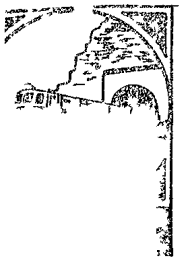
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА



ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ
ТРАНСПОРТНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ИЗЫСКАНИЯМ, ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ МАЛЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДОТОКАХ С ПРОЦЕССАМИ НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЯ

ОТДЕЛЕНИЕ
КООРДИНАЦИИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
РАБОТ

МОСКВА · 1968

gost.e-ecolog.ru

С С С Р
МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства
(ЦНИИС)

Р Е К О М Е Н Д А Ц И И

ПО ИЗЫСКАНИЯМ, ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ МАЛЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДОТОКАХ С ПРОЦЕССАМИ НАЛЕДЕОБРАЗОВАНИЯ

Москва 1968 г.

П Р Е Д И С Л О В И Е

При проектировании и строительстве малых искусственных сооружений на пересечениях дорог с водотоками, на которых в бытовых условиях или после сооружения дороги образуются наледи, необходимо учитывать специфические особенности местных условий и предусматривать мероприятия для обеспечения нормальной работы водопропускных отверстий, а также достаточной прочности, устойчивости и долговечности конструкций.

С целью создания соответствующего пособия для изыскателей, проектировщиков и строителей, позволяющего осуществить учет специфических особенностей водотоков с процессами наледеобразования, планами научно-исследовательских работ Минтрансстроя, начиная с 1963 г., предусматривалось проведение необходимых исследований и разработка "Рекомендаций по изысканиям, проектированию и строительству малых искусственных сооружений на водотоках с процессами наледеобразования (с примерами проектирования)".

В разработанных Рекомендациях дано краткое описание причин возникновения наледей у искусственных сооружений (раздел П), основных видов деформаций сооружений и причин, вызывающих эти деформации (раздел Ш), а также приведены: дополнительные требования к изысканиям сооружений на водотоках с наледями (раздел IУ), указания по проектированию (раздел У) и строительству (раздел УI) малых искусственных сооружений в комплексе с противоналедными устройствами. В приложении 1 рассмотрены (с примерами проектирования) три способа предотвращения вредного влияния наледей на конструкцию и на условия эксплуатации малых мостов и труб: 1) безналедный пропуск водотока, 2) задержание наледи, 3) свободный пропуск наледи. Для этих трех способов указаны местные условия, при которых целесообразно их применение. В приложении 2 указаны примерные области применения малых мостов, труб и противоналедных средств в зависимости от местных наледных условий.

Рекомендации разработаны лабораторией мостовых конструкций при кафедре "Мосты и тоннели" Новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта на основе изучения и обобщения опыта строительства и эксплуатации малых искусственных сооружений (обследовано 205 сооружений с наледеобразованием на участках железных дорог общей протяженностью 1200 км), а также на ос-

нове данных, полученных в результате проведенных на железнодорожной линии Тайшет-Лена специальных наблюдений за промерзанием грунтов у искусственных сооружений и за температурным режимом водотоков в зимнее время.

В обследовании малых искусственных сооружений и в проведении экспериментальных работ, выполненных лабораторией НИИЖТа, принимали участие: канд.техн.наук МЕРКУЛОВ Д.М. (руководитель исследования), инженеры - НИКЕВЯСОВ В.В. (в составлении промежуточных отчетов об исследовании), КОРОТИН В.Н., КОРКАКИН Г.С., КУЗЬМИНЫХ А.И. и техник КУПРИН В.З.

Настоящий текст Рекомендаций подготовлен канд.техн. наук Д.М. МЕРКУЛОВЫМ (НИИЖТ) с учетом замечаний и при непосредственном участии руководителя лаборатории (ЦНИИС) канд.техн.наук М.Е.ПИСИЦИНА. В подготовке Рекомендаций к изданию участвовала ст.техник Н.И.СИМАКОВА.

В связи с тем, что Рекомендации базируются на данных, относящихся к объектам, построенным в районах глубокого сезонного промерзания грунтов и островной вечной мерзлоты, использование их без дополнительных исследований и соответствующих коррективов в районах сплошной вечной мерзлоты, как правило, недопустимо.

Работа рассмотрена и одобрена Техническим управлением (письмо № 37617 - ИС от 2 августа 1967 г.) для издания в виде Рекомендаций института с целью обеспечения ими заинтересованных организаций.

Замечания по настоящим Рекомендациям просьба направлять по адресу: Москва, И-329, Игарский проезд 2, Всесоюзный научно-исследовательский институт транспортного строительства (ЦНИИС).

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ДИРЕКТОРА
ИНСТИТУТА
канд.техн.наук А.СМОЛЬЯНИНОВ

РУКОВОДИТЕЛЬ ОТДЕЛЕНИЯ
ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ
доктор техн.наук К.СИЛИН

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Настоящие Рекомендации дополняют "Технические указания по изысканиям, проектированию и постройке железных дорог в районах вечной мерзлоты" (ВСН-61-61) в части изысканий, проектирования и строительства малых искусственных сооружений на постоянно действующих водотоках с процессами наледеобразования для районов глубокого сезонного промерзания грунтов и островной вечной мерзлоты.

2. Малые мосты и трубы на постоянно действующих водотоках, а также в обводненных логах должны быть запроектированы с учетом наледных условий, т.е. в едином комплексе с противоналедными сооружениями. В проектах необходимо предусматривать выполнение основных работ индустриальными методами.

3. При изысканиях, проектировании и строительстве дорог учет специфических особенностей суровых климатических условий (наличие многолетнемерзлых грунтов, сложные гидрогеологические условия, режим водотоков с процессами наледеобразования и др.) следует осуществлять как при создании специальных конструкций и разработке для них новых способов производства работ, так и особенно при привязке типовых решений к конкретным местным условиям.

Использование для водотоков с процессами наледеобразования типовых конструкций малых мостов и труб, предназначенных для обычных условий, допускается только при наличии подробных данных о мерзлотногрунтовых условиях и возможных изменениях этих условий в связи со строительством дороги, а также при надлежащем обосновании допустимости применения в этих условиях обычных конструкций (с дополнительными мероприятиями или без них).

II. НАЛЕДИ У ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ И ПРИЧИНЫ ИХ ПОЯВЛЕНИЯ

4. Строительство железных и автомобильных дорог может сопровождаться появлением наледей там, где до постройки их не было, а также более интенсивным развитием процессов наледеобразования у сооружений на водотоках с наледями. При прогнозировании наледей на переходах (пересечениях дороги с водотоками) необходимо рассматривать влияние возводимых сооружений и учитывать это влияние при проектировании.

При недостаточно надежных данных для прогнозирования наледей следует учитывать заведомо преувеличенное влияние возводимых сооружений на процессы наледеобразования (с целью обеспечения нормальных условий эксплуатации проектируемых сооружений) или следует принимать проектное решение в виде свайно-эстакадного моста увеличенного отверстия, достаточного для свободного пропуска наледей.

5. Переходы по гидрогеологическим условиям могут быть разбиты на следующие основные группы:

1) переходы с наличием постоянных поверхностных малых водотоков. Грунтовые и подрусловые потоки отсутствуют или незначительны;

2) переходы с наличием поверхностных водотоков, а также грунтовых и подрусловых потоков;

3) переходы с наличием только подземных вод.

6. Одной из основных причин образования наледей у малых мостов и труб за счет поверхностных расходов водотоков (переходы первой и второй групп) является нарушение бытовых условий и водно-теплового режима водотоков при протекании их у сооружений в осенне-зимний период.

Эти нарушения проявляются в следующем:

а) в резком уширении русел водотоков при протекании их по каменному мощению у мостов и труб;

б) в увеличении тепловых потерь водотоками снизу из-за большой теплопроводности каменного мощения у мостов и бетонного лотка у труб;

в) в возможном отсутствии снежного покрова под пролетными строениями мостов;

г) в удалении торфяно-мохового и растительного покрова при производстве планировочных и строительных работ, осуществляемых в полосе отвода;

д) в оставлении шпунтовых стенок, завалов строительного мусора в руслах;

е) в укреплении русел малых водотоков каменной мостовой.

7. Нарушение бытовых условий и водно-теплового режима малых водотоков вызывает увеличение тепловых потерь последних по сравнению с бытовыми условиями. Это ведет к частичному или полному промерзанию водотока непосредственно у искусственного сооружения, в результате чего возникают вновь или более интенсивно

развиваются имеющиеся на водотоке процессы наледеобразования.

8. Одной из основных причин появления и роста наледей у малых мостов и труб на переходах, имеющих в зимний период только подрусловой поток (переходы 3 группы), является нарушение бытовых условий протекания подземных вод, вызываемое следующими факторами:

а) экранирующим действием массивных фундаментов мостов и труб, а также увеличенным промерзанием грунтов вблизи бетонных фундаментов;

б) увеличенным промерзанием грунтов вследствие наличия каменного мощения и уменьшенной (по отношению к бытовым условиям) величины снежного покрова под пролетными строениями мостов и у входных и выходных оголовков труб;

в) уплотнением грунтов основания под действием собственного веса насыпи.

9. Нарушение бытовых условий протекания подземных вод вследствие экранирующего воздействия массивных фундаментов мостов и труб в наибольшей степени проявляется в узких долинах[1], имеющих значительные уклоны ($i_л \geq 0{,}03$).

При прогнозировании объема наледи на переходах площадь стеснения (F_c) подрусловых и грунтовых потоков фундаментом может быть определена (в м^2) по следующим приближенным зависимостям[2]:

$F_c = b_ф h_c$ - для первой половины зимы (ноябрь, декабрь), (1)

$F_c = 1{,}1 + b_ф (h_c + 0{,}5)$ - для второй половины зимы (январь, март), (2)

где $b_ф$ - ширина фундамента в м;

h_c - высота экрана, создаваемая фундаментом, в м.

При заложении фундамента полностью в обводненные грунты $h_c = h_ф$, в остальных случаях h_c принимается в зависимости от гидрогеологических данных на переходах.

10. Площадь стеснения подрусловых и грунтовых потоков иэза увеличенного промерзания грунтов на переходе по сравнению с бытовыми условиями может быть получена для расчетного периода

---

1) К узким долинам следует относить долины, у которых $\frac{B_{гп}}{b_ф} \leq 10$, где $B_{гп}$ - ширина грунтового потока.

2) Получены при полностью обводненных грунтах при $b_ф \geq 2{,}0$ м для климатических условий Тайшет-Лена (метеостанция Усть-Кут).

как разность средних площадей подземного потока в бытовых условиях и при наличии искусственного сооружения.

Глубину промерзания грунта в бытовых условиях и на переходах можно определять по приближенной формуле (3), в которой приток тепла из нижних слоев грунта принят равным нулю[1],

$$h = \sqrt{\frac{2\lambda t_{cp} T_б}{Q_c + \frac{C t_{cp}}{2}} + S^2} - S \quad , \qquad (3)$$

где h – глубина промерзания в метрах;

λ – коэффициент теплопроводности грунта в $\frac{ккал}{м \cdot град \cdot час}$;

t_{cp} – средняя температура наружного воздуха за рассматриваемый период времени, в ^{0}C;

$T_б$ – продолжительность рассматриваемого периода времени в часах;

Q_c – количество скрытой теплоты плавления льда в единице объема грунта в $\frac{ккал}{м^3}$;

S – толщина слоя грунта в метрах, термическое сопротивление которого равно термическому сопротивлению слоя теплоизоляции поверхности грунта и сопротивлению теплоотдаче с поверхности:

$$S = \lambda (R_u + R_\alpha) \quad ,$$

R_u – термическое сопротивление теплоизоляции грунта в $\frac{м^2 \cdot град \cdot час}{ккал}$;

$R_\alpha = \frac{1}{\alpha}$ – сопротивление теплоотдаче с поверхности ($\alpha = 20 \frac{ккал}{м^2 \cdot град \cdot час}$ – коэффициент теплоотдачи);

C – объемная теплоемкость мерзлого грунта в $\frac{ккал}{м^3 \cdot град}$.

11. При прогнозировании наледей на переходах нарушение бытовых условий протекания подземных вод вследствие уплотнения грунтов основания под действием собственного веса насыпи следует учитывать при рыхлых, сильно сжимаемых грунтах основания при высотах насыпей 6 м и более. При этом из-за уплотнения грун-

---

1) См. В.С.ЛУКЬЯНОВ, М.Д.ГОЛОВКО. Расчет глубины промерзания грунтов. Труды Всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства. Выпуск 23. Трансжелдориздат, 1957.

тов основания происходит уменьшение коэффициента фильтрации. Это приводит к подъему уровня грунтовых вод или выходу их на поверхность.

Для песчаных грунтов основания коэффициент фильтрации грунта после отсыпки насыпи может быть определен по приближенной зависимости

$$K_н = K_0 \frac{\mathcal{E}_н^3 (1+\mathcal{E}_0)}{\mathcal{E}_0^3 (1+\mathcal{E}_н)} , \qquad (4)$$

где $K_н$, K_0 – соответственно коэффициенты фильтрации грунтов после отсыпки и до отсыпки насыпи;

$\mathcal{E}_н$, $\mathcal{E}_0$ – соответственно коэффициенты пористости грунта после отсыпки и до отсыпки насыпи.

12. Насыпь на переходе у искусственного сооружения, по существу, является дополнительным удерживающим противоналедным валом, ввиду того, что величина отверстия искусственного сооружения значительно меньше ширины лога. При применении способа борьбы с наледями у малых мостов и труб путем задержания наледи выше сооружения указанная роль насыпи, как дополнительного удерживающего вала, может (в запас надежности проектных противоналедных мероприятий) не учитываться.

13. Наледи у малых мостов и труб широко распространены в местах приема грунтовых и поверхностных (ключевых) потоков из нагорных и водоотводных канав. При малых расходах воды и незначительных уклонах водоотводных канав и больших расстояниях до искусственных сооружений наледи образуются у земляного полотна, спускаясь к искусственным сооружениям.

14. Наибольшую опасность для нормальной эксплуатации малых мостов и труб представляют речные и ключевые наледи, питаемые постоянными и периодически действующими водотоками.

II. ДЕФОРМАЦИИ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ПРИЧИНЫ

15. Из деформаций у малых мостов и труб, вызванных непосредственным воздействием наледей, можно отметить прежде всего следующие: трещины в элементах входных и выходных оголовков труб; нарушение защитного слоя арматуры из-за многократного замораживания и оттаивания и возможных механических повреждений при небрежной околке льда; размывы конусов и насыпей при недостаточ-

ной очистке отверстий искусственных сооружений от наледного льда.

16. Наличие наледей у искусственных сооружений и земляного полотна, как правило, сопровождается скоплением воды в осенне-зимний период, вызывая тем самым оводнение и переувлажнение грунтов и их пучение при промерзании.

17. В результате обводнения грунтов возможны следующие их состояния, определяющие возникновение и развитие деформаций сооружений:

а) промерзание обводненного грунта зимой и оттаивание мерзлого грунта летом сопровождаются обычно выпучиванием и неравномерными осадками конструкции (особенно при легких сооружениях и низких насыпях).

В трубах деформациям пучения подвержены главным образом оголовки и прилегающие к ним секции. В оголовках, кроме поднятия и просадок конструкции, наблюдается смещение их вдоль трубы и разрушение кладки (трещины, разрывы элементов);

б) переувлажнение глинистых грунтов, протаивание многолетнемерзлых грунтов под фундаментами или общее понижение верхней границы вечной мерзлоты на переходе связаны, как правило, с нарушением естественного покрова местности и режима водотока, а также с попаданием воды к фундаментам через деформационные швы между фундаментными секциями, а также через заполненные дренирующим грунтом пазух котлованов.

Это приводит к значительным неравномерным просадкам сооружений, а также способствует появлению растяжек труб и скольжению фундаментов опор по мерзлой поверхности;

в) значительное увлажнение глинистых грунтов насыпи сопровождается повышенным давлением их на элементы конструкции и может служить в ряде случаев причиной чрезмерных деформаций сооружений. Следует иметь в виду, что во многих случаях причины растяжек труб и смещений опор мостов могут быть установлены лишь с учетом реологических свойств мерзлых и оттаивающих переувлажненных льдонасыщенных грунтов оснований насыпей и сооружений.

