

# Проектирование земляного полотна железных дорог в зоне многолетнемерзлых грунтов



**Е. С. Ашпиз,**  
докт. техн. наук,  
заведующий кафедрой  
«Путь и путевое  
хозяйство» Московского  
государственного  
университета путей  
сообщения (МИИТ)

Земляное полотно железных дорог, построенных в последние десятилетия на мерзлых грунтах, в значительной степени подверглось деформациям. Их главная причина состоит в отепляющем воздействии полотна на мерзлые грунты основания, которые слабеют при оттаивании. Это обстоятельство должно учитываться при проектировании и строительстве железных дорог, в частности – при выборе принципа использования мерзлых грунтов.

Большее половины территории России находится в криолитозоне, характеризующейся природным многолетнемерзлым состоянием грунтов. Южная граница распространения мерзлоты в европейской части нашей страны проходит немного южнее Полярного круга, спускаясь в азиатской части до 50 градусов широты, захватывая юг Забайкалья и Амурской области и снова поднимаясь вверх в районе побережья Охотского моря [1].

Учитывая, что на данных территориях находятся залежи основных сырьевых ресурсов страны, можно с большой вероятностью прогнозировать новое интенсивное строительство железных и автомобильных дорог в этих регионах.

В ходе эксплуатации железных дорог, построенных там за последние десятилетия, появились многочисленные дефор-

мации земляного полотна, связанные с деградацией мерзлоты. Данное обстоятельство обуславливает необходимость постоянных работ по исправлению пути, вызывает ограничения скоростей движения поездов, значительно увеличивая эксплуатационные расходы [2; 3].

Основной причиной этих деформаций является отепляющее влияние сооружения земляного полотна на мерзлые грунты основания, которые при оттаивании становятся слабыми, не воспринимающая нагрузку. Данные особенности не всегда в достаточной мере учитываются при проектировании и строительстве железных дорог на мерзлоте, что приводит к выбору неудачных решений.

Наиболее распространенным видом деформаций земляного полотна в условиях мерзлоты являются осадки насыпей на основаниях, сложенных льдистыми грунтами, которые при оттаивании имеют III и IV категории просадочности [4] (рис. 1).

Сооружение насыпи вызывает нарушение естественных условий теплообмена между атмосферой и грунтовым массивом, выражающееся в:

- замене в зоне сезонного оттаивания-промерзания слоя торфа или переувлажненного суглинка на дренирующий маловлажный грунт;
- уменьшении испарения и увеличении инфильтрации тепловых атмосферных осадков через оголенные поверхности контура насыпи в сравнении с естественными маревыми ландшафтами;
- увеличении поглощения солнечной радиации поверхностями контура насыпи в сравнении с естественными маревыми ландшафтами;
- ухудшении условий стока поверхностных вод вблизи насыпей, что при-



Рис. 1. Участок пути с осадками на мерзлоте



Рис. 2. Термокарстовое озеро у подошвы насыпи

водит к отепляющему влиянию углублений поверхности, заполненных водой и фильтрующихся через насыпь потоков (рис. 2).

Таким образом, основной вывод, который можно сделать из опыта эксплуатации, состоит в том, что при проектировании земляного полотна на мерзлоте для участков, сложенных в основании грунтами III и IV категории просадочности, должны учитываться изменения условий теплообмена и выполняться прогнозные расчеты положения мерзлоты; при этом проектирование должно вестись как для индивидуальных объектов.

### Выбор основных решений

На первом этапе проектирования принимаются типовые профили насыпи, как для обычных условий, и тепло-техническим расчетом проверяется вероятность деградации мерзлоты в основании. Расчет выполняется методом математического моделирования на ЭВМ температурного режима насыпи и основания с учетом изменения всех условий теплообмена после сооружения насыпи, как правило, в двухмерной постановке по одной из известных программ. Моделирование осуществляется на срок в несколько десятков лет эксплуатации.

Если по результатам моделирования выявляется деградация мерзлоты в основании, далее возможны следующие решения.

