

Академия наук СССР
Сибирское отделение
Дальневосточный филиал имени В. Л. Комарова

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Инженер О. В. СНЕЖКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА
НА УСТОЙЧИВОСТЬ
ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ НА
ЗАПАДНОМ УЧАСТКЕ АМУРСКОЙ
ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

*АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК*

Владивосток
1959

Работа выполнена на кафедре оснований и фундаментов Хабаровского института инженеров железнодорожного транспорта.

Научный руководитель — доктор технических наук,
профессор А. В. ПАТАЛЕЕВ.

152099

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР

Введение

XXI съезд Коммунистической партии Советского Союза наметил грандиозную программу дальнейшего развития народного хозяйства нашей страны. Особо важное значение придается развитию производительных сил Сибири и Дальнего Востока.

Развертывающееся освоение северных и восточных районов страны немыслимо без развитой сети автомобильных и железных дорог. Директивами XXI съезда КПСС по седьмому семилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1959—65 гг. намечено построить примерно 9 тысяч километров новых железнодорожных магистралей. Намечаемая грандиозная программа капитального строительства должна быть осуществлена с максимальной экономией государственных средств.

Огромные пространства на востоке страны находятся в области распространения вечной мерзлоты. Наличие ее удорожает строительство и создает дополнительные технические трудности, связанные с обеспечением устойчивости возводимых сооружений.

При строительстве железных и автомобильных дорог искусственные сооружения составляют 11—13% всех затрат. Наиболее массовым типом таких сооружений являются водопропускные трубы. По количеству искусственных сооружений отверстием до 4 м, строящихся за последние годы, трубы составляют в среднем 60—70%. Вышеуказанные обстоятельства заставляют изыскивать наиболее экономичные, технически обоснованные конструкции и способы возведения труб в условиях вечной мерзлоты.

Снижение стоимости строительства водопропускных труб

может быть достигнуто, в основном, за счет рационального проектирования их фундаментов. Решающее значение при этом имеет правильное назначение глубины заложения фундаментов труб при условии сохранения мерзлого состояния грунтов основания. Необоснованное уменьшение глубины заложения в условиях вечной мерзлоты, где устойчивость сооружений определяется мерзлотным режимом грунтов основания, приводит к появлению различных деформаций (просадки, растяжки и пучение звеньев). Впервые случаи деформаций водопропускных труб были отмечены вскоре после постройки западной части Амурской железной дороги, которая явилась первым опытом железнодорожного строительства в условиях вечной мерзлоты. В процессе дальнейшей эксплуатации труб эти сведения уточнялись и дополнялись. В тридцатые годы деформации сооружений приобрели массовый характер. К этому периоду относятся известные работы Быкова Н. И., Каптерева П. Н., Белокрылова И. Д., Евдокимова-Рокотовского М. И., Еленевского Е. Е., Низовкина Г. А., Ливеровского А. В., Морозова К. Д. и др., которые дают описание деформаций искусственных сооружений в условиях вечной мерзлоты.

Описательный характер указанных работ не позволил использовать накопленный опыт при строительстве вторых путей Сибирской магистрали, в результате чего трубы, построенные в 1933—35 гг., также начали деформироваться. Поэтому ясно, что исследование вопроса обеспечения устойчивости водопропускных труб в условиях вечной мерзлоты должно базироваться на всестороннем изучении причин их деформаций и температурного режима.

За последние годы проводятся исследования температурного режима насыпей и опор мостов (Жуков В. Ф., Куртинов А. В., Перетрухин Н. А., Корнин О. А., Зарубин Н. А.). А температурный режим водопропускных труб никем не изучался. Это привело к тому, что глубина заложения фундаментов труб назначается строителями (Амурская и Норильская ж. д.) без обоснования в пределах 1,7—2,5 м.

Проектом технических условий (ТУВМ-55) рекомендуется также принимать ничем не обоснованную глубину заложения фундаментов под основные звенья трубы (в пределах 1,0—1,2 м), как и в обычных условиях. Таким образом, вопрос назначения глубины заложения фундаментов труб в условиях вечной мерзлоты является нерешенным.