IУ. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИЗЫСКАНИЯМ МАЛЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДОТОКАХ С НАЛЕДЯМИ

18. В задачу изысканий, наряду с получением данных, определяемых требованиями проектирования малых мостов и труб в обыч-

ных условиях, входит также получение дополнительных данных по постоянным и периодически действующим водотокам и обводненным логам, на которых имеются в бытовых условиях или возможны после постройки дороги наледные явления.

19. К числу необходимых дополнительных данных относятся:

а) данные о постоянных и периодически действующих водотоках: расходы водотоков для осенне-зимнего периода и их изменчивость; источники питания и их удаление от места перехода; температура воды для осенне-зимних условий; уклоны русла и другие условия протекания водотока (ширина и конфигурация русла, наличие растительности и условия снегозаносимости);

б) установление возможности изменения расхода и условий протекания водотока в процессе строительства и эксплуатации железной дороги;

в) для обводненных логов - данные о подрусловых и грунтовых потоках: площади поперечных сечений подземных потоков, коэффициенты фильтрации грунтов, источники питания, уклоны логов и склонов.

При определении гидрогеологических данных по переходам следует шире использовать геофизические методы исследования;

г) климатические данные района за многолетний период, необходимые для прогнозирования наледных явлений на постоянных водотоках и ключах:

- среднемесячная температура наружного воздуха;
- средний из абсолютных минимумов температуры воздуха по месяцам;
- средняя толщина снежного покрова по декадам;
- минимальная толщина снега по декадам.

Эти данные принимаются по климатологическому справочнику для метеостанций, расположенных в рассматриваемом районе. При отсутствии метеостанций климатические данные могут быть приняты на основании кратковременных наблюдений в процессе изысканий.

20. Дополнительные данные по постоянным и периодически действующим водотокам и обводненным логам необходимы:

а) для прогнозирования наледей после постройки сооружений и оценки их опасности при эксплуатации малых мостов и труб;

б) для выбора наиболее благоприятных условий перехода через водотоки и обводненные логи с учетом наледных процессов;

в) для выбора наиболее рациональных типов искусственных сооружений и противоналедных устройств и их расчета.

21. Гидрогеологические обследования с целью получения данных об осенне-зимних расходах для водотоков, а также для подрусловых и грунтовых потоков следует производить осенью или в начале зимы. Работы по выявлению и обследованию наледей должны приурачиваться к концу зимы (март, апрель).

22. По всем постоянно действующим водотокам и сильно обводненным логам (особенно узким и крутым логам), кроме гидрогеологического разреза по оси трассы, при наличии подрусловых и грунтовых вод необходимо иметь дополнительно следующие гидрогеологические материалы:

- поперечный гидрогеологический разрез лога в полосе отвода с верховой стороны (40-50 м от оси перехода);
- поперечный гидрогеологический разрез в месте образования наледей в естественно-бытовых условиях;
- продольный гидрогеологический разрез по дну лога.

23. При выборе варианта трассы дороги следует иметь в виду, что наледные процессы и воздействие наледей на сооружение во многом зависят от положения трассы.

Наледи на постоянных водотоках и ключах имеют наибольшее распространение при прохождении трассы по коренным склонам долин, уступам террас и особенно когда трасса проходит у подошвы косогоров.

24. Пересечение водотоков следует осуществлять в местах более концентрированного их протекания, избегая мест перекатов и нижней части конуса выноса.

Трассу дороги рекомендуется назначать по возможности в удалении от коренных склонов. Если же этого не позволяют сделать местные условия, то расположение трассы следует осуществить на второй и третьей надпойменным террасам. В этом случае должны быть выполнены гидрогеологические обследования террас.

25. Съемка планов обводненных логов с постоянно действующими водотоками выполняется в масштабе I:2000-I:5000 на длине не менее 200 м выше и 100 м ниже места перехода.

При наличии наледей на водотоках в бытовых условиях съемка плана лога должна охватывать и наледи. Продольный профиль лога при этом снимается на 300 м выше места образования наледи.

Для проектирования противоналедных сооружений план лога снимается в масштабе I:500.

26. На всех постоянно действующих водотоках и обводненных

логах, которые в проектном задании признаны опасными в наледном отношении, организуются дополнительные наблюдения (продолжительностью не менее 1 года) с целью получения данных, необходимых для проектирования искусственных сооружений и противоналедных мероприятий. В программу работ должны быть включены исследования по гидрогеологии на переходах и динамике наледных процессов. В тех случаях, когда по условиям сроков строительства дороги данные дополнительных наблюдений не могут быть своевременно получены, следует при проектировании рассмотреть вопрос о целесообразности использования противоналедных устройств временного типа, подлежащих замене капитальными сооружениями, запроектированными с учетом данных дополнительных наблюдений.

27. Временную или постоянную автомобильную дорогу следует проектировать, по возможности, с нагорной стороны от железной дороги, при этом независимо от взаимного положения трасс через все постоянные водотоки и ключи должны быть построены искусственные сооружения, отвечающие следующим трем основным способам предотвращения вредного влияния наледей на сооружение: 1) задержанию наледи выше искусственных сооружений, 2) безналедному пропуску водотока, 3) свободному пропуску наледи.

У. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ МАЛЫХ МОСТОВ И ТРУБ И ПРОТИВОНАЛЕДНЫХ СООРУЖЕНИЙ

28. Малые мосты и трубы на постоянно-действующих водотоках с процессами наледеобразования необходимо проектировать в комплексе с противоналедными сооружениями. При этом необходимо обеспечивать не только пропуск расчетных и наибольших расходов воды, но и нормальные условия эксплуатации сооружений в зимний период.

29. При проектировании малых мостов и труб в комплексе с противоналедными сооружениями следует иметь в виду три основных способа предотвращения вредного влияния наледей на сооружение, указанные в п. 27, обеспечивающие нормальные условия эксплуатации в наледных условиях:

- задержание наледи выше искусственных сооружений;
- безналедный пропуск водотоков;
- свободный пропуск наледи.

Задержание наледи

30. Задержание наледи выше искусственного сооружения целесообразно осуществлять на водотоках с малыми расходами (образующими наледи в бытовых условиях) и при наличии пологих и широких логов ($i_л < 0{,}01 + 0{,}02$), позволяющих осуществлять накопление льда одним-двумя земляными валами до 8000-10000 $м^3$ на 1 л/сек зимнего расхода водотока.

Особенно эффективен этот способ в районах с малым снежным покровом, где большинство малых водотоков полностью промерзают в бытовых условиях в первую половину зимы.

31. Для удержания наледей выше искусственных сооружений применяются постоянные противоналедные средства: земляные валы с заборами в проеме, железобетонные заборы, мерзлотные пояса и водонепроницаемые экраны в сочетании с удерживающими земляными валами.

32. Земляные удерживающие валы с заборами удовлетворительно работают на периодически действующих водотоках небольшого дебита, т.е. на водотоках, на которых наледи образуются в бытовых условиях. При применении их на постоянно действующих водотоках необходимо предусмотреть уширение русел (распластывание водотока) на подходах к земляному валу, а также непосредственно у вала.

В этих случаях начальный очаг образования наледи переместится от искусственного сооружения к земляному валу.

33. При решении вопроса о применении способа задержания наледи на постоянном водотоке необходимо исходить из величины расхода водотока, уклона и других условий его протекания, а так же климатических данных района - температуры наружного воздуха, величины снежного покрова, аккумулирующей способности лога.

34. Высота и количество удерживающих противоналедных сооружений определяются из условия полного задержания наледи.

35. При применении постоянных удерживающих средств тип искусственных сооружений, их отверстия определяются согласно СН 200-62 (от применения КЖБТ следует воздержаться).

36. На переходах с наледями, питаемыми подаемными водами (пластовые, трещинные, карстовые), а также грунтовыми водами

в пологих ($i_д < 0,01 \div 0,02$) и узких логах бетонные и железобетонные прямоугольные трубы проектируются в сочетании с удерживающими противоналедными средствами (мерзлотные пояса, водонепроницаемые экраны с земляными валами).

Безналедный пропуск водотока

37. Безналедный пропуск водотока, а также подземных потоков рекомендуется применять:

- на постоянных водотоках и ключах, на которых в бытовых условиях наледи вообще не образуются или наблюдаются на отдельных участках незначительные наледи;

- на водотоках, на которых наледи образуются в бытовых условиях, но при близком относительно сооружения выходе источников и крутом уклоне логов;

- на постоянных водотоках и ключах, на которых в бытовых условиях наледи образуются, но водоток не промерзает полностью, и если удержание наледей представляет большие трудности (требуется три и более земляных удерживающих вала), безналедный пропуск применяется в комбинации с другими противоналедными средствами;

- в узких крутых ($i_д > 0,03$) обводненных логах.

38. Безналедный пропуск малых водотоков и ключей обеспечивается путем концентрации водотока при протекании его в полосе отвода дороги и непосредственно у сооружений, с устройством, при необходимости, утепленного лотка или дренажа.

39. Необходимая степень концентрации водотока, при которой не будет происходить образование наледи у сооружения, зависит как от климатических условий района - температуры наружного воздуха, величины снежного покрова, так и от характеристики самого водотока - расхода воды, уклона водотока, температуры воды.

40. Максимальная ширина концентрированного водотока (в м), при которой не будет происходить образование наледи у сооружения, определяется по формуле

$$b = \frac{2,02 \cdot 10^5 \, Q \, \gamma \left[427 \frac{(t_н - t_к) C}{l} + i \right] (R_в + R_и)}{T - Q_п (R_в + R_и)} , \quad (5)$$

где: $2,02 \times 10^5$ - размерный коэффициент в $\frac{ккал}{кгм}$;

$R_в$ - термическое сопротивление теплоотдаче с поверх-

ности ($R_\alpha = \frac{1}{\alpha}$, где α = 480 ккал/м^2 · сутки · град.);

R_u – термическое сопротивление теплоизоляции (лед, снег, утеплитель) в м^2 · сутки · град/ккал;

Q – расход водотока, определенный для осенне-зимнего периода в м^3/сек;

i – уклон русла;

γ – объемный вес воды в $\frac{т}{м^3}$;

427 – механический эквивалент теплоты в $\frac{кгм}{ккал}$;

c – удельная теплоемкость воды в ккал/кг · град;

$t_н$ – температура воды у начала расчетного участка (полоса отвода ж.д.) в °С;

$t_к$ – конечная температура, после протекания воды у искусственного сооружения, которая принимается не ниже +0,2 +0,3°С;

L – длина рассматриваемого участка в м;

$Q_п$ – величина притока тепла из дна водотока в $\frac{ккал}{м^2 \cdot сутки}$;

T – разность (в °С) между температурой воды у нижней поверхности льда и температурой наружного воздуха; последняя принимается равной среднему значению из абсолютных минимумов за расчетный период.

41. В тех случаях, когда водоток у начала расчетного участка на подходах к искусственному сооружению имеет температуру воды +0,2 +0,3°С, т.е. равную наименьшему значению для величины $t_к$ (см.обозначения), тогда формула (5) примет следующий вид (при $t_н = t_к$):

$$B = \frac{2{,}02 \times 10^5 \, Q \gamma i \, (R_\alpha + R_u)}{T - Q_п \, (R_\alpha + R_u)} \qquad (6)$$

42. Величины расходов водотоков, при которых целесообразно применить безналедный пропуск водотока или способ задержания вне сооружения, могут быть определены для каждого водотока в зависимости от климатических условий района, а также от характеристик и условий протекания водотоков.

43. В качестве основных противоналедных мероприятий при безналедном пропуске водотоков можно применить: сосредоточенный пропуск; в узких и сильно обводненных логах – [illegible]; дренаж – кантаж может быть использован для безналедного пропуска ключей, а также подземных вод.

44. Сосредоточенный пропуск постоянных водотоков требует устройства углубленных канав с укрепленными стенками, бетонных и железобетонных лотков. При необходимости, должно предусматриваться утепление.

45. Углубление и спрямление русел, а также применяемое утепление должны отвечать следующим требованиям:

а) минимально нарушать бытовые условия протекания водотока;

б) допускать многократное использование утепляющих конструкций (легкие инвентарные щиты);

в) обеспечивать нетрудоемкую подготовку русла к зиме и небольшие затраты на текущее содержание.

46. При обеспечении безналедного пропуска водотоков, а также подрусловых и грунтовых потоков типы искусственных сооружений и их отверстия назначаются с соблюдением требований СН 200-62.

47. В узких и крутых оводненных логах, а также на периодически действующих водотоках со значительным подрусловым потоком, для уменьшения экранирующего действия массивных фундаментов могут быть рекомендованы железобетонные прямоугольные трубы с пустотелыми железобетонными или с раздельного типа бетонными фундаментами.

48. Фундаменты из пустотелых железобетонных блоков или раздельного типа из продольных бетонных блоков должны допускать укладку в пределах их высоты утепленных лотков или малотеплопроводных материалов с необходимыми дренирующими свойствами. Пропускная способность лотков или заполнения определяется из условий обеспечения безналедного пропуска подземных потоков с учетом нарушения их на переходе.

Свободный пропуск наледи

49. Свободный пропуск наледи наиболее целесообразно применять на водотоках, образующих постоянно изливающиеся наледи в бытовых условиях в течение всей зимы. В большинстве случаев это водотоки широкими, плохо организованными галечниковыми руслами.

50. Назначаемое искусственное сооружение при свободном пропуске наледи должно отвечать одному из следующих условий:

1) не усиливать наледный процесс у сооружения, а наледи, образующиеся в бытовых условиях, свободно пропускать в низовую сто-

рону;

2) в случае частичного удержания наледи у сооружения, должны быть обеспечены нормальные условия пропуска весенних расчетных расходов.

51. При свободном пропуске наледи предпочтительным типом искусственных сооружений являются свайно эстакадные мосты увеличенных отверстий.

52. В тех случаях, когда пропуск постоянных водотоков осуществляется без существенных нарушений бытовых условий (отсутствует мощение, а при наличии мощения приняты меры по сосредоточенному пропуску водотоков), отверстия искусственных сооружений определяются с учетом частичного заполнения их наледным льдом. При этом заполнение отверстий наледным льдом принимается равным наледи в бытовых условиях. При крутых логах ($i > 0{,}03$) величина отверстия искусственного сооружения должна быть не менее ширины наледи в логу.

53. Конструкция малых мостов, труб и противоналедных сооружений определяется главным образом местными климатическими, геологическими, гидрогеологическими и мерзлотными условиями.

Рекомендуется максимально использовать сборные конструкции, возводимые индустриально-скоростными методами, позволяющими осуществить строительство с наименьшими нарушениями температурного режима грунтов основания и водно-теплового режима малых водотоков.

54. Материал конструкций должен быть плотным морозостойким. Марка бетона по морозостойкости-не ниже "300". Защитный слой арматуры-не менее 3-4 см.

55. Гидроизоляция элементов труб и конструкция строительных и деформационных швов между сборными элементами, а также заполнение пазух котлованов должны исключать возможность попадания воды к грунтам основания, особенно когда последние находятся в мерзлом состоянии и после оттаивания приобретают свойства слабых, малоустойчивых грунтов.

56. Для предотвращения попадания воды к грунтам основания через засыпку пазух котлованов необходимо устраивать глиняный водонепроницаемый экран.

57. Во избежание расстройства кладки оголовков и концевых звеньев труб, вследствие пучения грунта, необходимо предусматривать устройство дренажей для отвода воды.

58. Привязку сооружений к местным условиям необходимо производить не нарушая, как правило, бытового режима протекания водотоков, для чего рекомендуется:

а) отметки лотка труб назначать с учетом углубления русла;

б) при применении сосредоточенного пропуска осенне-зимних расходов водотока уклон русла непосредственно у искусственного сооружения принимать не менее бытового;

в) во всех случаях на постоянных водотоках в пределах моста, а также входного и выходного оголовков трубы проектировать русла малых водотоков с учетом концентрированного пропуска осенне-зимних расходов.

59. Не рекомендуется осуществлять пропуск двух и более разрозненных водотоков через одно искусственное сооружение. Это приводит к уположению русел водотоков или устройству длинных водоотводов с малыми уклонами.

60. Не рекомендуется также устройство длинных водоотводов, предназначенных для отвода ключевых и грунтовых вод к искусственным сооружениям. Их пропуск должен осуществляться в низовую сторону дренажом или через искусственное сооружение, проектируемое специально для наикратчайшего сброса вод.