Как известно [5], при строительстве в условиях мерзлоты применяются два принципа использования мерзлых грунтов основания:

- принцип I: мерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения;

- принцип II: мерзлые грунты основания используются в оттаянном или оттаивающем состоянии (при этом производится их предварительное оттаивание на расчетную глубину до начала возведения сооружения или допускается оттаивание в период эксплуатации сооружения).

Выбор принципа использования грунтов основания для сооружения земляного полотна происходит при проектировании на основе технико-экономического сравнения вариантов. При этом учитываются строительные и эксплуатационные затраты, а также необходимость обеспечения должного уровня надежности и безопасности движения. Основным принципом использования оснований из льдистых грунтов III и IV категорий просадочности является недопущение их оттаивания (т. е. применяется принцип I).

Применение принципа II при проектировании земляного полотна на основаниях с льдистыми грунтами III и IV категорий просадочности следует предусматривать в случае, когда толщина этих грунтов небольшая (примерно до 3 м) и они расположены с поверхности, что допускает их вырезку и замену. Принятые решения должны обосновываться расчетами по двум группам предельных состояний:

- по несущей способности и устойчивости;

- по деформациям (осадкам и пучению).

На участках, где в период эксплуатации допускается осадка грунтов основания, должно производиться уширение основной площадки земляного полотна, величина которого  $\Delta b$  определяется по формуле

$$\Delta b = 3 \cdot S_3,$$

где  $S_3$  — расчетная суммарная осадка основной площадки в эксплуатационный период по оси пути при положении верхней границы мерзлоты на 10-й год эксплуатации, определяемой тепло-техническим расчетом.

При проектировании и строительстве земляного полотна по принципу I следует предусмотреть и оборудовать сеть термометрических скважин для контроля состояния основания земляного полотна в процессе его эксплуатации.

Исходя из данных положений, трассу и продольный профиль линии на мерзлоте следует проектировать с учетом инженерно-геокриологических условий. При этом земляное полотно на участках льдистых грунтов проектируется преимущественно невысокими насыпями, по условию снеготранспорта и уровней паводковых вод, что обеспечивает минимальные нарушения температурного режима мерзлоты. Следует по возможности избегать выемок в условиях неустойчивых грунтов при оттаивании в откосных частях и под основной площадкой и особенно при наличии льдогрунтов и подземного льда.

Участки расположения в основании грунтов IV категории просадочности и особенно подземных льдов при их толщине более 3 м по возможности обходятся трассой.

Учитывая исключительное влияние воды на ухудшение свойств грунтов основания и, главное, на изменение термического режима, особое внимание следует обращать на организацию поверхностного водоотвода, а также на дренирование и отвод от земляного полотна грунтовых вод и фильтрационных потоков. Для предотвращения возникновения и развития термокарстовых явлений отвод воды от земляного полотна на участках с просадочными при оттаивании грунтами должен осуществляться с максимально возможным частым поперечным перепуском ее в низовую сторону: водопропускные сооружения

устраиваются в каждом понижении рельефа, протяжение продольных водоотводов максимально сокращается. Также с особенной тщательностью должны обеспечиваться регуляция и отвод воды в зоне водопропускных сооружений, чтобы не допустить образования вблизи них и в пределах полосы отвода озер и застоев.

На участках с льдистыми грунтами, где земляное полотно запроектировано по I принципу, должны предусматриваться конструктивные и технологические приемы по исключению нарушений поверхностных условий, которые могут привести к появлению в полосе отвода и в охранной зоне многолетнего оттаивания мерзлоты и образования термокарста.

### Проектирование по принципу I

Как показывает опыт строительства насыпей в условиях, когда возможна деградация мерзлоты, эффективны различные меры по охлаждению, обеспечивающие сохранение мерзлоты в основании. К таким мерам относятся:

- отсыпка насыпей из «самоохлаждающихся» грунтов;
- устройство набросок и берм из фракционного камня;
- установка охлаждающих устройств;
- укладка теплоизоляции;
- обеспечение стока воды на прилегающей территории и предотвращение образования термокарстовых явлений.