Изучение причин деформаций водопропускных труб, их температурного режима и определение глубины заложения

фундаментов (при условии сохранения мерзлотного режима грунтов основания) и явилось предметом настоящего исследования.

Природно-климатические условия западной части Амурской железной дороги

Рассматриваемый участок железной дороги Ксеньевская — Сковородино проходит в горно-складчатой области со сложным пересеченным рельефом. Климат резко континентальный; среднегодовая температура воздуха — 4—6°; мощность снежного покрова незначительна.

Суровый климат, небольшая мощность снежного покрова и сложные геолого-географические условия способствуют повсеместному распространению вечной мерзлоты. Температура вечномерзлой толщи колеблется от —1 до —3° и изменяется в зависимости от абсолютной высоты, вида грунтов, экспозиции склонов возвышенностей, характера растительно-мохового покрова и условий стока поверхностных вод. Действием указанных факторов иногда создаются такие условия, при которых невозможно существование вечной мерзлоты. Поэтому в рассматриваемом районе часто самые незначительные факторы, вызванные постройкой искусственных сооружений и оказывающие отепляющее влияние, могут привести к уничтожению мерзлоты в основании.

Наличие вечной мерзлоты обуславливает широкое распространение речных и грунтовых наледей.

Характеристика состояния водопропускных труб

Искусственные сооружения на западном участке Амурской ж. д. построены в периоды 1911—14 гг. и 1933—35 гг.

Фундаменты железобетонных труб в большинстве случаев состоят из деревобетонного ростверка толщиной 0,6 м и ниже, на глубине 1,0—1,5 м — из сухой кладки. На слабых глинистых и песчаных грунтах некоторые трубы возводились на массивных бутовых фундаментах глубиной 1,5—2,5 м.

В диссертации обобщен материал натуральных наблюдений и выборочного технического обследования труб указанного участка дороги. Анализ материала позволил сделать выводы.

1. Техническое состояние искусственных сооружений характеризуется высоким процентом (87%) труб, имеющих деформации и неисправности (растяжку, просадку, пучение звеньев и разрушение оголовков). Значительный процент де-

формированных труб объясняется недоучетом условий их технической эксплуатации с точки зрения применения тех или иных конструктивных элементов в условиях вечной мерзлоты.

2. Более высокий процент деформированных искусственных сооружений отмечен на пылеватых, глинистых и песчаных грунтах основания.

3. Основные виды деформаций (растяжка, просадка и пучение звеньев, а также разрушение оголовков) обусловлены изменением температурного режима грунтов, окружающих трубу, при их промерзании и оттаивании.

4. Нарушение мерзлотного режима грунтов основания связано, главным образом, с неправильным проектированием конструктивных элементов труб — отсутствием продольного соединения звеньев, недостаточной глубиной заложения фундаментов или применением дренирующих материалов взамен массивной кладки фундамента. Все конструктивные недостатки приводят к тому, что мерзлые грунты основания оттаивают, попадающая через швы вода, проникая под подошву фундамента, резко увеличивает протаивание, появляется просадка звеньев, а при промерзании — пучение. Установлено, что при глубине заложения массивных бутовых фундаментов труб в пределах 1,8—2,5 м случаев просадки звеньев не наблюдается.

5. Растяжка звеньев происходит в результате совместного действия трех факторов: бокового давления насыпи, ее пластических деформаций и сезонного колебания температуры воздуха. При больших высотах насыпей растяжка звеньев, в основном, обусловлена боковым давлением насыпи, при малых — колебания температуры воздуха становятся решающим фактором, вызывающим растяжку звеньев.

Разрушение оголовков труб обусловлено, главным образом, действием касательных сил пучения грунта на переднюю стенку фундаментов, а также давлением грунта, находящегося за крыльями оголовков. Поэтому пучению подвержены все оголовки труб, имеющие недостаточную глубину заложения фундаментов, независимо от вида грунтов основания.

6. Пучение звеньев труб наблюдается только при песчаных грунтах основания или при устройстве под трубой песчаной подушки и обусловлено специфическими условиями района вечной мерзлоты.

В диссертации дано сравнение причин деформаций труб в обычных условиях и в условиях вечной мерзлоты.