VI. ОСНОВНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ

61. Строительство малых искусственных сооружений на водотоках с процессами наледеобразования производится с максимально возможным сохранением бытовых условий и водно-теплового режима протекания водотоков, подрусловых и грунтовых потоков.

62. Временные дороги для нужд строительства, эксплуатируемые только в зимнее время, должны иметь временные искусственные сооружения в местах пересечения постоянных водотоков.

63. При производстве работ в зимнее время на постоянных и периодически действующих водотоках и ключах, а также в обводненных логах должны быть приняты меры против попадания в котлованы наледных вод, так как дополнительное обводнение грунтов основания, как правило, приводит к значительным осадкам сооружений.

64. В период строительства для борьбы с наледями на переходах можно использовать временные противоналедные устройства - снежные валы, переносные деревянные заборы из инвентарных щитов,

временные мерзлотные пояса - и постоянные мерзлотные пояса.

65. Организацию, время и способы выполнения работ по устройству фундаментов следует назначать с учетом климатических, геологических и мерзлотных условий, а в районах с наличием многолетнемерзлых грунтов - с учетом принятого метода строительства в соответствии с требованиями ВСН-6I-6I и СНиП II-Б.6-66.

66. Постоянные противоналедные устройства сооружаются, как правило, летом. Работы по изготовлению элементов конструкций и сооружению надфундаментной части малых мостов и труб производятся в соответствии с требованиями СНиП III-Д.2-62 и ВСН 8I-62.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПРИМЕРЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

А. Безналедный пропуск водотоков

Пропуск постоянных и периодически действующих водотоков и ключей в низовую сторону без образования наледи у сооружения осуществим только при применении эффективных противоналедных мероприятий. Анализ процессов наледеобразования у малых мостов и тр о, а также теплотехнические расчеты показывают, что осуществить безналедный пропуск осенне-зимних расходов воды и предотвратить тем самым появление и рост наледей у искусственных сооружений можно путем концентрации водотока в пределах полосы отвода дороги и непосредственно у сооружения, с устройством, при необходимости, утепленного лотка или дренажа.

Необходимая степень концентрации малого водотока зависит как от климатических условий района - температуры наружного воздуха, величины снежного покрова, так и от характеристики самого водотока - величины расхода воды, уклона водотока и температуры воды. При определении расчетом необходимой степени концентрации водотока принимаются:

а) температура наружного воздуха - равной среднему значению из абсолютных минимумов за расчетный период;

б) толщина снежного покрова - равной средней толщине снега по месяцам за многолетний период наблюдений;

в) величина расхода водотока и температура воды принимаются для осенне-зимних условий.

Необходимая степень концентрации водотока может быть получена из рассмотрения общего уравнения теплового баланса при наличии тепловой изоляции на поверхности водотока. В этом случае составляющие теплового баланса, такие как потери тепла за счет поглощения прямой и рассеянной радиации будут иметь очень малое численное значение. Учитывая приближенность расчета, этими составляющими можно пренебречь.

Уравнение теплового баланса водотока с учетом принятых допущений может быть записано в следующем виде:

$$Q_{общ} = Q_н - Q_м - Q_п - Q_т = 0 \qquad (1)$$

$Q_н$ – потери тепла за счет непосредственного теплообмена водотока через лед, снег или другую тепловую изоляцию (в $\frac{ккал}{м^2 \cdot сутки}$);

$$Q_н = \frac{T}{R_\alpha + R_и} \quad ; \qquad (2)$$

T – разность между температурой воды, омывающей нижнюю поверхность льда, и расчетной температурой наружного воздуха, которая принимается равной среднему из абсолютных минимумов за рассматриваемый период;

R_α – термическое сопротивление теплоотдачи с поверхности ($R_\alpha = \frac{1}{\alpha}$, где $\alpha = 480$ ккал/м^2·сутки·^{0}С);

$R_и$ – термическое сопротивление теплоизоляции (лед, снег) в $\frac{м2 \cdot сутки \cdot ^0С}{ккал}$:

$$R_и = \sum_1^n \frac{h_i}{\lambda_i} \quad ;$$

h_i – толщина i-го слоя теплоизоляции в м;

λ_i – коэффициент теплопроводности в ккал/м·сутки·^{0}С;

$Q_м$ – приток тепла за счет трансформации механической энергии в тепловую (в $\frac{ккал}{м^2 \cdot сутки}$);

$$Q_м = \frac{2{,}02 \cdot 10^5 \, Q \, i \, \gamma}{B} \qquad (3)$$

здесь: 2,02 х I0^5 – размерный коэффициент в $\frac{ккал}{кгм}$;

Q – расход водотока в м^3/сек;

i – уклон лога;

γ – объемный вес воды в т/м^3;

B – ширина русла в м;

$Q_п$ – приток тепла из дна водотока. При сравнительно организованном русле для железнодорожной линии Тайшет-Лена на участке Братск-Лена (глубокое сезонное промерзание и островная вечная мерзлота) величина $Q_п$ на основании экспериментальных данных может быть принята равной 80 ккал/м^2·сутки для первой половины зимы (включая декабрь) и 60 ккал/м^2·сутки для второй половины зимы,

$Q_т$ – приток тепла за счет понижения температуры

водотока при протекании у сооружения на длине L при ширине русла B - (в $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{сутки}}$):

$$Q_т = \frac{427 \times 2{,}02 \times 10^5 (t_н - t_к) C Q \gamma}{LB}, \quad (4)$$

где 427 - механический эквивалент теплоты в $\frac{\text{кгм}}{\text{ккал}}$;

C - удельная теплоемкость воды в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot {}^0\text{C}}$;

$t_н$ - температура воды у начала расчетного участка в ^{0}C;

$t_к$ - температура воды у конца расчетного участка, которая должна быть принята не ниже плюс 0,2÷0,3^{0}C;

L - длина рассматриваемого участка в м;

остальные обозначения указаны выше.

После подстановки составляющих в уравнение (1) и решения его относительно ширины водотока получим следующее выражение:

$$B = \frac{2{,}02 \times 10^5 Q \gamma \left[\frac{427 (t_н - t_к) C}{L} + i\right] (R_д + R_ц)}{T - Q_п (R_д + R_ц)} \quad (5)$$

При условии, если водоток у начала расчетного участка (на подходах к искусственному сооружению) имеет температуру воды равную +0,2÷+0,3^{0}C, то допускать понижение температуры не представляется возможным, тогда $Q_т = 0$ и выражение (5) примет следующий вид:

$$B = \frac{2{,}02 \times 10^5 Q \gamma i (R_д + R_ц)}{T - Q_п (R_д + R_ц)} \quad (6)$$

Пример I-й. Расчет сосредоточенного пропуска водотока

Дорога ....., участок ....., км ....., пк .....

Данные для расчета

1. Расчетный расход $Q_р = 10$ м^3/сек[1)]
2. Высота насыпи $H = 4{,}0$ м
3. Расход водотока в осенне-зимний период $Q = 0{,}1$ м^3/сек
4. Уклон лога $i_л = 40\%$
5. Температура воды в районе перехода в осенне-зимний пе-

1) Определяется по ВСН 63-61 (Инструкция по расчету стока с малых бассейнов. Трансжелдориздат, 1962).

риод $t_б$ = +0,1÷0,2°С

6. Выход источников на поверхность - 500 м от перехода
7. Подрусловые потоки на переходе отсутствуют
8. Наледи в бытовых условиях на водотоке отсутствуют
9. Климатические данные приведены в табл. 1

Таблица 1

Климатические данные по месяцам для района перехода[1)]

по по	Расчетные данные	Месяцы XI	XII	I	II	III
1	Среднее значение из абсолютных минимумов температуры, °С (T')	-38	-46	-48	-4[illegible]	-38
2	Толщина снега ($h_{сн}$), см	16	31	39	46	46
3	$\gamma_{сн}$, т/м^3	0,14	0,14	0,1[illegible]	0,19	0,27
4	Среднемесячные температуры, °С	14,9	-24,5	25,2	-22,1	-12,3

Порядок решения

1. По $Q_р$ и H определяют, исходя из обычных условий, тип искусственного сооружения. Возможны два варианта:

а) бетонная прямоугольная труба отверстием 2,0 м (БПТ);

б) свайно-эстакадный мост с креплением русла по схеме 3х6,0 м (инв. № 239, Ленгипротрансмост, 1962).

По экономическим показателям в данном случае БПТ отв. 2,0м и мост эстакадного типа по схеме 3 х 6,0 м имеют примерно одинаковую стоимость на 1 м^3 расхода воды (несколько дешевле БПТ). Ниже принят мост.

По типовому проекту крепление русла у моста выполняется горизонтальным. Следовательно, у моста водоток будет иметь ширину русла равную ширине горизонтальной отметки B - 6,0 м. При этих условиях будут резко нарушены бытовые условия протекания водотока, что приведет к образованию наледи у сооружения.

2. По Q, i и климатическим данным района определяют мак-

1) Берут за многолетний период по климатологическому справочнику для метеостанций, расположенных в указанном районе; при отсутствии данных с метеостанций необходимые расчетные данные получают в период изыскани .
Таблица 1 составлена по данным метеостанции Усть-Кут.

симальную ширину русла (в пределах полосы отвода железной дороги и непосредственно у сооружения).

Определяют для данного района период (месяц) с наибольшими тепловыми потерями на основании вычислений по формуле 2 настоящего приложения I. Вычисленные значения $\lambda_{сн}$, R и $Q_н$ для рассматриваемого примера приведены в таблице 2.

Таблица 2

№ по пор.	Определяемые величины	Месяцы XI	XII	I	II	III
I	Теплопроводность снежного покрова $\lambda_{сн} = 0{,}018+0{,}87\ \gamma_{сн}$, x) ккал/м · час · °С	0,I4	0,I4	0,I83	0,I83	0,235
2	Термическое сопротивление теплоизоляции R = $= R_д + R_ц$, м²· сутки ·°С/ккал	0,0496	0,094	0,09I	0,I08	0,084
3	Тепловые потери водотоком $Q_н$, $\frac{ккал}{м^2 \cdot сутки}$	765	490	528	400	455

Из таблицы следует, что наибольшие потери тепла водоток имеет в ноябре. Поэтому максимальная ширина водотока, необходимая для безналедного пропуска расхода воды, должна быть определена именно по данным для ноября. Она может быть вычислена по формуле (6), так как значение $Q_т$ в данном случае может быть принято равным нулю:

$$B = \frac{2{,}02 \times 10^5 \times 0{,}I \times I \times 0{,}040 \times 0{,}0496}{38 - 80 \times 0{,}0496} = I{,}I7\ м.$$

Конструктивное оформление сосредоточенного пропуска водотока может быть выполнено: в полосе отвода с верховой стороны сооружения - в виде трапецеидальной канавы с необходимым укреплением стенок (желательно укрепить одерновкой), в пределах каменного мощения - в виде железобетонного лотка с обшивкой стен

x) ЛУКЬЯНОВ В.С., ГОЛОВКО М.Д. Расчет глубины промерзания грунтов Трансжелдориздат, I957.

просмоленными досками δ° = 4-5 см и с утеплением, равным термическому сопротивлению снежного покрова. Конструкция железобетонного лотка для рассматриваемого случая приведена на рис. 1.

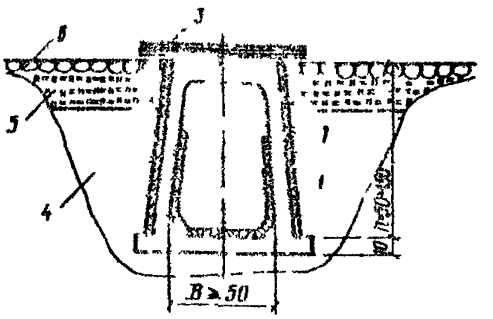


Рис. 1. Поперечный разрез по железобетонному лотку.
1 - железобетонный лоток, 2 - обшивка из досок δ° = 4-5 см; 3 - утепленная крышка, 4 - засыпка грунтом; 5 - засыпка из мха или торфа; 6 - укрепление грунта от размыва

Пример 2-й

Дорога ....., участок ....., км ....., пк .....

Данные для расчета

1. Расчетный расход Q_p = 10 м^3/сек
2. Высота насыпи H = 4,0 м
3. Расход водотока в осенне-зимний период Q = 0,075 м^3/сек
4. Уклон лога $i_л$ = 40%
5. Температура воды в районе перехода в осенне-зимний период $t_б$ = +0,1÷+0,2°C
6. Выход источников на поверхность - 500 м от переход
7. Подрусловые потоки на переходе незначительные
8. Наледи в бытовых условиях отсутствуют

Климатические данные по месяцам приведены в таблице 1 (рассматривается тот же климатический район, что и в примере 1).

Порядок решения

1. По Q_p и H определяют тип искусственного сооружения. Возможны два варианта:

а) бетонная прямоугольная труба отверстием 2,0 м (БПТ);

б) свайно-эстакадный мост с креплением русла по схеме 3 x 6,0 м (инв. № 239, Ленгипротрансмост, 1962).

По экономическим показателям в данном случае труба и мост имеют примерно одинаковую стоимость на 1 $м^3$ расхода воды. Ниже принята труба.

По типовому проекту крепление подходного и выходного русел выполняется горизонтальным. Водоток при осенне-зимних расходах воды будет уширяться и сильно охлаждаться на отмостке у входного и выходного оголовков и непосредственно при протекании в трубе. Эти нарушения бытовых условий протекания водотока приведут к образованию наледи. Необходим концентрированный пропуск водотока непосредственно у сооружения (в полосе отвода и в пределах мощения) и в самом сооружении.

2. По Q, i и климатическим данным района определяют максимальную ширину русла:

а) в пределах полосы отвода железной дороги и непосредственно на отмостке;

б) при протекании водотока в трубе.

а. Определение концентрации водотока в пределах полосы отвода железной дороги и на отмостке

По величине тепловых потерь (табл. 2, пример 1-й) по формуле (6) определяют ширину водотока В, принимая Q_r = 0, так как в данном случае не представляется возможным допустить понижение температуры водотока в пределах полосы отвода и непосредственно у сооружения ($t_б$ = +0,1÷+0,2°С):

$$B = \frac{2{,}02 \times 10^5 \times 0{,}075 \times 1 \times 0{,}040 \times 0{,}0496}{38 - 80 \times 0{,}0496} = 0{,}72 \text{ м.}$$

Ширина водотока принята В = 0,7 м.

Конструктивное оформление сосредоточенного пропуска водотока может быть выполнено: в полосе отвода - в виде канавы с необходимым укреплением стенок, в пределах мощения - в виде железобетонного лотка по рис. 1.

6. Определение концентрации водотока непосредственно в бетонной прямоугольной трубе

Несколько отличны в тепловом отношении условия протекания малых водотоков непосредственно в трубах. Во-первых, отсутствует снег на ледовом покрове водотока; во-вторых, вследствие отрицательных температур бетонного лотка у входного и выходного оголовков, а также в прилегающих к ним звеньях имеет место на этом участке трубы не приток тепла к водотоку, а дополнительная потеря тепла.

Учитывая, что с верховой и низовой стороны трубы в пределах мощения водоток по расчету имеет ширину $B = 0{,}7$ м, ширина лотка в трубе принята также равно 0,7 м (рис. 2). При данно.

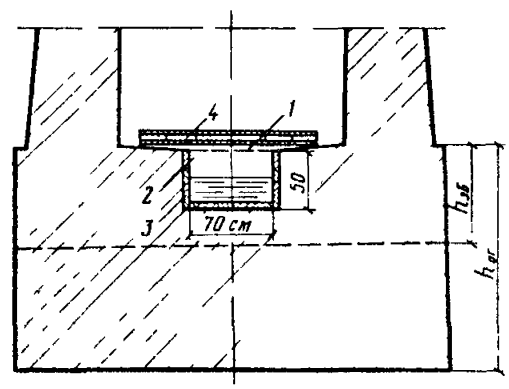


Рис. 2. Схема устройства лотка в бетонных прямоугольных трубах:
1 – проектное положение верха лотка; 2 – лоток для пропуска осенне-зимних расходов; 3 – обшивка из досок δ = 6 см; 4 – утепленный щит; $h_{зб}$ – фундамент под звеньями; $h_{ог}$ – фундамент под оголовком

ширине водотока внутри трубы следует определить необходимое утепление.

