

ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ДОРОГ НА СИЛЬНОЛЬДИСТЫХ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ И МЕТОДЫ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

В.Г. Кондратьев

Акционерное общество Мосгипротранс, 129278, Москва, ул. П. Корчагина, 2, Россия

Деформации земляного полотна на вечномерзлых грунтах в основном связаны с деградацией мерзлоты в его основании вследствие увеличения количества поглощенной солнечной радиации техногенной поверхностью по сравнению с естественной поверхностью, просачивания летних осадков через тело насыпи, увеличения толщины снежного покрова в нижней части насыпи и на прилегающей территории и фильтрации поверхностных и подземных вод в тело и основание насыпи на косогорных участках.

В соавторстве с группой специалистов нами разработано несколько методов укрепления основания земляного полотна на сильнольдистых грунтах, основанных на регулировании соотношения охлаждающих и отепляющих факторов с целью сохранения основания в постоянно мерзлом состоянии (с помощью снегоочистки и окраски, солнцезащитного навеса, поперечных охлаждающих труб, пленочного экрана, продольных охлаждающих устройств) или на превентивном удалении льдистых массивов грунтов (ледяных линз) из основания и заполнении образующихся полостей непродачными грунтами.

На основе этих изобретений разработана рабочая документация опытно-экспериментальных участков земляного полотна строящейся ж.д. линии Беркакит — Якутск (с навесом, пленочным экраном, поперечными и продольными охлаждающими устройствами). Экспериментальные работы начаты также на Байкало-Амурской (по снегоочистке) и на Забайкальской (по навесу, окраске и другим техническим решениям) железных дорогах.

Деформации земляного полотна, вечная мерзлота, снегоочистка, окраска, навес, охлаждающие трубы, пленочный экран, устройства для аккумуляции холода, удаление ледяных масс

DEFORMATION OF ROADBEDS ON ICY PERMAFROST GROUND AND METHODS AGAINST IT

V.G. Kondratiev

Joint stock company Mosgioprotrans, 129278, Moscow, P.Korchagin, 2, Russia

Deformations of roadbed on permafrost soils are connected mostly with permafrost degradation in the roadbed base main factors, causing thawing of permafrost in the base of roadbeds, usually are: increasing amount of absorbed solar radiation by the man-induced surface in contrast with the natural surface; infiltration of warm summer precipitation through the body of embankment; increasing thickness of snow cover in lower part of embankment and at the adjoining territory; warming effect of the surface and underground water on slope.

In co-authorship with a group of specialists we have developed several methods of strengthening of roadbed base on very icy permafrost soils, which are based on adjustment of ratio of cooling and warming factors with the purpose to reduce average annual temperatures of soils and to preserve them in a permanently frozen state (snow removal and painting, sun and precipitation protective shed, cooling pipes, film cover, cold accumulation devices) or based on preventive removal of very icy masses (ice lenses) from a permanently frozen base and filling the cavities formed with a high consistency soils. On the basis of the above technological concepts with the purpose to test their efficiency in operation conditions and to try out the techniques Mosgioprotrans designs pilot-experimental roadbed sections of Berkakit — Yakutsk Railway being under construction now. Experimental works have been started also on the Baikal-Amur railroad with the use of some new ways, in particular, snow cleaning, and on Transbaikal railroad.

Deformation of roadbed, permafrost, snow removal, painting, shed, cooling pipes, film cover, cold accumulation devices, removal of icy masses

ВВЕДЕНИЕ

Деформации земляного полотна дорог на вечномерзлых грунтах чаще всего связаны с деградацией мерзлоты в их основании. Например, на БАМе таких деформаций около 70% [Белозеров, 1993; Яковлев, 1992]. Обычно причинами многолетнего оттаивания вечномерзлых грунтов под земляным полотном железных дорог являются:

увеличение количества поглощенной солнечной радиации поверхностью земляного полотна по сравнению с естественной поверхностью; инфильтрация теплых летних осадков через тело насыпи; увеличение толщины снежного покрова у основания насыпи и на прилегающей территории; фильтрация поверхностных и подзем-

ных вод в тело и основание земляного полотна на косогорных участках.

