Iг* 	Наледи образуются в русловой части водотока, изливаясь потоком на поверхность речного льда и реже по дну долин. В плане повторяют очертания русла и дна долин. Поверхность льда ровная или вогнутая, осложненная перепадами и редкими буграми вспучивания льда. Лед наледи тонкослойный, чистый, белый и голубой, с прослойками снега и воздуха	Возникают обычно сразу же после ледостава на расчищаемых от снега участках при скальном ложе реки (схема *Iа*); на перекатах (схема *Iб*); на отмелях, распластанных галечниковых руслах, при закупорке русел грунтом, донным льдом и т. п. (схема *Iв*); при увеличении расходов воды в реке (схема *Iг*). Действуют до полного промерзания водотока. У временных водотоков рост наледи прекращается к концу первой половины зимы. Наледи постоянных водотоков, особенно образующиеся по схеме *Iб*, достигают огромных размеров

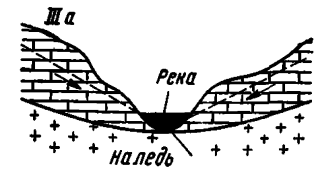
II. *Наледи грунтовых вод рыхлой толщи*

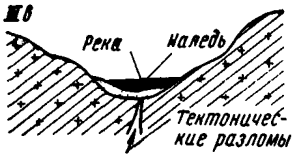
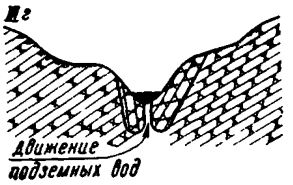


Наледи образуются на расчищенных от снега временных дорогах и участках русел с нарушенным мохорастительным покровом (схема IIа), участках с распластанными галечниковыми руслами малых рек и ручьев (схема IIб), участках русел и логов с резко суженным подрусловым таликом (схема IIв), участках русел и логов при стеснении подруслового потока фундаментом трубы (схема IIг) или моста (схема IIд). Имеют различные размеры в зависимости от глубины $H_в$ залегания водоупора, формы и размеров переката (а), глубины h промерзания и состава грунта талика, уклона J местности, конструкции фундамента искусственного сооружения. Лед наледи зернистый, с включением оледенелого снега, слабо окрашен в цвет грунтов, вмещающих водный поток

Наледи появляются: по схемам IIа и IIг после промерзания грунта до зеркала грунтовых вод; по схемам *IIб* и *IIд* после промерзания поверхностного водотока; по схеме *IIв* с наступлением устойчивых отрицательных температур воздуха. При $H_в - h_в < h_{мп}$ прекращают свою деятельность в первую половину зимы; при $H_в - h_в > h_{мп}$ действуют всю зиму и достигают значительных размеров

Продолжение табл. 1

Тип наледей	Характерные схемы образования наледи	Морфологические признаки наледи	Ледотермический режим наледи
III. Наледи подземных вод (более глубоких водоносных уровней)	 	Преобладают удлиненные формы, вытянутые по уклону рельефа, вдоль логов и русел. Отличаются значительными размерами по площади и мощности льда, особенно если развиваются за счет напорных (артезианских, трещинных) вод, выходящих по тектоническим трещинам и разломам. Характерно наличие незамерзающих участков (полыней), эрозированных наледных полян, наледных бугров, крупных бугров пучения с ледяными ядрами (гидролакколитов).	Возникая от намерзания воды источников подземных вод, характеризующихся относительно постоянным режимом, эти наледи действуют всю зиму, образуя нередко значительные скопления льда. Период интенсивного развития наледи начинается, когда промерзают поверхностные водоносные пути, что совпадает обычно с периодом наступления наиболее низких температур воздуха. Наледи иногда бывают многолетние

		Лед преимущественно чистый, голубой, косослоистый, часто с наличием бугров вспучивания. Из всех типов наледей — наиболее опасные	
			
IV. Наледи смешанных вод	Наиболее часто встречающиеся случаи сочетания схем *I* и *II* в различных вариантах	Наледи этого типа характеризуются сочетанием форм и признаков, типичных для наледей различных типов (поверхностных, грунтовых и подземных вод) с преобладанием степени выраженности по доминирующему в питании типу вод	Особенности режима и динамики определяются типами вод, питающих наледи

Вредные воздействия наледей на искусственные сооружения

1.7. Наледи оказывают вредные воздействия на искусственные сооружения и часто создают затруднения при их эксплуатации. Наледи могут:

1) закупоривать отверстия малых искусственных сооружений и затруднять пропуск весенних вод;

2) затоплять проезжую часть подходов к искусственным сооружениям и затруднять движение транспорта;

3) переувлажнять грунты у искусственных сооружений и земляного полотна подходов, что приводит к пучению и деформациям конструкций труб и мостов;

4) изменять конфигурацию русла водотока при стоке весенних вод по наледному льду;

5) создавать условия для размывов конусов и земляного полотна подходов.

Кроме непосредственного вредного влияния, наледи могут косвенно создавать условия для деформации искусственных соружений и сокращения срока их службы. При околке наледного льда у труб нередко повреждается защитный слой бетона, арматура обнажается и подвергается коррозии. Это сокращает срок их службы.

2. ОСОБЕННОСТИ ИЗЫСКАНИЙ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ ВОДОТОКИ С НАЛЕДЯМИ

2.1. При изысканиях автомобильных дорог в наледных районах необходимо места укладки трассы стремиться выбирать с таким расчетом, чтобы образование наледей у искусственных сооружений и земляного полотна дороги исключить совсем или сделать его минимальным. Рекомендуется рассматривать варианты обхода наледных участков, производя их технико-экономическое сравнение с учетом строительства постоянных противоналедных сооружений и эксплуатационных затрат на борьбу с наледями.

2.2. Наледи прогнозируются по материалам гидрогеологических обследований водотоков на основе потенциальных факторов наледеобразования и сведений, получаемых от старожилов за предыдущие годы.

2.3. Наледеопасными участками являются:

1) склоны северной экспозиции с неглубоким залеганием вечномерзлых грунтов, имеющие надмерзлотные воды;

2) групповые выходы родников подземных вод;

3) сильно заболоченные склоны;

4) устья водотоков, особенно места слияния нескольких водотоков;

5) водотоки с распластанными руслами с малыми глубинами и выступающими из воды грядами галечника;

6) перекаты со скальными выступами и валунами;

7) порожистые участки.

2.4. Неопасными в отношении наледеобразования и благоприятными для прокладки трассы являются:

1) водораздельные участки;

2) склоны антиклинальных долин;

3) борта моноклинальных долин с падением пластов в глубь склона;

4) сухие склоны и террасы южной экспозиции;

5) водотоки с глубокими узкими руслами, заросшими растительностью.

2.5. Водотоки рекомендуется пересекать на прямых участках с концентрированным руслом, избегая перекатов, островов, конусов выноса, устьевых участков рек и их притоков.

2.6. На водотоках с прогнозируемым образованием наледей, кроме работ по изысканиям переходов в обычных условиях, должны быть произведены специальные гидрогеологические обследования и собраны дополнительные данные, которые необходимы для проектирования искусственных сооружений и противоналедных мероприятий. При обследовании водотоков необходимо зафиксировать все источники подземных вод, а также поверхностные ручьи и грунтовые воды, определить степень заболоченности склонов, их уклоны и положение водоупоров.

2.7. В результате специальных обследований водотоков с прогнозируемыми наледями должны быть собраны следующие данные:

1) сведения об образовании наледей и их размерах в предыдущие годы по опросу старожилов и следам на местности;

2) продольный гидрогеологический разрез по дну водотока или лога (снимается в границах 300 м выше предполагаемого места образования наледи и 100 м ниже места перехода);

3) поперечный гидрогеологический разрез в предполагаемом месте образования наледи;

4) поперечный гидрогеологический разрез на расстоянии 25—50 м выше предполагаемого места образования наледи;

5) план лога в горизонталях в масштабе 1 : 2000 — 1 : 5000;

6) источники питания наледей и их местонахождение;

7) расходы воды в осенние и зимние месяцы поверхностных водотоков и подземных источников;

8) коэффициенты фильтрации, уклоны логов и склонов, источники питания для обводненных логов, площади фильтрации грунтовых вод;

9) подробная характеристика грунтов русла и склонов лога, рельефа и растительности;

10) температура воды для осенне-зимних условий;

11) химический анализ воды;

12) глубина зеркала грунтовых вод в начале промерзания;

13) средневзвешенный уклон водотока;

14) сведения о наличии перекатов, их расположение и размеры;

15) данные о промерзании водотока, уровни воды перед ледоставом;

16) данные о снегозаносимости, характеристика ветров и их направление.

Среднемесячные и абсолютные минимумы температуры воздуха, средние и минимальные толщины снежного покрова, а также даты его выпадения принимаются по климатическому справочнику для ближайших метеостанций.

2.8. Гидрогеологические обследования на наледеопасных водотоках следует производить осенью или в начале зимы, когда могут быть получены необходимые данные об осенне-зимних расходах, подрусловых и грунтовых водах и др.

2.9. На водотоках с образованием наледей после изысканий необходимо в течение 2—3 лет ежегодно в марте-апреле производить дополнительные обследования с целью уточнения условий наледеобразования со съемкой наледных полей. Для проектирования противоналедных сооружений план лога на таких водотоках снимается в масштабе 1 : 500.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАЛЕДЕЙ

3.1. Основными параметрами наледей, которые используются при проектировании искусственных сооружений и противоналедных устройств служат: мощности наледи (средняя по участку, средняя максимальная и наибольшая), длина, площадь и объем наледи.

Расчетные значения параметров наледей устанавливаются с учетом генетического типа наледи (см. табл. 1), инженерно-геологических условий наледного участка и конструкции проектируемого искусственного сооружения для наиболее неблагоприятной зимы.

Наледи подземных вод

3.2. Размеры, объем и конфигурация наледей подземных (ключевых) вод находятся в прямой зависимости от дебита источников, формы речной долины, климатических условий и существенно меняются по годам.

Расчетные параметры ключевых наледей определяются по формулам:

$$\left.\begin{aligned} \Delta H_{ср}^{(к)} &= 3{,}2\cdot 10^{-5}\,\mu\, t_{воз}\,\tau\,\eta + 1{,}1 h_{ос};\\ \Delta H_{max}^{(к)} &= 1{,}5\,\Delta H_{ср}^{(к)};\\ \Delta H^{(к)} &= 2{,}25\,\Delta H_{ср}^{(к)};\\ l^{(к)} &= \frac{32\cdot 10^{3} Q_{max}}{\mu\, t_{воз}\, m_{р}};\\ F^{(к)} &= l^{(к)}\, m_{р};\\ V^{(к)} &= 1{,}25 Q\,\tau, \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где $\Delta H_{ср}^{(к)}$ — мощность ключевой наледи средняя по участку, м;

$\Delta H_{max}^{(к)}$ — средняя максимальная мощность наледи, т. е. средняя из замеренных вдоль наледного массива по центру русла, м;

$\Delta H_{(к)}$ — наибольшая мощность наледи, м;

τ — продолжительность периода наледеобразования (по данным метеорологической станции), ч;

$t_{воз}$ — среднедекадная температура воздуха в начале периода наледеобразования (по данным метеорологической станции), °С;

η — коэффициет, учитывающий неравномерность питания наледи, равный отношению среднего дебита Q за период наледеобразования к максимальному Q_{max} в начале периода наледеобразования;

$m_{р}$ — средняя ширина наледного лога, м;

$h_{ос}$ — сумма осадков за период образования наледи, м;

$l^{(к)}$, $F^{(к)}$, $V^{(к)}$ — соответственно длина, площадь, объем ключевой наледи;

μ — коэффициент, определяемый в зависимости от толщины снежного покрова в начале зимнего периода:

Толщина снежного покрова, м . . .	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Коэффициент μ	0,90	0,70	0,55	0,45	0,38	0,33

При образовании наледей по схемам III*б* и III*в* (см. табл. 1) строят кривые распределения среднедекадных температур воздуха по годам за 15—20 лет и кривые толщин снежного покрова. По кривым распределения температур определяют начало наледеобразования, которое соответствует первой декаде с наиболее низкими температурами воздуха, и продолжительность периода наледеобразования τ, исчисляемого от начала наледеобразования до даты перехода среднедекадных температур воздуха через 0° весной. За расчетные принимают максимальное значение τ и минимальную высоту снежного покрова в начале зимнего периода, вычисленные по графикам распределения температур и толщин снежного покрова по годам.

Началу наледеобразования по схемам III*а* и III*г* соответствует время перехода температуры через —5°С осенью (пример расчета параметров ключевой наледи приведены в прилож. 1.).

Наледи поверхностных вод

3.3. Мощности наледей поверхностных вод (речных), образующихся по схеме I*а* или при сочетании I*а* и I*б* (см. табл. 1), определяют по формулам:

$$\left.\begin{aligned} \Delta H_{ср}^{(р)} &= D J + 1{,}1 h_{ос}; \\ \Delta H_{max}^{(р)} &= 1{,}5 \Delta H_{ср}^{(р)}; \\ \Delta H^{(р)} &= 2{,}25 \Delta H_{ср}^{(р)}; \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

$$\left.\begin{aligned} N &= H_в - h_{пр}; \\ M &= h_п : (H_в - h_{пр}); \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

где $\Delta H_{ср}^{(р)}$, $\Delta H_{max}^{(р)}$, $\Delta H^{(р)}$ — мощности речной наледи соответственно средней по участку, средней максимальной и наибольшей; J — средневзвешенный уклон водотока; D — параметр, значение которого определяются по графикам (рис. 1) в зависимости от величин N и M, которые вычисляются по формулам (3); $H_в$ — глубина потока в начале ледостава; $h_{пр}$ — глубина промерзания выше стесненного участка; $h_п$ — мощность водного потока в зоне стеснения.

3.4. Параметры наледей, образующихся на горных реках по схеме *Iб* (участки с перекатами) и по схеме *Iв* (см. табл. 1) (распластанные галечниковые русла с меандрирующими потоками) определяют по следующим формулам:

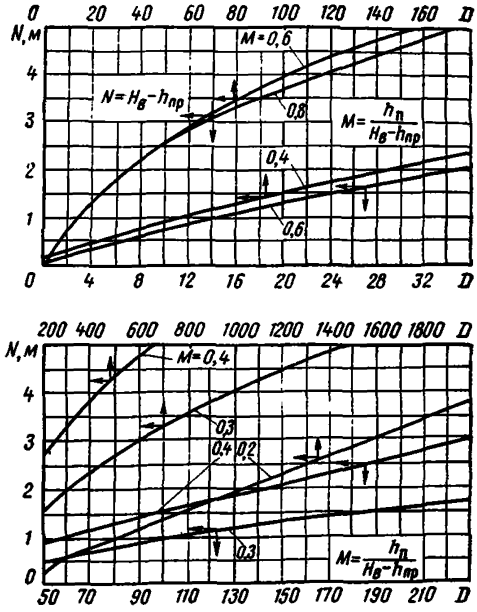


Рис. 1. Графики для определения параметра D при $h_п : (H_в - h_{пр}) > 0{,}1$

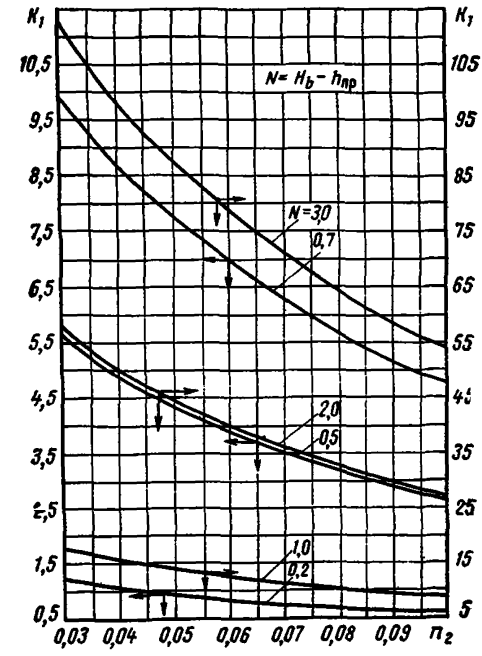


Рис. 2. График для определения параметра K_1 в зависимости от n_2 и $H_в - h_{пр}$

$$
\left.
\begin{aligned}
&\Delta H_{ср}^{(р)} = 1{,}1\,(z + h_{ос});\\
&\Delta H_{max}^{(р)} = 1{,}5\,\Delta H_{ср}^{(р)};\\
&\Delta H^{(р)} = 2{,}25\,\Delta H_{ср}^{(р)};\\
&l^{(р)} = \frac{1}{t'_{воз}}\left(2{,}25\cdot 10^{7}\, z'\sqrt{z\,J}\right),\\
&F^{(р)} = m_р\, l^{(р)};\\
&V^{(р)} = \Delta H_{ср}^{(р)}\, m_р\, l^{(р)},
\end{aligned}
\right\} \qquad (4)
$$

где z — общая мощность слоя наледной воды, вышедшей на поверхность, м;

z' — толщина слоя наледной воды, вышедшей на поверхность при промерзании водотока на глубину $h_{пр} = 0{,}10 \div 0{,}20$ м;

$t'_{воз}$ — средняя температура воздуха в начале наледеобразования (первая декада ледостава).

Величины z и z' зависят от условий образования наледи. При образовании наледи по схеме *1б* (см. табл. 1) их определяют по графикам на рис. 3, предварительно вычислив значения параметров:

$$
A = \frac{H'_в - h'_{пр}}{K_1}\sqrt{\frac{2g}{\zeta_f J}}\,; \quad B = 5 : K_1, \qquad (5)
$$

где $H'_в$ — глубина реки на перекате в начале ледостава, м;

$h'_{пр}$ — глубина промерзания реки на перекате в конце зимнего периода (при определении z), м;

g — ускорение силы тяжести, м/с^2;

K_1 — параметр, определяемый по графику (рис. 2) в зависимости от коэффициента шероховатости ложа реки n_2 и величины $(H_в - h_{пр})$;

$H_в$, $h_{п}$, — параметр, определяемый по графику (рис. 2) в зависимости от коэффициента шероховатости ложа реки n_2 и величины $(H_в - h_{пр})$;

ζ_f — коэффициент полного сопротивления перемычки (подводного контура), определяемый по формуле:

$$
\zeta_f = 1{,}5 - 2{,}5\left(\frac{H'_в - h'_{пр}}{H_в - h_{пр}}\right) + \left(\frac{H'_в - h'_{пр}}{H_в - h_{пр}}\right)^2. \qquad (6)
$$

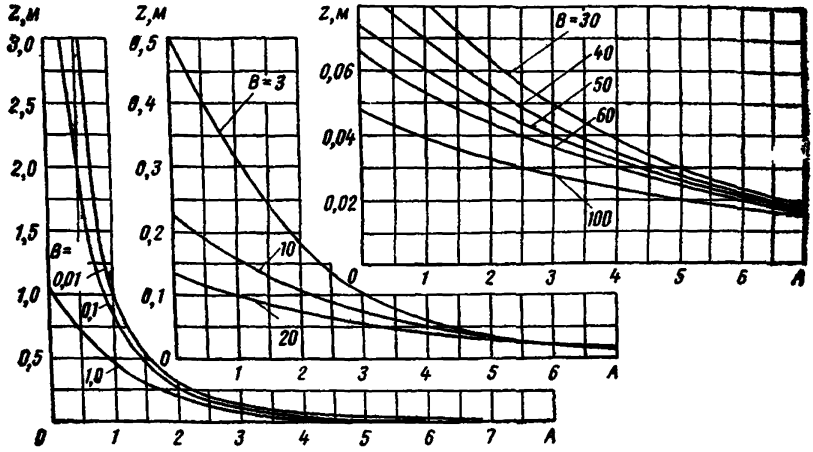


Рис. 3. Графики для определения величины z при образовании наледи поверхностных вод по схеме *1б* (см. табл. 1)

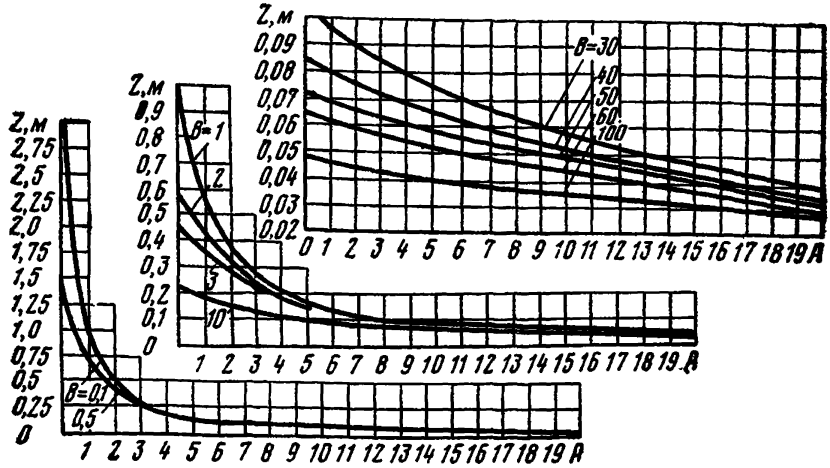


Рис. 4. Графики для определения величины z при образовании наледи поверхностных вод по схеме *1в* (см. табл. 1)

При образовании наледи по схеме *Iв* (см. табл. 1) значения z и z' определяют по графикам (рис. 4), вычислив параметры

$$A = \frac{K_\Phi}{\sum \zeta K_1 \sqrt{J}} \quad \text{и} \quad B = \frac{5}{K_1}; \tag{7}$$

$$\sum \zeta = 0{,}88 + 3\,(H_{пр} - h_{пр}) : (H_в - h_{пр}), \tag{8}$$

где K_Φ — коэффициент напорной фильтрации грунта перемычки;
$\Sigma\zeta$ — коэффициент сопротивления грунтовой перемычки;
$H_{пр}$ — глубина промерзания на участке образования наледи (на распластанном русле водотока), м.