Уравнение (1) для данного случая может быть записано в сле-

дующем виде:

$$Q_{общ} = Q_н - Q_м - Q_о = 0 \quad , \qquad (7)$$

где $Q_о$ - потери тепла в $\frac{ккал}{м^2 \cdot сутки}$, передающиеся через досчатую обшивку путем теплопроводности от водотока к бетону: $Q_о = (t_б - t_б)\frac{\lambda_д}{\delta_д}$,

$t_б$ - температура воды, °С;

$t_б$ - температура дна бетонного лотка (приближенно можно принимать по таблице 3 x));

$\delta_д$ - толщина досок обшивки лотка в м;

$\lambda_д$ - коэффициент теплопроводности обшивки из досок в $\frac{ккал}{м \cdot сутки \cdot °С}$;

Остальные обозначения приведены выше.

Таблица 3

Определяемая величина	Месяцы				
	XI	XII	I	II	III
Среднее значение температуры бетонного лотка у оголовка трубы	-3,2	-8,5	-II,5	-I0,9	-7,3

После подстановки значений составляющих в уравнение (7) и решения его относительно $(R_д + R_и)$ получим:

$$R_д + R_и = \frac{T}{\frac{2{,}02 \times 10^5 Q \gamma i}{B} - \frac{t_б - t_б}{\delta_д / \lambda_д}} =$$

$$= \frac{48}{\frac{2{,}02 \times 10^5 \times 0{,}075 \times 1 \times 0{,}040}{0{,}7} - \frac{+0{,}2 - (-11{,}5)}{\frac{0{,}06}{2{,}88}}} =$$

$$= \frac{48}{880 - 560} = \frac{48}{320} = 0{,}15 \ м^2 \cdot сутки \cdot °С/ккал;$$

x) Данные табл. 3 соответствуют результатам теплотехнических расчетов на гидроинтеграторе В.С.ЛУКЬЯНОВА для железнодорожной линии Тайшет-Лена. Температуры бетонного лотка в табл. 3 соответствуют входному и выходному оголовкам. Для других местных условий, существенно отличных от условий линии Тайшет-Лена, расчетные температуры и длины участков трубы с отрицательной температурой следует принимать по результатам соответствующих исследований.

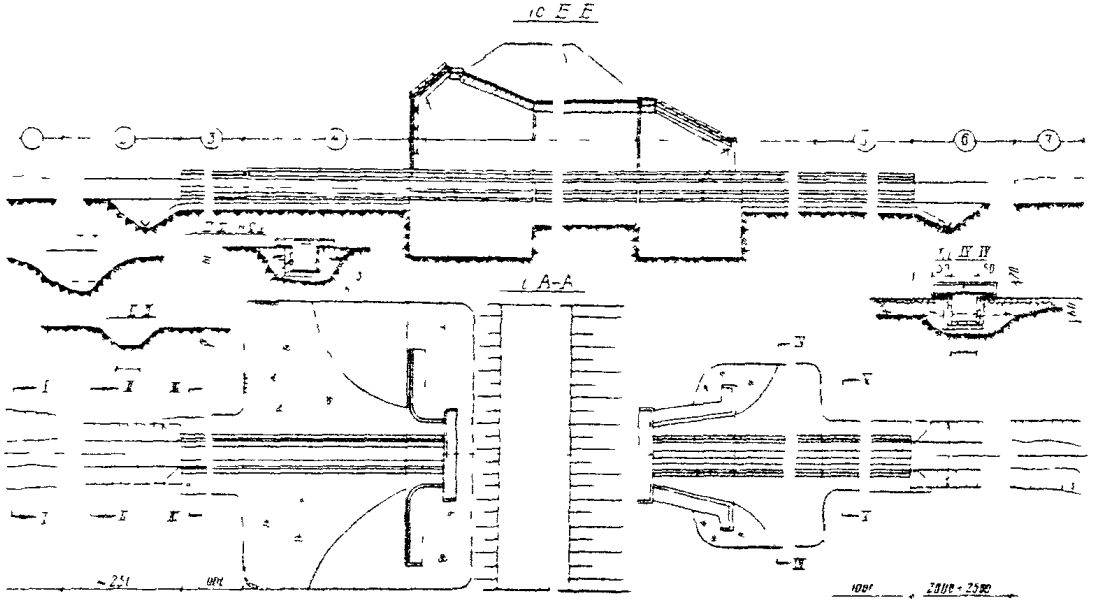


Рис. 5. Общая конструкция для безнапорного пропуска водотока в пределах подходного и выходного русел и в бетонной прямоугольной трубе

при $R_t = \frac{1}{20 \times 24} = \frac{1}{480}$ величина R_u будет равна

$$R_u = 0{,}15 - \frac{1}{480} = 0{,}148 \text{ м}^2 \cdot \text{сутки} \cdot {}^\circ\text{C/ккал}.$$

Можно принять утепление в виде инвентарных щитов, состоящих из двух слоев досок толщиной 2,5 см с слоем опилок между ними толщиной 25 см. Для таких щитов термическое сопротивление равно:

$$R_u = \sum \frac{h_i}{\lambda_i} = \frac{0{,}05}{2{,}88} + \frac{0{,}25}{1{,}92} = 0{,}017 + 0{,}131 = 0{,}148 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{сутки} \cdot {}^\circ\text{C}}{\text{ккал}},$$

т.е. принятое утепление удовлетворяет по термическому сопротивлению решению уравнения (7).

Для безналедного пропуска необходимо, чтобы водоток имел принятое утепление в пределах мощения у входного и выходного оголовков, а также в трубе на длине 5-10 м от оголовков, при этом у последних должны быть установлены щиты, предотвращающие проникновение ветра в трубу.

Общая конструкция для безналедного пропуска водотока в пределах подходного и выходного русел и в бетонной прямоугольной трубе показана на рис. 3.

Обозначения к рис. 3:

Цифры в кружочках - участки по длине конструкции:

① и ⑦ - участки с бытовыми условиями;

② и ⑥ - участки со спрямленным и углубленным руслом;

③ и ⑤ - участки с железобетонным лотком, утепленным конструктивно,

④ - участок с железобетонным лотком, утепленным по расчету;

1 - щиты утепления; 2 - одиночная мостовая; 2' - двойная мостовая; 3 - слой мха или торфа $\delta = 10 \div 15$ см; 4 - железобетонный лоток; 5 - обшивка из досок $\delta = 6$ см на участке ④ и $\delta = 4$ см на участках ③ и ⑤; 6 - засыпка гравийно-песчаным грунтом.

ПРИМЕЧАНИЯ: (к рис. 3)

1. На плане (вид сверху - по А-А) утепление лотка, а также входа и выхода трубы не показано.
2. Щиты конструктивного утепления делают из досок $\delta = 2{,}5$ см в два слоя с прокладкой между ними слоя толи.
3. Если водоток не требует по расчету утепления, то участок ③ можно сделать только в виде спрямленного и углубленного русла необходимой ширины.

4. Утепление на участке (4) осуществляют щитами из досок с прослойкой между ними из опилок. Доски обычно принимают толщиной 2,5 см, толщина слоя опилок устанавливается расчетом. Для уменьшения веса щитов в качестве утеплителя целесообразно применять стекловату.

5. Спрямление и углубление русла (участки (2) и (6) делают с учетом местных условий. Длину участка спрямления принимают равной 20–25 м. Ширину русла и необходимое утепление устанавливают расчетом, глубину принимают не менее 50–60 см.
При слабых грунтах откосы канавы необходимо укреплять одерновкой.

6. Все размеры на чертеже в см.

Лоток для пропуска малых водотоков в железобетонных прямоугольных трубах может быть оборудован на месте из сборных элементов после установки звеньев труб. При привязке типовых труб к местным условиям необходимо иметь в виду, что дно лотка в пределах мощения у входного и выходного оголовков в этих случаях проектируется углубленным. Отметки лотка подходного русла и лотка типовой конструкции трубы должны быть соответствующим образом увязаны, что поведет к некоторому опусканию лотка трубы, по сравнению с случаем привязки типовой конструкции в обычных условиях (без устройства лотка с целью концентрации водотока).

В тех случаях, когда водоток имеет более высокую температуру ($t_в > 0{,}2 \div 0{,}3^0C$), то при расчете необходимого утепления из уравнения (7) в него включают приток тепла $Q_т$, определяемый по формуле (4). При этом L принимается равным длине трубы, а B – ширине лотка в трубе.

Пример 5-й

Дорога ....., участок ....., км ....., пк .....

Данные для расчета

1. Расчетный расход $Q_р$ = 10 м^3/сек
2. Высота насыпи – 8,0 м
3. Расход водотока в осенне-зимний период Q = 0,025м^3/сек
4. Уклон лога $i_л$ = 0,050
5. Выход источников (ключей) на поверхность с верховой стороны в 30 м от трассы на склоне лога. Ключи не имеют организованного русла
6. Геологический разрез на переходе: до 4,5 м суглинки, ниже аргиллиты

7. Климатические данные приведены в табл. 4.

Таблица 4

Климатические данные по месяцам для района перехода

№ по пор.	Расчетные данные	Месяцы				
		XI	XII	I	II	III
1	Среднее значение из абсолютных минимумов температуры, °С (T)	-22	-28	-31	-30	-27
2	Толщина снега ($h_{сн}$), см	6	14	19	25	23
3	$\gamma_{сн}$, $т/м^3$	0,14	0,14	0,19	0,19	0,27

Порядок решения

1. По $Q_р$ и H определяют, исходя из обычных условий, тип искусственного сооружения. Рассмотрены три варианта:

а) бетонная прямоугольная труба отверстием 2,0 м (БПТ);

б) железобетонный балочный мост на массивных опорах по схеме 1 х 10 м;

в) свайно-эстакадный мост (по предложению С.И.ГАПЕЕВА, см. Методические указания № 4, Ленгипротранс, 1959) по схеме 3 х 11,5 м.

В отношении противоналедных мероприятий рассмотренные варианты имеют следующие особенности.

При применении БПТ необходимо осуществить удержание наледи, или безналедный пропуск водотоков. Ввиду близкого выхода источников целесообразно применить пропуск водотока с помощью утепленного лотка.

Мосты по пунктам "б" и "в" могут быть применены без противоналедных средств.

Сравнение вариантов по стоимости сделано в табл. 5.

По экономическим соображениям принята БПТ отверстием 2,0 м с утепленным лотком.

2. По Q, i и климатическим данным района определяют возможную ширину русла, а также необходимое утепление.

---

1) Климатические данные взяты для ст. Слюдянка Восточно-Сибирской железной дороги (Метеостанция Слюдянка).

Таблица 5

Технико-экономические данные по вариантам

№ пор.	Тип искусственного сооружения	Приведенная стоимость в тыс.руб.	Тип противоналедного сооружения	Приведенная стоимость в тыс.руб.	Общая приведенная стоимость в тыс.руб.
1	БИТ отв. 2,0 м	20,0	Утепленный лоток длиной 60 м	3,0	23,0
2	ДБМ 1 х10 м	52,5	-	-	52,5
3	ССОМ 3х10,5 м	32,5	-	-	32,5

Потери тепла водотоком определены при климатических данных из табл. 4. Результаты сведены в табл. 6.

Из табл. 6 ясно, что наиболее опасным в наледном отношении является декабрь (малый снежный покров и значительные отрицательные температуры,—см.табл. 4).

Таблица 6

№ пор.	Определяемые величины	Месяцы XI	XII	I	II	III
1	Теплопроводность снега, $\frac{ккал}{м \cdot час\ ^0C}$	0,14	0,14	0,183	0,183	0,235
2	Термическое сопротивление теплоизоляции, $\frac{м^2 час\ ^0C}{ккал}$	0,0178	0,042	0,042	0,057	0,041
3	Тепловые потери водотоком, $\frac{ккал}{м^2 \cdot сутки}$	1236	690,5	720,9	526,3	658,5

Ширину водотока определяют из условия безналедного пропуска для XI месяца по формуле 6:

$$B = \frac{2,02 \times 10^5 \times 0,02^2 \times 3 \times 0,050 \times 0,0178}{22 - 80 \times 0,0178} = 0,21\ м$$

Пропуск водотока в осенне зимний период в тот ширины $B = 0,21$ м представляет определенные эксплуатационные трудности. Ширина потока практически должна быть не менее 0,4–0. м.

Ниже необходимое утепление определено при ширине лотка 0,4 м из уравнения (6):

$$R_{\alpha}+R_{u}=\frac{T}{\frac{2{,}02\times10^{5}\times Q\gamma l}{B}+Q_{п}}=$$

$$=\frac{22}{\frac{2{,}02\times10^{5}\times0{,}025\times0{,}050}{0{,}40}+80}=0{,}03\ \frac{м^{2}\cdot сутки\cdot{}^{0}C}{ккал};$$

$$R_{u}=0{,}03-R_{\alpha}=0{,}03-\frac{1}{480}=0{,}028\ \frac{м^{2}\cdot сутки\cdot{}^{0}C}{ккал}.$$

Принятое (без учета утепляющего действия снега) утепление лотка инвентарными щитами из досок 2,5 см с толщиной засыпки между ними из опилок в 5 см, создает термическое сопротивление, равное:

$$R_{u}=\sum\frac{h_{i}}{\lambda_{i}}=\frac{0{,}05}{2{,}88}+\frac{0{,}05}{1{,}92}=0{,}017+0{,}026=0{,}043\ \frac{м^{2}\cdot сутки\cdot{}^{0}C}{ккал},$$

что превышает необходимое термическое сопротивление (0,028), вычисленное из уравнения (6).

Определение необходимого утепления в пределах входного и выходного оголовков труб рассмотрено в примере 2.

Конструкция утепленного лотка для полосы отвода показана на рис. 4.

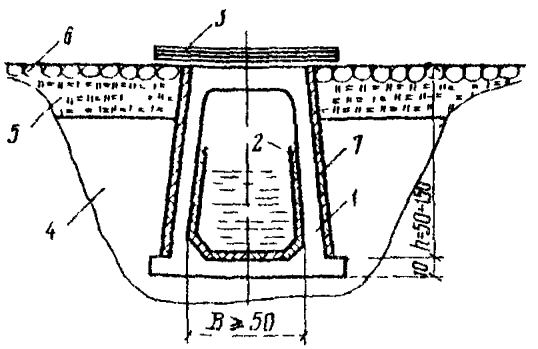


Рис. 4. Поперечный разрез по железобетонному лотку:
1 – железобетонная рама; 2 – обшивка из досок; 3 – утепленная крышка; 4 – засыпка грунтом; 5 – засыпка из мха или торфа; 6 – утепление грунта от разрыва; 7 – железобетонные доски

Пример 4 -й

Дорога ....., участок ....., км ....., пк .....

Данные для расчета

1. Высота насыпи 1,8 м

2. Расход водотока в осенне-зимний период Q = 0,025 м^3/сек

3. Водоток питается группой ключей, выходящих на склоне с верховой стороны трассы в 150 м. Ключи не имеют организованного русла. Выход ключей зафиксирован в трех местах (точки 1, 2, 3 на рис. 5). В зимний период наледь действует на склоне в течение всей зимы

4. Ярко выраженный лог в 700 м, Q_0 = 5 м^3/сек

5. Уклон склонов $i_{ск}$ = 0,03

6. Геологический разрез на переходе: до 3 м суглинки, ниже аргиллиты

7. Климатические данные - см. табл. 4, пример 3

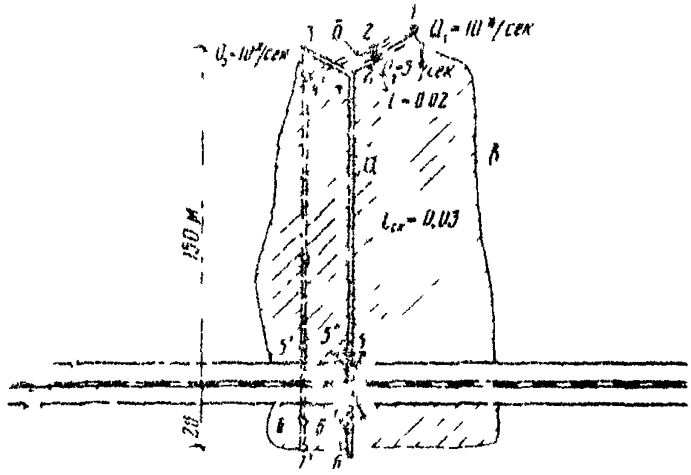


Рис. 5. Схема противоналедных мероприятий (к примеру 4).
а - утепленный лоток; б - дренаж; в - контуры наледи в зимний период

Порядок решения

При наличии постоянных ключей с верховой стороны насыпи возможны следующие решения:

а) постоянный утепленный лоток в комплексе с водопропускным сооружением. В данном случае ЬПТ проектируется только для пропуска ключей;

б) пропуск водотока (ключей) в низовую сторону дренажом (каптаж источников и отвод их в низовую сторону по керамическим трубам);

в) постоянный утепленный лоток в комплексе с дренажом непосредственно под железнодорожным полотном (пропуск ключей по отдельной от-

водной трубе под железной дорогой).