Основными мероприятиями по обеспечению устойчивости земляного полотна на слабом и просадочном при оттаивании основаниях обычно являются: создание запаса по ширине и высоте насыпи, подьемка пути на балласт, сооружение берм, отсыпка насыпи скальным грунтом, вырезка льдонасыщенных грунтов основания с заменой послойно уплотняемым дренирующим материалом и др. [Изыскания, 1977]. Перечисленные мероприятия носят преимущественно пассивный характер, так как нацелены в основном на преодоление последствий деградации мерзлоты, требуют больших расходов на сооружение и поддержание в рабочем состоянии пути и не решают проблемы обеспечения устойчивости земляного полотна на грунтах III и IV категорий просадочности [Бушин, 1992; Яковлев, 1992].

Очевидна необходимость разработки активных и более эффективных мероприятий по обеспечению устойчивости земляного полотна на сильнольдистых вечномерзлых грунтах, направленных на устранение главной причины деформаций: деградации мерзлоты в основании земляного полотна дорог.

Нами в соавторстве с группой специалистов разработано несколько способов укрепления основания земляного полотна на сильнольдистых вечномерзлых грунтах, предусматривающих регулирование соотношения охлаждающих и обогревающих факторов с целью понижения среднегодовой температуры грунтов и сохранения их в многолетнемерзлом состоянии на протяжении всего времени эксплуатации пути или, наоборот, превентивного оттаивания сильнольдистых массивов: укрепление основания земляного полотна с помощью снегоочистки и окраски [Кондратьев и др., 1992a]; укрепление основания земляного полотна с помощью солнцезащитного навеса [Кондратьев и др., 1992b]; укрепление основания земляного полотна с помощью поперечных охлаждающих труб [Кондратьев и др., 1993a]; укрепление основания земляного полотна на участках с поперечным уклоном местности с применением пленочного экрана [Кондратьев, 1993]; укрепление основания земляного полотна на участках с поперечным уклоном местности с помощью продольных устройств для аккумуляции холода [Кондратьев и др., 1993b]; укрепление основания земляного полотна путем принудительного оттаивания льдистых грунтов [Кондратьев и др., 1994].

СНЕГООЧИСТКА И ОКРАСКА НАСЫПИ И ЧАСТИ ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ

На участках просадочных при оттаивании многолетнемерзлых грунтов возводят насыпь по технологии, предусматривающей сохранение

грунтов основания в многолетнемерзлом состоянии: просеки прорубают зимой без корчевки пней, максимально сохраняется мохово-растительный покров; первый слой насыпи отсыпается методом „с головы“, не допуская движения машин по естественному основанию; производится послойное уплотнение насыпи.

В первой половине зимы (с момента установления устойчивого снежного покрова и до момента инверсии знака теплопотока) производится систематическое удаление снега с проезжей части пути, откосов насыпи и части прилегающей территории. Момент инверсии знака теплопотока устанавливается по данным ближайшей метеостанции, когда среднесуточная температура воздуха становится устойчиво выше среднесуточной температуры поверхности почвы. Ширина очищаемой от снега полосы возле насыпи должна, как правило, быть больше ширины боковой поверхности насыпи, однако не должна превышать мощность слоя годовых колебаний температуры грунтов для оголенной поверхности. Снегоочистка может осуществляться любым способом: механическим, газодинамическим с помощью авиационного двигателя, установленного на платформе или дрезине и др.

Весной после схода снега производится окраска откосов насыпи южной, восточной и западной экспозиций, а также верхнего строения пути в белый цвет. Экспозиция откосов насыпи определяется по плану трассы или на месте в зависимости от ориентации по странам света. Краска может быть любой, но обязательно экологически чистой. Покраску пути можно производить краскопультом любой конструкции, установленным на платформе (дрезине) или переносным. Окраска пути должна хорошо отражать солнечную радиацию в весенне-летний период, поэтому при загрязнении 60% защищаемой поверхности ее следует обновлять.