Охлаждающий эффект каменных набросок достигается за счет интенсивной конвективной теплоотдачи в холодный период и теневой защиты в летний. При этом предпочтение следует отдавать глыбовым разновидностям крупнообломочных грунтов с содержанием не менее 75 % по массе частиц фракций  $d = 200-500$  мм. Скальный грунт должен состоять из невыветрелых или слабовыветрелых, неразмягчаемых пород.

Из глыбовых крупнообломочных грунтов путем сортировки производится материал для фракционного камня, используемого в охлаждающих набросках и бермах при необходимости сохранения мерзлоты в основании. При этом крупные фракции 200–500 мм должны составлять не менее 90 % по массе при среднем размере камня 400 мм. Камень должен быть из неразмягчаемых пород с морозостойкостью не хуже F 50. Пример конструкции из камня для охлаждения основания насыпи представлен на рис. 3.

Другой распространенной мерой для искусственного охлаждения грунтов оснований насыпей являются парожидкостные сезоннодействующие охлаждающие установки (СОУ), работающие автоматически в холодное время года и не требующие затрат и обслуживающего персонала. Они представляют собой тепловые трубы, в которых отвод тепла от грунтов основания осуществляется за счет циркуляции в них пара и жидкости. Простейшими из таких устройств являются термосифоны, в которых циркуляция осуществляется за счет сил тяжести. Установки работают только в холодный период года, когда температура наземной части ниже температуры грунта основания, и останавливаются в теплый период года (не нагревая грунты), когда температура воздуха становится выше температуры грунта.

Парожидкостные СОУ изготавливаются из стальных или алюминиевых труб диаметром 32–57 мм, которые герметизируются и заполняются хладагентом (фреоном, аммиаком, углекислым газом). Верхняя часть СОУ (конденсатор), находящаяся над поверхностью грунта,



Рис. 3. Охлаждающая каменная наброска на откосах



Рис. 5. Участок пути с парожидкостными СОУ

для развития поверхности выполняется с оребрением.

Размещение парожидкостных СОУ для охлаждения мерзлых грунтов основания земляного полотна приведено на рис. 4–5.

Противодеформационные меры, обеспечивающие сохранение мерзлоты в основании, принимаются одновременно с сооружением земляного полотна.

Меры по охлаждению (устройство набросок и берм из фракционного камня и сезоннодействующие охлаждающие установки) должны быть приняты до наступления следующего после сооружения земляного полотна сезона с



Рис. 4. Парожидкостная сезоннодействующая охлаждающая установка (СОУ)