Экономические данные по вариантам, полученные на основе составления смётно-финансовых расчетов, приведены в таблице 7.

Таблица 7

Приведенные стоимости[1])

Варианты	Прямоугольная бетонная труба стоимость в тыс.руб	Утепленный бетонный лоток длина в м	Утепленный бетонный лоток стоимость в тыс.руб	Д р у г и е длина в м	Д р у г и е стоимость в тыс.руб.	Общая приведенная стоимость в тыс.руб.
а	9,00	190	7,40	-	-	16,40
б	-	-	-	140	13,7	13,70
в	-	150	5,84	40	3,0	8,84

Ниже рассмотрены все три варианта.

а) Постоянный железобетонный утепленный лоток

По Q, i и климатическим данным района определяют возможную ширину, а также необходимое утепление. Используя данные табл. 6 примера 3, получим для участков 1-2, 3-4 (на рис. 5 этот вариант показан сплошными линиями):

$$B = \frac{2{,}02 \times 10^5 \times 0{,}010 \times 1 \times 0{,}02 \times 0{,}0178}{22 - 80 \times 0{,}0178} = 0{,}045 \text{ м}$$

Ниже необходимое утепление определено при $B = B_{min} = 0{,}40$ м:

$$R_\alpha + R_u = \frac{T}{\frac{2{,}02 \times 10^5 Q i}{B} + Q_n} =$$

$$\frac{22}{\frac{2{,}02 \times 10^5}{0{,}40} \times 0{,}010 \times 1 \times 0{,}02 + 80} = \frac{22}{101{,}50} = 0{,}121 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{сутки} \cdot {}^\circ\text{C}}{\text{ккал}};$$

$$R_u = 0{,}121 \quad K_x = 0{,}121 - 0{,}002 = 0{,}119 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{сутки} \cdot {}^\circ\text{C}}{\text{ккал}}.$$

Принято утепление лотка инвентарными щитами из досок 2,5 см с засыпкой между ними опилками при толщине засыпки 20 см. Термическое сопротивление принятой теплоизоляции, без учета (по малости) термического сопротивления снежного покрова ($R_u = 0{,}0178 - 0{,}002 = 0{,}0158$), будет равно:

---

1) Приведенные стоимости – это стоимости сооружений с учетом строительных и эксплуатационных затрат.

$$R_u = \sum \frac{h_i}{\lambda_i} = \frac{0,05}{2,88} + \frac{0,20}{1,92} = 0,017 + 0,104 =$$

$$= 0,122 > 0,119 \ \frac{м^2 \cdot сутки \cdot {}^0C}{ккал}.$$

Конструкция утепленного лотка – см.рис. 4, пример 3.

Для участка 2–4 (см.рис. 5):

$$B = \frac{2,02 \times 10^5 \times 0,015 \times 1 \times 0,02 \times 0,0178}{22-80 \times 0,0178} = \frac{1,09}{20,56} = 0,05м.$$

Необходимое утепление определено при $B = 0,40$ м:

$$R_\alpha + R_u = \frac{22}{\frac{2,02 \times 10^5 \times 0,015 \times 1 \times 0,02}{0,4} + 80} = \frac{22}{231,5} =$$

$$= 0,095 \ \frac{м^2 \cdot сутки \cdot {}^0C}{ккал};$$

$$R_u = 0,095 - 0,002 = 0,093 \ \frac{м^2 \cdot сутки \cdot {}^0C}{ккал}.$$

Принято утепление лотка инвентарными щитами из досок 2,5 см с толщиной засыпки исаду ними опилками 15 см. Термическое сопротивление принятой теплоизоляции, без учета сопротивления снежного покрова ($R_r = 0,0158$), будет равно:

$$R_u = \sum \frac{h_i}{\lambda_i} = \frac{0,05}{2,88} + \frac{0,15}{1,92} = 0,017 + 0,0784 = 0,095 > 0,093 \frac{м2 \cdot сутки \cdot {}^0C}{ккал}$$

для участка 4–5 (см.рис. 5):

$$B = \frac{2,02 \times 10^5 \times 0,025 \times 1 \times 0,05 \times 0,0178}{22 - 80 \times 0,0178} = 0,13 м.$$

Необходимое утепление при $B = 0,40$ м:

$$R_\alpha + R_u = \frac{22}{\frac{2,02 \times 10^5 \times 0,025 \times 1 \times 0,05}{0,4} + 80} = \frac{22}{460} =$$

$$= 0,048 \ \frac{м^2 \cdot сутки \cdot {}^0C}{ккал};$$

$$R_u = 0,048 - 0,002 = 0,046 \ \frac{м^2 \cdot сутки \cdot {}^0C}{ккал}.$$

Принято утепление инвентарными щитами из досок 2,5 см с толщиной засыпки опилками 6 см, для которого термическое сопротивление равно:

$$R_i = \sum \frac{h_i}{\lambda_i} = \frac{0,05}{2,88} + \frac{0,06}{1,92} = 0,017 + 0,031 = 0,048 \frac{м^2 \cdot сутки \cdot {}^0C}{ккал}.$$

Для участка 5-6 (пропуск водотока в трубе; понижение температуры водотока в трубе не допускается), как исключение ширину лотка в трубе целесообразно принять равной 0,35 м, а стенки лотка обшить досками в два слоя по 5 см. При этих условиях ниже определено необходимое утепление для входного и выходного оголовков:

$$R_{\alpha} + R_{u} = \frac{T}{\frac{2{,}02 \times 10^5 \times Q \gamma l}{B} - \frac{t_б - t_в}{\delta_д / \lambda_д}} =$$

$$= \frac{31}{\frac{(460 - 80) \times 0{,}40}{0{,}35} - \frac{0{,}2 - (-11{,}5)}{\frac{0{,}10}{2{,}88}}} = \frac{31}{434 - 337} = \frac{31}{97} =$$

$$= 0{,}32 \ \frac{м^2 \cdot сутки \cdot {}^{\circ}C}{ккал};$$

$$R_{u} = 0{,}32 - 0{,}002 = 0{,}318 \ \frac{м^2 \ сутки \ {}^{\circ}C}{ккал}.$$

Принято утепление лотка щитами из стекловаты толщиной 25 см, между досками толщиной 2,5 см. Термическое сопротивление, при коэффициенте теплопроводности стекловаты $\lambda = 0{,}032 \ \frac{ккал}{м \cdot час \cdot {}^{\circ}C} =$

$= 0{,}768 \ \frac{ккал}{м \ сутки \cdot {}^{\circ}C}$, будет равно:

$$R_{u} = \sum \frac{h_i}{\lambda_i} \ \frac{0{,}05}{2{,}88} + \frac{0{,}25}{0{,}768} = 0{,}017 + 0{,}330 = 0{,}35 \frac{м^2 \ сутки \ {}^{\circ}C}{ккал}.$$

Пропуск водотока в пределах 20 м от выходного оголовка в низовую сторону осуществляется так же, как на участке 4-5.

Б) Пропуск водотока дренажом (каптаж источников и отвод их в низовую сторону)

В местах выхода ключей 1,2, 3 (см. рис. 5) принят каптаж путем устройства бетонных приемных колодцев. Отвод воды от приемных каптажных колодцев 1, 2, 3 к водосборному колодцу 4' (на рис. 5 этот вариант показан пунктирными линиями), а затем по склону косогора до смотрового колодца 5' и от колодца 6' до колодца 7' осуществляется с помощью керамиковых труб, уложенных на глубину 2,5 м от дневной поверхности (т.е. ниже глубины промерзания на 0,5 м). Расположение смотровых колодцев принято примерно через 50 м. Непосредственно под железнодорожным полотном (участок 5' - 6') укладывается металлическая труба.

На участках 4' - 5' и 6' - 7', где отсутствуют грунтовые потоки и [illegible] уложены только для [illegible], [illegible]

быть поставлены с плотной прокопопаткой.

Гидравлический расчет керамиковых отводных труб

Участки 4' – 5' и 6' – 7'. Расход Q = 25 л/сек, уклон дна трубы – 0,03, диаметр труб d = 200 мм.

Возможный расход труб при полном наполнении равен:

$$Q_1 = \omega v_1 = \omega C \sqrt{Ri} = \omega \frac{87}{1+\frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \sqrt{Ri} = \omega \frac{87}{1+\frac{0,2}{\sqrt{\frac{0,2}{4}}}} \sqrt{\frac{0,2}{4} \times 0,03} =$$

$$= 0,31 \times 43,5 \times 0,039 = 0,053 \frac{м^3}{сек} = 53 \text{ л/сек},$$

где γ = 0,2 – коэффициент шероховатости для керамиковых труб;

$R = \frac{d}{4}$ – гидравлический радиус;

i – уклон трубы принят равным уклону склона косогора.

По расходу при полном наполнении Q_1 и данному расходу Q определяют, пользуясь рисунком 6, глубину наполнения и искомую скорость.

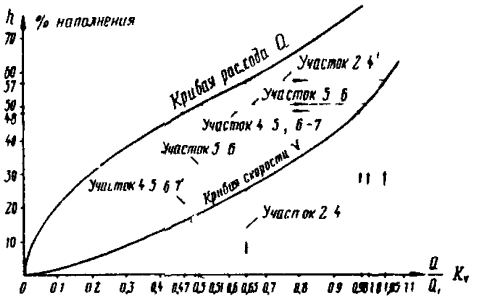


Рис. 6. График для определения глубины наполнения отводной трубы и скорости течения воды в ней

Для этого из точки на оси абсцисс, соответствующей отношению расходов $\frac{Q}{Q_1} = \frac{25}{53} = 0,47$, проводят вертикальную линию до пересечения с кривой расхода Q и для этого уровня определяют на оси ординат глубину наполнения в процентах (h = 48%). Абсолютное значение глубины наполнения трубы, соответствующее расходу Q, будет равно $d_1 = 0,48\,d = 0,48 \times 20 = 9,6$ см.

По относительной глубине наполнения (в процентах), проводя на соответствующем уровне (для h = 48%) горизонтальную линию до пересечения с кривой скорости v, определяют на оси абсцисс коэффициент K_v, на который надо умножить скорость воды в трубе при полном наполнении (v = 1,7 м/сек), чтобы получить скорость, соответствующую данному наполнению. Для h = 48% коэффициент K_v = 0,98.

Следовательно, искомая скорость равна $v = v_1 K_v$ = I,7 x 0,98 = = 1,66 м/сек.

Участок 2 - 4. Расход Q = I5 л/сек, уклон i = 0,02, диаметр керамиковых труб d = I50 мм.

Расход при полном наполнении равен:

$$Q_1 = \omega v_1 = \omega C\sqrt{Ri} = \omega \frac{87}{1+\frac{\delta}{\sqrt{R}}}\sqrt{Ri} =$$

$$= \frac{3,14 \times 0,15^2}{4} \times \frac{87}{1+\frac{0,2}{\sqrt{\frac{0,15}{4}}}} \times \sqrt{\frac{0,15}{4} \times 0,02} = 0,018 \times 43 \times 0,03 =$$

$= 0,023 \frac{м^3}{сек}$ = 23 л/сек.

Отношение расходов $\frac{Q}{Q_1} = \frac{15}{23} = 0,65$. Соответствующий процент наполнения (см.рис. 6) h = 57%. Глубина наполнения d_1 = 0,57 x x I5 = 8,6 см.

Коэффициент K_v при этом наполнении равен K_v = I,05; скорость течения воды в трубе

$v = v_1 \times K_v$ = I,3 x I,05 = I,36 м/сек.

Следовательно, на участках дренажа I-2-4' и 3 - 4' могут быть приняты керамиковые трубы диаметром I5 см, на участках 4' - 5' и 6'-7' - диаметром 20 см.

Участок 5' - 6' (под насыпью). Пропуск воды осуществляется посредством стальной отводной трубы диаметром 200 мм.

Расход при полном наполнении равен:

$$Q_1 = \frac{3,14 \times 0,2^2}{4} \times \frac{87}{1+\frac{0,24}{\sqrt{\frac{0,2}{4}}}} \times \sqrt{\frac{0,2}{4} \times 0,03} = 0,031 \times 40,6 \times$$

x 0,039 = 0,049 $\frac{м^3}{сек}$ = 49 л/сек. Соответствующая скорость v_1 =I,58м/сек. Отношение расходов $\frac{Q}{Q_1} = \frac{25}{49} = 0,51$. По рис. 6, h = 50%, K_v = I,0. Следовательно, глубина наполнения и соответствующая скорость течения воды в трубе будут равны:

d_1 = 0,50 x 20 = I0 см; v = I,58 x I,0 = I,58 $\frac{м}{сек}$.

Участок 6' - 7' решается в зависимости от уклона склонов косогора ниже земляного полотна. При увеличивающихся уклонах склонов следует сохранить уклон отводных труб, при уменьшающихся уклонах или остающихся равными уклонам склонов косогора с верховой стороны от земляного полотна уклон отводных труб уменьшается.

В варианте "в" участок дренажа 5" - 6" - 6 решается аналогично участку 5' - 6' - 7' варианта "о".

Примечания к примеру 4.

1. Дренаж, рассмотренный в примере, в основном выполняет функцию каптажа ключевых вод и их отвод в низовую сторону насыпи. Для отвода вод наиболее рационально применять железобетонные трубы, изготовляемые в центрифугах, с длиной секции 6 + 12 м, с необходимым конструктивным оформлением стыков.

2. На участке 5' - 6' (под насыпью) пропуск воды производится с помощью стальной трубы. Это решение имеет свои положительные и отрицательные стороны. Положительным является возможность осуществления данного решения в условиях эксплуатации дороги без перерыва движения - продавливание металлической трубы. Отрицательным является то, что металлическая труба подвержена коррозии.

В связи с этим представляется целесообразным применять на этих участках предварительно напряженные железобетонные оболочки малого диаметра (диаметр 40-60 см в зависимости от величины расхода) с устройством стыков, которые сохраняют плотность при деформациях основания.

Пример 5-й

Дорога ....., участок ....., км ....., пк .....

Данные для расчета

1. Высота насыпи 8,0 м
2. Расчетный расход Q_p = 10 м^3/сек
3. Постоянный водоток отсутствует, но действует постоянный грунтовый поток, питаемый трещинными подземными водами. Гидрогеологический разрез представлен на рис. 7
4. Уклон лога $i_л$ = 20‰
5. Коэффициент фильтрации грунтов K = 25 м/сутки.

Порядок решения

По Q_p и H и конструктивным соображениям определяют тип искусственного сооружения. Возможны решения:

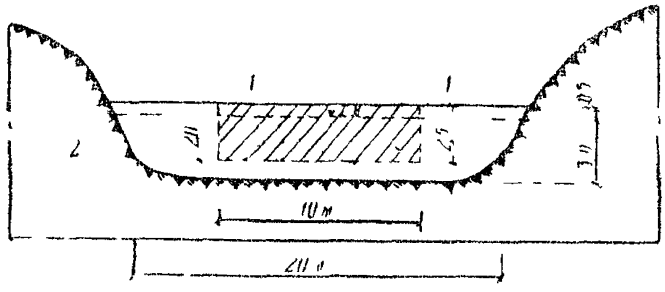
а) железобетонная прямоугольная труба отв. 2,0 м (ЦБИТ);

б) мост по схеме 3 х 11,5 (по предложению С.Л.ГАПЕЕВА).

Схема моста и отверстие приняты исходя из высоты насыпи. Мост может быть применен без противоналедных средств.

Для окончательного выбора варианта необходимо определить противоналедные мероприятия у ЦБИТ и их стоимость.

Ниже определены необходимые противоналедные мероприятия приведенные стоимости по указанным выше вариантам решения.