Положительный эффект достигается тем, что устранение теплоизолирующего влияния снега в первой половине зимы резко усиливает тепловой поток из грунтов тела и основания насыпи в атмосферу — происходит их интенсивное охлаждение.

Существенное увеличение альбедо поверхности (α), покрытой новой ($\alpha = 75\%$) или старой ($\alpha = 55\%$) белой краской, по сравнению с естественной поверхностью мари ($\alpha = 25\%$) и в особенности зачерненной мазутом и угольной пылью поверхностью пути ($\alpha = 6\%$) уменьшает количество поглощенной солнечной радиации, сокращает летний прогрев земляного полотна. Усиление зимнего охлаждения и уменьшение летнего прогрева сохраняют основание пути в мерзлом состоянии. Предотвращение деградации мерзлоты в основании земляного полотна исключает развитие его многолетней осадки.

СОЛНЦЕОСАДКОЗАЩИТНЫЙ НАВЕС

Устройство над насыпью солнцезащитного навеса предотвращает отепляющее влияние прямой солнечной радиации и летних осадков, а также резко снижает теплоизолирующее влияние снежного покрова.

Принципиальная схема железнодорожного пути изображена на рис. 1.

На участках земляного полотна с основанием из сильнольдистых грунтов или с включением подземных льдов отсыпается насыпь обычной конструкции без снятия мохово-растительного покрова. Дополнительно устраивается солнцезащитный навес. Конструкция навеса выбирается в зависимости от географической широты и климатических условий местности, экспозиции откосов и высоты насыпи. Профиль крыши может быть выпуклой (рис. 1, А) одно- или двускатной (рис. 1, Б и 1, В) формы.

Навес должен защищать основную площадку и откосы насыпи, а также часть прилегающей территории, включая водозащитные валики, от

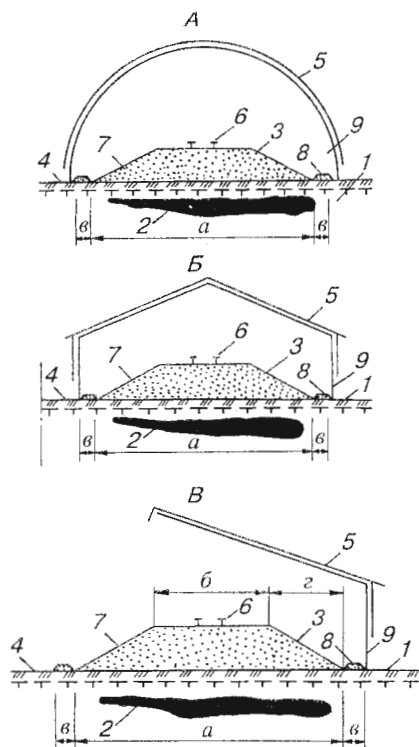


Рис. 1. Принципиальная схема железнодорожного пути с солнцезащитным навесом.

А, Б и В — с выпуклым, двускатным и односкатным профилем крыши соответственно. 1 — сильнольдистое основание насыпи; 2 — подземный лед; 3 — насыпь; 4 — мохово-растительный покров; 5 — навес; 6 — рельсы; 7 — откос насыпи; 8 — водозащитный валик; 9 — продух. а, б, в и г ширина насыпи, основной площадки, валика и южного откоса соответственно.

дождя и прямой солнечной радиации весной и летом и препятствовать накоплению снега зимой. Для этого устраивают продухи в нижней части навеса, способствующие выносу снега за пределы пути воздушным потоком при прохождении поезда или во время метели. Ширина навеса должна быть не меньше суммы поперечных размеров насыпи (а) и водозащитных валиков (б) при меридиональном направлении пути и не меньше суммы поперечных размеров основной площадки (б), южных откоса насыпи (г) и водозащитного валика (в) при широтной ориентации. Высота навеса должна быть не менее суммы высоты габарита приближения строений и оптимальной высоты насыпи, определяемой по результатам теплотехнических расчетов для конкретных участков трассы. При этом указанный габарит должен входить во внутреннее пространство навеса.