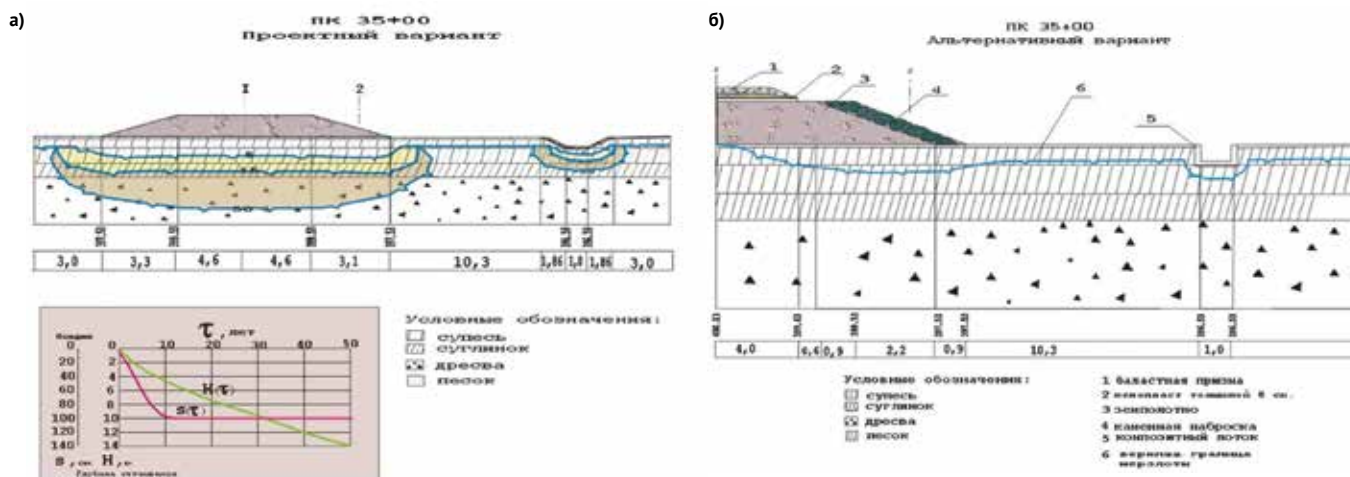


Рис. 6. Результаты моделирования вариантов насыпи: а – с допущением оттаивания мерзлоты (проектный вариант); б – с охлаждением основания камнем (альтернативный вариант)

устойчивыми отрицательными температурами, а теплоизоляционные покрытия и поверхностные экраны следует устанавливать до начала оттаивания грунтов земляного полотна в следующий теплый период.

На рис. 6 представлены результаты моделирования для двух вариантов насыпи на льдистых грунтах.

В проектном варианте на поперечном профиле просадочные грунты в основании расположены до глубины 10 м, и только тепловая осадка насыпи из-за деградации мерзлоты без принятия мер по охлаждению на 10-й год составит примерно 100 см. Если к этому добавятся пластические выдавливания слабых оттаивающих грунтов, то деформации будут больше.

В альтернативном варианте, согласно расчетам, устройство каменной наброски на откосе полностью предотвращает деградацию мерзлоты и, со-

ответственно, деформации основания. Очевидно, что в данном случае более целесообразным является принятие этого варианта.

Исходя из выполненных расчетов для различных климатических условий, можно в зависимости от конструкции земляного полотна рекомендовать распределение рациональных сфер между основными способами стабилизации мерзлых оснований инженерных сооружений (см. табл.). Параметры конструкций выбираются при этом на основе теплотехнических расчетов, а выбор меры осуществляется на основе технико-экономического сравнения вариантов.

**Литература**

1. Геокриологические опасности. Тематический том / под ред. Л. С. Гагагули, Э. Д. Ершова. М.: Издательская фирма «КРУК», 2000. 316 с.

2. Ашпиз Е. С. Результаты обследования земляного полотна восточного участка Байкало-Амурской железной дороги и предложения по его стабилизации // Обеспечение эксплуатационной надежности земляного полотна железных дорог. Мат-лы Всесоюз. науч.-техн. конф. М.: МИИТ. 1989. С. 87–89.

3. Ашпиз Е. С. Оценка надежности работы насыпей, сооружаемых по II принципу использования вечномерзлых грунтов в качестве основания // Межвуз. сб. науч. тр. М.: МИИТ. 1989. Вып. 823. С. 27–30.

4. ВСН 61–89. Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты / ЦНИИС Минтранстра СССР. М.: ЦНИИС, 1990. 208 с.

5. СП 25.13.330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04.84.

Таблица. Рациональные сферы применения мер по охлаждению

Меры	Область применения мер по охлаждению				Конструкции земляного полотна
	Среднегодовые максимальные температуры		Характеристика снегового покрова		
	Воздуха	Грунта	Максимальная высота, см	Максимальный снегоперенос, м <sup>3</sup> /м	
Конструкции из скальных грунтов (насыпи, бермы, обсыпки откосов)	-5°C	-0,5°C	55–60	200	Насыпи высотой >2 м Выемки глубиной 2–6 м Конусы мостов
Вертикальные парожидкостные СОУ	-5°C	< +1°C	60–80	800	Насыпи высотой от 2 м и ниже Нулевые места и выемки
Горизонтальные парожидкостные СОУ	-5°C	< +1°C	60–80	800	Насыпи высотой 2 м и выше
Поверхностные экраны на откосах насыпей и выемок	-5°C	-0,5°C	40	100	Насыпи высотой 2 м и выше Откосы выемок