

УДК 625.143.07

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.136.2013.107895>

*Канд. экон. наук Б.А. Омарова (КУПС)*

## ОЦЕНКА ПРОМЕРЗАНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В РЕГИОНАХ КАЗАХСТАНА

*Представил д-р техн. наук, профессор Т.С. Саржанов*

**Введение.** Железнодорожный транспорт нашел широкое применение в различных отраслях народного хозяйства Республики Казахстан. Общая протяженность железных дорог превышает 32 тыс. км, в том числе магистральных более 16 тыс. км, промышленных и карьерных железных дорог – столько же.

Одним из важных элементов железнодорожного пути является земляное полотно, в основании которого залегают грунты и горные породы с различными физико-механическими свойствами, которые играют важную роль в обеспечении его устойчивого и стабильного состояния.

Известно, что объем ремонтных работ, связанных с содержанием земляного полотна, составляет более 40 % от общей стоимости содержания железнодорожного пути. При эксплуатации железнодорожного пути мало внимания уделяется содержанию земляного полотна; во время капитального ремонта производится только замена рельсошпальной решетки, а загрязненный балласт не вывозится, а сдвигается на откос. Вследствие повышения массы и длины поездов, а также осевых нагрузок до 300 кН возникают остаточные деформации

с разрушением щебня, особенно слабых горных пород.

**Постановка задачи.** Значительное влияние на работу земляного полотна оказывают климатические факторы. Таким образом, обеспечение работоспособности земляного полотна железнодорожного пути на основе управления физико-механическими параметрами земляного полотна железнодорожного пути является актуальной проблемой.

**Изложение материала.** Большая часть железных дорог Казахстана (более 70 %) имеет земляное полотно, отсыпанное из глин, суглинков и супесей [1]. При плитном подрельсовом основании железнодорожного пути не допускается морозное пучение глинистых грунтов насыпей и выемок. Поскольку в северных районах Казахстана промерзание грунтов достигает, по данным профессора А.Д. Омарова [1], 2-3 м, необходимы конструктивные меры для защиты от промерзания глинистых грунтов земляного полотна. Для ближайшего к Казахстану региона Западной Сибири, по данным Г.П. Бредюка [2-3], наибольшее промерзание отмечается в железнодорожных насыпях (таблица).

Расчетная глубина промерзания грунтов земляного полотна  
на двухпутных участках, м

Выемки (суглинки)	Нулевые места (суглинки)	Насыпи (суглинки)
2,5	2,6	2,7

Большее промерзание грунта насыпей (по сравнению с выемками) объясняется большей площадью конвективного теплообмена между насыпью и окружающим воздухом и меньшим удельным притоком тепла к насыпи от основания земляного полотна.

Территория Казахстана в основном размещается в 4-й и 3-й зонах по [4], где сумма отрицательных градусо-часов составляет от 780 до 2500 градусо-часов.

Грунтовый массив земляного полотна с действующими на него внешними силами является открытой термодинамической системой, параметры состояния которой связаны между собой определенными соотношениями-уравнениями механики и термодинамики [4].

Теплопередача – процесс распространения тепла. Способы переноса тепла: теплопроводность (реализуется внутри твёрдых тел), конвекция (возникает в результате перемешивания в жидкостях и газах), тепловое излучение (лучеиспускание). В реальных условиях тепло передаётся комбинированным способом.

Периодические изменения составляющих уравнений радиационно-теплого баланса описываются выражением

$$R - \Phi - P - B = 0, \quad (1)$$

где  $R$  – радиационный баланс;

$\Phi$  – затраты тепла на фазовые переходы воды;

$P$  – турбулентный энергообмен поверхности с атмосферой;

$B$  – теплообмен между поверхностью и толщей выделенного грунтового массива.

Количество теплоты, передаваемой от горячего теплоносителя, прямо пропорционально площади теплопередающей поверхности  $F$ , действующей средней разности температур  $\Delta t$ , продолжительности процесса  $T$  и коэффициенту теплоотдачи  $\alpha$

$$Q = \alpha F (t_{cm} - t_{oc}) = \alpha F \Delta t \tau. \quad (2)$$

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  показывает, какое количество теплоты передаётся от горячего теплоносителя к холодному через 1 м<sup>2</sup> поверхности при средней разности температур в 1 градус за 1 с

$$\alpha = \frac{Q}{F \Delta t \tau} \left[ \frac{\text{дж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{град}} \right], \left[ \frac{\text{вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{град}} \right], \left[ \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}} \right]. \quad (3)$$

Уравнение теплопроводности в сплошной среде имеет вид

$$K_x \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + K_y \left( \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + K_z \left( \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q = \rho C \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (4)$$

где  $K_X, K_Y, K_Z$  – коэффициенты теплопроводности в направлении глобальных осей  $X, Y, Z$ , кВт/м;

$T$  – температура, °C;

$Q$  – источник тепла внутри тела, который считается положительным, если тепло подводится к телу, кВт/м<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность, Т/м<sup>3</sup>;

$C$  – удельная теплоемкость, Дж/кг;

$t$  – время.

Если температура известна на некоторой части границы, то можно записать

$$T = T_B(S), \quad (5)$$

где  $T_B$  – температура на границе, которая может быть функцией координат точек поверхности  $S$ .