Экспериментальные и теоретические исследования температурного режима водопропускных труб

Одной из наиболее важных характеристик, определяющих качественное состояние грунтов в области вечной мерзлоты, является их температурный режим. Изменение последнего приводит к изменению физико-механических свойств грунтов, что в значительной степени определяет устойчивость возведенных на них сооружений. Поэтому правильная оценка теплового воздействия труб имеет огромное значение при определении глубины заложения фундаментов.

Специфика теплового воздействия водопропускных труб заключается в том, что температурный режим окружающего ее грунта формируется под действием колебаний температуры воздуха в результате сложного взаимодействия трубы, насыпи и водотока.

По исследованиям кандидата технических наук Перетрухина Н. А. и инж. Куртинова А. В., установлено, что глубина залегания и конфигурация поверхности вечномерзлых грунтов в земляном полотне зависит от большого числа факторов. Состав и влажность грунтов деятельного слоя и характер растительно-мохового покрова сказываются лишь при небольших высотах. Ухудшение условий стока поверхностных вод приводит к резкому протаиванию мерзлоты.

Инженер Зарубин Н. Е. установил, что в рассматриваемом районе, при надлежащем водоотводе, под насыпями высотой более 2 м создаются благоприятные условия для сохранения мерзлоты в основании, что приводит к образованию бугра из мерзлого грунта.

В задачу приводившихся нами экспериментальных наблюдений входило: получить исходные данные, необходимые для выбора расчетной схемы, и провести теоретические расчеты температурного режима водопропускных труб.

Водопропускные трубы, находящиеся в насыпи, оказывают тепловое воздействие на прилегающие к ним слои грунта, тем самым значительно изменяя мерзлотный режим насыпи.

Основой методики проводившихся исследований являлось ведение систематических наблюдений за распределением температур в грунте, у двух труб, в условиях эксплуатируемого земляного полотна. Велись они в течение года при помощи электротермометров, установленных в насыпи без применения обсадных труб.

На основании экспериментальных исследований темпера-

турного режима водопропускных труб установлено следующее.

1. Среднегодовая температура воздуха в трубе на 1—2° ниже среднегодовой температуры воздуха на открытой площадке.

2. Температура воды, протекающей через трубы, не поднималась выше 5° на постоянно действующих водотоках и выше 10° на периодически действующих. Протаивание грунта под трубой в 1,3—1,5 раза меньше, чем на открытой площадке.

3. Промерзание и оттаивание грунта насыпи у трубы представляет собой трехмерный тепловой процесс. При этом амплитуда колебания температуры грунта над трубой при низких насыпях больше, чем при высоких. Температура слоев грунта, расположенных в стороне от трубы, ниже обреза фундамента в радиусе до 1,5 м, зависит, главным образом, от теплового влияния трубы и мало — от высоты насыпи. Поэтому для теоретических расчетов температурного режима грунта вблизи трубы (с достаточной для практических целей точностью) тепловой процесс можно принять за одномерный, независимый от высоты насыпи.

Четвертая глава диссертации посвящена теоретическому исследованию влияния различных факторов на глубину протаивания грунтов у трубы.

Расчеты температурного режима водопропускных труб проводились методом гидромоделирования на гидроинтеграторе проф. Лукьянова В. С. в лаборатории гидравлических и электрических аналогий Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. Основой методологии явилось изучение влияния различных факторов на температурный режим грунтов основания; проводились одномерные тепловые расчеты для цилиндрической стенки при изменении следующих данных: влажности грунта, температуры теплоносителя, диаметра трубы и толщины ее стенки, а также условий образования наледей. Установлено:

1. Основными факторами, влияющими на глубину протаивания грунта в основании труб, являются влажность грунта, температура теплоносителя и величина отверстия трубы. Увеличение влажности уменьшает глубину протаивания. С увеличением отверстия трубы увеличивается глубина протаивания. Глубина протаивания грунта у трубы зависит от температуры теплоносителя и, при прочих равных условиях, прямо пропорциональна его средней температуре за теплый период времени. Поэтому сохранение вечной мерзлоты в основании должно

обеспечиваться уменьшением влияния этого основного фактора.