Пример расчета параметров речной наледи приведен в прилож. 1.

Наледи грунтовых вод

3.5. Мощности наледей грунтовых вод, образующихся в результате нарушения природных условий (схема *IIа*) (см. табл. 1) или при стеснении водоносного слоя фундаментом трубы (схема *IIг*), определяют по формулам:

$$\left.\begin{aligned} \Delta H_{ср}^{(г)} &= 1{,}1\,(z_1 + z_2 + h_{ос}); \\ \Delta H_{max}^{(г)} &= 1{,}5\,\Delta H_{ср}^{(г)}; \\ \Delta H^{(г)} &= 2{,}25\,\Delta H_{ср}^{(г)} \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

$$z_1 = 0{,}88\,\delta' \sqrt{J}\,(H_в - h_в); \tag{10}$$

$$z_2 = \sum \zeta\, \delta \sqrt{J}\,(H_в - h_в); \tag{11}$$

$$\sum \zeta = 0{,}88 + \frac{3\,(h_{мп} - h_{ест})}{H_в - h_{ест}}; \tag{12}$$

$$\left.\begin{aligned} \delta &= 1 \text{ при } \frac{h_{мп} - h_{ест}}{H_в - h_{ест}} \geqslant 0{,}17; \\ \delta &= \sqrt{\sin \frac{3\,(h_{мп} - h_{ест})}{H_в - h_{ест}} 180^\circ} \text{ при } \frac{h_{мп} - h_{ест}}{H_в - h_{ест}} \leqslant 0{,}17, \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

где $H_в$ — глубина залегания водоупора, м;
$\Sigma\zeta$ — коэффициент сопротивления грунтовой перемычки, определяемый по формуле (12);
δ — коэффициент, значения которого определяются из условий (13);
$h_{ест}$ — глубина промерзания в естественных условиях (при $h_{ест} < h_в$ в расчетах принимают $h_{ест} = h_в$);
$h_{мп}$ — глубина положения границы мерзлоты (контура подземной перемычки) под искусственным сооружением или на стесненном участке (схемы *IIа, IIг* в табл. 1);
$h_в$ — глубина залегания зеркала грунтовых вод, м;
δ' — параметр, определяемый в зависимости от отношения глубины залегания зеркала грунтовых вод к глубине залегания водоупора:

$h_в/H_в$	0,03	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
δ'	0,26	0,35	0,47	0,60	0,67	0,73	0,80

Величина $h_{мп}$ зависит от характера и степени нарушения природных условий и определяется расчетом:

1) при расчистке снега или снятии мохо-торфяного покрова $h_{мп}$ равно глубине промерзания на участке с нарушением естественных условий;

2) при устройстве фундаментов труб

$$h_{мп} = h_{пт} + h_{ф},$$

где $h_{ф}$ — высота фундамента трубы, м;

$h_{пт}$ — глубина промерзания водоносного слоя под трубой, определяемая расчетом, м (см. прилож. 2).

3.6. Мощность природных грунтовых наледей, образующихся по схеме *IIв* (см. табл. 1), определяют по формулам:

$$\left.\begin{aligned} \Delta H_{ср}^{(г)} &= 1{,}1\,(z + h_{ос}); \\ \Delta H_{max}^{(г)} &= 1{,}5\,\Delta H_{ср}^{(г)}; \\ \Delta H^{(г)} &= 2{,}25\,\Delta H_{ср}^{(г)}; \end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

$$\left.\begin{aligned} A &= 1 : [\Sigma\zeta J^{n}(H_{в} - h_{пр})]; \\ B &= 5\sqrt{J} : [K_{ф} J^{n}(H_{в} - h_{пр})]; \end{aligned}\right\} \qquad (15)$$

$$\sum\zeta = 0{,}88 + 3a : H_{в}, \qquad (16)$$

где z — величина, определяемая по графикам (см. рис. 4) в зависимости от параметров A и B;

a — максимальная высота переката, м;

n — коэффициент, учитывающий характер движения водного потока.

При ламинарном движении $n = 1$, при турбулентном $n = 0{,}5$. Для потоков мощностью до 2—2,5 м, фильтрующих в мелкозернистых средах (супеси, пески), характерен ламинарный режим движения.

3.7. Мощность природных грунтовых наледей, образующихся по схеме *IIб* (см. табл. 1) на распластанных галечниковых руслах водотоков, определяют по формулам:

$$\left.\begin{aligned} \Delta H_{ср}^{(г)} &= 1{,}1\left[\delta\sum\zeta J^{n}(H_{в} - h_{пр}) + h_{ос}\right]; \\ \Delta H_{max}^{(г)} &= 1{,}5\,\Delta H_{ср}^{(г)}; \\ \Delta H^{(г)} &= 2{,}25\,\Delta H_{ср}^{(г)}; \end{aligned}\right\} \qquad (17)$$

$$\sum\zeta = 0{,}88 + 3\,(h - h_{пр}) : (H_{в} - h_{пр}), \qquad (18)$$

где $\Sigma\zeta$ — определяется по формуле (18);

h — глубина промерзания на участке образования наледи (распластанное русло);

$h_{пр}$ — мощность ледяного покрова за пределами наледного участка;

δ — определяется по формулам (13), но вместо $h_{мп}$ и $h_{ест}$ подставляются соответственно h и $h_{пр}$.

3.8. При образовании наледей в результате нарушения природных условий водотока строительством моста (схема *IIд* по табл. 1) их параметры определяются по формулам:

$$\left.\begin{aligned} \Delta H_{ср}^{(с)} &= 1{,}1\,(z_1 + z_2 + h_{ос}) + \Delta H_{ср}^{(р)};\\ \Delta H_{max}^{(с)} &= 1{,}5\,\Delta H_{ср}^{(с)};\\ \Delta H^{(с)} &= 2{,}25\,\Delta H_{ср}^{(с)};\end{aligned}\right\} \qquad (19)$$

$$\sum \zeta = 0{,}88 + 3\,(C - h_{ест}) : (H_в - h_{ест}); \qquad (18а)$$

$$c = \left[n_{пр}\,(l_{св} - 2)\,h_м + 2n_{пр}\,a\,h'_м + b\,Y_{оп}\,n_{оп}\right] : B, \qquad (20)$$

где $\Delta H_{ср}^{(с)}$, $H_{max}^{(с)}$, $\Delta H^{(с)}$ — соответственно средняя по участку, средняя максимальная и наибольшая мощности наледи, образующейся перед сооружением (мостом) за счет вод поверхностного водотока и вод подруслового талика, м;

z_1, z_2 — величины, определяемые по формулам (10) и (11), в которых $\Sigma\zeta$ вычисляется по формуле (18а), но δ вычисляется по формулам (13) и вместо $h_{мп}$ подставляется c;

c — глубина положения контура мерзлостной перемычки под мостом (схема *IIд* по табл. 1), определяемая по формуле (20);

$n_{пр}$ — количество пролетов моста;

$l_{св}$ — величина пролетов моста в свету, м;

a — ширина более глубокого промерзания вокруг опор, равная 0,5 — 1,0 м;

$h_м$ — глубина промерзания грунта в пролетах между опорами (определяется расчетом согласно прилож. 2);

$n_{оп}$ — число промежуточных опор;

$h'_м$ — глубина промерзания грунта около опор, на ширине a (принимается $h'_м = 1{,}2\,h_м$);

b — ширина опор;

$Y_{оп}$ — глубина заделки опор в водоносный слой;

B — расстояние в свету между береговыми опорами.

Примеры расчета параметров грунтовых и смешанных наледей приведены в прилож. 1.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДОТОКАХ С НАЛЕДЯМИ

Принципы проектирования и типы сооружений

4.1. На водотоках с наледями искусственные сооружения должны быть запроектированы так, чтобы наледи не оказывали на них вредных воздействий и не создавали затруднений при эксплуатации в течение всего срока службы. Это достигается применением рациональных типов сооружений, максимальным сохранением на переходе природных условий, организацией зимнего стока, строительством противоналедных сооружений и проведением мероприятий по борьбе с наледями в период эксплуатации.

4.2. Искусственные сооружения на водотоках с наледями проектируются на основе данных инженерно-гидрогеологического обследования водотоков и прогнозирования наледных процессов.

Прогнозирование наледого процесса, кроме анализа данных гидрогеологического обследования, производится путем расчета глубины промерзания водотока в пределах искусственного сооружения и на прилегающем к нему участке.

Расчет производится по методике, изложенной в прилож. 2. По результатам расчета строятся графики хода промерзания поверхностного и грунтового потоков. По ним устанавливаются вероятность и размеры развития наледного процесса.

Используя данные расчета глубины промерзания, по формулам раздела 3 определяются параметры наледи, по которым проектируются тип и размеры искусственного сооружения и намечаются мероприятия по предупреждению наледного процесса или уменьшению масштаба его развития.

4.3. Применяемые на наледных водотоках типы искусственных сооружений не должны вносить больших нарушений в естественный водно-тепловой режим. Чтобы не вызвать активизацию наледного процесса, стеснение подруслового потока фундаментами сооружений должно быть минимальным и на месте перехода необходимо максимально сохранять естественные природные условия.

4.4. На водотоках с природными и прогнозируемыми наледями рекомендуется проектировать следующие типы искусственных сооружений:

1) свайно-эстакадные мосты;

2) мосты с увеличенными отверстиями;

3) прямоугольные железобетонные трубы (кроме водотоков с природными наледями);

4) круглые трубы железобетонные и из гофрированной стали (кроме водотоков с природными наледями) [1];

5) прямоугольные свайно-щитовые трубы;

6) многоярусные железобетонные прямоугольные трубы;

7) мосты и трубы в комплексе с утепленными лотками;

8) мосты и трубы в комплексе с противоналедными заграждениями и поясами.

Выбор типа искусственного сооружения зависит от водности водотока, мерзлотно-гидрогеологических условий, размеров наледи, характера ее действия и принятого принципа проектирования.

4.5. Отверстия искусственных сооружений определяются расчетом на пропуск паводков согласно СН 200-62 и наледей, если последние предусматривается пропускать через отверстие по поверхности ледяного покрова.

При гидравлическом расчете отверстия не учитывают срезку и размыв, напорный и полунапорный режимы для труб не допускаются. Отверстия назначают не менее: для круглых и прямоугольных труб — 2 м, для мостов — 9 м.

4.6. Для максимального сохранения естественных условий протекания водотока необходимо стремиться не нарушать в зоне искусственного сооружения мохорастительный покров и не делать мощение. При необходимости укрепления русла в конструкции укрепления надо предусматривать теплоизоляционный слой из мха или торфа толщиной 0,2—0,3 м в плотном теле.

4.7. Малые мосты рекомендуется проектировать, как правило, на свайных опорах (рис. 5). При невозможности погружения свай забивкой можно применять бурообсадные сваи или буроопускные столбы. Если в основании залегают пучинистые грунты, опоры целесообразно проектировать с наклонными сваями (см. рис. 5).

4.8. Сваи опор мостов необходимо делать из бетона с маркой не ниже 400, желательно круглого сечения.

Если на реке наблюдается слабый ледоход или карчеход, с верховой стороны опоры рекомендуется предусматривать ледорезные сваи. При значительном ледоходе тело опор можно делать в виде стенок или массивным, предпочтительно на высоком свайном ростверке, чтобы меньше стеснять подрусловый поток.

4.9. При благоприятных грунтах круглые и прямоугольные трубы следует проектировать без фундаментов на гравийно-песчаных подушках или лекальных фундаментных блоках (рис. 6) так, чтобы глубина промерзания грунта под трубой не превышала глубину промерзания в бытовых условиях. Для этого в основании трубы необходимо предусматривать теплоизоляционные подушки.

---

[1] До последующего уточнения СНиП.

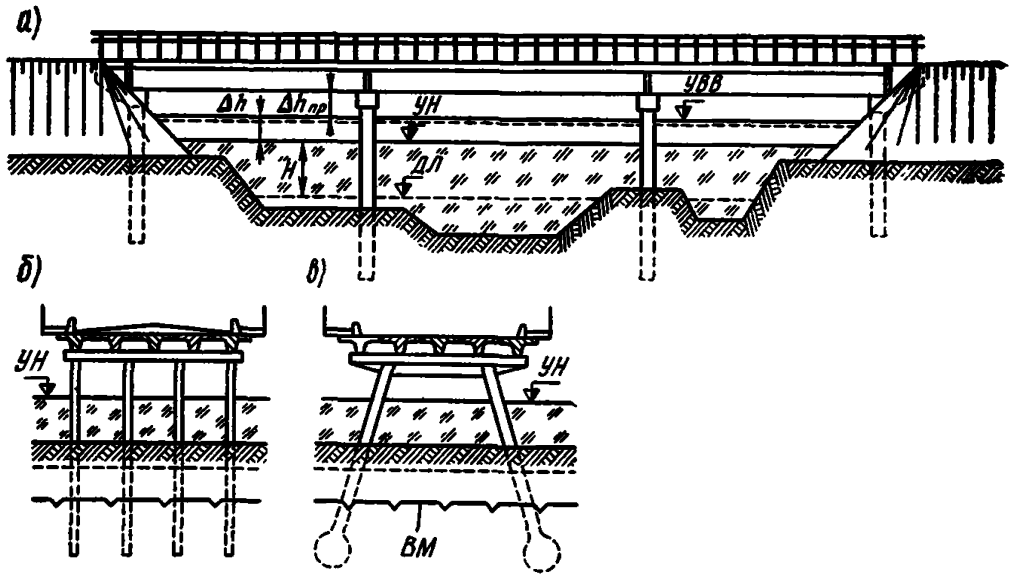


Рис. 5 Конструкция свайно-эстакадных мостов для водотоков с наледями:
а — фасад; *б* — опоры с вертикальными сваями; *в* — то же, с наклонными; *ВМ* — верхняя граница вечной мерзлоты, *УН* — уровень наледи; *ДЛ* — средняя отметка дна лога

Сборные элементы круглых труб рекомендуется делать длинномерными (длиной 2—5 м) с учетом диаметра труб и грузоподъемности кранов, применяемых для монтажа.

4.10 Толщину теплоизоляционной подушки под трубой при применении естественных теплоизоляционных материалов можно определять по формулам

$$H_{\text{п}} = \frac{1}{\eta}(h_{\text{пт}} + h_{\text{ф}} - h_{\text{ест}}); \quad \eta = \sqrt{\frac{\lambda_{\text{гр}} Q_{\text{тп}}}{\lambda_{\text{тп}} Q_{\text{гр}}}} - 1, \qquad (21)$$

где $h_{\text{пт}}$ — глубина промерзания грунта под фундаментом трубы за зимний период при отсутствии теплоизоляционной подушки (определяется по прилож. 2), м;

$h_{\text{ф}}$ — высота фундамента (плиты), м;

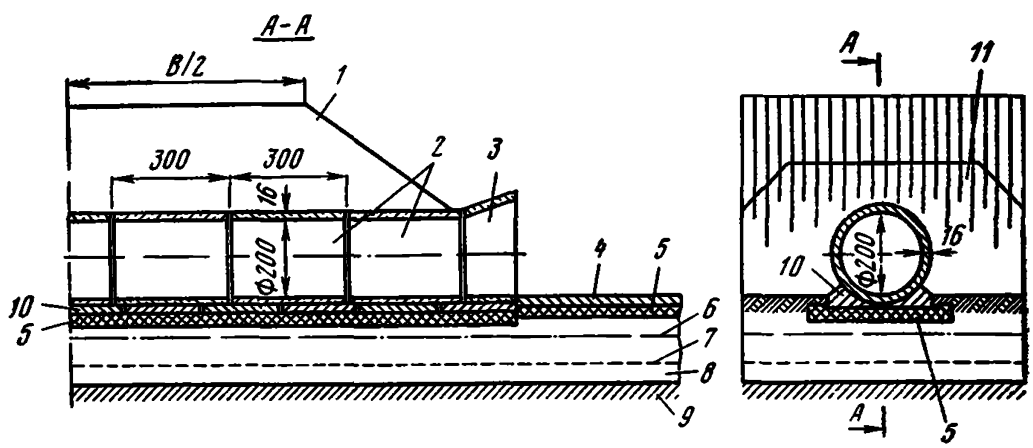


Рис. 6 Конструкция круглой трубы на водотоках с наледями:
1 — насыпь; *2* — тело трубы; *3* — оголовок; *4* — укрепление русла; *5* — теплоизоляционная подушка; *6* — зеркало грунтовых вод; *7* — граница сезонного промерзания; *8* — водоносный слой; *9* — водоупор; *10* — фундамент; *11* — укрепление откоса насыпи

$h_{ест}$ — глубина промерзания в естественных условиях с верховой стороны трубы (определяется по прилож. 2), м;

$\lambda_{тп}$, $\lambda_{гр}$ — коэффициенты теплопроводности материала соответственно теплоизоляционной подушки и грунта в основании фундамента трубы в мерзлом состоянии, ккал/м·ч·град;

$Q_{тп}$, $Q_{гр}$ — количество скрытой теплоты льдообразования в единице объема материала соответственно теплоизоляции (мох, торф и т. п.) и грунта, ккал/м³.

Толщина теплоизоляционной подушки из искусственного теплоизоляционного материала (пенопласта, полистирола) определяется исходя из условия $h'_{пт} \leqslant h_{ест}$, где глубина промерзания грунта под фундаментом трубы за зимний период при наличии теплоизоляционной подушки $h'_{пт}$ рассчитывается по методике прилож 2 при

$$R_{и} = h_{ф} : \lambda_{ф} + H_{п} : \lambda_{п},$$

где $h_{ф}$, $\lambda_{ф}$ — соответственно высота и коэффициент теплопроводности фундамента;

$H_{п}$, $\lambda_{п}$ — соответственно толщина и коэффициент теплопроводности теплоизолирующего слоя.

4.11. Если подошва фундамента (теплоизоляционной подушки) трубы располагается ниже зимнего уровня грунтовых вод, то проектировать трубу с таким фундаментом не рекомендуется. В этом случае целесообразно запроектировать свайно-щитовую трубу или мост.

4.12. На слабых грунтах и при наличии вечномерзлого грунта в основании можно применять свайно-щитовые трубы Ленгипротранса (рис. 7). Конструкция таких труб обеспечивает минимальное нарушение естественного мерзлотно-гидрологического режима водотоков. Кроме того, при отсутствии нижней бетонной плиты конструкция трубы удобна для устройства утепленного лотка и безналедного пропуска водотока.