$F_{ст} = 20 \cdot 3 = 60 м^2$

Рис. 7. Поперечный разрез лога (к примеру 5):
1 - контур фундамента оголовка КБПТ; 2 - водоупорный грунт

Подъем уровня грунтовых вод при условиях, показанных на рис. 7, но без учета наличия отверстия трубы, был бы равен:

$$\Delta h_{гв} = \frac{F_{ст}}{б_л - б_ф} = \frac{?}{20 - 10} = 2 м,$$

где $б_л$ - ширина грунтового потока, в м;
$б_ф$ - ширина фундамента, в м;
$F_{ст}$ - площадь стеснения грунтовых потоков фундаментом оголовка, в $м^2$.

При наличии отверстия трубы подъем уровня грунтовых вод, как следует из ри . 7, возможен только на 0,5 м. В связи с этим перед трубой возможен выход подземных вод в виде ключей. Расход поверхностного водотока ($Q_п$) для этого случая приближенно можно определить, исходя из фильтрационной способности грунта, уклона лога и разности площадей грунтового потока в бытовых условиях и при наличии стеснения потока фундаментом, по формуле:

$$Q_п = K \times i \times \Delta F \quad , \qquad (8)$$

г де K - коэффициент фильтрации в м/сутки;
i - уклон лога;
ΔF - разность площадей грунтового потока, в $м^2$.

При K = 25 м/сутки, i = 0,02 и ΔF = 60-35 = 25 $м^2$ расход поверхностного водотока будет равен:

$Q_н$ = 25 x 0,02 x 25 = 12,5 м^3/сутки = 0,145 л/сек.

Пропуск водотока с расходом 0,145 л/сек в зимнее время через бетонную трубу без образования наледи не представляется возможным.

Объем наледи на переходе из-за нарушения условий протекания подземных потоков может быть определен по формуле (в м^3):

$$\mathcal{V} = T_б \beta m \cdot \Delta Q_{ср} = T_б \beta m k i \cdot \Delta F \quad , \qquad (9)$$

где $T_б$ - рассматриваемый промежуток времени в сутках;

$\Delta Q_{ср}$ - разность средних расходов грунтового потока в бытовых условиях и у сооружения (в м^3/сутки) за промежуток времени $T_б$;

ΔF - разность средних площадей живого сечения грунтового потока в бытовых условиях и у сооружения в м^2;

m - коэффициент, учитывающий наличие воздушных прослоек во льду, равный 1,2;

β - коэффициент расширения при переходе воды в лед, равный 1,1.

Для определения величины ΔF в формуле (9) необходимо определить промерзание грунта в бытовых условиях и на переходе.

Промерзание грунта в бытовых условиях определено при следующих исходных данных: грунт до глубины 3 м однородный; $\gamma_{ск}$ = 1,7 т/м^3; влажность до глубины 0,5 - 12%, ниже - 24%; льдистость - 1,0; C = 520 ккал/м^3·^{0}C; λ = 2,5 ккал/м·час·^{0}C; тепловой поток снизу $Q_п$ = 80ккал/м^2·сутки - для ноября-декабря; $Q_п$ = 60 ккал/м^2 сутки - для января-марта.

На переходе характеристики грунта приняты такие же, что и в бытовых условиях, но тепловое влияние снежного покрова не учтено (снег будет поглощаться наледными водами). Климатические данные - см.пример 1, табл. 1 и 2.

Определение глубины промерзания выполнено по методике проф. ЛУКЬЯНОВА В.С. (ЦНИИС). Данные расчетов приведены в таблице 8, в которой наряду с глубиной промерзания содержатся: площади живого сечения потока, разности площадей, объемы наледи и толщина наледного льда (на 30/Ш).

Как видно из таблицы 8, ЛЭП может быть применен только в комплексе с противоналедными сооружениями. В качестве противоналедных сооружений в данном случае возможно применить:

а) дренаж - для безналедного пропуска подземных вод в низовую сторону;

б) водонепроницаемый экран в комбинации с указанными проти-

Таблица 8

Уч. по пор.	Определяемые величины	Дата	Бытовые условия	БПТ отв. 2,0 м
	Глубина промерзания грунтов (м)	30.XI 30.XII 30.I 29.II 30.III	0,31 0,37 0,60 0,94 0,95	1,05 1,65 2,10 2,45 2,60
2	Средняя площадь живого сечения потока в бытовых условиях и на переходе (м2)	30.XI 30.XII 30.I 29.II 30.III	60 60 59 55 52	30,0 22,0 10,0 6,0 3,0
3	Разность средних площадей живого сечения потока (м2)	30.XI 30.XII 30.I 29.II 30.III		30,0 38,0 49,0 49,0 49,0
4	Объем льда, при условии полной аккумуляции наледи с верховой стороны (м3)	30.XI 30.XII 30.I 29.II 30.III		594 1346 2108 3068 4028
	Толщина наледного льда (м)	30.III	-	≈ 2,0

ПРИМЕЧАНИЕ. При определении площади стеснения на переходе для периода I-III принято дополнительное (по сравнению с первым периодом зимы - XII-I) боковое стеснение грунтового потока в результате промерзания грунта вблизи фундамента, равное: $f_д = 0,5\,б_ф + 1,1 = 6,1$ м^2.

зоналедными средствами.

Ниже рассмотрен вариант применения дренажа.

Требуется перехватить грунтовый поток и собранные воды отвести с помощью отводных труб в низовую сторону.

Соответственно исходным данным по грунтовому потоку принят дренаж совершенного типа с расположением его по рис. 8.

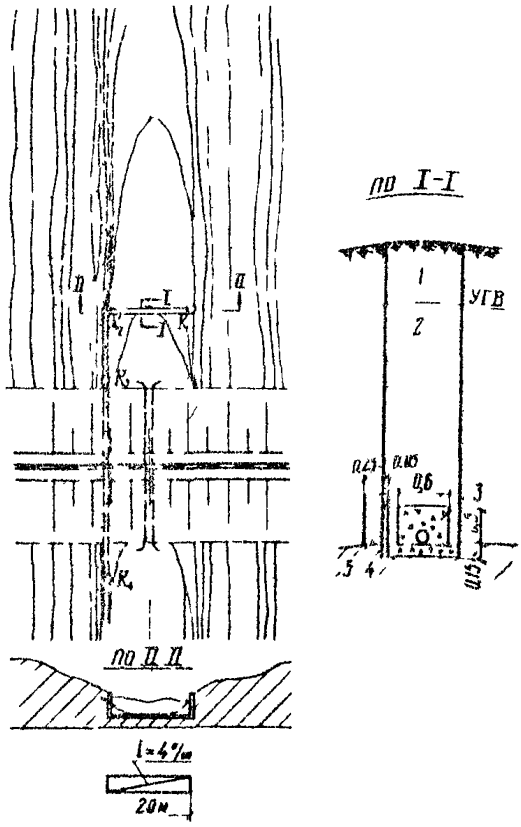


Рис. 8. Схема противоналедных сооружений (к примеру 5):
1 - местный грунт; 2 - крупный песок; 3 - щебень;
4 - щит; 5 - экран из глины; К - смотровые колодцы

Грунтовый поток в 20 м выше ЖБП перехвачен дренажными трубами, уложенными поперек лога с уклоном 4% (между смотровыми колодцами K_1 и K_2).

Общий расход грунтового потока равен:

$$Q = FKi = (3{,}0 \times 20) \times 25 \times 0{,}020 = 30 \text{ м}^3/\text{сутки} =$$

$$= 0{,}00035 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Удельный дебит дренажа (приток воды на 1 м дренажной трубы) на участке между смотровыми колодцами K_1 и K_2 длиной $L = 20$ м:

$$q = \frac{Q}{L} = \frac{30}{20} = 1{,}5 \frac{\text{м}^3}{\text{м} \cdot \text{сутки}} = 0{,}000017 \text{ м}^3/\text{м} \cdot \text{сек}.$$

Гидравлический расчет дренажной и отводной труб, ввиду малых расчетных расходов, можно не выполнять, приняв минимальный диаметр керамиковых труб 12,5 см.

Необходимо проверить водопропускную способность дрены.

При обсыпке дренажной трубы гравием (щебнем) с коэффициентом пористости n_1 = 0,20 и коэффициентом фильтрации обсыпки K_0 = 30 м/сутки, а для песчаного грунта соответственно с n = 0,35 и K = 25 м/сутки, необходимая площадь отверстий ω_0 на 1 п.м трубы должна быть не менее

$$\omega_0 = \frac{\pi d n K}{K_0 n_1} = \frac{3,14 \times 12,5 \times 0,35 \times 25}{30 \times 0,20} = 57,3 \text{ см}^2.$$

Принят диаметр отверстий на дренажной трубе 2,5 см с шагом через 10см, что обеспечит потребное ω_0 с некоторым избытком.

Отвод воды от смотрового колодца K_2 до колодца K_3 (см. рис. 8) может быть осуществлен керамиковыми трубами диаметром 12,5см или же для этой цели могут быть использованы железобетонные трубы.

При положении поперечного дренажа в расстоянии 30 м от входного оголовка полная длина дренажа будет равна 100 м (20 м - длина дренажа, уложенного поперек лога между K_1 и K_2 ; 30 м - длина дренажа с верховой стороны насыпи между K_2 и K_3 ; 30 м - длина дренажа под насыпью между K_3 и K_4 ; 20 м - длина дренажа с низовой стороны насыпи).

Сравнение вариантов решения приведено в табл. 9.

Следовательно, по приведенной стоимости железобетонная прямоугольная труба отв. 2,0 м в комплексе с противоналедным сооружением в данном случае является более предпочтительным вариантом проектного решения.

Таблица 9

Приведенные стоимости вариантов

Основные сооружения	Приведенная стоимость в тыс.руб.	Приведенная стоимость противоналедных сооружений	Общая приведенная стоимость тыс.руб.
ЖБПТ отв. 2,0 м	20,0	Дренаж длиной 100 м 7,0 тыс.руб.	27,0
ССЭМ 3x11,5 м	33,0	-	33,0

Пример 6-й

При укладке трассы по косогору коренного склона (рис. 9) в отдельных местах обнаружен выход грунтовых вод. Земляное полотно на данном участке проектируется в виде полунасыпи и полувыемки.

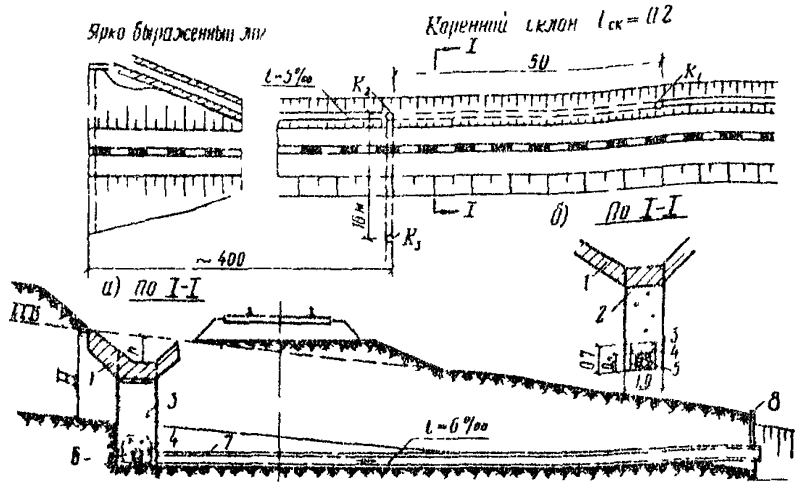


Рис. 9. Варианты безнапорного пропуска грунтовых вод (к примеру 6):
а - вариант с дренажной трубой; б - то же - с каменной наброской; I - мятая глина; 2 - балласт чистый; 3 - крупный песок; 4 - щебень; 5 - камень; 6 - дренажная труба; 7 - труба прорези; 8 - оголовок; К - смотровые колодцы

Гидрогеологическими обследованиями установлены следующие данные: грунтовые потоки имеют водоупор на глубине 3,I м, а уровень от дневной поверхности - 0,8 м; ширина фронта грунтовых вод 50 м. Проектируемый кювет и планировка под насыпь обнажают грунтовый поток на глубину 0,6 м.

Требуется рассмотреть вопрос о противоналедных мероприятиях на данном участке.

Общий дебит грунтовой воды, выходящей в кювет в результате обнажения грунтового потока, при i = 0,2, K' = 25 м/сутки равен:

$$Q_к = \Gamma \times K' \times i = (50 \times 0{,}6) \times 25 \times 0{,}2 = 150 \frac{м^3}{сутки} = 1{,}7 \frac{л}{сек}.$$

При проектировании в обычных условиях воду отводят кюветом или водоотводной канавой к близлежащему искусственному сооружению. В данном случае имеет место ярко выраженный лог в 400 м от места обнажения грунтовых вод.

В суровых климатических условиях транспортировка воды кюветом с уклоном равным 0,005 и при расходе I,7 л/сек практически невозможна без образования наледи.

В данном случае могут быть применены два способа, обеспечивающие безналедный пропуск вод (задержание наледи практически осуществить невозможно - малая высота насыпи и большой уклон косогора): с помощью утепленного лотка или сброс грунтовых вод в низовую сторону с помощью дренажа. При этом длина утепленного постоянного лотка равна ≈ 450 м, а длина дренажа - 50 + 20 = 70 м.

Вариант с дренажом наиболее дешевый: приведенная стоимость бетонного утепленного лотка длиной 450 м составляет 15,2 тыс.рублей, а дренажа длиной 70 п.м - 5,4 тыс.руб.

Дренаж в данном случае может быть запроектирован в виде подкюветного (рис. 9, разрезы по I-I). При этом дренажом следует перехватить весь грунтовый поток (так как будет увеличенное промерзание под кюветом) и отвести его в низовую сторону.

Общий дебит дрены при глубине потока 2,3 м и ширине 50 м равен:

$$Q = F \times K \times i = (2{,}3 \times 50) \times 25 \times 0{,}2 = 575 \frac{м^3}{сутки} =$$

$$= 6{,}7 \frac{л}{сек};$$

удельный дебит дрены

$$q = \frac{Q}{\ell} = \frac{575}{50} = 11{,}5 \ м^3/сутки.$$

Принята дренажная труба диаметром 20 см (керамиковая) с обсыпкой ее щебнем. При коэффициентах: пористости $n_1 = 0{,}20$, фильтрации $K_0 = 30$ м/сутки - для щебня, соответственно $n = 0{,}35$, $K = 25$ м/сутки - для песка, необходимая площадь отверстий на 1 п.м дренажной трубы должна быть не менее

$$\omega_0 = \frac{\pi d \, n \, K}{K_0 \, n_1} = \frac{3{,}14 \times 20 \times 0{,}35 \times 25}{30 \times 0{,}2} = 91{,}7 \ см^2.$$

Приняты отверстия диаметром 25 мм с шагом через 10 см.

Гидравлический расчет произведен с использованием формулы Шези, получено: $v = (\ )$ м/сек, глубина наполнения - 7,5 см (при $i_{кр} = 0{,}005$).

Перепуск воды от колодца K_2 к колодцу K_3 (рис. 9) осуществлен посредством труб из железобетона диаметром 30 см (по конструктивным соображениям).

Практический интерес представляет дренаж с каменной наброской (дренажная прорезь) (см.рис. 9,б). Требуется определить площадь поперечного сечения дрены из бутового камня.

Площадь поперечного сечения может быть определена по формуле

$$\omega = \frac{Q}{v}$$

Скорость фильтрации (v) определяют по эмпирическим данным в зависимости от действующего диаметра частиц.

На рис. 9,б принята дрена из бутового камня диаметром I2 см при площади поперечного сечения 0,4 х 0,4 = 0,I6 м^2; обсыпка - из щебня диаметром 2 см при площади 0,7 х 0,7 - 0,I6 = 0,33 м^2 и песка диаметром 0,2 см при площади I х 0,7 - 0,49 = 0,2I м^2.

Процентное содержание (m) каждого из составляющих: бут - 22,8%; щебень - 47,2%; песок - 30%.

Действующий диаметр частиц (в мм):

$$D = \frac{\sum md}{I00} = \frac{22{,}8 \text{ х } I20 + 47{,}2 \text{ х } 20 + 30 \text{ х } 2}{I00} = 37{,}4 \text{ мм.}$$

При уклоне дренажа в 5‰ для D = 37,4 мм скорость фильтрации равна v = 980 м/сутки[x];
тогда

$$\omega = \frac{575}{980} = 0{,}59 \text{ м}^2.$$

Принятые размеры дренажа (см.рис. 9,б) удовлетворяют пропуску дренируемого грунтового потока.