2. Глубина протаивания грунта под трубой зависит от температуры теплоносителя и изменяется от 1,08 до 1,68 м. При этом протаивание — больше под трубами, расположенными на периодически действующих водотоках, имеющих более высокую температуру воды, и меньше — при постоянно действующих водотоках.

3. Наледи, образующиеся в трубах, уменьшая приток холода к основанию за зимний период времени, создают условия для увеличенного протаивания грунтов летом. Полное заполнение трубы льдом, повторяющееся 2—3 года подряд, может привести к образованию талика в основании трубы.

4. Изучение влияния толщины стенки трубы на глубину протаивания грунта показало, что для определения глубины заложения фундамента трубы, при которой исключается возможность оттаивания грунтов оснований, необходимо учитывать двухмерный тепловой процесс, наблюдающийся в действительной конструкции фундамента трубы.

Определение глубины заложения фундаментов водопропускных труб

Экспериментальными исследованиями проф. Н. А. Цытовича установлено, что в массиве фундамента, расположенного в мерзлом грунте, глубина протаивания больше, чем в окружающем его грунте. Подобный характер протаивания наблюдается в фундаменте водопропускных труб. При этом с увеличением отверстия трубы увеличивается ширина фундамента, следовательно, и глубина протаивания. Таким образом, чтобы определить необходимую глубину заложения фундамента трубы, необходимо знать глубину протаивания грунта у трубы, в стороне от фундамента, и местное влияние массива фундамента.

На основании проведенных исследований, нами предлагается следующая методика расчета глубины заложения фундаментов труб (при условии сохранения мерзлоты в основании).

Величину протаивания грунта в стороне от трубы предлагается определять по методике (проф. Трупаков Н. Г.), применяемой в практике расчетов по искусственному замораживанию грунтов.

Из уравнения, выведенного для рассматриваемого случая, можно найти радиус оттаивания — r_2 :

$$r_2^2 \ln \frac{r_2}{r_0} + \left(\frac{\lambda_T}{\alpha_1 r_1} + 0,2\lambda_T - \frac{1}{2} \right) (r_2^2 - r_a^2) = \frac{2Z_1 [t_1 - t_0] \lambda_T}{[1 + \psi] \rho}; \quad [1],$$

где r_1 — внутренний радиус трубы, в метрах;

r_a — наружный радиус трубы, в метрах;

r_2 — радиус до границы оттаивания, в метрах;

λ_T — коэффициент теплопроводности талого грунта, в ккал/м час°;

Z_1 — время оттаивания, в часах;

t_1 — средняя температура теплоносителя за летний период, в °С;

t_0 — температура оттаивания грунта, равная 0° С;

ρ — теплосодержание грунта, в ккал/м³;

f — отношение величины теплопритока из мерзлой зоны к теплосодержанию ρ оттаявшего слоя грунта.

Для определения глубины заложения фундамента трубы необходимо знать коэффициент ξ , равный отношению глубины протаивания в массиве фундамента к глубине протаивания грунта в стороне от него, который можно определить из уравнения, выведенного в диссертации:

$$\frac{\pi \varphi}{180} \left(\frac{t_1}{\frac{1}{\alpha_1 r_1} + \frac{1}{\lambda_{кл}} \ln \frac{r_1 + \xi h_g}{r_1}} \right) - \frac{t_1 h_g |\xi - 1|}{\frac{r_1}{\lambda_{кл}} + \frac{h_g}{2\lambda_{гр}}} = 2r_1 q; \quad [2],$$

где φ — угол, образованный радиусами, проведенными в точки пересечения границы оттаивания с боковыми стенками фундамента трубы, в градусах;

$\lambda_{кл}$ — коэффициент теплопроводности кладки фундамента, в ккал/м час°;

t_1 — средняя температура теплоносителя за сентябрь, в °С;

q — величина среднего потока холода из мерзлой зоны за сентябрь, в ккал/м² час;

h_g — глубина оттаивания грунта за лето у трубы, в стороне от фундамента, равня $(r_2 - r_1)$, в м.