4.13. На водотоках с природными или прогнозируемыми наледями искусственные сооружения проектируют по одному из следующих трех принципов:

1) свободный пропуск наледи через зону искусственного сооружения;

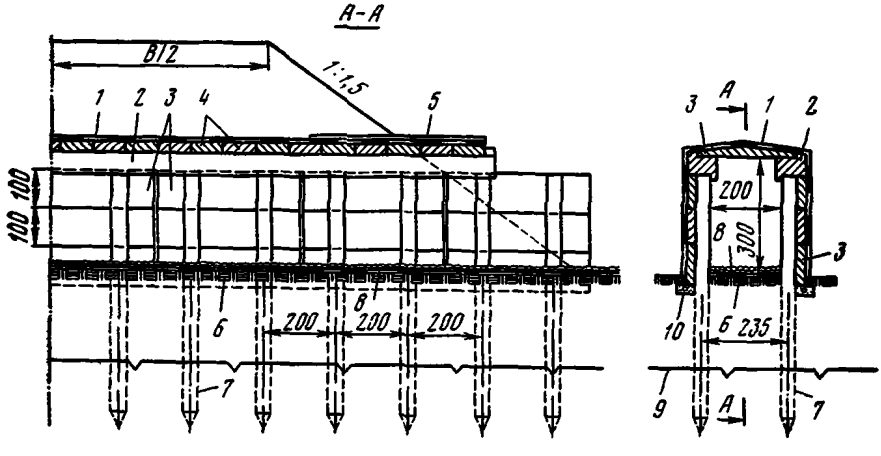


Рис. 7. Конструкция прямоугольной железобетонной свайно-щитовой трубы Ленгипротранса:

1 — гидроизоляция; *2* — насадки; *3* — закладные плиты; *4* — плиты перекрытия; *5* — защитный слой цементного раствора; *6* — растительный мохо-торфяной слой; *7* — железобетонные сван или столбы; *8* — укрепление растительного слоя деревянным настилом, покрытым камнем крупностью 15 см; *9* — верхняя граница вечной мерзлоты; *10* — щебеночная подушка

2) безналедный пропуск водотока;

3) задержание наледи выше искусственного сооружения.

Выбор принципа проектирования зависит от размера наледи и характера ее действия, мерзлотно-гидрогеологических условий, рельефа местности, типа и конструкции проектируемого искусственного сооружения и технико-экономических соображений.

Свободный пропуск наледей через зону искусственного сооружения

4.14. Свободный пропуск наледей через зону искусственного сооружения применяется на водотоках с большими природными наледями, когда устранить причину образования наледи или задержать ее выше сооружения не представляется возможным или экономически нецелесообразно. Этот принцип особенно рационален, когда по расчету на пропуск паводков требуется строить мост значительных размеров, способный одновременно пропускать наледную воду в течение всей зимы. При этом отпадает необходимость строительства противоналедных сооружений и выполнения работ по борьбе с наледью при эксплуатации Основным типом искусственного сооружения в таких случаях является мост.

4.15. При свободном пропуске наледей отверстие моста назначают увеличенным с расчетом, чтобы не стеснять естественные условия протекания водотока. При расчете не допускаются размыв русла, срезка грунта, учитывается стеснение подруслового потока опорами с намерзшим вокруг них грунтом. С целью уменьшения количества опор при составлении схемы моста рекомендуется пролеты назначать увеличенными.

В некоторых случаях в зависимости от местных условий и характера действия наледи длина отверстия моста может быть принята равной ширине наледи.

4.16. Высота подмостового габарита определяется из условий свободного пропуска наледи и весеннего паводка по формуле

$$H_г = \Delta H_р + \Delta h + \Delta h_{пр}, \qquad (22)$$

где $\Delta H_р$ — расчетная мощность наледи, принимаемая равной наибольшей, а когда мост полностью перекрывает ширину наледи, то равной средней максимальной;

Δh — высота, необходимая для пропуска по наледи расчетного расхода весенних вод;

$\Delta h_{пр}$ — просвет от уровня воды до низа пролетного строения, принимаемый по СН 200-62.

Отметки наледи и низа пролетного строения моста определяются следующим образом. По оси моста строят поперечное сечение наледного лога (см. рис. 5). Определяют среднюю отметку дна лога, прибавляют к ней $\Delta H_р$ и определяют отметку наледи, а по ней отметку низа пролетного строения.

4.17. Когда ожидается растекание наледи непосредственно до земляного полотна подходов, следует подходы отсыпать из дренирующих грунтов. Бровка земляного полотна подходов должна возвышаться над уровнем наледи наибольшей мощности не менее 0,5 м.

Безналедный пропуск водотоков

4.18. Безналедный пропуск водотоков применяется при относительно высокой температуре воды источников и значительных расходах на водотоках, на которых в бытовых условиях наледи не образуются совсем или образуются небольшие. Безналедный пропуск водотоков дает наибольший эффект в районах со значительным снежным покровом и с не слишком низкой среднемесячной температурой наиболее холодного месяца (до —25°С).

4.19. Безналедный пропуск водотоков обеспечивается путем концентрации и утепления русла при протекании в зоне искусственного сооружения и на под-

ходах к нему и создания оптимального режима в зимнее время. Для этого в зависимости от климатических и мерзлотно-гидрогеологических условий водотока, а также от результатов теплотехнического расчета могут применяться различные средства.

Противоналедные мероприятия и устройства, применяемые при безналедном пропуске водотоков, показаны на схемах табл. 2.

4.20. Русла спрямляются и углубляются (см. табл. 2, п. I, а и б) для уменьшения ширины охлаждения водотока и улучшения гдравлических показателей при распластанных руслах, протекающих несколькими неглубокими рукавами. Перекаты при этом углубляются и выравниваются с основным руслом. Спрямление и углубление производится на длине 400—600 м выше искусственного сооружения и 200—300 м ниже.

4 21. Русла утепляются на водотоках, протекающих концентрированным потоком (в естественных условиях или после работ по углублению) Утеплять можно снегозадержанием (см. табл. 2, п. 2 а) и укладкой над водотоком утеплителя (см. табл.2,п.2б). Над руслом или канавой осенью укладываются жерди, на них полиэтиленовая пленка или хворост и с наветренной стороны устанавливаются снегозадерживающие щиты. В районах со значительным снежным покровом это дает очень хорошие результаты.

Пример применения отвода ключевых вод утепленной канавой под мост показан на рис. 8.

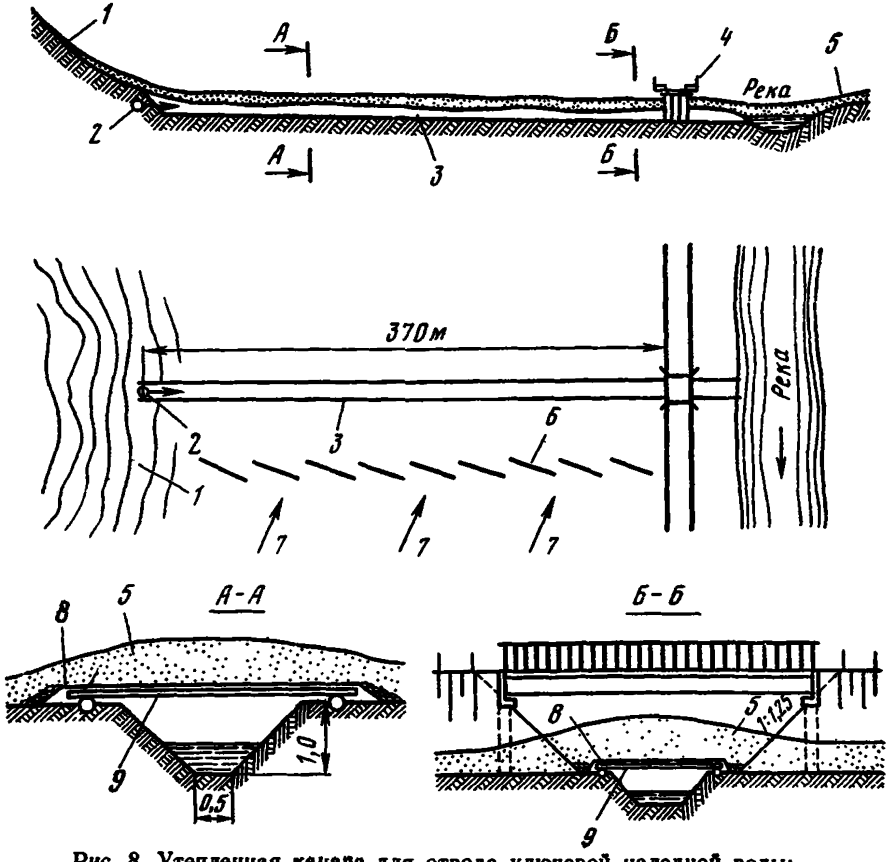
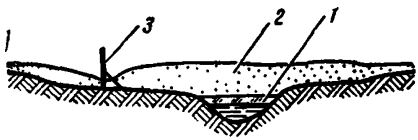
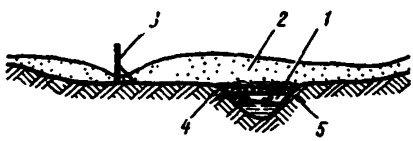
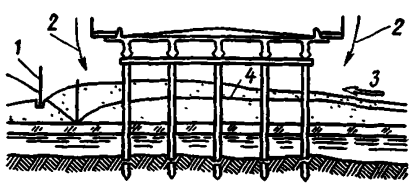
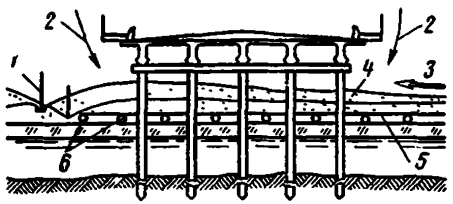
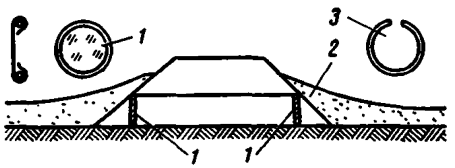
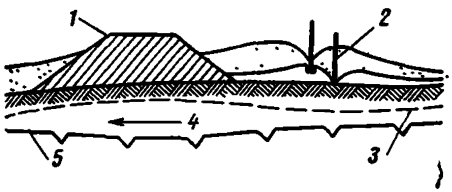


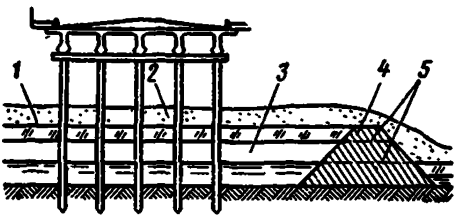
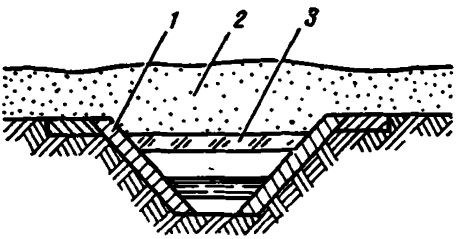
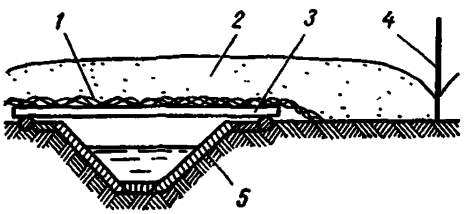
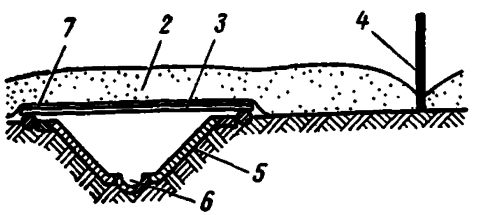
Рис. 8. Утепленная канава для отвода ключевой наледной воды:
1 — склон горного хребта; *2* — ключ; *3* — утепленная водоотводная канава; *4* — мост; *5* — снег; *6* — снегозадерживающие щиты; *7* — направление господствующего ветра; *8* — полиэтиленовая пленка; *9* — деревянные поперечины

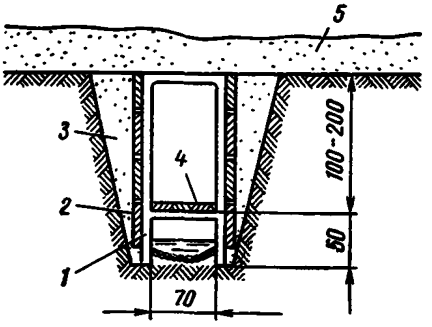
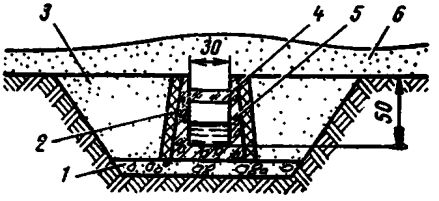
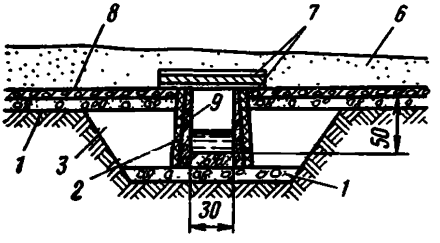
Таблица 2

Противоналедные мероприятия и устройства, применяемые при безналедном пропуске водотоков

Название устройств и их конструктивная схема	Назначение и условия применения
1. Спрямление, углубление и концентрация русел: а) русло до углубления  б) русло после углубления 	Для уменьшения ширины охлаждения водотока при распластанных руслах, протекающих несколькими неглубокими рукавами
2. Утепление русел: а) снегозадержание  б) покрытие хворостом и снегозадержание  *1* — лед; *2* — снег; *3* — щиты; *4* — хворост; *5* — жерди	Для защиты от промерзания водотока, протекающего сконцентрированным нешироким руслом
3. Утепление русел под мостами: а) утепление снегом  	Для предотвращения глубокого промерзания под мостом и возникновения мерзлотной перемычки на водотоках с прогнозированием наледей

Название устройств и их конструктивная схема	Назначение и условия применения
б) покрытие пленкой (или хворостом) и снегом  *1* — щиты; *2* — покрытие русла привозным снегом; *3* — ветер; *4* — снег; *5* — полиэтиленовая пленка (или хворост); *6* — жерди	
4. Утепление русел в отверстиях труб: а) закрытие отверстий пленкой и утепление снегом 	Для предотвращения затекания в трубу наледи и уменьшения промерзания русла
б) закрытие отверстий хворостом и утепление снегом  *1* — полиэтиленовая пленка со стальным обручем; *2* — снег; *3* — стальной обруч; *4* — хворост	Для предотвращения глубокого промерзания русла под трубой
5. Тепловая мелиорация пойм на подходах к мостам и трубам  *1* — земляное полотно подходов; *2* — снегозащитные щиты; *3* — граница сезонного промерзания; *4* — направление потока грунтовых вод; *5* — верхняя граница вечной мерзлоты	Для уменьшения промерзания грунта и улучшения стока грунтовых вод. Применяется на наледных участках при благоприятных снего-ветровых условиях

Название устройств и их конструктивная схема	Назначение и условия применения
6. Подпруживание водотоков  *1* — лед на поднятом уровне воды; *2* — снег; *3* — воздушная прослойка 20—30 см; *4* — перемычка; *5* — лоток для спуска воды	Для создания под ледяным покровом воздушной термоизоляционной прослойки. Применяется на небольших водотоках при возможности устройства запруды
7. Открытые водоотводные канавы  *1* — укрепление откосов; *2* — снег; *3* — лед	Для отвода неглубоко залегающих вод и осушения местности
8. Утепленные водоотводные канавы: а) покрытые хворостом и снегом  б) покрытые пленкой и снегом  *1* — хворост; *2* — снег; *3* — жерди; *4* — щиты; *5* — укрепление откосов; *6* — лоток; *7* — полиэтиленовая пленка	Для отвода ключевых, поверхностных и неглубоко залегающих грунтовых вод

Название устройств и их конструктивная схема	Назначение и условия применения
9. Глубокие дренажные лотки  *1* — железобетонная или деревянная рама; *2* — закладные плиты или пластины; *3* — дренирующий грунт; *4* — доска; *5* — снег	Для перехвата и отвода на значительное расстояние грунтовых и подземных вод
10. Утепленные водоотводные лотки: а) открытый железобетонный лоток  	Для сосредоточенного пропуска речных и подрусловых вод на подходах к укреплению русел у отверстий мостов и труб
б) закрытый железобетонный лоток  *1* — гравий с песком; *2* — пенопласт; *3* — грунт; *4* — лед; *5* — открытый лоток; *6* — снег; *7* — доски; *8* — укрепление русла; *9* — закрытый лоток	Для сосредоточенного пропуска речных и подрусловых вод под мостами в пределах укреплений подводящих и отводящих русел

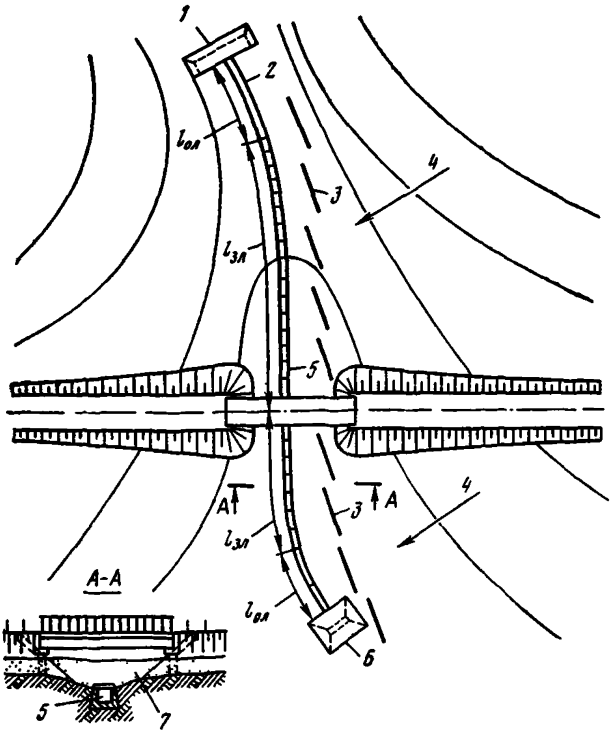


Рис. 9. План расположения утепленного железобетонного лотка для безналедного пропуска водотока под мостом:

1 — водозаборник; *2* — открытый железобетонный лоток; *3* — снегозадерживающие щиты; *4* — ветер; *5* — закрытый железобетонный лоток; *6* — водоприемник; *7* — снег $l_{ол}$, $l_{зл}$ соответственно длины открытого и закрытого лотков

4 22. При благоприятных снего-ветровых условиях необходимо шире использовать снегозадержание не только для утепления русел и водоотводных канав, но и утепления русел под мостами (см. табл. 2, п. 3, а, б), отверстий труб (см. табл. 2, п. 4а, б) и для тепловой мелиорации наледных участков (см. табл. 2, п. 5).

В ряде случаев хорошие результаты дает подпруживание небольших водотоков осенью перед их замерзанием. После образования ледяного покрова спускается вода до естественного уровня, подо льдом образуется воздушная прослойка 20—40 см, которая вместе со снежным покровом хорошо утепляет водоток (см табл. 2, п. 6)

4.23. Большое значение для предотвращения наледей имеет осушение местности, особенно сильно заболоченных склонов. На участках с неглубоким залеганием грунтовых вод и водоупора применяют канавы открытые (см. табл. 2, п. 7) или утепленные (см. табл. 2, п. 8). Для перехвата и отвода грунтовых вод более глубокого залегания могут применяться глубокие дренажные лотки (см. табл. 2, п. 9).

4.24. Для безналедного пропуска водотоков через зону искусственного сооружения в районах с низкой температурой применяются специальные водоотводные лотки (см. табл. 2, п. 10), которые целесообразно делать из сборных железобетонных элементов с утеплением пенопластом, древесиной и другими теплоизоляционными материалами. Лотки могут быть открытые (см. табл. 2, п 10 а) и закрытые (см. табл. 2, п. 10 б). Лотки заглубляются в русло и через отверстие искусственного сооружения отводится вода в низовую сторону без замерзания в течение всей зимы. Их целесообразно применять, когда наледный источник находится на небольшом расстоянии от искусственного сооружения и четко выражен, чтобы поток наледеобразующих вод можно было сосредоточить и пустить по узкому лотку.