Навес может применяться не только на участках насыпей, а также на нулевых местах продольного профиля и в выемках.

Положительный эффект достигается тем, что навесом при сохранении возможности интенсивного зимнего охлаждения земляного полотна и его основания исключаются инфильтрация летних осадков и прямая солнечная радиация, являющиеся обычно основными причинами деградации мерзлоты и деформаций земляного полотна на относительно ровных участках местности.

При сохранении высоких прочностных свойств мерзлых грунтов основания в течение всего периода эксплуатации дороги отпадает необходимость в дополнительных противодеформационных мероприятиях, упрощается конструкция насыпи, возрастают пропускная способность линии и сроки службы элементов пути.

ПОПЕРЕЧНЫЕ ОХЛАЖДАЮЩИЕ ТРУБЫ

Укрепление основания земляного полотна достигается посредством размещения системы охлаждающих труб в нижней части насыпи так, что грунты основания сохраняются в многолетнемерзлом состоянии. Конструкция насыпи с охлаждающей системой показана на рис. 2.

Охлаждающая система состоит из одного или нескольких рядов труб, уложенных поперек насыпи, через которые пускается хладагент (холодный или охлажденный воздух, воздушно-газовая смесь) путем естественной или принудительной вентиляции. Диаметр труб, шаг их укладки и количество рядов определяются с помощью теплотехнических расчетов. Вентиляция осуществляется с помощью магистральных труб, входного и выходного патрубков. Для усиления естественной вентиляции отверстия входных и выходных патрубков располагаются на разных

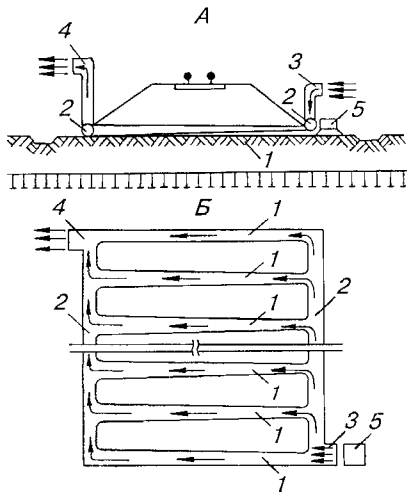


Рис. 2. Система охлаждающих труб в основании насыпи: в разрезе (А) и в плане (Б).

1 и 2 — охлаждающие и магистральные трубы; 3 и 4 — входной и выходной патрубки; 5 — вентилятор.

уровнях. Этому же способствует укладка труб с наклоном в низовую сторону земляного полотна или применение труб конической формы. В случае принудительной вентиляции дополнительно предусматривается включение вентилятора, что позволяет также в случае необходимости производить охлаждение грунтов основания летом с помощью воздушно-газовых смесей, например, воздушно-азотной, и обеспечить стабильность земляного полотна даже в аномально теплые годы.

ПЛЕНОЧНЫЙ ЭКРАН

На косогорных участках для сохранения грунтов основания земляного полотна в многолетнемерзлом состоянии необходимо преодолеть отепляющее влияние не только солнечной радиации и атмосферных осадков, но также поверхностных и надмерзлотных вод, стекающих к насыпи с нагорной стороны.

Влияние поверхностных и надмерзлотных вод может быть устранено путем устройства противofильтрационного экрана (рис. 3) из полимерной пленки на границах мерзлого ядра со сливной призмой и с бермой с верховой стороны. Для надежной консервации мерзлого состояния грунтов тела и основания насыпи берма состоит из теплоизоляционного и противofильтрационного слоев и врезана в основание на глубину превышающую мощность сезонноталого слоя. Откос насыпи с низовой стороны укреплен каменной наброской, также способствующей охлаждению грунтов тела и основания насыпи. В случае южной экспозиции откоса каменный ма-

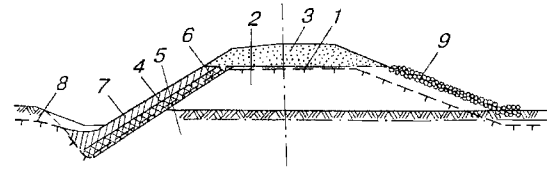


Рис. 3. Конструкция насыпи с пленочным экраном.