Для нахождения радиуса оттаивания грунта — r_2 и величины ξ в диссертации приведены графические приемы решения уравнений (1) и (2).

Проведенные по предложенному методу расчеты показали, что необходимая глубина заложения фундамента зависит

от величины отверстия трубы, теплопроводности кладки и температуры теплоносителя и изменяется в пределах от 1,1 до 2,2 м.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Деформации водопропускных труб, построенных в районе вечной мерзлоты, обусловлены, главным образом, изменением температурного режима грунтов деятельного слоя при его промерзании и оттаивании.

2. При недостаточной глубине заложения фундамента труб (не менее 1,6-1,8 м) происходит протаивание грунтов в основании. Оттаивание небольшого слоя грунта под подошвой фундамента создает условия для фильтрации воды, попадающей через раскрытые швы, в результате чего протаивание резко увеличивается.

3. Оттаивание грунтов под подошвой фундамента приводит к появлению просадки звеньев, а при промерзании — к пучению.

4. Отсутствие способов расчетно-теоретического обоснования глубины заложения фундамента труб приводит к тому, что она в некоторых случаях необоснованно уменьшается, а в большинстве — неоправданно увеличивается.

Исследование позволило наметить основные положения, которые необходимо учитывать при выборе типа фундамента труб и назначения их глубины заложения.

1. Грунты основания определяют выбор типа фундамента. При скальных грунтах можно проектировать фундаменты как массивные, так и с применением сухой кладки. При глинистых и песчаных — следует устраивать только массивные фундаменты. Устройство песчаных подсыпок под фундаменты, глубина заложения которых меньше глубины протаивания, при любых грунтах основания приводит к пучению звеньев.

2. Глубина заложения фундамента зависит от следующих факторов: а) характера водотока и температуры воды в нем; б) величины отверстия трубы; в) влажности грунта и его теплопроводности. Минимальная глубина заложения фундамента трубы при сохранении мерзлого состояния грунтов основания может быть определена из уравнений (1) и (2).

3. Глубина заложения фундамента трубы, определенная из уравнений (1) и (2), должна быть увеличена на 10—15% у труб, подвергающихся систематическому заполнению наледью.

Сделаны предложения, относящиеся к проектированию конструктивных элементов труб:

а) для ликвидации растяжки звеньев рекомендуется соединять их продольно;

б) при отсутствии протаивания грунта в основании представляется возможность отказаться от устройства деформационных швов в кладке фундамента;

в) для уменьшения глубины заложения фундаментов предлагается в трубе, на поверхности лотка, устраивать термонизоляцию, состоящую из песчано-мохового слоя толщиной 10 см, прикрытого сверху деревянным настилом.

Наряду с конструктивными мероприятиями, направленными на сохранение вечной мерзлоты в основании труб, предлагаются целесообразные способы эксплуатации: а) тщательно расчищать русло водотока, не допуская скопления и застоя воды у трубы; б) для удержания запаса холода, накопленного в насыпи и основании за зимний период, следует отверстия труб закрывать матами (с февраля по май).

Применение указанных мероприятий позволит уменьшить глубину заложения фундаментов труб до 1,0—1,5 м.

Проделанная работа показала необходимость проведения дальнейших исследований по установлению глубины заложения фундаментов труб в районах вечной мерзлоты. В задачу их должны войти:

а) экспериментальная проверка предложенного метода определения глубины заложения фундаментов труб и эффективности мероприятий, уменьшающих ее;

б) исследование температурного режима многоочковых круглых и прямоугольных труб;

в) изучение температурного режима труб, расположенных на однопутных участках железной дороги, так как экспериментальные исследования проводились нами на двухпутном.

Конечной целью указанных исследований является разработка норм проектирования труб и технических условий их содержания в условиях вечной мерзлоты.

Основное содержание исследования причин деформаций труб в условиях вечной мерзлоты опубликовано в Сборнике № 11 трудов Хабаровского института инженеров железнодорожного транспорта. Отдельные вопросы и предложения, вытекающие из проводившихся исследований, изложены в тезисах докладов XVI и XVII научно-технических конференций кафедр института с участием представителей железных дорог и предприятий Дальнего Востока (1957, 1958 гг.).