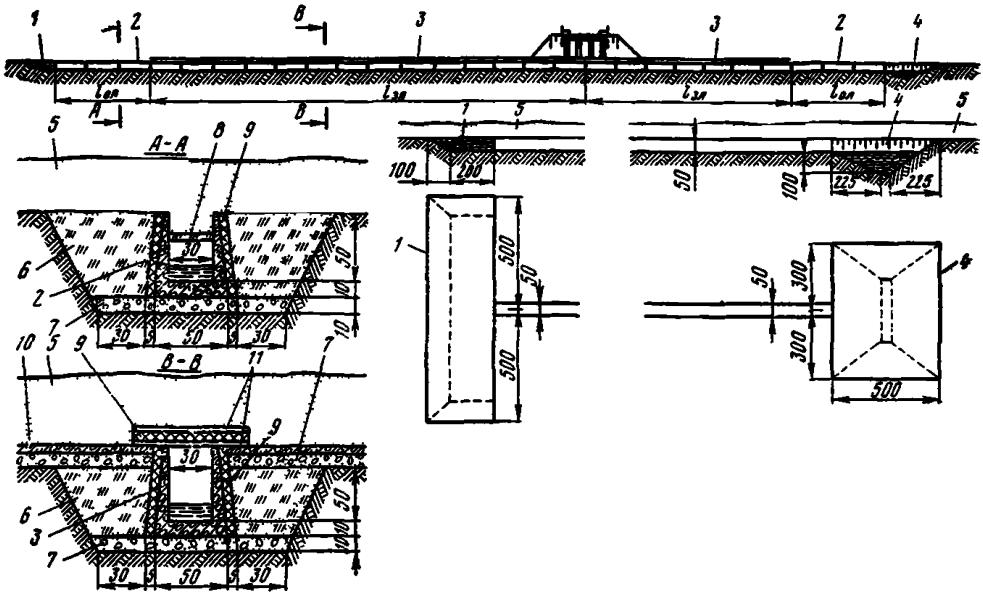


Рис. 10. Продольный профиль, план и детали утепленного лотка для безналедного пропуска водотока (к рис. 9):

1 — водозаборник; *2* — открытый железобетонный лоток, *3* — закрытый железобетонный лоток, *4* — водоприемник; *5* — снег; *6* — грунт; *7* — гравий с песком; *8* — лед; 9 — пенопласт, *10* — укрепление русла у моста; *11* — доски толщиной 4 см

Пример применения утепленного лотка для безналедного пропуска водотока в суровых климатических условиях показан на рис. 9 и 10. Железобетонный лоток сечением 0,3×0,5 м заглублен в русло водотока, с боков утеплен пенопластом и закрыт крышкой из досок с прокладкой из пенопласта. У источника сделан из камня водозаборник, а в конце лотка водоприемник. С наветренной стороны в начале зимы устанавливаются снегозадерживающие щиты, которые создают над лотком и руслом снежные отложения высотой 1,4—1,9 м.

Утепленный лоток обеспечивает безналедный сток подруслового потока в течение всей зимы, среднемесячные темпратуры которой в декабре и январе составляют — 23°С. До устройства лотка выше моста ежегодно возникала наледь мощностью до 1,2 м.

4.25. Устройства и мероприятия для безналедного пропуска водотоков проектируются в комплексе с проектированием искусственных сооружений дороги.

Расчет безналедного пропуска заключается в определении размеров лотков и канав и их утепления.

Для отвода наледной воды чаще всего применяют заглубленные в грунт лотки (рис. 11) открытые и закрытые. При теплотехнических расчетах открытых и закрытых лотков и канав используют следующие уравнения

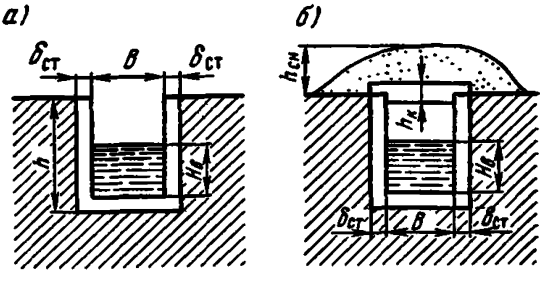


Рис. 11 Схемы заглубленных в грунт лотков для безналедного пропуска водотоков:

а — открытого; *б* — закрытого

Температуру t воды в лотке на расстоянии X от начала водотока вычисляют по формулам:

$$t = M + e^{-K}(t_в - M); \tag{23}$$

$$M = \frac{8430\,Q\,J + b\,t_{воз}\frac{1}{R} + \Phi}{b\frac{1}{R} + K_г\,b_1}; \tag{24}$$

$$K = \frac{(b : R + K_г\,b_1)\,X}{36 \cdot 10^5\,Q}; \tag{25}$$

$$t_{пр} = m\,t'_{воз}, \tag{26}$$

где e — основание натурального логарифма;

Q — расход водотока, м³/с;

J — уклон лотка или канавы;

$t_{воз}$ — расчетная температура воздуха, которую принимают: для открытых лотков и канав равной средней минимальной за наиболее холодный месяц; для закрытых лотков и канав равной температуре воздушной прослойки между перекрытием и водой, которая определяется по формуле (26);

K — параметр, вычисляемый по формуле (25);

X — расстояние от начала водотока или источника наледной воды до ее замерзания, м;

$t_{пр}$ — температура воздушной прослойки между перекрытием и водой;

$t'_{воз}$ — средняя температура воздуха за наиболее холодный месяц зимнего периода;

m — коэффициент, определяемый по графикам (рис. 12) в зависимости от толщины слоя теплоизоляции и коэффициента α температуропроводности материала перекрытия, а также времени τ принимаемого равным 1 мес, т. е. $\tau = 720$ ч;

b — отверстие лотка, м;

b_1 — смоченный периметр лотка, м;

$t_в$ — температура воды источника в начале лотка или канавы в наиболее холодный месяц зимы;

R, Φ — соответственно термическое сопротивление и величина теплопотерь, определяемые по формулам (27) — (29).

Температура t замерзания наледной воды при различной минерализации:

Минерализация $MgCl_2$, %	1,5	3,0	4,5	7,5	12,3
t, °С	−0,9	−1,8	−2,6	−4,4	−7,5
Минерализация $CaCl_2$, %	0,1	1,3	2,6	5,0	9,0
t, °С	0	−0,6	−1,2	−2,4	−4,4
Минерализация NaCl, %	0,2	1,4	2,7	5,2	9,1
t, °С	0	−0,7	−1,4	−3,1	−6,0

Термическое сопротивление R и величина потерь Φ будут:

1) для открытого лотка (углубленного в грунт):

$$R = 1 : \alpha_1; \quad \Phi = K_г\,b_1\,t_г; \tag{27}$$

2) для закрытого лотка (углубленного в грунт и имеющего перекрытие):

$$R = 1 : \alpha_2; \quad \Phi = K_г\,b_1\,t_г, \tag{28}$$

Коэффициент $K_г$ теплопередачи определяется из уравнения

$$\frac{1}{K_г} = \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_4}, \qquad (29)$$

Здесь α_1 — коэффициент теплопередачи от воды в воздух, принимаемый при малых скоростях воздушного и водного потоков равным 50—70 ккал/(м² · ч · град);

α_3 — коэффициент теплопередачи от воды к стенке лотка, зависящий от скорости течения в лотке и числа Рейнольдса, ориентировочно равный 4—5 ккал/(м² · ч · град);

α_2 — коэффициент теплопередачи от воды к воздушной прослойке между перекрытием и водой, равный 50 ккал/(м² · ч · град);

α_4 — коэффициент теплопередачи от стенки лотка в грунт, ориентировочно равный 3—5 ккал/(м² · ч · град);

$\delta_{ст}$ — толщина стенки, м;

$\lambda_{ст}$ — коэффициент теплопроводности материала стенки, ккал/(м² · ч · град);

$t_г$ — температура грунта в бытовых условиях в наиболее холодный месяц на глубине заложения лотка.

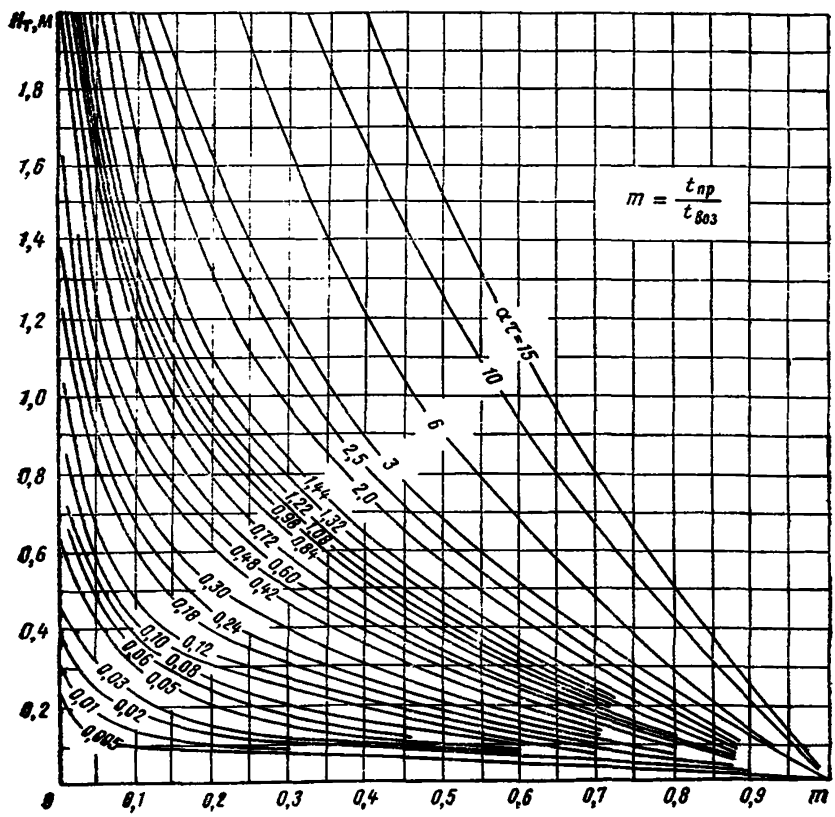


Рис. 12. Зависимость между толщиной слоя теплоизоляции $H_т$ и коэффициентом m

Данная методика позволяет при известных гидравлических и тепловых характеристиках потока и заданной конструкции лотка определить его длину с безналедным пропуском потока или при заданной длине X обосновать конструкцию лотка и его утепление.

Пример расчета приведен в прилож. 3.

Задержание наледей выше искусственных сооружений

4.26. Задержание наледей выше искусственного сооружения применяется на водотоках с малыми расходами наледной воды и низкой ее температуре, при широких и пологих логах, позволяющих одним-двумя заграждениями аккумулировать весь объем наледного льда, который образуется за зиму. Особенно целесообразно задержание наледей в районах с малым снежным покровом и низкой среднемесячной температурой наиболее холодного месяца (ниже —25°С).

При этом методе наледный процесс искусственно возбуждается выше сооружения и наледь задерживается на безопасном расстоянии.

Для искусственного возбуждения наледного процесса и задержания наледей в зависимости от конкретных условий применяются различные сооружения и устройства, показанные на схемах в табл 3.

4.27. Снежноледяные валы (см. табл. 3, п. 1 а) применяют как временное мероприятие для задерживания наледей небольших размеров или как вспомогательное средство к основным противоналедным сооружениям в случаях, когда наледь образуется больших размеров, чем обычно. Снежно-ледяные валы устраивают высотой 0,5—0,8 м в начале наледеобразования из уплотненного снега, облитого водой для создания ледяной водонепроницаемой корки. Когда уровень натекающей наледи достигнет вершины вала, устраивают снежно-ледяной вал второго яруса.

4.28. Грунтовые валы возводят из слабодренирующих грунтов высотой до 3—4 м. Их применяют как постоянные противоналедные сооружения для задержания наледей значительных размеров.

Над руслом водотока в грунтовом вале оставляют проем длиной не менее отверстия искусственного сооружения для пропуска весенних и летних вод. На зимний период проем закрывают сборно-разборным забором или щитами. Откосы вала с верховой стороны укрепляют на водонепроницаемой прослойке (торф, пленка). Особенно хорошо должны быть укреплены головы вала в проеме, где они часто подвергаются размывам весенними и летними паводками.

Длина вала должна полностью перекрывать наледный лог. В зависимости от способа производства работ и рода грунтов ширину вала поверху назначаются от 1 до 3 м, а заложение откосов — 1 : 1,5.

4 29 Противоналедные заборы применяются для задержания наледей вместо валов, а также для заполнения проемов грунтовых валов.

Деревянные заборы (см. табл. 3, п. 2 а) строят в лесистой местности из бревен, брусьев или досок Железобетонные заборы (см табл. 3, п. 2б) делают из сборных плит сечением 6×50 см, которые вставляют в пазы столбов или навешивают специальными креплениями. В панелях над руслом водотока заполнение заборов весной разбирается

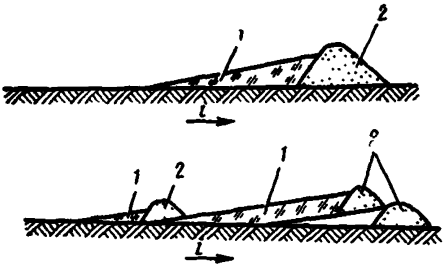
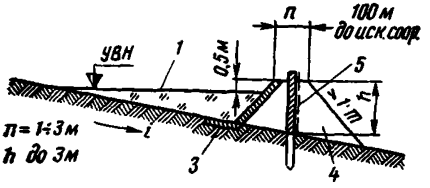
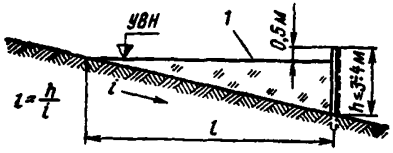
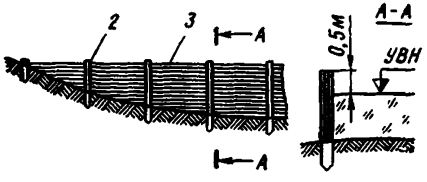
Вместо деревянных и железобетонных могут применяться противоналедные заборы из деревянных щитов, обтянутых полиэтиленовой пленкой (см табл. 3, п. 2 в) и из металлической сетки (см. табл. 3, п. 2 г). Металлическая сетка применяется с просветами 0,4—0,6 см. Заборы с металлической сеткой экономичны, легки и удобны в эксплуатации, особенно как сборно-разборные конструкции для заполнения проемов валов

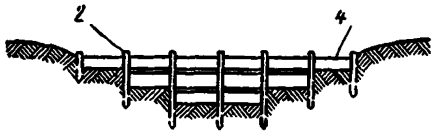
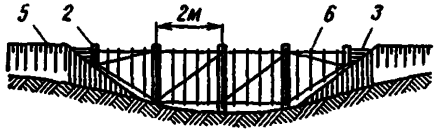
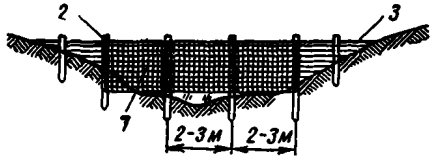
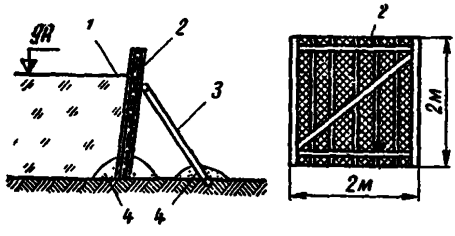
4.30. Противоналедные щиты применяются для задерживания наледей как временное мероприятие, дополнительное к основному, когда направление действия наледи изменилось и требуется задержать ее растекание.

Щиты могут применяться деревянные, обтянутые полиэтиленовой пленкой (см. табл. 3, п 3 а) и в виде рамок из уголков с металлической сеткой (см.

Таблица 3

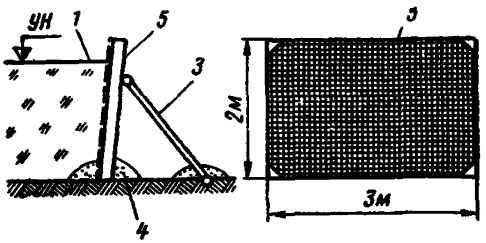
Противоналедные сооружения и устройства, применяемые при задержании наледей выше мостов и труб

Название противоналедных сооружений и их конструктивная схема	Назначение и условия применения
1. Противоналедные валы: а) снежно-ледяные  	Для задержания наледей в удалении от искусственных сооружений и земляного полотна подходов. Снежно-ледяные валы применяют как временное мероприятие для задержания наледей небольших размеров. Грунтовые валы проектируют и строят в комплексе с мостами и трубами как постоянные противоналедные сооружения, обычно с мерзлотными или наледными поясами
б) грунтовые  *1* — наледный лед; *2* — плотный снег, облитый водой; *3* — укрепление с водонепроницаемой прослойкой (торф, пленка); *4* — вал из грунта; *5* — сборно-разборный забор в проеме вала	
2. Противоналедные заборы:  	Для задержания наледей вдали от искусственных сооружений и земляного полотна, а также для заполнения проемов грунтовых валов. Деревянные заборы строятся вместо грунтовых валов в лесистой местности. Железобетонные заборы строятся в комплексе с мостами и трубами как постоянные противоналедные сооружения.
а) деревянные  	

Название противоналедных сооружений и их конструктивная схема	Назначение и условия применения
б) железобетонные  	
в) с деревянными щитами и водонепроницаемой пленкой  	Заборы с деревянными щитами и металлическими сетками применяются для заполнения проемов грунтовых валов как легкие сборно-разборные конструкции, а также для удержания наледей по всей ширине лога
г) с металлической сеткой  	
1 — наледный лед; *2* — сваи или столбы; *3* — деревянный забор; *4* — железобетонный забор; *5* — грунтовой вал с проемом; *6* — деревянные щиты с полиэтиленовой пленкой; *7* — металлические сетки	
3. Противоналедные щиты: а) деревянные с полиэтиленовой пленкой  	Для задержания наледей. Применяют как временное мероприятие или как дополнительное к основному противоналедному сооружению, когда наледь меняет направление или образуется в больших размерах

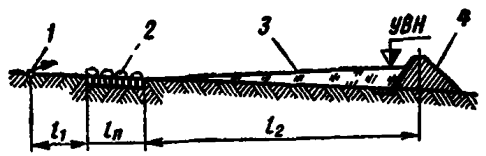
Название противоналедных сооружений и их конструктивная схема	Назначение и условия применения

б) рамы из уголков с металлической сеткой

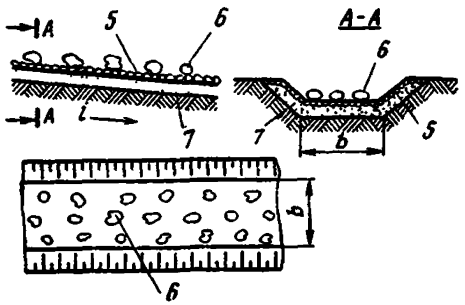


1 — наледный лед; *2* — деревянный щит с полиэтиленовой пленкой; *3* — деревянный подкос; *4* — плотный снег, облитый водой; *5* — рамы из уголков с металлической сеткой

4. Наледные пояса:



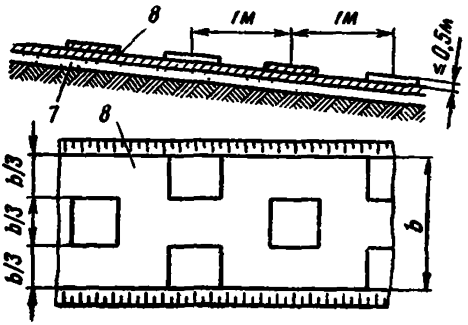
а) каменные пояса

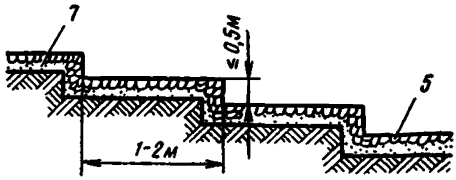
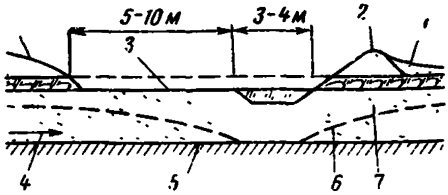
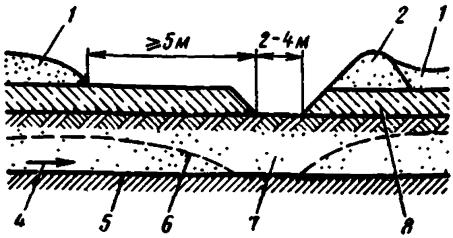
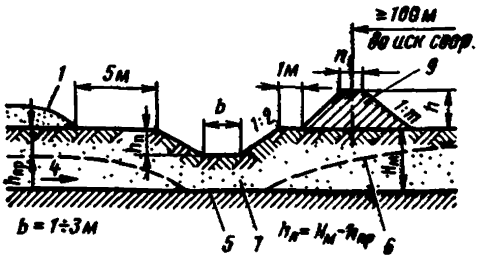


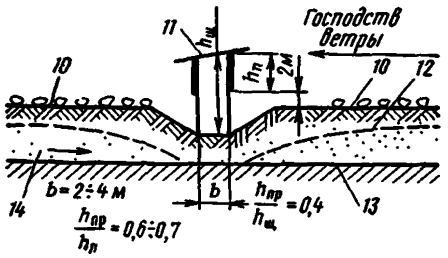
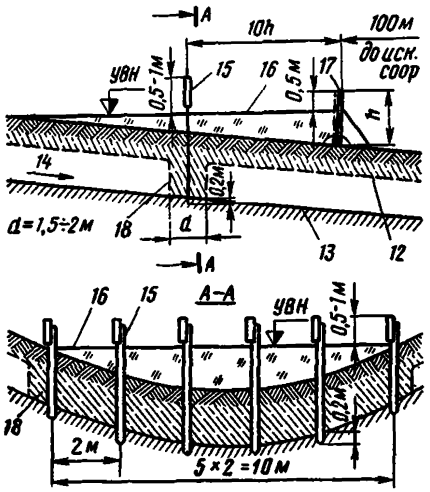
Для повышения интенсивности охлаждения вышедшей на поверхность наледной воды и ускорения перехода ее в лед.