1 — полимерная пленка; 2 — мерзлое ядро насыпи; 3 — сливная призма; 4 — берма; 5 — сильнотальное основание насыпи; 6 и 7 — теплоизоляционный и противofильтрационный слой бермы; 8 — подошва сезонноталого слоя; 9 — каменная наброска.

териал должен иметь естественный или специально созданный светоотражающий цвет. Основание сливной призмы должно иметь уклон в низовую сторону для стока атмосферных вод.

Технология сооружения насыпи следующая. В конце лета—осенью возводят насыпь из связных грунтов (суглинков, супеси) и с нагорной стороны осуществляют врезку в основание на глубину, превышающую мощность сезонноталого слоя (от поверхности водоотводной канавы) на 0,5—0,7 м. Низовой откос насыпи покрывают наброской из фракционного камня со средним диаметром 0,3—0,5 м. По окончании полного промораживания насыпи или в конце зимы во врезку и на мерзлое тело насыпи настилают пленочный экран. Формируется верховая берма из теплоизоляционного и противofильтрационного слоев. Теплоизоляционный слой отсыпается из песчано-щебенистых грунтов, а противofильтрационный слой — из укатанных глинистых или суглинистых отложений. Общая мощность слоев должна превышать глубину сезонного оттаивания. Для уменьшения последней целесообразно покрывать берму мхом, дерном, торфом и другими теплоизоляционными материалами. Затем формируется основная площадка насыпи со сливной призмой. Если низовой откос насыпи обращен в южную сторону, а наброска выполнена из темноцветного камня, то для уменьшения влияния солнечной радиации она окрашивается в белый цвет.

ПРОДОЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АККУМУЛЯЦИИ ХОЛОДА

Основным недостатком описанной выше конструкции с противofильтрационным экраном из полимерной пленки является трудоемкость работ в условиях эксплуатирующихся дорог и ограничение применения преимущественно новым строительством. Характеризуемая ниже конструкция лишена указанного недостатка.

Устранение отепляющего влияния поверхностных и надмерзлотных вод на косогорных

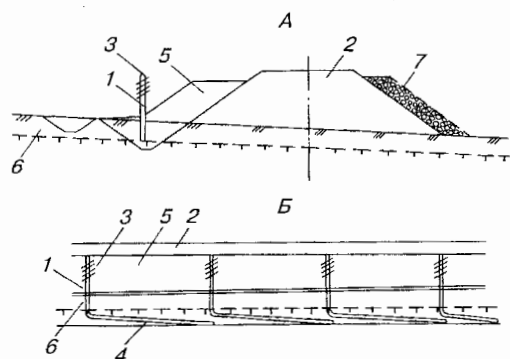


Рис. 4. Конструкция насыпи с устройством для аккумуляции холода: А — в поперечном, Б — в продольном разрезах.

1 — устройство для аккумуляции холода; 2 — насыпь; 3 и 4 — воздушный и грунтовый теплообменники; 5 — противофильтрационная берма; 6 — подошва сезонноталого слоя; 7 — каменная наброска.

участках может быть достигнуто путем создания противофильтрационного экрана из мерзлых грунтов (рис. 4) с помощью устройств для аккумуляции холода типа термосвай Лонга, Гапеева, Макарова и др., размещаемых вдоль насыпи с верховой стороны. При этом воздушный теплообменник устройств устанавливается вертикально, а грунтовый — вдоль насыпи под углом $95\text{--}100^\circ$ к вертикали. Для надежной консервации в мерзлом состоянии грунтов тела и основания насыпи сооружается противофильтрационная берма, которая врезается в основание на глубину, превышающую мощность сезонноталого слоя. Откос насыпи с низовой стороны укрепляется каменной наброской, также способствующей охлаждению насыпи, причем в случае южной экспозиции откоса каменный материал должен иметь естественный или специально созданный светоотражающий цвет.