Данный тип дренажа может быть рекомендован в тех случаях, когда ожидается небольшой приток грунтовых вод, а также при каптаже мелких периодических ключей. Эффективно можно использовать дренажные прорези для отвода подземных вод в выемках, сложенных скальными породами.

Б. Задержание наледи

Основными отправными факторами, определяющими принятие данного способа борьбы с наледями у малых мостов и труб, являются: величина расхода поверхностных водотоков и ключей в осенне-зимний период; данные гидрогеологических обследований грунтового и подруслового потоков; конфигурация и уклон лога в районе перехода;

---

x) НОВИКОВ С.С. Отвод поверхностных и подземных вод от железнодорожного полотна. М. Трансжелдориздат, I938.

климатические данные района.

Наиболее целесообразно применять данный способ в пологих логах с малым расходом поверхностных и грунтовых потоков. При этом для удержания наледей поверхностных водотоков могут быть применены постоянные земляные валы с удерживающими заборами в проеме. Особенно положительно работают земляные валы с заборами при удержании "спускающихся" наледей. В данном случае они задерживают наледные воды, вышедшие на дневную поверхность.

При применении удерживающих земляных валов с заборами на постоянных водотоках необходимо, чтобы их возведение приводило к резкому нарушению бытовых условий протекания водотоков. Это может быть достигнуто резким уширением русел на подходах к земляному валу, а также непосредственно у земляного вала путем устройства горизонтального мощения в просвете.

Пример 7-Н

Дорога ....., участок ....., км ....., пк .....

Данные для расчета

1. Высота насыпи H = 8,0 м
2. Расчетный расход Q_p = 10 $м^3$/сек
3. Расход водотока в осенне-зимний период Q = 3 л/сек

Выход источников на поверхность в 300 м от перехода

4. Подрусловые потоки отсутствуют. Геологический разрез представлен суглинками на глубину до 2-х метров, ниже аргиллиты
5. Наледь в бытовых условиях отмечается в отдельных местах
6. Лог в районе перехода имеет корытообразное очертание с шириной по низу $Q_д$ = 50 м, с уклонами: главного лога $i_{гл}$ = 5‰ левого и правого склонов $i_{лс}$ = $i_{пс}$ = 50‰
7. Климатические данные - см.пример 1, табл. 1.

Порядок решения

По Q_p и H определяют тип искусственного сооружения. В данном случае возможны следующие решения:

а) БПТ - бетонная прямоугольная труба отверстием 2,0 м в комплексе с противоналедными сооружениями:

- с утепленным бетонным лотком в пределах полосы отвода;
- с земляным удерживающим валом и забором в проеме;

б) ЖБМ – железобетонный балочный мост по схеме 1 х 10 м на массивных опорах;

в) ССЭМ – сборный свайно-эстакадный мост по схеме 3х12,5 м (по предложению С.И.ГАЛЕЕВА, см. Методические указания № 4 Ленгипротранс, 1959).

Мосты при высоте насыпи 8,0 м могут быть применены без специальных противоналедных средств. Схемы мостов в данном примере приняты по конструктивным соображениям, исходя из высоты насыпи.

Приведённые стоимости по вариантам приведены в табл. 10.

Пропуск водотока с расходом Q = 5 л/сек при $i_{тр}$ = 5‰ представляет очень большие трудности. Необходимое утепление определено при ширине лотка $B_л$ = 0,40 м:

$$R_\alpha + R_u = \frac{38}{\frac{2{,}02 \times 10^5 \times 0{,}003 \times 0{,}005}{0{,}40} + 80} = \frac{38}{87{,}6} =$$

$$= 0{,}43 \ \frac{м^2 \cdot сутки \cdot {}^0C}{ккал}$$

Таблица 10

Приведённые стоимости (в тыс.руб.)

Варианты	Искусственное сооружение стоимость	Утепленный лоток длина в м	Утепленный лоток стоимость	Земляной вал h = 2,0 м длина в м	Земляной вал h = 2,0 м стоимость	Общая приведенная стоимость
а) БПТ 1	20,0	100	3,9			23,9
2	20,0	–	–	50п.м с укрепленным мощением	2,0	22,0
б) ЖБМ	50,0	–	–	–	–	50,0
в) ССЭМ	33,0	–	–	–	–	33,0

При термическом сопротивлении R_u = 0,428 $\frac{м^2 \cdot сутки \cdot {}^0C}{ккал}$ для обеспечения безналедного пропуска водотока необходимо утепление из щитов с слоем стекловаты толщиной ~ 50 см.

Пропуск водотока в трубе возможен только при дополнительном его подогреве.

Следовательно, безналедный пропуск водотока в утепленном лотке практически невозможен. Осуществимым и экономически выгодным

является (см.табл. 10) вариант с БПТ и задержанием наледи земляными валами с заборами в проеме.

Объем наледного льда при полном его задержании противоналедными средствами равен:

$$V_{пол} = \frac{a\,t\,m}{\gamma} = \frac{0{,}003\ (3600 \times 24 \times 30 \times 5)\ 1{,}2}{0{,}92} \approx 50000\ м^3;$$

Здесь a – расход водотока в $м^3$/сек;

t – время в сек. за 5 зимних месяцев (см.табл. 1);

$m = 1{,}2$ – коэффициент, учитывающий наличие воздушных прослоек во льду;

γ – объемный вес льда.

Удерживающая способность одного вала при расчетной высоте его $h_б = 2{,}0$ м:

$$V_б = \frac{1}{6} h_б^3 \left(\frac{1}{i_{ж}} + \frac{1}{i_{ж}}\right)\frac{1}{i_{гл}} + a_л h_б^2 \frac{1}{i_{гл}} =$$

$$= \frac{1}{6} 2^3 \left(\frac{1}{0{,}050} + \frac{1}{0{,}050}\right)\frac{1}{0{,}005} + 50 \times 2^2 \frac{1}{0{,}005} \approx 50000\ м^3.$$

То есть, для удержания наледи при данной конфигурации лога требуется один земляной вал с минимальной конструктивной высотой 2,5 м. При этом необходимо иметь в виду следующие конструктивные его особенности.

Ввиду того, что водоток постоянный и в бытовых условиях образует незначительные наледи, удерживающий вал должен обязательно иметь горизонтальное мощение шириной $\sim 5{,}0$ м.

Земляной вал выполняется согласно требованиям ВСН-61-61. Заполнение проема между валами рекомендуется устраивать из железобетонных свай и разборных досок (рис. 10).

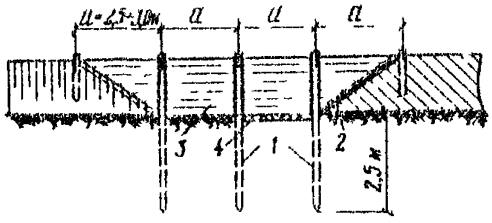


Рис. 10. Схема забора, устанавливаемого в проеме земляного противоналедного вала:
1 – железобетонные стойки с пазами для закладных досок; 2 – железобетонная пластина с пазом для закладных досок; 3 – закладные доски; 4– бетонные плиты

Величина проема между валами должна быть не менее величины отверстия искусственного сооружения, но при этом весь проем должен иметь разборное заполнение. В ВСН-61-61 предусматривается только частичная разборка проема. Как показала практика, это приводит к образованию больших завихрений при протекании весенних и осенних вод у постоянных вертикальных бревенчатых стенок, к наклону стенок и к размыву конусов вала.

Пример 8-й

Дорога ....., участок ....., км ....., пк .....

Данные для расчета

1. Высота насыпи H = 8,0 м

2. Расчетный расход Q_p = 10 м^3/сек

3. Поверхностные водотоки в осенне-зимний период отсутствуют, но действуют постоянные грунтовые потоки, питаемые трещинными подземными водами

Гидрогеологический разрез по оси сооружения и выше перехода в 50-70 м примерно одинаков и представлен на рис. 11

4. Уклон лога $i_л$ = 20‰

5. Коэффициент фильтрации грунтов K = 20 м/сутки

6. Наледь в бытовых условиях отмечена в логу в виде ледяной корки толщиной 25-30 см.

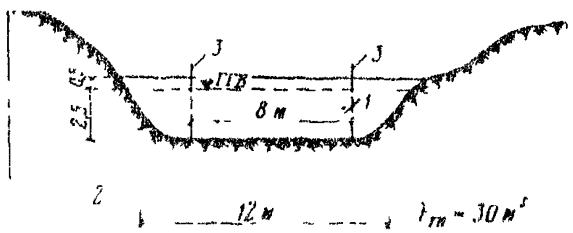


Рис. 11. Поперечный разрез лога (к примеру 8):
1 - песок с гравием; 2 - аргиллиты; 3 - контур фундамента оголовка БПТ

Порядок решения

По Q_p и H определяют тип искусственного сооружения. Возможны в данном случае следующие решения:

а) бетонная прямоугольная труба отв. 2,0 м;

б) ЖБМ по схеме I x I0 м;

в) ССЭМ по схеме 3 x II,5 м (по предложению С.И.ГАПЕЕВА).

Из технико-экономического сравнения вариантов решения (см. пример 7, табл. I0) видно, что приведенная стоимость БПТ составляет 40% от стоимости ССЭМ при данной высоте насыпи. Но для окончательного решения требуется рассмотреть работу БПТ в этих условиях и определить необходимые противоналедные мероприятия и их стоимость.

По данным рис. II, экранирующая площадь фундамента оголовка БПТ равна 8 x 2,5 = 20 м^2. При неограниченном по высоте экране величину подъема уровня грунтовых вод можно определить, исходя из площади стеснения грунтового потока бетонным фундаментом трубы, по формуле:

$$\Delta h_г = \frac{F_{ст}}{б_л - б_ф} = \frac{2,5 \times 8}{I2 - 8} = \frac{20}{4} = 5,0 \text{ м},$$

где $б_л$ – ширина грунтового потока в м;

$б_ф$ – ширина фундамента в м;

$F_{ст}$ – площадь стеснения грунтового потока фундаментом в м^2.

Но при наличии отверстия трубы подъем уровня грунтовых вод на переходе возможен только на 0,5 м. В связи с этим появляется избыток грунтовых вод, который будет выходить в виде ключей перед искусственным сооружением на дневную поверхность. Расход поверхностного водотока ($Q_п$) приближенно можно определить по формуле (8), – см. пример 5-й.

При K 20 м/сутки, i = 0,02 и ΔF = 30–6 = 24 м^2

$Q_п = K i \Delta F = 20 \times 0,020 \times 24 = 9,6$ м^3/сутки = 0,II4 л/сек.

Пропуск поверхностного водотока при столь малом расходе через бетонную трубу отв. 2,0 м без промерзания водотока в трубе практически невозможен.

Ниже определено стеснение (нарушение условий протекания) грунтовых потоков в бытовых условиях и у сооружения. При определении промерзания грунтов в бытовых условиях климатические данные приняты те же, что в примере I (см.табл. I,2).

Исходные данные: грунт однородный – песок с гравием;

α = 20 $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot {}^0\text{С}}$; $\gamma_{ск}$ = I700 кг/м^3; влажность грунта (W) до глубины 0,5 м – I2%, ниже полностью обводненный грунт – 24%;

льдистость $\ell = 1{,}0$; $C = 520 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}}$; $\lambda = 2{,}5 \frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{час} \cdot {}^\circ\text{C}}$;
тепловой поток снизу $Q_п = 80$ ккал/м^2 сутки (для ноября – декабря), $Q_п = 60$ ккал/м^2 сутки (для января–марта); скрытая теплота

$$Q_{12\%} = \gamma_{ск} \frac{W}{100} \ell Q_п = 1700 \times 0{,}12 \times 1 \times 80 = 16300 \ \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3},$$

$$Q_{24\%} = \gamma_{ск} \frac{W}{100} \ell Q_п = 1700 \times 0{,}24 \times 1 \times 80 = 32600 \ \frac{\text{ккал}}{\text{м}^3}.$$

Глубина промерзания ($h_{пр}$) вычислена на конец каждого зимнего месяца. Данные расчета глубины промерзания грунта в бытовых условиях приведены в табл. 11[1].

Таблица 11

период времени	продолжительность периода в часах	средне-месячная температура	S	A	B	H	$h_{пр}$ в м
ноябрь	720	14,9	2,98	0,264	0,15	0,103	0,31
декабрь	720	24,5	4,3	0,29	0,18	0,085	0,37
январь	720	25,2	4,92	0,27	0,185	0,121	0,60
февраль	720	22,1	4.10	0,219	0,33	0,23	0,94
март	720	12,3	4,30	0,224	0,31	0,22	0,95

Расчеты выполнены по методике проф. В.С.ЛУКЬЯНОВА. При расчете допускалось осреднение климатических и теплотехнических данных по периодам.

Аналогичным путем определено промерзание грунта на переходе (у входного оголовка трубы). При этом принято: $W = 24\%$ по всей глубине водопроницаемых грунтов; снежный покров отсутствует, он поглощается наледными водами, выходящими перед трубами. Получены следующие значения глубины промерзания грунта: 30/XI–1,05 м; 30/XII – 1,65 м; 30/I – 2,1 м; 29/II – 2,45 м; 30/III – 2,6 м.

Имея данные по глубинам промерзания грунта в бытовых условиях

1) Величины S, A, B, H определены по формулам проф. В.С. ЛУКЬЯНОВА. Зная их, глубину промерзания грунтов ($h_{пр}$) можно получить по графикам, – см.ЛУКЬЯНОВ В.С., ГОЛОВКО М.Л. Расчет глубины промерзания грунтов. Трансжелдориздат, 1957.

и на переходе, а также учитывая дополнительное стеснение грунтовых потоков боковым промерзанием грунта вблизи фундаментов, можно получить изыток грунтовых вод, который будет выходить перед трубой и образовывать наледь. Данные расчета объема наледи и толщины наледного льда приведены в табл. I2.

Таблица I2

№ по пор	Определяемые величины	Дата измерений	Бытовые условия	БПТ отв. 2,0 м
I	Средняя площадь живого сечения грунтового потока ($м^2$)	30.XI 30.XII 30.I 29.II 30.III	30 30 28,6 24,0 24,0	7,0 4,I 2,5 I,34 0,8
2	Разность средних площадей живого сечения потока в бытовых условиях и на переходе	30.XI 30.XII 30.I 29.II 30.III		23,0 25,9 26,I 22,66 23,2
5	Объем наледного льда в предположении полной его аккумуляции с верховой стороны ($м^3$)	30.XI 30.XII 30.I 29.II 30.III		461 959 2I72 2668 3I47
4	Толщина наледного льда у сооружения	на 30.III		I,7 м

ПРИМЕЧАНИЯ. I. При определении площади стеснения на переходе для периода I–III принято дополнительное боковое стеснение грунтового потока, равное I,I м2.

2. Объем наледи определен с коэффициентом m = I,2, учитывающим наличие воздушных прослоек во льду; при этом в расчет принимались средние равности площадей грунтового потока в бытовых условиях и на переходе.

При уклоне главного лога $i_{гл}$ = 0,020, уклонах левого и правого склонов $i_{лс} = i_{пс}$ = 0,I, ширине лога по низу $a_л$ = I0 м и при объеме наледи $O_н$ = 3I47 $м^3$ (см.табл. I2), толщина наледи $h_н$, определяемая из равенства:

$$O_н = \frac{1}{6} h_н^3 \left(\frac{1}{i_{пс}} + \frac{1}{i_{лс}}\right) \frac{1}{i_{гл}} + a_л h_н^2 \frac{1}{i_{гл}} ,$$

будет равна $h_н$ = I,7 м.

При полученной расчетом толщине наледного льда требуются

противоналедные мероприятия. В данном случае удержание наледи выше искусственного сооружения возможно посредством земляного вала с забором (см.пример 7-й). Высота вала должна быть не менее 2,2 м, так как $h_н$ = 1,7 м.

Для перехвата грунтовых вод (создание экрана) необходимо забить поперек лога железобетонную стенку на расстоянии 1 м от земляного вала (рис. 12). При наличии местного глинистого грунта (глина или жирный суглинок) возможно сооружение водонепроницаемого экрана согласно ВСН-61-61.