Конструкция пояса выбирается в зависимости от наличия местных материалов

б) бетонные пояса



Название противоналедных сооружений и их конструктивная схема	Назначение и условия применения
в) пояса с перепадами  *1* — источник наледи; *2* — наледный пояс; *3* — наледный лед; *4* — противоналедный вал; *5* — каменное мощение; *6* — отдельные камни; *7* — подстилающий слой; *8* — бетонная плита с выступами	
5. Мерзлотные пояса: а) сезонные для грунтовых вод  	Для создания мерзлотной перемычки в потоке грунтовых или речных вод и вывода их на поверхность в удалении от искусственных сооружений. Применяются при неглубоком залегании водоупора и небольших расходах наледеобразующих вод. Сезонные пояса применяются как временное мероприятие или как дополнительное к основному, а грунтовые как постоянное
б) сезонные для речных вод  	
в) грунтовые с валом  	

Название противоаледных сооружений и их конструктивная схема	Назначение и условия применения
г) грунтовые с продуваемым навесом 	Для создания мерзлотной перемычки в потоке грунтовых вод и вывода их на поверхность. Применяются на открытых местах с сильными ветрами, когда направление их постоянно и составляет с осью пояса угол от 45 до 90°
д) пояса с охлаждающими установками 	Для создания мерзлотной перемычки в потоке наледеобразующих вод и вывода их на поверхность в удалении от искусственных сооружений. Применяются при значительной глубине водоупора на небольших водотоках, протекающих в узких долинах с крутыми склонами

1 — рыхлый снег; *2* — плотный снег, облитый водой; *3* — удаленный мохорастительный покров; *4* — водоносный слой; *5* — водоупор; *6* — граница сезонного промерзания; *7* — мерзлотная перемычка при слиянии сезонной мерзлоты с водоупором; *8* — естественный ледяной покров; *9* — вал из грунта; *10* — площадка охлаждения; *11* — продуваемый навес над канавой пояса; *12* — граница сезонного промерзания; *13* — водоупор; *14* — водоносный слой; *15* — охлаждающие установки С. И. Гапеева; *16* — наледный лед; *17* — противоаледный забор; *18* — замороженный слой грунта

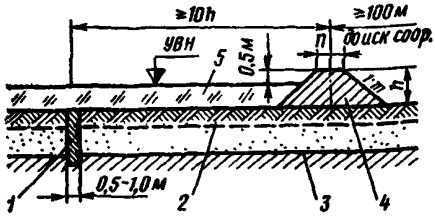
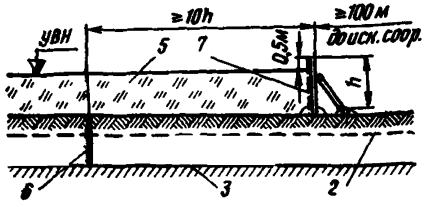
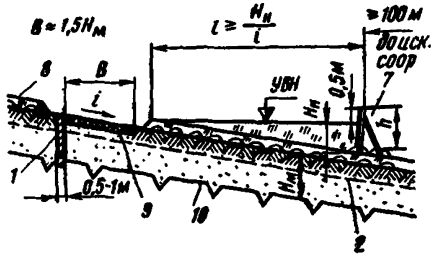
Название противоналедных сооружений и их конструктивная схема	Назначение и условия применения
6. Водонепроницаемые экраны: а) экраны из глины или торфа  б) шпунтовые экраны:  в) экраны с наледным поясом:  *1* — экран из мятой глины или торфа; *2* — граница сезонного промерзания; *3* — водоупор; *4* — противоналедный вал; *5* — наледный лед; *6* — деревянная или металлическая шпунтовая стенка; *7* — противоналедный забор; *8* — мохорастительный покров; *9* — наледный пояс; *10* — граница вечной мерзлоты	Для перехвата потока грунтовых вод и вывода их на поверхность вдали от искусственных сооружений. Экраны из глины и торфа применяются при неглубоком залегании водоупора и наличии местных материалов. Шпунтовые экраны делаются при глубоком залегании водоупора. Наледный пояс ускоряет охлаждение воды, выведенной экраном на поверхность

табл. 3, п. 3 б). Для устойчивости щитов с низовой стороны ставят подкосы, низ щитов обкладывается снежным валиком.

4.31. Противоналедные валы и заборы проектируются, как правило, совместно с устройствами, возбуждающими наледный процесс и ускоряющими охлаждение наледной воды (мерзлотными и наледными поясами, экранами). Однако валы и заборы могут применяться и самостоятельно для задержания на безопасном расстоянии растекающихся наледей.

4.32. Наледные пояса применяются для повышения интенсивности охлаждения вышедшей на поверхность наледной воды и ускорения перехода ее в лед.

Наледный пояс представляет собой расчищенный, спланированный и мощеный участок, где текущая наледная вода распластывается тонким слоем и интенсивно охлаждается до 0°С. Для повышения шероховатости на этом участке делается наброска отдельных камней, ударяясь в которые наледный поток дробится и охлаждается быстрее.

Замерзание наледной воды и формирование наледи происходит ниже наледного пояса, который всегда должен оставаться открытым.

Наледные пояса могут быть каменные (см. табл. 3, п. 4а) и бетонные (см. табл 3, п. 4 б), если нет местного камня. В этом случае бетонные плиты делаются с выступами для дробления потока. При значительном уклоне наледные пояса делают с перепадами высотой 0,5 м (см. табл. 3, п. 4 в).

Если источник наледи расположен далеко и до искусственного сооружения размещаются наледный пояс и участок замерзания, то задерживающий вал или забор устраивать не надо. При близком расположении источника, когда до искусственного сооружения наледный пояс и участок замерзания не размещаются, на участке замерзания необходимо делать задерживающий забор или вал.

Наледные пояса целесообразно применять на небольших и периодически действующих водотоках.

Пример применения наледного пояса для задержания наледи выше трубы показан на рис. 13.

4.33. Мерзлотные пояса применяются для создания мерзлотной перемычки в потоке грунтовых или речных вод и вывода их на поверхность в удалении от сооружения. Мерзлотные пояса целесообразно применять при наледях с небольшим дебитом Обычно они делаются совместно с заградительным валом и канавой для отвода воды.

Мерзлотные пояса бывают сезонные, грунтовые и с охлаждающими установками.

4.34. Сезонные мерзлотные пояса для грунтовых вод (см. табл. 3, п. 5 а) представляют собой расчищенные от снега полосы шириной 5—10 м со снежно-ледяным заградительным валом и канавой для отвода воды. Под расчищенной полосой и канавой происходит более глубокое промерзание, граница сезонного промерзания смыкается с водоупором и в потоке грунтовых вод образуется перемычка. Грунтовые воды перед перемычкой выходят на поверхность и отводятся канавой в удобное место.

Сезонные мерзлотные пояса для речных вод (см. табл. 3, п. 5 б) состоят из вырубленной во льду канавы шириной 2—4 м с расчищенной от снега полосой и снежно-ледяным валом. Чтобы быстрее проморозить водоток, канава располагается на перекатах и отмелях и заглубляется на 0,25—0,50 м ниже дна русла. Сезонные пояса применяются как временное мероприятие только при неглубоком залегании водоупора.

4.35. Грунтовые мерзлотные пояса применяются для вывода на поверхность и задержания наледей грунтовых вод с небольшим дебитом и при глубине залегания водоупора не более 2,5—3 м.

Грунтовый мерзлотный пояс (табл. 3, п. 5 в) представляет собой канаву шириной 1—2 м, которая делается поперек лога с тупым углом над тальвегом. С низовой стороны канавы устраивается заградительный грунтовой вал, а с верховой — расчищенная от снега полоса шириной 5 м. Для полного перехвата потока грунтовых вод концы канавы врезаются в борта лога, а ее дно делается с уклоном не менее 0,005.

4.36. При благоприятных снеговетровых условиях могут применяться грунтовые пояса с продуваемым навесом (табл. 3, п. 5 г). Ширина канавы по дну в

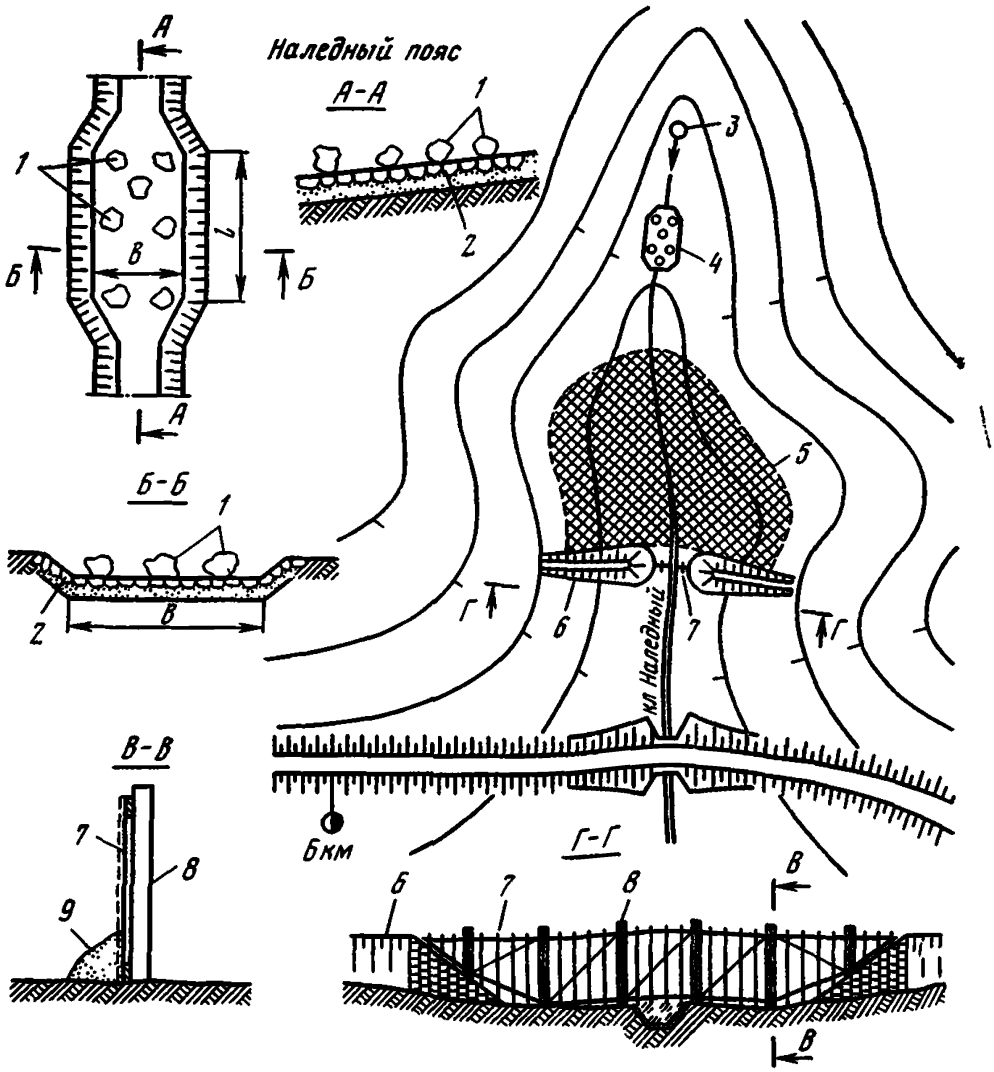


Рис. 13. Схема применения наледного пояса и противоналедного вала для задержания наледи выше трубы:

1 — крупные отдельные камни; *2* — мощение на площадке наледного пояса; *3* — место выхода наледной воды; *4* — наледный пояс (площадка охлаждения); *5* — площадка формирования наледи; *6* — противоналедный грунтовой вал; *7* — деревянные решетчатые щиты с полиэтиленовой пленкой; *8* — свая; *9* — снег, облитый водой

этом случае делается 2—4 м. Над канавой устраивается деревянный навес с консолями и ветровыми щитами. Навес защищает канаву пояса от заполнения снегом при снегопаде, а щиты способствуют продуванию ветровым потоком. Вместо грунтового заградительного вала здесь устраивается спланированная площадка с каменной наброской для охлаждения и формирования наледи.

Грунтовый мерзлотный пояс с продуваемым навесом целесообразно устраивать на открытых местах с сильными ветрами, когда их господствующее направление постоянно и составляет с осью потока угол от 45 до 90°.

4 37. Мерзлотные пояса с охлаждающими установками (табл. 3, п. 5 д) рекомендуется применять с районах с низкой зимней температурой при значительной глубине водоупора (более 2,5 — 3,0 м) на водотоках, протекающих в узких долинах с крутыми склонами. Мерзлотная перемычка в этих поясах создается промораживанием грунта самонастраивающимися автоматически действующими

охлаждающими установками С. И. Гапеева. Установки представляют собой металлические замкнутые трубы, погруженные в грунт до водоупора и заполненные керосином.

Зимой в верхней части установки, которая остается на поверхности, керосин быстро олаждается, плотность его увеличивается и происходит циркуляция. В нижней части температура охлажденного керосина передается грунту, и вокруг установки образуется цилиндр мерзлотного грунта. Располагая установки на определенном расстоянии по линии мерзлотного пояса, из цилиндров замороженного грунта можно создать перемычку на пути грунтового потока.

Когда водоупором служит граница вечномерзлого грунта, способного при оттаивании к фильтрации, грунтовые мерзлотные пояса через 2—3 года эксплуатации часто не дают нужного эффекта. Мерзлотный пояс с охлаждающими установками в этом отношении имеет несомненные преимущества. Он обеспечивает в течение многих лет создание мерзлотных перемычек и экономичен при эксплуатации.

Пример применения охлаждающих установок и металлических сеток для задержания наледи выше моста показан на рис 14.

4.38. Водонепроницаемые экраны применяются для перехвата потока грунтовых вод и вывода их на поверхность вдали от сооружений. Экраны целесообразно применять вместо грунтовых мерзлотных поясов, когда устройство последних может не дать нужного эффекта, или экономически невыгодно.

Водонепроницаемые экраны обычно устраиваются совместно с противоналедными валами или заборами, иногда с наледными поясами. Экраны могут быть из глины, торфа, шпунтовых стенок.

4.39. Экраны из глины или торфа (см табл. 3, п. 6 а) устраиваются при неглубоком залегании водоупора (до 2—2,5 м). Они представляют собой траншеи шириной 0,5—1 м, вырытые поперек наледного лога и заполненные глиной или торфом. Низ экрана на 0,3—0,5 м заглубляется в водоупор. С низовой стороны возводится задерживающий вал или забор, которые располагаются на расстоянии не менее 10-кратной их высоты.

4.40. Шпунтовые экраны (см. табл. 3, п 6 б) делают при глубоком залегании водоупора (более 2,5 м). В зависимости от рода грунтов может применяться деревянный шпунт из просмоленных брусьев или металлический, который забивается на 0,5 м ниже поверхности водоупора. Верхние концы шпунтин срезаются на отметке ниже поверхности земли на толщину растительного слоя. С низовой стороны устраивается задерживающий вал или забор.

4.41. Для ускорения охлаждения наледной воды совместно с экранами могут устраиваться наледные пояса (см табл. 3, п. 6 в). На ширину, равную полуторной глубине залегания водоупора, снимается мохорастительный покров, и на этом месте устраивается наледный пояс. Вертикальный экран перехватывает поток грунтовых вод и выводит их на поверхность, а наледный пояс ускоряет охлаждение и формирование наледи.

При наличии наледного пояса и большом расстоянии до искусственного сооружения задерживающие валы ниже экрана могут не делаться.

4.42. Сооружения для задержания наледей (мерзлотные и наледные пояса, валы, заборы, экраны) проектируются в комплексе с искусственными сооружениями дороги. При этом типы противоналедных сооружений, их размеры и расположение должны быть назначены так, чтобы выведенная на поверхность наледная вода полностью задерживалась и переходила в лед на безопасном для искусственного сооружения расстоянии.

4.43. Расположение мерзлотных поясов, экранов и наледных поясов выбирается в зависимости от рельефа местности, мерзлотно-гидрогеологических особенностей лога и необходимого расстояния для полного задержания наледи вдали от искусственного сооружения и земляного полотна.

Противоналедные валы и заборы должны не только ограждать сооружения от непосредственного воздействия наледей, но и защищать земляное полотно подходов и грунты в зоне искусственного сооружения от избыточного увлажнения и обводнения, а также от возможных размывов при стоке весенних вод по наледи. Исходя из этого расстояние от искусственного сооружения до задерживающего вала или забора назначается не менее 100 м.