Технология сооружения насыпи следующая. В конце лета—осенью возводят насыпь из талых связных грунтов (суглинков, супеси) и с нагорной стороны осуществляют врезку в основание на глубину, превышающую мощность сезонноталого слоя (от dna водоотводной канавы) на $0,5\text{--}0,7$ м и устанавливают устройства для аккумуляции холода по схеме, указанной на рис. 4. Затем формируют противофильтрационную берму из уплотненных глинистых или суглинистых отложений. Для уменьшения глубины сезонного оттаивания грунтов целесообразно покрывать берму теплоизоляционными материалами после промораживания насыпи, перед наступлением периода оттаивания. Установка охлаждающих устройств может быть выполнена и после сооружения верховой бермы с помощью вертикального

и наклонного бурения или отрывки специальных канав (прорезей).

Тело насыпи может быть сооружено и из скального (дренирующего) грунта. В этом случае отсыпка грунта выполняется в зимнее время, а летом с нагорной стороны отрывается траншея на $0,5\text{--}0,7$ м ниже кровли многолетнемерзлых пород. В ней устанавливаются устройства для аккумуляции холода. Производится засыпка траншеи тальми глинами или суглинками, которые при этом тщательно уплотняются. Из таких же грунтов формируется противофильтрационная берма.

Низовой откос насыпи покрывают наброской из фракционного морозостойкого камня со средним диаметром $0,3\text{--}0,5$ м. Если этот откос насыпи обращен в южную сторону, а наброска выполнена из темного камня, то для уменьшения весенне-летнего прогрева насыпи солнечной радиацией откос покрывается белой краской (светоотражающим покрытием).

ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ОТТАИВАНИЕ СИЛЬНОЛЬДИСТЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

В некоторых случаях, в особенности на участках с температурой грунтов близкой к 0°C , может оказаться целесообразным вместо постоянного поддержания отрицательной температуры грунтов принять превентивные меры по их оттаиванию и упрочнению. Для этого специально разработана технология разрушения и удаления сильнольдистых вечномерзлых грунтов или залежей льда в основании земляного полотна гидродинамическим способом через специальные скважины, по которым производится также одновременное замещение возникающих полостей талым непросадочным грунтом с необходимыми свойствами, например, песком или грунтово-цементной смесью. В таком случае исключаются опасные осадки насыпи при любых тепловых воздействиях и изменениях природной среды.

ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

На основе изложенных выше технических решений с целью проверки в производственных условиях их эффективности и отработки технологии строительства и текущего содержания противодеформационных сооружений запроектированы опытно-экспериментальные участки земляного полотна строящейся железнодорожной линии Беркамит—Томмот—Якутск.

В частности, на 708 км линии, между разъездами Боттома и Кирилл, предполагается испытать солнцезащитный навес. Экспериментальный участок расположен на Абалахской террасе р. Лена, сложен на глубину $10\text{--}15$ м озер-

но-болотными, озерно-аллювиальными и аллювиальными супесчано-суглинистыми грунтами с прослоями и жилами льда и льдогрунтов. Относительная тепловая осадка составляет 0,1—0,7. Пригодных для сооружения насыпи грунтов вблизи практически нет. Дальность возки нужных грунтов составляет 20 км, а скального грунта — 48 км.

Предшествующим проектным решением сохранение основания в мерзлом состоянии на данном участке предусматривалось осуществить с помощью парожидкостных термотруб, устанавливаемых через 2 м у подошвы насыпи, и пенопласта в основании.