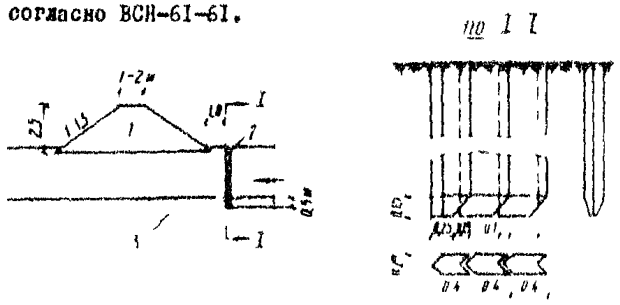


Рис. 12. Схема экранирующей стенки с земляным удерживающим валом:
1 - земляной вал; 2 - стенка из железобетонного шпунта; 3 - водоупорный грунт

В. Свободный пропуск наледи

На постоянных водотоках, на которых образуются постоянные изливающиеся наледи в бытовых условиях, наиболее целесообразным является свободный пропуск наледи. Применение водопропускных труб при высоких насыпях может быть допущено только в сочетании с комплексом противоналедных средств, обеспечивающих безналедный пропуск поверхностных и подрусловых потоков с одновременным удержанием наледных вод, выходящих в логах выше искусственного сооружения и стекающих по льду. В отдельных случаях на подобных водотоках применение водопропускных труб возможно при использовании только одного способа: безналедного пропуска водотока или задержания наледи.

При свободном пропуске наледи назначаемое искусственное сооружение должно отвечать одному из следующих условий:

а) не допустить усиления наледного процесса у сооружения, а наледи, образующиеся в бытовых условиях, свободно пропускать в низовую сторону;

б) при допущении частичного усиления наледного процесса у сооружения надежно обеспечивать нормальные условия пропуска весенних расходов.

Этим условиям наилучшим образом отвечают свайно-эстакадные мосты увеличенного отверстия, так как при таком решении и при принятии необходимых мер по сохранению бытовых условий протекания водотоков можно избежать дополнительного объема наледи у сооружения.

Пример 9-й

Дорога ....., участок ....., км ....., пк .....

Данные для расчета

1. Расчетный расход Q_p = 10 м^3/сек
2. Высота насыпи H = 4,0 м
3. Расход водотока в осенне-зимний период в бытовых условиях Q = 0,05 м^3/сек. Водоток функционирует в течение всей зимы
4. Уклон лога i = 20‰
5. Температура воды в районе перехода в осенне-зимний период +0,1 ÷ +0,2°С
6. Подрусловые потоки на переходе отсутствуют
7. Наледь в бытовых условиях наблюдается в течение всей зимы, толщина наледи достигает 0,6-0,7 м
8. Допускаемая бытовая скорость течения воды $[v_{ср}]$ = 1,0 $\frac{м}{сек}$; грунты - плотные суглинки
9. Климатические данные района - см.пример 1-й.

Порядок решения

По Q и H определяют, исходя из обычных условий, тип искусственного сооружения. Ниже рассмотрены варианты:

а) БПТ отв. 2,0 м;

б) ССЭМ по схеме 3 х 6 м (инв. № 239. Ленгипротрансмост,1962).

Бетонная прямоугольная труба в этих условиях проектируется в комплексе с противоналедными сооружениями: а) для удержания наледи, образующейся за счет вод, выходящих на поверхность льда в бытовых условиях и стекающих по логу; б) для обеспечения пропуска поверхностных вод без образования наледи - утепленный лоток или дренаж.

Свайно-эстакадный мост возможен с креплением и без крепления

русла. Объем наледи у моста в первом случае образуется: а) в результате частичного удержания наледи, образующейся в бытовых условиях. Это имеет место ввиду того, что отверстие моста меньше ширины наледи в бытовых условиях[1]; б) в результате нарушений бытовых условий протекания водотока на отмётке у моста, а также из-за возможного отсутствия снежного покрова под мостом. Объем наледи в данном случае может быть определен по формуле (9′):

$$U' = T_б \beta m \cdot \Delta Q_{ср} \qquad (9')$$

где $\Delta Q_{ср}$ – разность между средним расходом водотока в бытовых условиях и средней пропускной способностью живого сечения водотока под льдом у сооружения за рассматриваемый период (в м^3/сутки). Т.е.:

$$\Delta Q_{ср} = Q_{ср\ быт} - Q_{ср\ пром}$$

Остальные обозначения по предыдущему – см.формулу (9).

При полном промерзании водотока у сооружения ($Q_{ср\ пром} = 0$) объем наледи (в м^3) определится по формуле (10):

$$U' = T_б \beta m Q_{ср\ быт} \qquad (10)$$

При $Q = 0{,}050$ м^3/сек в осенне-зимний период и ширине отверстия по низу 6 м глубина водотока будет равна 2-3 см.

Рассматривая нарастание льда при протекании водотока на отмостке у моста при $Q = 0{,}050$ м^3/сек, $\ell = 0{,}20$, $T = 15^0$С, $\alpha = 20 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}\ ^0\text{С}}$, будем иметь промерзание водотока в течение первых десяти дней ноября.

Объем наледи за этот период, определяемый по формуле (9′), равен:

$$= 10 \times 1{,}1 \times 1{,}2 \times 0{,}025 \times 86400 = 28500 \text{ м}^3;$$

здесь: 0,025 – разность между расходом водотока в бытовых условиях и средней пропускной способностью живого сечения

---

1) Объем наледи в результате частичного его удержания земляным полотном является функцией: уклона лога, интенсивности наледеобразования в бытовых условиях, температуры наружного воздуха, частоты и интенсивности выпадания снежного покрова, соотношений размеров отверстия искусственного сооружения и ширины наледи в бытовых условиях. Для раскрытия функциональной связи необходимы дополнительные исследования.

под льдом у сооружения:

$$\Delta Q_{ср} = 0{,}05 - \frac{0{,}05+0{,}0}{2} = 0{,}025 \text{ м}^3/\text{сек};$$

86400 - коэффициент перехода к суточному объему воды (количество секунд в сутках);

10 - время в сутках ($T_б$);

1,1 и 1,2 - соответственно коэффициенты β и m в формуле (9').

За остаток ноября ($T_б$ = 20 суток) объем наледи определен по формуле (10):

W = 20 x 1,1 x 1,2 x 0,05 x 86400 = 114000 м^3.

Общий объем наледи за ноябрь - 142500 м^3.

При этих условиях необходим пропуск водотока по ледовым каналам со второй половины ноября.

Для борьбы с наледью в случае применения моста с креплением русла требуется осуществить: а) сосредоточение водотока в пределах полосы отвода и непосредственно у искусственного сооружения с устройством утепления; б) частичное удержание наледи выше искусственного сооружения. Т.е. при применении моста по схеме 3 х 6 м с мощением русла практически требуются противоналедные мероприятия аналогичные применяемым у БПТ.

Применение моста без противоналедных мероприятий в данном случае осуществимо только лишь при условии отказа от крепления русла и назначения величины отверстия моста не менее ширины наледи в бытовых условиях[1]).

Ниже рассмотрен вариант моста без крепления русла.

Отверстие моста определено при коэффициенте шероховатости γ = 9,0 и бытовой глубине $h_б$ = 0,8 м.

Скорость течения воды при этих условиях равна:

$$V = C\sqrt{RI} = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{0{,}8}}} \text{ x } \sqrt{0{,}8 \text{ x } 0{,}02} = 1{,}0 \text{ м/сек}$$

Площадь живого сечения при коэффициенте расхода μ = 0,9 равна:

---

1) Последнее ограничение вводится ввиду того, что объем наледи у сооружения из-за частичного удержания наледи земляным полотном не может быть определен без дополнительных исследований (см.п. 4, абзац второй).

$$\omega = \frac{Q}{v\mu} = \frac{10}{1{,}0 \times 0{,}9} = 11 \text{ м}^2$$

Отверстие моста „$b_н$" (по низу конусов при откосах 1:1,5) определится из равенства

$$\omega = b_н h_в + m h_в^2 ,$$

откуда при $m = 1{,}5$

$$b_н = \frac{\omega - m h_в^2}{h_в} = \frac{11 - 1{,}5 \times 0{,}8^2}{0{,}8} = 12{,}5 \text{ м}.$$

С учетом стеснения сваями (4 х 0,4 = 1,6 м) отверстие по низу должно быть

$b_н = 12{,}5 + 1{,}6 = 14{,}1$ м.

Необходимому отверстию удовлетворяет одна из типовых схем моста, показанная на рис. 13, с пролетами

6,0 + 2 х 9,3 + 6,0 м.

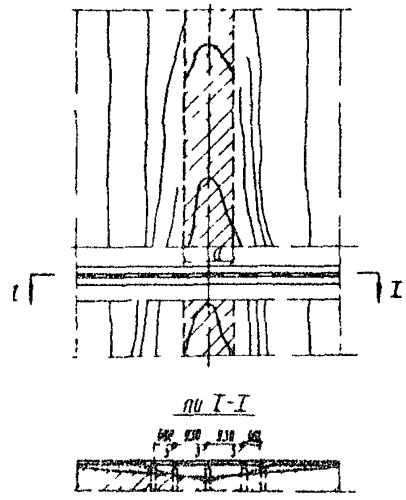


Рис. 13. Свободный пропуск наледи (к примеру 9):
а – ширина наледи в бытовых условиях

При данной схеме моста выполняются оба условия: отсутствует крепление русла, величина отверстия не менее ширины наледи в бытовых условиях.

Экономические данные по вариантам приведены в таблице 13.

Таблица I3

Варианты	Приведенная стоимость основного сооружения в тыс.руб.	Приведенная стоимость противоналедных сооружений		Общая приведенная стоимость варианта в тыс.руб.
		сосредоточенный пропуск (утепленный лоток)	удерживающий противоналедный вал	
БПТ отв. 2 м	20,0	ℓ = 80 м 3,6 т.р.	I,2 т.р.	≈ 25,0
ССЭМ по схеме 3х6м с креплением русла	25,0	ℓ = 40 м I,8 т.р.	$h \approx$ 3 м; ℓ =30м I,2 т.р.	28,0
ССЭМ по схеме 6,0+2х9,3+6,0 без крепления	27,0	-	-	27,0

Лучшие условия эксплуатации имеет последний вариант, обеспечивающий свободный пропуск наледи; ему следует в данном случае отдать предпочтение.

При толщине наледного льда 0,6-0,7 м при этом варианте обеспечиваются также нормальные условия пропуска расчетных расходов по наледному льду.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПРИМЕРНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛЫХ МОСТОВ, ТРУБ И ПРОТИВОНАЛЕДНЫХ СРЕДСТВ

Тип искусственного сооружения и противоналедные средства назначаются исходя из геологических, гидрогеологических и климатических условий района. При рассмотрении областей применения искусственных сооружений и противоналедных средств для определенного климатического района следует исходить из гидрогеологических данных, положив в основу источники вод, питающие наледи или могущие вызывать появление наледей.

На основании проведенных обследований и обобщения имеющегося материала по работе малых мостов и труб на водотоках с наледями представляется возможным объединить переходы в группы в зависимости от типов действующих наледей и источников питания. При э ом могут быть выделены три основных типа наледей:

I тип - наледи поверхностных вод;

II тип - наледи подземных вод;

III тип - наледи смешанных вод.

Каждый тип наледей может быть разделен на группы в зависимости от действующего источника и наледных условий. Для каждой такой группы могут быть рекомендованы варианты искусственных сооружений и противоналедных средств. Ниже это сделано для I-го и II-го типов наледей.

Наледи поверхностных водотоков

I группа - речные и ключевые водотоки, не образующие наледей в бытовых условиях или образующие незначительные наледи в отдельных местах.

На данном типе водотоков могут быть применены обычные для данного климатического района искусственные сооружения, за исключением круглых железобетонных труб (КЖБТ).

В качестве противоналедных средств рекомендуется безналедный пропуск водотоков.

II группа - речные и ключевые водотоки, на которых наледи образуются в бытовых условиях; водотоки полностью не промерзают (они образуют постоянно-изливающиеся наледи в бытовых условиях).

В пологих и крутых[x)] логах при близком выходе источников и при высоте насыпи более 6 м следует применять безналедный пропуск водотоков, используя для этой цели утепленные постоянные лотки или дренажи. Тип искусственных сооружений при гарантированном безналедном пропуске водотока определяется исходя из обычных условий с учетом особенностей района и геологии перехода.

В пологих и крутых логах при значительном (на 300-500 м и более) удалении источников от искусственных сооружений и при низких насыпях (высотой до 5-6 м) следует применять свайно-эстакадные мосты увеличенных отверстий, а при высотах насыпей более 6 м и благоприятных экономических показателях могут быть допущены бетонные и железобетонные прямоугольные трубы, но обязательно в комплексе с эффективными противоналедными средствами (безналедный пропуск водотока, земляные валы с заборами и др.).

Ш группа - периодические и постоянно действующие водотоки, промерзающие в бытовых условиях в первую половину зимы.

В пологих и широких логах могут быть допущены бетонные и железобетонные прямоугольные трубы, но только лишь в комплексе с противоналедными сооружениями.

В крутых логах следует предпочтение отдавать свайно-эстакадным мостам, как правило, увеличенного отверстия (без крепления русла).

В качестве противоналедных мероприятий рекомендуется применять:

- в случае выхода источника на поверхность вблизи искусственного сооружения:

а) в пологих логах - удерживающие средства;

б) в крутых логах - безналедный пропуск водотока в утепленном лотке или каптаж-дренаж;

- в случае выхода источника на поверхность не ближе 300-500м от искусственного сооружения:

а) в пологих логах - удерживающие средства, а когда лог узкий с мощным подрусловым потоком - дополнительно водонепроницаемый экран;

б) в крутых логах - концентрированный пропуск водотока при мостах без крепления русла, безналедный пропуск водотока в комбинации с удерживающими средствами при обычных искусственных сору-

---

x) Пологие лога - при уклоне $i_л \leq 0,01 \div 0,02$;
крутые лога - при $i_л > 0,03$.

жениях.

Вопрос об окончательном выборе типа искусственного сооружения решается на основе технико-экономического сравнения вариантов.

Наледи подземных вод

IУ группа - грунтовые потоки, питаемые межпластовыми, трещинными, карстовыми водами.

В пологих, а также и крутых, но широких логах могут быть допущены, при надлежащих обоснованиях, обычные для данного климатического района искусственные сооружения, за исключением КлБТ.

В крутых и узких логах при малых высотах насыпей следует применять мосты без крепления русла; прямоугольные трубы в комплексе с противоналедными средствами применяются в зависимости от результатов технико-экономического сравнения вариантов. При высотах насыпей более 6,0 м могут быть допущены прямоугольные трубы, но только в комплексе с противоналедными средствами и при надлежащих технико-экономических обоснованиях.

У группа - грунтовые потоки, питаемые в основном за счет атмосферных осадков (грунтовые воды, воды верховодки, надмерзлотные воды).

В широких и пологих долинах можно применять обычные для данного климатического района искусственные сооружения. В узких и крутых логах железобетонные и бетонные прямоугольные трубы могут быть применены в комплексе с водонепроницаемым экраном и удерживающими противоналедными средствами. Мосты проектируются без противоналедных средств.

Приведенные здесь примерные области применения малых мостов, труб и противоналедных средств носят приближенный характер. Они могут быть использованы главным образом на стадии проектного задания и для ориентации изыскателей в отношении дополнительных данных, которые требуются для проектирования искусственных сооружений в комплексе с противоналедными средствами.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

П Р Е Д И С Л О В И Е 3

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 5

П. НАЛЕДИ У ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ И ПРИЧИНЫ ИХ ПОЯВЛЕНИЯ 5

Ш. ДЕФОРМАЦИИ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ПРИЧИНЫ 9

IУ. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИЗЫСКАНИЯМ МАЛЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ВОДОТОКАХ С НАЛЕДЯМИ ..... IO

У. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ МАЛЫХ МОСТОВ И ТРУБ И ПРОТИВОНАЛЕДНЫХ СООРУЖЕНИЙ I3

УI. ОСНОВНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ I9

П Р И Л О Ж Е Н И Я

1. Примеры проектирования 2I

А. Безналедный пропуск водотоков 2I

Б. Задержание наледи 50

В. Свободный пропуск наледи 58

2. Примерные области применения малых мостов, труб и противоналедных средств 64

Ответственный за выпуск канд.техн.наук П.М.Зелевич

Подп.к печ. 28/II-68 г. Л100287 . Заказ № 215.
Тираж 300 экз. Объём 4,2 п.л. Ротапринт ЦНИИС

gost.e-ecolog.ru