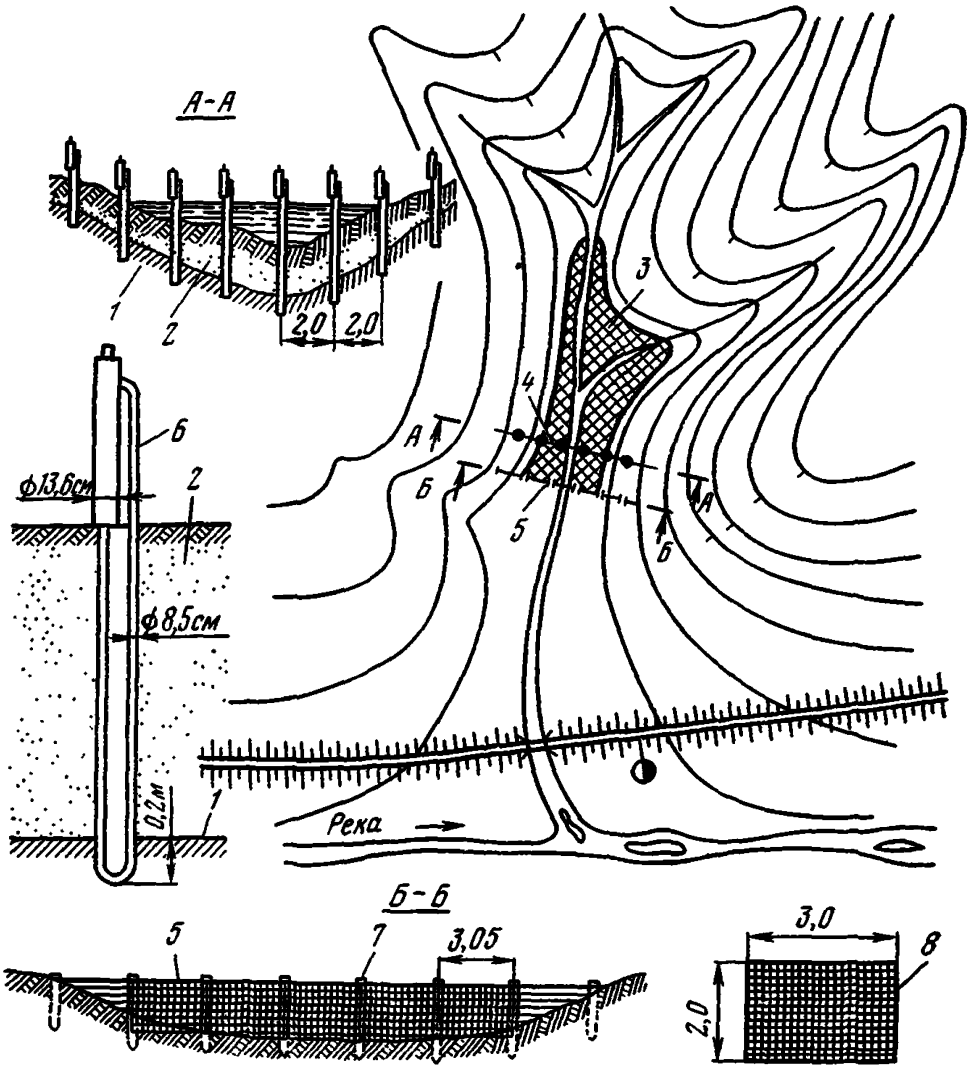


Рис. 14. Схема применения охлаждающих установок С. И. Гапеева и металлических сеток для задержания наледи выше моста:

1 — водоупор; *2* — замороженный водоносный слой; *3* — площадка формирования наледи; *4* — мерзлотный пояс с охлаждающими установками; *5* — противоналедный забор с металлической сеткой; *6* — двухтрубная охлаждающая установка; *7* — свая; *8* — рама из уголков с металлической сеткой

Мощность наледи у забора определяется по формулам раздела 3 и принимается равной средней максимальной. Высота забора или вала назначается на 0,5 м выше отметки наледи.

4.44. Размеры наледных поясов назначаются на основе теплотехнического расчета. При расчете наледного пояса необходимо различать два участка: участок интенсивного охлаждения наледной воды (наледный пояс); участок замерзания и формирования наледи.

Для каждого из участков определяются ширина и длина. Глубину потока на наледном поясе рекомендуется принимать от 2 до 5 см, ширину — не менее 1 м и скорость потока 0,5 м/с. Длина пояса определяется из условия охлаждения потока до температуры 0°С, а участка замерзания — из условия

полной аккумуляции наледной воды за зиму. Если позволяют местные условия, наледный пояс целесообразно располагать от источника на расстоянии 50—100 м.

4.45. При проектировании грунтовых мерзлотных поясов глубина канавы определяется в зависимости от глубины залегания водоупора по формуле

$$h_{\text{п}} = H_{\text{м}} - h_{\text{пр}}, \tag{30}$$

где $h_{\text{п}}$ — глубина канавы мерзлотного пояса;

$H_{\text{м}}$ — глубина залегания водоупора;

$h_{\text{пр}}$ — глубина промерзания под поясом.

Глубина промерзания грунта под поясом может быть определена по формулам прилож. 2.

*Ширина канав грунтового мерзлотного пояса назначается то 1 до 2 м, а за*ложение откосов — 1 : 2. Меньшая ширина канавы принимается при толщине снежного покрова менее 0,2 м и глубине залегания водоупора до 2 м, бóльшая ширина канавы — при снежном покрове более 0,2 м и глубине водоупора более 2 м.

4.46. При применении для мерзлотных поясов охлаждающих установок диаметр цилиндра грунта, намерзающего вокруг одной установки в первую половину зимы, определяется по формуле

$$D = 2\sqrt{\frac{0{,}5\,Э}{30\,000\,\pi h}}, \tag{31}$$

где D — диаметр цилиндра, намерзающего вокруг одной установки, м;

$Э$ — холодопроизводительность охлаждающей установки за одну зиму, которая определяется расчетом в зависимости от конструкции охлаждающей установки или опытным путем, ккал;

h — глубина погружения охлаждающей установки в грунт, м.

Охлаждающие установки располагают по оси створа мерзлотного пояса на расстоянии $0{,}9D$ друг от друга. Нижние их концы необходимо погружать до водоупора.

4.47. Противоналедные сооружения рекомендуется строить через 2 года после постройки искусственных сооружений.

После постройки искусственных сооружений необходимы тщательные наблюдения за развитием наледных процессов на водотоках для учета влияния произведенных строительных работ на динамику развития наледей. После этого уточняются параметры наледей и рабочие чертежи противоналедных сооружений.

4.48. Данные наблюдений за развитием наледей заносятся в паспорта наледей (прилож. 4) которые, ежегодно ведутся на все водотоки, с наледями. В паспорт наледи заносятся данные о морфологической характеристике и гидрогеологическом режиме водотока, характеристике зимы, типе наледи и динамике ее развития, вредном воздействии на сооружения, применявшихся способах борьбы и их эффективности.

При опасных наледях в конце осени в логах устанавливаются мерные вешки, по которым определяется рост мощности и объема наледи и составляются продольный и поперечные профили.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Примеры определения расчетных параметров наледей

Пример 1. Необходимо определить расчетные параметры наледи ключевых вод, образующейся в долине реки, средняя ширина которой 870 м. Образование наледи начинается в конце ноября, когда средне-декадная температура воздуха понижается до минус 39,3°С. Наледь развивается до 20 мая (дата перехода температуры через 0°С). Период наледеобразования 4300 ч. Дебит источника в начале наледеобразования составляет 0,65 м³/с, а средний дебит 0,545 м³/с. Толщина снежного покрова в начале наледеобразования 30—35 см. Сумма осадков за период образования наледи 0,17 м.

По формулам (1) определяем расчетные параметры наледи:

$$\Delta H_{ср}^{(к)} = 3{,}2\cdot 10^{-5}\,\mu\, t_{воз}\,\tau\,\eta + 1{,}1\,h_{ос} = 3{,}2\cdot 10^{-5}\cdot 0{,}325\cdot 39{,}3\cdot 4300\cdot 0{,}84 +$$

$$+ 1{,}1\cdot 0{,}17 = 1{,}69 \text{ м};$$

$$\Delta H_{max}^{(к)} = 1{,}5\ \Delta H_{ср}^{(к)} = 1{,}5\cdot 1{,}69 = 2{,}54 \text{м};$$

$$\Delta H^{(к)} = 2{,}25\,\Delta H_{ср}^{(к)} = 2{,}25\cdot 1{,}69 = 3{,}8 \text{ м};$$

$$l^{(к)} = \frac{32\cdot 10^3\, Q_{max}}{\mu\, t_{воз}\, m_р} = \frac{32\cdot 10^3\cdot 0{,}65\cdot 3600}{0{,}325\cdot 39{,}3\cdot 870} = 6750 \text{ м};$$

$$F^{(к)} = l^{(к)}\, m_р = 6750\cdot 870 = 5{,}9 \text{ млн. м}^2;$$

$$V^{(к)} = 1{,}25\, Q\,\tau = 1{,}25\cdot 0{,}545\cdot 3600\cdot 4300 = 10{,}5 \text{ млн. м}^3.$$

Пример 2. Требуется определить мощность природной наледи поверхностных вод, которая образуется по схеме *Iб* табл. 1. Средняя глубина воды перед ледоставом выше наледного участка 3 м. Глубина на перекате 1,7 м. Глубина промерзания водотока $h_{пр} = h'_{пр} = 1{,}2$ м. Средняя ширина русла реки 50 м. Средневзвешенный уклон водотока 0,001. Количество выпадающих за зиму осадков 0,08 м. Среднедекадная температура воздуха в первой декаде ледостава минус 5°С.

Мощность наледи определяется по формулам (4) и (5) в такой последовательности.

1. Определяем значения коэффициента сопротивления подводного контура и параметра K_1:

$$\zeta_f = 1{,}5 - 2{,}5\left(\frac{H'_в - h'_{пр}}{H_в - h_{пр}}\right) + \left(\frac{H'_в - h'_{пр}}{H_в - h_{пр}}\right)^2 = 1{,}5 - 2{,}5\left(\frac{1{,}7 - 1{,}2}{3{,}0 - 1{,}2}\right) +$$

$$+ \left(\frac{1{,}7 - 1{,}2}{3{,}0 - 1{,}2}\right)^2 = 0{,}88\,.$$

При $H_в - h_{пр} = 3 - 1{,}2 = 1{,}8$ м и коэффициенте шероховатости $n_2 = 0{,}05$ по графикам (см. рис. 3) получаем $K_1 = 44{,}2$.

2. Определяем значения параметров A и B:

$$A = \frac{H'_в - h'_{пр}}{K_1}\sqrt{\frac{2g}{\zeta_f J}} = \frac{1{,}7 - 1{,}2}{44{,}2}\sqrt{\frac{2 \cdot 9{,}8}{0{,}88 \cdot 0{,}001}} = 1{,}5;$$

$$B = \frac{5}{K_1} = \frac{5}{44{,}2} = 0{,}118.$$

При $A = 1{,}5$ и $B = 0{,}118$ по графикам (см. рис. 2) получаем $z = 0{,}35$.

3. Определяем мощность наледи по формулам (4):

$$\Delta H^{(р)}_{ср} = 1{,}1\,(z + h_{ос}) = 1{,}1\,(0{,}35 + 0{,}08) = 0{,}475 \text{ м};$$

$$\Delta H^{(р)}_{max} = 1{,}5\,\Delta H^{(р)}_{ср} = 1{,}5 \cdot 0{,}475 = 0{,}71 \text{ м};$$

$$\Delta H^{(р)} = 2{,}25\,\Delta H^{(р)}_{ср} = 2{,}25 \cdot 0{,}475 = 1{,}07 \text{ м}.$$

Пример 3. Необходимо определить мощность грунтовой наледи, которая образуется по схеме *IIа* табл. 1 в результате постройки зимника и нарушения бытовых условий. Участок, по которому после расчистки снега и снятия растительного покрова проложен зимник, имеет глубину залегания водоупора 7 м, глубину промерзания в естественных условиях 1,8 м и под полотном зимника 2,1 м. Уровень грунтовых вод находится на глубине 0,6 м. Водоносный слой состоит из галечника ($K^{Ф} = 0{,}105$ м/с). Уклон склона равен 0,007. Количество выпадающих за зиму осадков 0,10 м.

Мощность наледи определяем по формулам (9) — (13).

1. При $\frac{h_в}{H_в} = \frac{0{,}6}{7} = 0{,}086$ (см стр. 14) $\delta' = 0{,}45$.

2. При $\frac{h_{мп} - h_{ест}}{H_в - h_{ест}} = \frac{2{,}1 - 1{,}8}{7 - 1{,}8} = 0{,}058 < 0{,}17;$

$$\delta = \sqrt{\sin\frac{3\,(h_{мп} - h_{ест})}{H_в - h_{ест}}\,180°} = \sqrt{\sin\frac{3\,(2{,}1 - 1{,}8)}{7 - 1{,}8}\,180°} = 0{,}70.$$

3. Коэффициент сопротивления грунтовой перемычки

$$\sum\zeta = 0{,}88 + \frac{3\,(h_{мп} - h_{ест})}{H_в - h_{ест}} = 0{,}88 + \frac{3\,(2{,}1 - 1{,}8)}{7{,}01 - 1{,}8} = 1{,}04;$$

4. Величины z_1 и z_2:

$$z_1 = 0{,}88\,\delta'\sqrt{J}\,(H_в - h_в) = 0{,}88 \cdot 0{,}45\sqrt{0{,}007} \cdot (7{,}0 - 0{,}6) = 0{,}21 \text{ м};$$

$$z_2 = \sum\zeta\,\delta\sqrt{J}\,(H_в - h_в) = 1{,}04 \cdot 0{,}70\sqrt{0{,}007} \cdot (7 - 0{,}6) = 0{,}39 \text{ м}.$$

5. Мощности наледей:

$$\Delta H^{(г)}_{ср} = 1{,}1\,(z_1 + z_2 + h_{ос}) = 1{,}1\,(0{,}21 + 0{,}39 + 0{,}1) = 0{,}77 \text{ м};$$

$$\Delta H^{(г)}_{max} = 1{,}5\,\Delta H^{(г)}_{ср} = 1{,}5 \cdot 0{,}77 = 1{,}15 \text{ м};$$

$$\Delta H^{(г)} = 2{,}25\,\Delta H^{(г)}_{ср} = 2{,}25 \cdot 0{,}77 = 1{,}73 \text{ м}.$$

Пример 4. Проектируется мостовой переход на участке водотока, где ввиду изменения термического режима руслового потока и наличия неглубоко залегающего подруслового потока, движущегося в замкнутом контуре по водоупору, ожидается появление речной и грунтовой наледей соответственно по схемам *Iв* и *IIа* (табл. 1). Необходимые для расчетов климатические и гидрогеологические характеристики, установленные на основании анализа данных метеорологической станции и результатов изысканий, имеют такие значения: продолжительность морозного периода 5000 ч; средняя температура воздуха за зимний период минус 20°С; количество выпадающих зимой осадков 0,1 м; снежный покров по мостом в начале зимы отсутствует; средняя глубина водотока выше мостового перехода — 0,35 м; средняя ширина лога 80 м, а подруслового талика (русла) 45 м; водоупор залегает на глубине 7 м; уровень грунтовых вод на глубине — 0,6 м; водоносный слой подруслового талика сложен галечниковым материалом, т. е. $K_\Phi = 0{,}105$ м/с; уклон участка $J = 0{,}007$.

Расчетами по методике прилож. 2 установлено, что максимальная глубина промерзания в наиболее холодную зиму в естественных условиях выше мостового перехода составляет 1,8 м, под мостом 1,91 м, у опор $h'_м = 1{,}2 \cdot 1{,}91 = 2{,}3$ м.

Трехпролетный мост ($n_{пр} = 3$, $n_{оп} = 2$) проектируем шириной в свету 44 м на четырех опорах, бутобетонные фундаменты которых имеют ширину 1 м и глубину заделки в водоносный слой 3,5 м. В пределах моста устраиваем мощеное камнем искусственное русло, в пределах которого поверхностный водоток распластывается и имеет толщину 0,15 м.

1. Определяем среднюю и наибольшую мощности речной наледи, которая будет образовываться сразу же после промерзания распластанного в пределах моста руслового потока ($h_{пр} = 0{,}15$ м).

По графику (см. рис. 3) получаем при $H_в - h_{пр} = 0{,}35 - 0{,}15 = 0{,}2$ м и $n_2 = 0{,}04$ и $K_1 = 1{,}07$; при $H_{пр} = h_{пр}$ и $\Sigma\zeta = 0{,}88$; при

$$A = \frac{0{,}105}{0{,}88 \cdot 1{,}07 \sqrt{0{,}007}} = 1{,}33 \quad \text{и} \quad B = \frac{5}{1{,}07} = 4{,}65$$

по графикам (см. рис. 2) получаем, что $z = 0{,}25$.

Тогда средняя и наибольшая мощности речной наледи составят:

$$\Delta H_{ср}^{(р)} = 1{,}1\, z = 1{,}1 \cdot 0{,}25 = 0{,}275 \text{ м}; \quad \Delta H^{(р)} = 2{,}25 \cdot 0{,}275 = 0{,}62 \text{ м}.$$

2. Определяем величину C, характеризующую положение подземного экрана сооружения:

$$C = [3\,(14{,}0 - 2)\,1{,}91 + 2 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 2{,}3 + 1 \cdot 3{,}5 \cdot 2] : 44 = 2{,}1 \text{ м}.$$

Величина С больше глубины залегания зеркала грунтовых вод и больше глубины промерзания грунта в естественных условиях, поэтому неизбежно образование грунтовой наледи при строительстве моста рассматриваемой конструкции.

3. Определяем мощность грунтовой наледи, формирующейся за счет вод подруслового талика. При $h_в : H_в = 0{,}6 : 7 = 0{,}086$ имеем $\delta^1 = 0{,}45$;

$$\frac{C - h_{ест}}{H_в - h_{ест}} = \frac{2{,}1 - 1{,}8}{7 - 1{,}8} = 0{,}058 < 0{,}17;$$

$$\delta = \sqrt{\sin \frac{3\,(2{,}1 - 1{,}8)}{7 - 1{,}8}\, 180^\circ} = 0{,}70;$$

$$\sum\zeta = 0{,}88 + 3\,(2{,}1 - 1{,}8) : (7 - 1{,}8) = 1{,}04;$$

$$z_1 = 0{,}88 \cdot 0{,}45 \sqrt{0{,}007}\,(7 - 0{,}6) = 0{,}212;$$

$$z_2 = 1{,}04 \cdot 0{,}70 \sqrt{0{,}007}\,(7 - 0{,}6) = 0{,}39 \text{ м}.$$

Мощности грунтовой наледи:

$$\Delta H_{ср}^{(г)} = 1{,}1\,(z_1 + z_2) = 1{,}1\,(0{,}212 + 0{,}39) = 0{,}66 \text{ м};$$

$$\Delta H^{(г)} = 2{,}25 \cdot 0{,}66 = 1{,}48 \text{ м}.$$

4. Определяем по формулам (19) мощности смешанной наледи как сумму мощностей речной и грунтовой наледи, а также наледи от выпадающих в зимний период осадков:

$$\Delta H_{ср}^{(с)} = 0{,}66 + 0{,}275 + 1{,}1 \cdot 0{,}1 = 1{,}045 \text{ м};$$

$$\Delta H^{(с)} = 1{,}48 + 0{,}62 + 1{,}1 \cdot 0{,}1 = 2{,}21 \text{ м}.$$

Приложение 2

Расчет глубин промерзания речного и грунтового потоков у искусственных сооружений

Толщину намерзания поверхностного или грунтового потоков за любой заданный промежуток времени зимнего периода с учетом изменяющейся во времени температуры воздуха определяют по формуле

$$\Delta h_л = 2\varepsilon \sqrt{\alpha_м \Delta \tau}. \qquad (32)$$

Здесь $\Delta h_л$ — толщина намерзания поверхностного или грунтового потока;

ε — множитель, определяемый по графикам (рис. 15) в зависимости от параметра A, который вычисляется по формуле

$$A = \frac{F_т a}{2\alpha_м (Q_т + 0{,}4\, C_м t_{воз})}; \qquad (33)$$

$\alpha_м$ — коэффициент температуропроводности льда или мерзлого грунта, м²/ч, определяемый по формуле

$$\alpha_м = \lambda_м : C_м; \qquad (34)$$

$\lambda_м$, $C_м$ — соответственно коэффициент теплопроводности и объемная теплоемкость льда или мерзлого грунта, значения которых приведены в прилож. 5;

$Q_т$ — затраты тепла на фазовые переходы, которая равна при намерзании льда 80 000 ккал/м³, а при намерзании грунта определяется по формуле

$$Q_т = 80\, \gamma_{ск}\, (\omega_с - \omega_н) : 100, \qquad (35)$$

$\gamma_{ск}$, $\omega_с$, $\omega_н$ — соответственно объемный вес скелета, суммарная влажность и процент незамерзающей воды грунта (для песчаных и гравийно-галечниковых грунтов $\omega_н = 0$);

$F_т$ — суммарный тепловой поток (в ккал/м²·ч) к границе промерзания за промежуток времени $\Delta\tau$, определяемый по формуле

$$F_т = \frac{t_{ср}}{R_0 + R_н + R_с + R_л} - (\xi + F_{тр} + F_{гр}); \qquad (36)$$

$t_{ср}$ — средняя за период промерзания температура воздуха, вычисляемая по формуле

$$t_{ср} = \frac{1}{3}\delta_1\left(\Delta\tau_2^2 + \Delta\tau_2\Delta\tau_1 + \Delta\tau_1^2\right) + 0{,}5\delta_2(\Delta\tau_2 + \Delta\tau_1); \qquad (37)$$

δ_1, δ_2 — коэффициенты, определяемые по формулам

$$\delta_1 = -\frac{4t_{воз}^{(max)}}{\tau_{пр}^2}; \quad \delta_2 = \frac{4t_{воз}^{(max)}}{\tau_{пр}}; \qquad (38)$$

$t_{воз}$ — средняя за зимний период температура воздуха (без учета знака минус);

$t_{воз}^{(max)}$ — средняя за наиболее холодный месяц зимнего периода температура воздуха (без учета знака);

$\tau_{пр}$ — продолжительность зимнего периода, ч;

a — морфологическая или конструктивная характеристика (в м), которая определяется по формулам:

а) при промерзании водотоков в естественных условиях

$$a = \left(B_р^2 + 4H_р^2\right) : (8H_р); \qquad (39)$$

б) при промерзании подрусловых потоков под круглыми трубами

$$a = r_{трб}; \qquad (40)$$

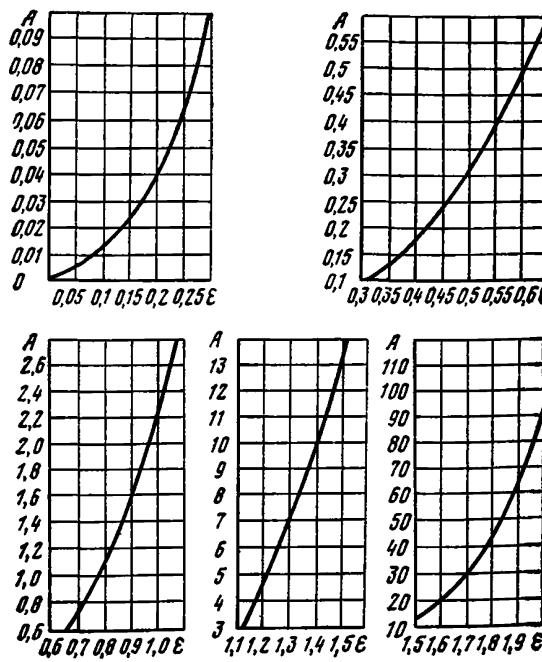


Рис. 15. Графики для определения множителя ε.