В опытно-экспериментальном проекте предлагается решить эту задачу, т.е. обеспечить многолетнемерзлое состояние грунтов, с помощью навеса, представляющего собой цилиндрическое покрытие пролетом 9,5 м для однопутного ж.д. пути с прямолинейными окрылками длиной 4 м, которое осуществляется путем установки арок пролетом 9,5 м и стрелой подъема 4,75 м на треугольные опоры с подошвой 3 м и высотой 3,5 м. Между арками устанавливаются связи. В качестве ограждающего элемента принят профнастил, который укладывается на прогоны с шагом 1,5 м. В качестве фундамента арок приняты монолитные бетонные слабоармированные блоки, устанавливаемые на подсыпке.

Как показали расчеты, стоимость ж.д. пути с навесом оказывается на 20% ниже, чем с парожидкостными установками. Техническое же преимущество очевидно, поскольку под навесом надежно обеспечивается сохранение всего осно-

вания насыпи в многолетнемерзлом состоянии, тогда как парожидкостные установки, имеющие радиус действия всего 1,5 м, охлаждают лишь крайние участки подошвы насыпи, не устраняя опасности оттаивания грунтов в средней части подошвы. Очевидны преимущества навеса также в части простоты и надежности при эксплуатации линии.

На 383 км, в районе Томмота, предполагается построить опытно-экспериментальный участок для проверки и сравнения трех других технических решений: проектной конструкции в виде насыпи из скального грунта с глинистыми частицами не более 20%, с пенопластом в основании толщиной 0,1 м на ширину 3,5—4 м от оси пути, с каменной наброской из доломита слоем 0,8 м с размерами кусков 0,2—0,4 м на откосах; опытно-экспериментальной конструкции из длиномерных секционных термостабилизаторов в соответствии с патентом на изобретение № 2059752, устанавливаемых у верховой (справа по ходу километров) подошвы насыпи, исключив при этом каменную наброску с этой стороны; опытно-экспериментальной конструкции в соответствии с патентом на изобретение № 2010919 с охлаждением насыпи и грунтов основания путем принудительного проветривания по чугунным трубам диаметром 150 мм, укладываемым в нижней части насыпи, исключив каменные наброски с обеих сторон насыпи и пенопласт из ее основания.

Как видно из таблицы, на участках сильнотлистых грунтов все предлагаемые решения являются целесообразными и могут конкури-

Сметная стоимость 1 погонного метра земляного полотна различных противодеформационных конструкций ж.д. линии Томмот—Якутск

Конструкция земляного полотна	Стоимость в ценах 1991 г., руб.
Насыпь высотой 1,5—2,5 м с каменной наброской на откосах и пенопластом 0,1 м в основании на участках:	
Томмот-Амга	210
Боттома-Кирим	320
Насыпь высотой 1,5—2,5 м с вертикальными парожидкостными установками глубиной 7 м у подошвы через 2 м и пенопластом 0,1 м в основании на участке Боттома-Кирим	1120
Насыпь высотой 1,5—2,5 м с длиномерными секционными термостабилизаторами у верховой подошвы на участке Томмот-Амга:	
с пенопластом 0,1 м в основании и каменной наброской на низовом откосе	502
без пенопласта	390
без пенопласта и каменной наброски	340
Насыпь высотой 2—4 м с принудительным проветриванием по чугунным трубам диаметром 150 мм, уложенным через 3 м в нижней части насыпи на участке Томмот-Амга:	
при длине участка 70 м	415
при длине участка 280 м	250
при длине участка 700 м	200
при наличии рядом пункта обогрева	190
Насыпь высотой 1,5—2,5 м с солнцезащитным навесом	
на участке Томмот-Амга	790
на участке Боттома-Кирим	900

ровать с заложенными в проект земляного полотна железнодорожной линии Томмот—Якутск конструкциями с парожидкостными установками у подошвы насыпи или с каменной наброской на откосах насыпи и пенопластом в основании.

Начаты опытно-экспериментальные работы и на Забайкальской ж.д. В частности, разработано технико-экономическое обоснование возможных технических решений по устранению и предотвращению дальнейшего развития деформаций земляного полотна на одном из участков многолетней деградации вечной мерзлоты в основании пути. Комплекс предложенных мероприятий и решений оказался более целесообразным как в техническом, так и экономическом отношении: его стоимость, а соответственно и срок окупаемости, оказались в 1,8 раза меньше соответствующих показателей ранее разработанного проекта.