в) *при промерзании водотоков под мостами и прямоугольными трубами*

$$a = 2f : \chi, \tag{41}$$

$B_р$, $H_р$ — соответственно ширина и глубина русла, м;

$r_{трб}$ — радиус трубы, м;

f, χ — соответственно площадь и периметр сечения мостового перехода или прямоугольной трубы в свету;

R_0 — термическое сопротивление теплоотдаче с поверхности $r = a$, определяемое по формуле

$$R_0 = a : (\lambda_м \psi); \tag{42}$$

Ψ — коэффициент, определяемый по графикам (рис. 16) в зависимости от величины z, которая вычисляется по формулам:

а) при неустановившейся температуре (первый год эксплуатации)

$$z = \alpha_м \Delta t : a^2; \tag{43}$$

б) при установившейся температуре

$$z = \alpha_м \tau_{пр} : a^2; \tag{44}$$

$R_и$ — термическое сопротивление фундамента искусственного сооружения, определяемое по формуле

$$R_и = h_ф : \lambda_ф; \tag{45}$$

$h_ф$, $\lambda_ф$ — соответственно высота и коэффициент теплопроводности фундамента;

$R_с$ — термическое сопротивление снежного покрова, определяемое по формуле

$$R_с = h_{сн} : \lambda_{сн}; \tag{46}$$

$h_{сн}$, $\lambda_{сн}$ — соответственно толщина и коэффициент теплопроводности снежного покрова;

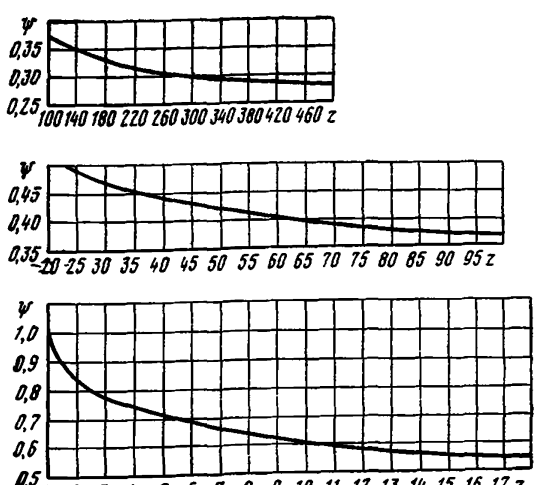


Рис. 16. Графики для определения коэффициента Ψ.

$R_л$ — термическое сопротивление слоя льда или мерзлого грунта, образовавшегося на дату $\Delta\tau_1$, определяемое по формуле

$$R_л = h_л : \lambda_л ; \qquad (47)$$

$h_л$, $\lambda_л$ — соответственно толщина и коэффициент теплопроводности слоя льда или мерзлого грунта;

ζ — интенсивность суммарной солнечной радиации под ледяным покровом, которая зависит от толщины ледяного покрова и интенсивности радиации. Для большинства районов величина ζ мала, и в практических расчетах ее можно не учитывать.

В результате гидравлических сопротивлений часть механической энергии потока трансформируется в тепловую. Это количество тепла определяется по формуле

$$F_{тр} = 2 \cdot 10^5 J \sqrt{J}\, h_в \sqrt[3]{h_в^2}\,, \qquad (48)$$

где $F_{тр}$ — количество трансформирующейся теплоты;

J — уклон поверхности потока;

$h_в$ — глубина водотока.

В водный поток поступает тепло из грунта ложа реки $F_{гр}$, которое принимают для районов глубокого сезонного промерзания равным 2—4 ккал/(м²·ч·град) и для районов вечной мерзлоты равным нулю.

По изложенной методике последовательно, начиная с даты перехода до температуры через 0°С, производят расчет промерзания системы поверхностный водоток — подрусловый поток в пределах искусственного сооружения и на прилегающих к нему участках. Затем строят графики хода промерзания, которые используют для оценки вероятности появления наледи и ее размеров у искусственного сооружения. Мощность наледи определяют по формулам разд. 3.

Пример. Требуется рассчитать ход промерзания и дать прогноз вероятности появления наледи на водотоке после строительства моста отверстием 4×2 м. Глубина водотока 0,5 м. Уклон водной поверхности — 0,003. Ложе водотока сложено крупнозернистым песком с примесью гальки ($w_c = 35\%$, $\gamma_{ск} = 1300$ кг/м³. Коэффициент фильтрации — 0,05 м/с. На глубине 4 м залегают глинистые грунты, служащие водоупором.

Мост проектируем в районе вечной мерзлоты. Средняя температура воздуха за январь равна минус 32°С, а за зимний период — минус 21,3°С. Продолжительность зимнего периода $\tau_{пр} = 6{,}5$ мес $= 4700$ ч. Толщина снежного покрова под мостом равна нулю, в естественных условиях (по месяцам): X—1 см, XI—4, XII—10, I—22, II—24, III—27, IV—6 см. Проектом организации строительства предусматриваем сохранение естественных условий с верховой стороны моста, где русло имеет размеры: $B_р = 6$ м и $H_р = 1{,}5$ м.

Определим динамику промерзания поверхностного водотока и подрусловой потока под мостом и с его верховой стороны в первый год эксплуатации.

1. Производим расчет намерзания ледяного покрова поверхностного водотока между опорами моста, приняв $\Delta\tau_1 = 0$, $\Delta\tau_2 = 360$ ч; $R_с = 0$ и $R_в = 0$.

Морфологическая или конструктивная характеристика по формуле (39)

$$a = (4^2 + 4 \cdot 2^2) : (8 \cdot 2) = 2 \text{ м}.$$

Коэффициенты температуропроводности и теплопроводности льда:

$$a_м = 0{,}004 \text{ м}^2/\text{ч}; \quad \lambda_м = 2 \text{ ккал/(м·ч·град)}.$$

По формуле (43) определяем величину

$$z = 0{,}004 \cdot 360 : 0{,}36.$$

По графикам (см. рис. 16) получаем $\Psi = 1{,}413$. Тогда по формуле (42) термическое сопротивление теплоотдаче с поверхности

$$R_в = 2 : (2 \cdot 1{,}413) = 0{,}71.$$

Коэффициенты δ_1 и δ_2 по формулам (38):

$$\delta_1 = -\frac{4 \cdot 32}{4700^2} = -55 \cdot 10^{-7}; \quad \delta_2 = \frac{4 \cdot 32}{4700} = 0{,}027,$$

Средняя за период промерзания температура воздуха по формуле (37)

$$t_{ср} = -\frac{1}{3} \cdot 55 \cdot 10^{-7} (360^2 + 0 + 0) + \frac{1}{2} 0{,}027 \cdot 360 = 4{,}8°C.$$

Трансформирующийся тепловой поток по формуле (48)

$$F_{тр} = 2 \cdot 10^5 \cdot 0{,}003 \sqrt{0{,}003} \cdot 0{,}5 \cdot \sqrt[3]{0{,}25} = 10{,}4 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}.$$

Суммарный тепловой поток к границе промерзания по формуле (36)

$$F_т = 4{,}8 : 0{,}71 - 10{,}4 = 6{,}8 - 10{,}4 = -3{,}6 \text{ ккал/(м}^2 \cdot \text{ч)}.$$

Количество трансформирующейся теплоты больше количества поступающего холода, поэтому поверхностный водоток через 360 ч не замерзает.

Примем $\Delta\tau_2 = 720$ ч. Тогда $z = 0{,}72$; $\Psi = 1{,}12$; $R_0 = 0{,}895$; $F_{тр} = 10{,}4$; $t_{ср} = -0{,}95 + 9{,}72 = 8{,}77$; $F_т = 8{,}77 : 0{,}895 - 10{,}4 = -0{,}6$.

При $\Delta\tau_2 = 720$ ч величина $F_т$ близка к нулю, следовательно через 720—750 ч наступит период ледостава. При $\Delta\tau_1 = 750$ ч (начало ледостава) и $\Delta\tau_2 = 1500$ ч будем иметь:

$$z = 0{,}004 \cdot 1500 : 4 = 1{,}5 \text{ и } \psi = 0{,}88;$$

$$R_0 = 2(2 \cdot 0{,}88) = 1{,}14; \quad F_т = 10{,}4;$$

$$t_{ср} = -0{,}333 \cdot 55 \cdot 10^{-7} (1500^2 + 1500 \cdot 750 + 750^2) + 0{,}5 \cdot 0{,}027 (1500 + 750) = 23°C;$$

$$F_т = 23 : 1{,}14 - 10{,}4 = 9{,}8.$$

По формуле (33) параметр

$$A = \frac{9{,}8 \cdot 2}{2 \cdot 0{,}004 \cdot 80\,000} = 0{,}0306.$$

По графикам (см. рис. 15) множитель $\varepsilon = 0{,}176$.

По формуле (32) определяем толщину намерзания льда:

$$\Delta h_л = 2 \cdot 0{,}176 \sqrt{0{,}004 (1500 - 750)} = 0{,}61 \text{ м}.$$

Произведенный расчет показывает, что через 750 ч после начала ледостава или через 1500 ч после перехода температуры через 0°С может намерзнуть слой льда толщиной 0,61 м. В нашем случае глубина реки 0,5 м. Методом интерполяции устанавливаем, что для промерзания водотока глубиной 0,5 м потребуется 600 ч. Затем начнется промерзание подруслового фильтрационного потока.

2. Производим расчет промерзания подруслового потока.

При $W_с = 35\%$ и $\gamma_{ск} = 1300$ кг/м³ теплофизические характеристики грунта ложа реки:

$$\lambda_м = 2{,}3 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град)};$$

$$C_м = 475 \text{ккал/(м}^3 \cdot \text{град)} \text{ и } a_м = 0{,}00485 \text{ м}^2/\text{ч}.$$

Ввиду малых скоростей фильтрации ($v = 0{,}05$ м/с) можно принять:

$$F_{тр} = 0; \quad Q_т = 80 \cdot 1300 \cdot 0{,}35 = 36\,400 \text{ ккал/м}^3;$$

$$Q_т + 0{,}5\, C_м t_{воз} = 36\,400 + 0{,}5 \cdot 475 \cdot 21{,}3 = 40\,460 \text{ ккал/м}^3.$$

При $\Delta\tau_1 = 1350$ ч и $\Delta\tau_2 = 4700$ ч имеем $\Delta\tau = 3350$ ч.
По формуле (43) определяем z:

$$z = 0{,}00485 \cdot 4700 : 2^2 = 5{,}7$$

и по графикам (см. рис. 16) получаем $\psi = 0{,}7$.

По формуле (42)

$$R_0 = 2 : (2{,}3 \cdot 0{,}7) = 1{,}24;$$

$$t_{ср} = -0{,}333 \cdot 55 \cdot 10^{-7} (4700^2 + 4700 \cdot 1350 + 1350^2) + 0{,}5 \cdot 0{,}027 (4700 + 1350) =$$

$$= -55 + 82 = 27°C.$$

Суммарный тепловой поток по формуле (36)

$$F_т = \frac{27}{1{,}24 + 0{,}5 : 0{,}5} = 18{,}1 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}.$$

Параметр $A = \dfrac{18.1 \cdot 2}{2 \cdot 0{,}00485 \cdot 40\,460} = 0{,}093.$

По графикам (см. рис. 16) получаем $\varepsilon = 0{,}305$.
Тогда толщина промерзания подруслового потока

$$\Delta h_л = 2 \cdot 0{,}305 \sqrt{0{,}00485 \cdot 3350} = 2{,}45 \text{ м}.$$

Общая глубина промерзания системы поверхностный водоток — подрусловой поток

$$h = 0{,}5 + 2{,}45 = 2{,}95 \text{ м}.$$

На основании выполненных расчетов построим график хода промерзания поверхностного и подруслового потоков на участке между опорами моста (рис. 17, кривая *1*). Аналогичным образом, но с учетом снежного покрова и при $a = 3{,}75$ выполнены расчеты и построен график промерзания водотока за пределами мостового перехода (рис. 17, кривая *2*).

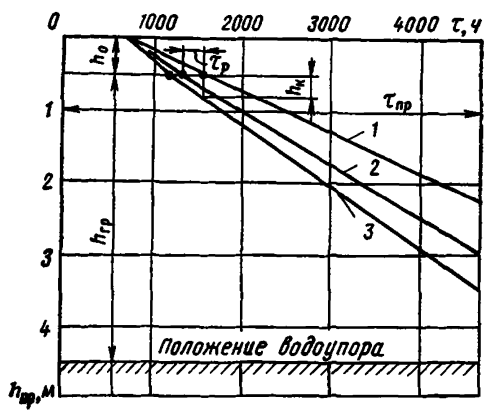


Рис. 17. Ход промерзания поверхностного и подруслового потоков:

1 — под мостом между береговыми опорами; *2* — с верховой стороны мостового перехода по оси водотока; *3* — под мостом вблизи опор

Согласно исследованиям СибЦНИИСа глубина сезонного промерзания грунта в непосредственной близости от фундаментов опор моста независимо от их конструкции примерно в 1,2 раза больше глубины сезонного промерзания в пролете. С учетом этих данных построим график хода промерзания водотока под мостом вблизи от береговых опор (рис. 17, кривая *3*). Кривые *1—3* показывают, что под мостом водоток промерзает быстрее, чем с верховой стороны моста, и к концу зимнего периода граница промерзания достигает водоупора. Это создает необходимые условия для возникновения и развития наледного процесса.

В рассмотренном примере наледный процесс начнет развиваться примерно через 1350 ч после перехода температуры через 0°С и будет происходить сначала за счет вод поверхностного водотока (в течение 250 ч), затем за счет подруслового потока. Используя полученные данные по динамике промерзания, определяем параметры смешанной наледи по формулам раздела 3 и намечаем необходимые противоналедные мероприятия.

При массовых расчетах целесообразно использовать ЭВМ.

Приложение 3

Пример расчета безналедного пропуска водотока с применением закрытого утепленного лотка

Данные для расчета. Для безналедного пропуска водотока в отверстие моста проектируем закрытый утепленный железобетонный лоток длиной 100 м. При инженерно-гидрогеологических обследованиях установлено: $Q = 0{,}01$ м³/с; $J = 0{,}005$; $t_в = 0{,}5$°С. Средняя температура воздуха за наиболее холодный месяц (январь) равна $t_{воз} = -24{,}6$°С. Продолжительность морозного периода 4320 ч. Средняя температура воздуха за весь морозный период — 17,3°С. Температура грунта русла в январе на глубине заложения лотка составляет 0°С.

Из конструктивных соображений принимаем: ширину лотка 0,5 м, глубину заложения лотка 1 м, толщину стенок 0,12 м. Для бетона лотка $\lambda_{ст} = 1{,}7$ ккал/(м·ч·град) и $\alpha = 0{,}0033$ м²/ч.

Гидравлическим расчетом установлено, что для принятой конструкции лотка высота слоя воды равна 0,05 м и смоченный периметр — 0,6 м.

Последовательность расчета. Определяем коэффициенты теплопередачи $K_г$, термическое сопротивление R и теплопотери $Ф$ для закрытого лотка:

$$R = 1 : \alpha_1 = 1 : 50 = 0{,}02;$$

$$\frac{1}{K_г} = \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_4} = \frac{1}{5} + \frac{0{,}12}{1{,}7} + \frac{1}{4},$$

$$\text{откуда } K_г = 1{,}92; \quad Ф = K_г b_1 t_г = 1{,}92 \cdot 0{,}6 \cdot 0 = 0.$$

Определяем параметры K и M:

$$K = \frac{(b : R + K_г b_1) X}{36 \cdot 10^5 Q} = \frac{(0{,}5 : 0{,}02 + 1{,}92 \cdot 0{,}6)\, 100}{36 \cdot 10^5 \cdot 0{,}01} = 0{,}073;$$

$$t = M + e^{-K}(t_в - M);$$

$$O = M + e^{-0{,}073}(0{,}5 - M), \text{ откуда } M = -6{,}15,$$

Определяем температуру воздушной прослойки между перекрытием и водой

$$M = \frac{8430\, Q\, J + (b : R)\, t_{воз} + Ф}{b : R + K_г b_1};$$

$$-6{,}15 = \frac{8430 \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}005 + 0{,}5 : 0{,}02 t_{воз} + 0}{0{,}5 : 0{,}02 + 1{,}92 \cdot 0{,}6},$$

$$\text{откуда } t_{пр} = -6{,}5° \text{ С}.$$

Определяем толщину теплоизоляции перекрытия. Крышку лотка делаем из двух слоев досок толщиной по 4 см с прокладкой между ними слоя пенопласта.

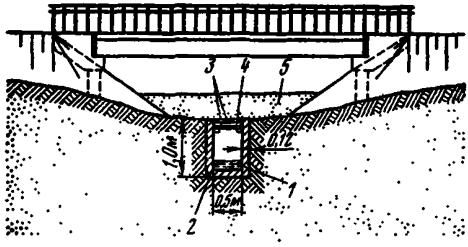


Рис. 18. Применение закрытого лотка для безналедного пропуска водотока:
1 — вода; *2* — железобетонный лоток; *3* — доски толщиной 4 см; *4* — пенопласт; *5* — снег

Приняты: для сырой древесины плотность 350 кг/м³, коэффициент теплопроводности 0,40 ккал/м·ч·град, удельная теплоемкость 0,57 ккал/кг·град. Для пенопласта коэффициент теплопроводности 0,05 ккал/м·ч·град. Объемная теплоемкость и коэффициент температуропроводности древесины:

$$C_{об} = C_у \gamma = 0{,}57 \cdot 350 = 200 \text{ ккал/(м}^3\text{·град)};$$

$$a = \lambda : C_{об} = 0{,}40 : 200 = 0{,}002 \text{ м}^2\text{/ч}.$$

Определяем коэффициент для пользования графиком (см. рис. 12):

$$a\tau = 0{,}0020 \cdot 4320 = 0{,}86;$$

$$m = t_{пр} : t_{воз} = 6{,}5 : 24{,}6 = 0{,}265.$$

По графику (см. рис. 12) определяем, что общая толщина теплоизоляции из древесины будет составлять 0,68 м. Но крышку лотка делаем из двух слоев досок по 4 см, а между ними укладываем прокладку из пенопласта. Необходимая толщина прокладки

$$H_{пен} = H_{др} \frac{\lambda_{пен}}{\lambda_{др}} = (0{,}68 - 0{,}08) \frac{0{,}05}{0{,}40} = 0{,}075 \text{ м}.$$

Принимаем толщину прокладки пенопласта равной 8 см.

Кроме крышки, лоток утепляем снегом. Для этого осенью с наветренной стороны по водотоку устанавливаем щиты, а для утепления русла под мостом снег привозим самосвалами, сгружаем с моста и перекидываем под мост вручную.

Запроектированная для безналедного пропуска водотока конструкция лотка в отверстии моста показана на рис. 18.

Приложение 4

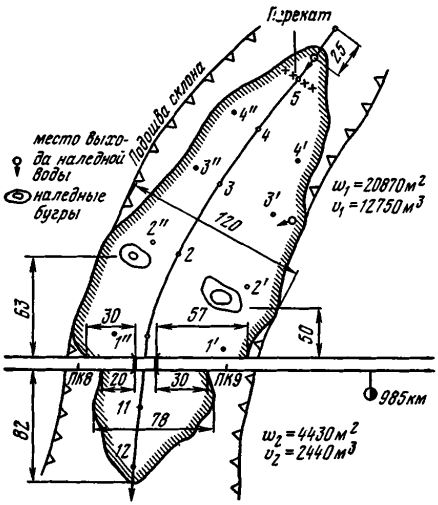
Паспорт наледи № . . . (форма)

У моста отверстием 3×6 м на км. 985 ПК 8+59 м или у земляполотна на км . . . . . от ПК . . . . . + до ПК . . . . . + автомобильной дороги

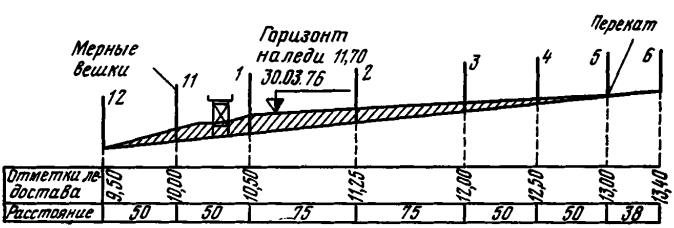
Характеристика наледи и условия ее образования	Данные зимы 1975/76 г.
1. Где образуется наледь	В русле реки
2. Тип наледи	Смешанных вод
3. Источник питания	Речные и подрусловые воды

Характеристика наледи и условия ее образования	Данные зимы 1975/76 г.
4. Место выхода наледной воды	В русле, 283 м выше моста
5. Характеристика грунтов русла	Галька, гравий с песком и валунами
6. Рельеф и растительность берегов	Правый — обрывистый без растительности. Левый — пологий, покрыт мхом и редким кустарником
7. Характеристика склонов долины	Правый — крутой, сухой. Левый — пологий, заболочен
8. Глубина залегания водоупора выше стесненного участка и на стесненном	От поверхности льда выше переката — 1,6 м, на перекате — 0,4 м
9. Средняя глубина воды в реке выше стесненного участка и на стесненном	В начале ледостава выше переката — 0,55 м, на перекате — 0,18 м
10. Характеристика стесненного участка	Скальный выступ, покрытый камнем
11. Длина стесненного участка	Вдоль реки 10 м
12. Глубина зеркала грунтовых вод в начале промерзания	На пойме от поверхности грунта — 0,65 м
13. Глубина промерзания выше стесненного участка и на стесненном	От поверхности льда выше переката — 1,2 м, на перекате — 2,6 м
14. Уклон водотока или лога	0,010
15. Расход в осенне-зимний период	11/X — 1,88 м³/с, 30/XI — 0,092 м³/с
16. Температура наледной воды	У источника +0,5° С
17. Среднемесячные температуры воздуха	XI — 28°; XII — 45°; I — 48°; II — 42°
18. Дата образования и толщина снежного покрова	Первый снег — 20/IX — 20 см; 1/I — 50 см; 30/III — 80 см
19. Характеристика ветров	Редкие, слабые
20. Утепление русла под мостом или в трубе	Не утеплялось. Под мостом снега не было
21. Начало образования наледи	12 ноября
22. Конец действия наледи	10 марта
23. Толщина наледного льда в конце зимы	Максимальная — 1,6 м, средняя — 0,8 м, у моста — 1,2 м
24. Просвет под мостом	От низа балок до льда 0,9 м
25. Площадь наледи	Выше моста — 20 840 м², ниже — 4430 м²
26. Диаметр и высота наледных бугров	Диаметр до 20 м, высота до 1,3 м
27. Наледь образуется	Ежегодно
28. Причина образования наледи	Промерзание русла на перекате
29. Вредное влияние наледи	Закупоривает отверстие. В малоснежные зимы под мостом остается просвет 0,5 м

План наледи

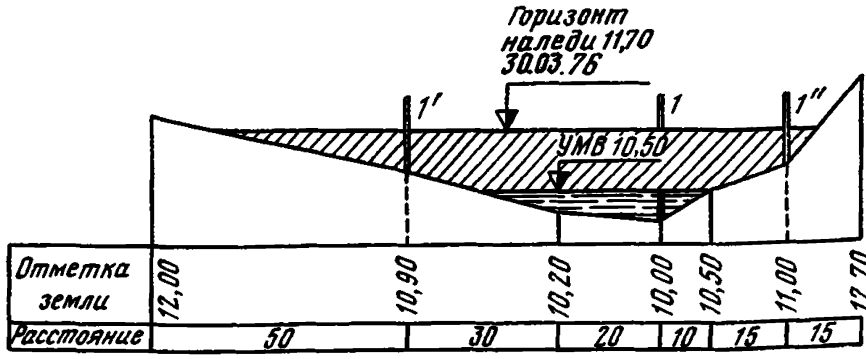


Продольный профиль наледи по оси водотока



Масштаб: горизонтальный - 1:2500; вертикальный - 1:250

Поперечный профиль наледи по I-I



Масштаб: горизонтальный – 1:1000; вертикальный – 1:100
Поперечники делаются для нескольких створов

Динамика развития наледи (форма)

Даты и время выхода на поверхность наледной воды		Температура воздуха, °С	Длина растекания, м
начало	конец		
12/XI; 7 ч	13/XI; 16 ч	—41°	110
22/XI; 12 ч	25/XI; 15 ч	—44°	240
8/XII; 6 ч	12/XII; 18 ч	—51°	270
28/I 4 ч	26/I; 14 ч	—52°	320
10/III 9 ч	14/III 13 ч	—32°	364
...	...	...	...

Замеры мощности наледи (форма)

№ вешек	Отсчет на уровне ледостава или земли	Даты замеров и отсчеты по рейкам			
		1/XII	3/I	...	...
1					
1′					
1″					
2					
2′					
2″					
3					
3′					
3″					
4					
4′					
4″					

Применяемые способы борьбы (форма)

Дата	Что сделано по борьбе с наледью	Эффективность	Затраты		
			наименование	измеритель	количество
С 8/I по 20/II	Устройство канав во льду и отвод наледной воды под мост	Отвод воды уменьшает закупорку отверстия, но этот способ неэффективен. Целесообразно наледь задержать выше моста	Рабочие	Чел.-дни	64
			Автомобили	Маш.-ч	128

Наблюдения проводил и паспорт составил дорожный мастер

Подпись . . . . .

Дата . . . . . .

Приложение 5

Теплофизические характеристики грунтов и материалов

1. Расчетные значения теплофизических характеристик песчаных и глинистых грунтов определяют по формулам:

$$\lambda_{т(м)} = K(\gamma_{ск} + 0{,}1\,W_с - 1{,}1) - 0{,}1\,W_с; \tag{49}$$

$$\left.\begin{aligned} C_т &= 10^3\,\gamma_{ск}\left(C_{ск} + \frac{W_с}{100}\,C_в\right); \\ C_м &= 10^3\,\gamma_{ск}\left(C_{ск} + \frac{W_с - W_н}{100}\,C_л + \frac{W_н}{100}\,C_в\right) \end{aligned}\right\} \tag{50}$$

$$a_{т(м)} = \lambda_{т(м)} : C_{т(м)}, \tag{51}$$

где $\lambda_т$, $\lambda_м$ — коэффициенты теплопроводности грунта соответственно в талом и мерзлом состояниях, ккал/(м·ч·град);

$\gamma_{ск}$ — плотность скелета грунта; г/см³;

$W_с$ — суммарная влажность грунта, %;

$C_{ск}$ — удельная теплоемкость скелета грунта, которую следует принимать для: песка — 0,19; супеси — 0,18; суглинка — 0,20; глины — 0,22; гумуса — 0,44; торфа — 0,47; древесины — 0,40;

$C_т$, $C_м$ — объемная теплоемкость грунта соответственно в талом и мерзлом состоянии, ккал/(м³·град);

$C_л$, $C_в$ — удельные теплоемкости соответственно льда и воды, равные $C_л = 0{,}5$ и $C_в = 1$ ккал/(кг·град);

K — коэффициент, значения которого принимают для: песков 1,5—1,7; супесей — 1,4—1,5; суглинков и глин 1,3—1,4 (первая цифра для талых грунтов, вторая для мерзлых);

$W_н$ — количество незамерзающей воды в грунте, которое для песчаных и гравийно-галечниковых грунтов принимают равным нулю;

$a_т$, $a_м$ — коэффициенты температуропроводности грунта соответственно в талом и мерзлом состояниях, м²/ч.

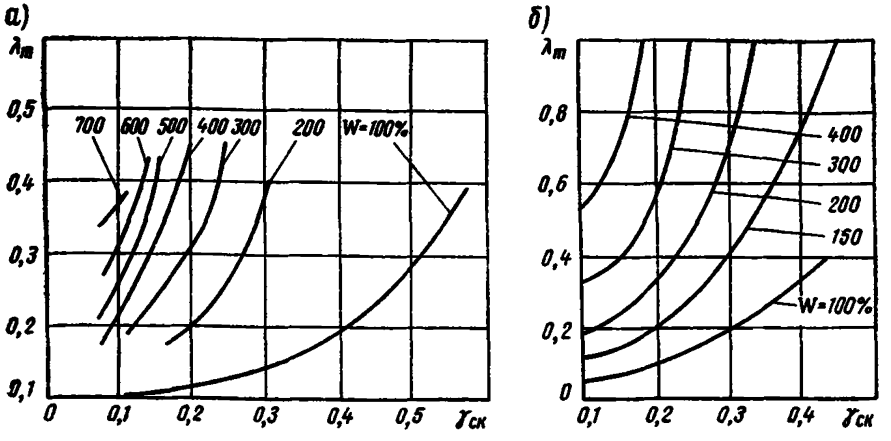


Рис. 19. График для определения коэффициента теплопроводности торфа:
а — в талом состоянии; *б* — в мерзлом состоянии

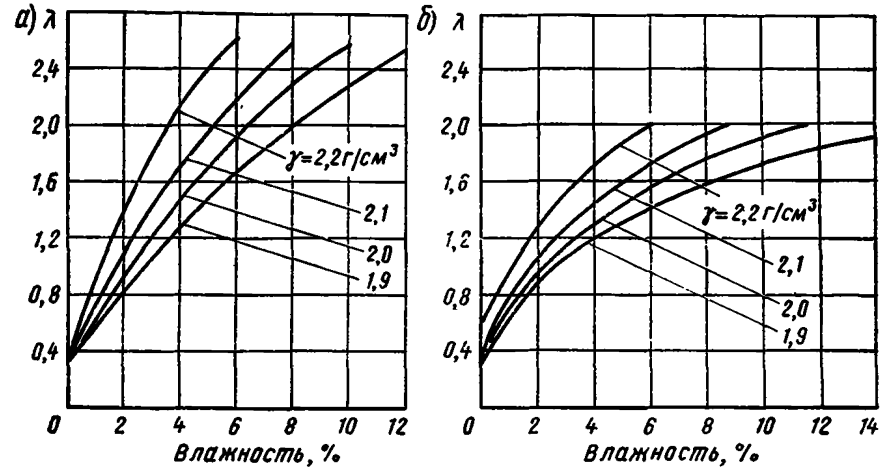


Рис. 20. Графики для определения коэффициентов теплопроводности гравийно-песчаных смесей:
а — в мерзлом состоянии; *б* — в талом состоянии

2. Коэффициенты теплопроводности торфа определяют по графикам (рис. 19). Объемную теплоемкость и коэффициенты температуропроводности торфа рассчитывают по формулам (50) и (51).

3. Коэффициенты теплопроводности и объемную теплоемкость гравийно-песчаных смесей с влажностью до 12—14% определяют по графикам (рис. 20, 21) в зависимости от плотности грунта и влажности. Коэффициенты температуропроводности определяют по формуле (51).

4. Коэффициенты теплопроводности песчаных, гравийно-песчаных и галечниковых речных отложений в мерзлом состоянии определяют по табл. 4. Объемную теплоемкость и коэффициенты температуропроводности речных отложений рассчитывают по формулам (50 и 51), принимая $C_{ск} = 0{,}17$ ккал/(кг·град).

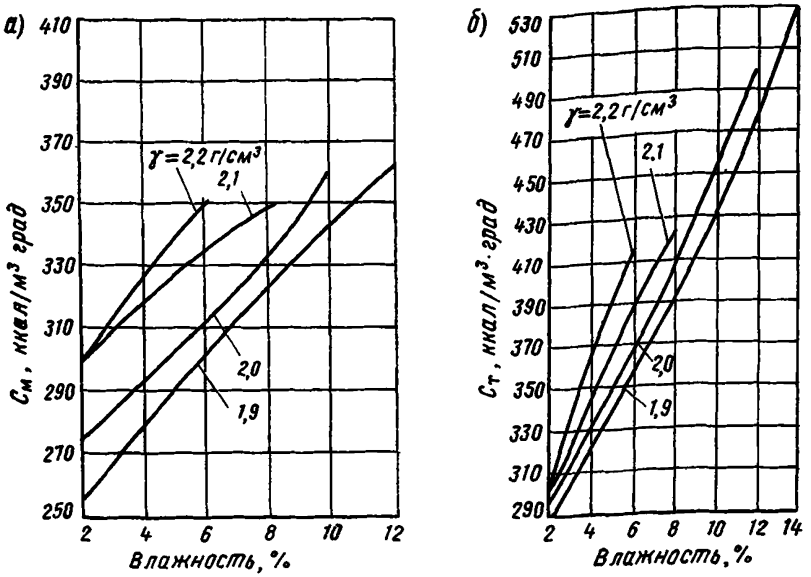


Рис. 21 Графики для определения объемной теплоемкости гравийно-песчаных смесей:

а — в мерзлом состоянии; *б* — в талом состоянии

5. Расчетные значения теплофизических характеристик материалов, применяемых для возведения фундаментов искусственных сооружений, принимают по табл. 5, а коэффициент температуропроводности определяют по формуле (51).

6. Коэффициенты теплопроводности местных теплоизоляционных материалов принимают по табл. 6, а объемную теплоемкость и коэффициенты температуропроводности по формулам (50) и (51).

Для льда коэффициент теплопроводности равен 1,85 ккал/(м·ч·град) и объемную теплоемкость — 450 ккал/(м³·град).

Таблица 4

Коэффициенты теплопроводности речных отложений

Грунты	Плотность скелета, кг/м³	Влажность, %		λ, ккал/(м·ч·град)
		по объему	по массе	
Песок речной	1520	10—15	7—10	1,95
» »	1520	22	15	2,10
» »	1520	31	20	2,25
» »	1520	40	28	2,40
» »	1585	27	14	2,40
» с гравием	2050	14	7	1,82
» »	2050	20	10	2,15
» »	2100	—	30	2,50
Галька с песком	2040	16	10	2,90
Галька с глиной	2040	16	10	3,00

Таблица 5

Теплофизические характеристики материалов фундаментов искусственных сооружений

Материалы	Плотность, кг/м³	Влажность по массе, %	Коэффициент теплопроводности, ккал/(м ч·град)		Объемная теплоемкость, ккал/(м³·град)	
			талого	мерзлого	талого	мерзлого
Железобетон	2500	2—5	2,0	2,2	500	490
Цементобетон	2200	3—6	1,7—1,8	1,9—2,0	530	500
Щебень	2000	10	2,3	2,9	510	500
»	2000	2—4	1,6—1,7	1,7—1,9	400	380
Крупный гравий	2000	3—5	1,2	1,4	550	520
То же	2000	7—10	1,7	2,1	570	530

Таблица 6

Коэффициенты теплопроводности теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционные материалы	Плотность, кг/м³	Влажность, по массе, %	Коэффициент теплопроводности ккал/(м·ч·град)	
			талого	мерзлого
Торф нарушенной структуры, уплотненный	1000	250—350	0,45	0,6—0,8
Древесные опилки	250—350	до 20	0,08—0,1	0,1—0,15
Шлак котельный до 25 мм	970	12—35	—	0,55—1,05
» доменный » 38 »	1400	5—28	—	0,37—1,0
Отходы влажной древесины (щепка, ветки, сучья) в уплотненном состоянии	300—400	40—50	0,2—0,25	0,3—0,4
Древесина свежей рубки	800—850	50	0,3	0,4
Пенопласт	40	—	0,05	0,05

Таблица 7

Средняя плотность снежного покрова, т/м³

Местность	Периоды		
	октябрь—декабрь	январь—март	апрель—май
Открытая	0,18	0,23	0,31
Покрытая лесом и кустарником	0,14	0,19	0,27

7. Коэффициент теплопроводности снежного покрова определяют расчетом по формуле Б. В. Проскурякова

$$\lambda_{сн} = 0{,}018 + 0{,}87\,\rho, \qquad (52)$$

где ρ — средняя за рассматриваемый период плотность снежного покрова, определяемая по данным метеостанций (или ориентировочно по табл. 7), т/м³.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие положения 3
Классификация наледей 3
Вредные воздействия наледей на искусственные сооружения . . 8

2. Особенности изысканий и инженерно-геологических обследований переходов через водотоки с наледями 8

3. Определение расчетных параметров наледей 9
Наледи подземных вод 9
Наледи поверхностных вод 11
Наледи грунтовых вод 14

4. Проектирование искусственных сооружений на водотоках с наледями 16
Принципы проектирования и типы сооружений 16
Свободный пропуск наледей через зону искусственного сооружения 20
Безналедный пропуск водотоков 20
Задержание наледей выше искусственных сооружений . . . 30

Приложения: 42
1. Примеры определения расчетных параметров наледей . . .
2. Расчет глубин промерзания речного и грунтового потоков у искусственных сооружений 45
3. Пример расчета безналедного пропуска водотока с применением закрытого утепленного лотка 51
4. Паспорт наледи № . . . (форма) 52
5. Теплофизические характеристики грунтов и материалов . . . 56

ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. Зак. № 74 Тираж 1

МИНАВТОДОР РСФСР

Руководство по проектированию искусственных сооружений автомобильных дорог на водотоках с наледями

Ответственный за выпуск *В. А. Дементьев*
Редактор *Е. С. Голубкова*
Технический редактор *Л. Е. Шмелева*
Корректор *Л. Б. Кулакова*

Сдано в набор 18 04 78. Подписано в печать 15.11.78. Т-20830. Формат бумаги 60×90¹/₁₆. тип. № 2. гарн. литературная. Печ. высокая. Печ. л. 4. Уч.-изд. л. 4,93. Тираж 3000 экз. Заказ № 446. Цена 25 коп. Изд. № 3х/м-3-1/15 № 9924
Издательство «Транспорт», 107174, Москва, Басманный туп.. 6а

Московская типография № 19 Союзполиграфпрома
Государственного комитета СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
г. Москва, Б-78, Каланчевский туп., д. 3/5

gost.e-ecolog.ru