В этой связи интересны эксперименты Д. Зарлинга и А. Брэля [Zarling et al., 1986], проведенные на Аляске для разработки наиболее экстремальных методов лечения земляного полотна (охлаждения откосов автодороги в районах вечной мерзлоты). Проверялось три метода: сооружение на откосах дороги навеса из дерева и фанеры для затенения грунта в течение лета и предохранения от влияния снега, как теплоизоляционного покрова зимой; периодическая (1 раз в месяц) очистка от снега в течение зимы участка бермы автодороги и установка на откосах насыпи термосифонов.

Наибольшую эффективность показали навесы. Они, по мнению Д. Зарлинга и А. Брэля, могут быть достаточными для охлаждения грунтов насыпей на 3—5° в течение нескольких лет. Снегоочистка также показала значительную пользу, однако она, как считают авторы, может потребовать больших усилий в годы обильных снегопадов.

Аляскинский опыт подтверждает перспективность разработки способов укрепления основания земляного полотна на вечномёрзлых грунтах, основанных на регулировании соотношения охлаждающих и отепляющих факторов с целью понижения среднегодовой температуры грунтов и сохранения их в многолетнемёрзлом состоянии.

Наши технические решения представляются более эффективными, поскольку навесом перекрывается все земляное полотно, а не только откос насыпи, как в экспериментах Д. Зарлинга и А. Брэля; снегоочистка выполняется только тогда, когда теплоток имеет направление в атмосферу, а в летний период теплоток в грунт уменьшается светоотражающей покраской.

Литература

- Белозеров А.И. Деформации земляного полотна на Байкало-Амурской магистрали // Транспортное строительство. 1993, № 5—6, с. 11—14.
- Бушин А.В. О задачах по обеспечению надежности земляного полотна железных дорог в современных условиях // Ж.-д. транспорт, сер. Путь и путевое хозяйство; ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС, 1992, вып. 5—6, с. 1—14.
- Изыскания и проектирование трассы Байкало-Амурской магистрали // Справочно-методическое пособие / Под ред. Д.И. Федорова; М.: Транспорт, 1977, 206 с.
- Кондратьев В.Г. Насыпь на участках с поперечным уклоном местности и сильнольдистыми вечномёрзлыми грунтами. Патент на изобретение № 1807173, 1993, 3 с.
- Кондратьев В.Г., Королев А.А., Карлинский М.И. и др. Способ укрепления основания земляного полотна на сильнольдистых грунтах. Патент на изобретение № 1764371, 1992а, 5 с.
- Кондратьев В.Г., Королев А.А., Карлинский М.И. и др. Железнодорожный путь на сильнольдистых вечномёрзлых грунтах. Патент на изобретение № 1740555, 1992б, 5 с.
- Кондратьев В.Г., Карлинский М.И., Савельев Б.А., Соколов А.В. Насыпь на сильнольдистых вечномёрзлых грунтах. Патент на изобретение № 2010919, 1993а, 4 с.
- Кондратьев В.Г., Кобзев В.А., Гусаков В.А. Насыпь на косогорных участках местности с сильнольдистыми многолетнемёрзлыми грунтами. Патент на изобретение № 2059752, 1993б, 4 с.
- Кондратьев В.Г., Бройд И.И. Способ укрепления основания земляного полотна на сильнольдистых вечномёрзлых грунтах. Патент на изобретение № 2074928, 1994, 5 с.
- Яковлев В.Е. Текущее содержание и капитальный ремонт земляного полотна в условиях БАМ ж.д. // Ж.-д. транспорт, сер. „Путь и путевое хозяйство“; ЭИ/ЦНИИТЭИ МПС, 1992, вып. 5—6, с. 14—28.
- Zarling D. P., Braley A.W. That stabilization of roadway embankments constructed over permafrost // Report NO FHWA-AK-RD-81-20, 1986, 33 p.

Поступила в редакцию
15 июля 1997 г.