Если на границе происходит конвективный теплообмен, который характеризуется величиной  $h(T - T_\infty)$ , или задан поток тепла  $q$ , то граничное условие имеет вид

$$K_X \frac{\partial T}{\partial X} 1_x + K_Y \frac{\partial T}{\partial Y} 1_y + K_Z \frac{\partial T}{\partial Z} 1_z + h(T - T_\infty) + q = 0, \quad (6)$$

где  $h$  – коэффициент теплообмена, кВт/м<sup>2</sup>;

$T$  – температура на границе (неизвестная);

$T_\infty$  – температура окружающей среды (известная);

$1_x, 1_y, 1_z$  – направляющие косинусы;

$q$  – поток тепла, кВт/м<sup>2</sup>.

При расчетах теплоизолирующих устройств и покрытий определяется глубина промерзания утепляемого грунта  $z$ , м, и толщина подушки или покрытия  $m$ , м.

Глубина промерзания грунта  $z$  для любого однородного грунта может быть определена непосредственными прямыми наблюдениями или взята по данным мерзлотомеров. Как правило, она принимается как максимальная из максимальных глубин сезонного промерзания грунта по данным многолетних наблюдений за период не менее 10 лет.

При отсутствии таких данных она может быть рассчитана в соответствии с указаниями [4] по следующей формуле (при промерзании грунтов до 2,5 м)

$$z = d_{fn} \sqrt{M_t}, \quad (7)$$

где  $d_{fn}$  – нормативное значение глубины промерзания, м;

$d_0$  – параметр (найденный эмпирически), принимаемый равным для суглинков и глин 0,23 м; супесей, песков мелких и пылеватых – 0,28 м; песков гравелистых, крупных и средней крупности – 0,30 м и крупнообломочных грунтов – 0,34; значение  $d_0$  для грунтов неоднородного сложения может определяться как средневзвешенное в пределах глубины промерзания;

$M_t$  – безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в данном районе, принимаемых по результатам наблюдений местной гидрометеорологической станции, а при их отсутствии – по СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» [5].

Для расчетов промерзания насыпей на плитном основании не удастся использовать традиционную методику, предназначенную для однородного грунта. Для сложных многослойных конструкций

насыпей эффективно применение численных методов, позволяющих учесть конвективный теплообмен грунта верха и откосов насыпи и охлажденного воздуха и тепловой поток через основание насыпи. Толщина и ширина пенопластового покрытия определяется теплотехническим расчетом из условия полного вывода пучинистых грунтов из зоны промерзания. Минимальная толщина покрытия принимается 0,04 м, а ширина – 4 м под один путь. Обязательной является срезка обочин земляного полотна до уровня пенопласта для отвода воды из балластного слоя.

Покрытия должны иметь довольно высокие прочностные характеристики. Материалы покрытия должны выдерживать напряжения, возникающие при укладке на них щебеночного балласта, а геометрические размеры должны обеспечивать возможность укладки при работе щебнеочистительных машин.

Надежность и долговечность пенополистирола определяется пределом прочности его на сжатие и водопоглощением. Длину плит пенополистирола принимают равной ширине покрытия основной площадки земляного полотна (4...5 м). Длина плит допускается не менее половины ширины покрытия.

Профессором Э.П. Исаенко и к.т.н. М.В. Безруковым [5] разработана конечно-

элементная модель бесстыкового пути, включающая рельсошпальную решетку (с параметрами ее геометрии, моментов инерции, прочностных характеристик) с присоединенными к ней упругими элементами типа Spring, Gap, DOF, крутильной жесткости, учитывающими вертикальную (различную вверх и вниз) упругость пути, поперечную и продольную упругость пути и сопротивление повороту рельса в узле скрепления без отрыва от подкладки. Эта модель для прямых и кривых может учитывать прижатие рельса клеммой скрепления, отступления от норм содержания пути (просадки пути и углы по направлению), ослабления пути при производстве работ (количество освобожденных от балласта торцов шпал) и заметно реагирует на изменение исходных данных. Может быть использована для оценки влияния на устойчивость пути против выброса работающих на пути машин.

Расчеты промерзания слоистых грунтовых железнодорожных насыпей, состоящих из разных по теплотехническим характеристикам материалов, можно выполнить только численными методами. В наших расчетах использована программная система COSMOS/M.

Конечно-элементная модель промерзающей насыпи приведена на рис. 1.

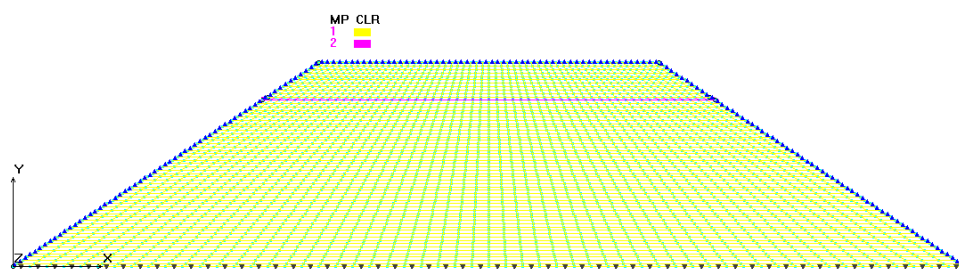


Рис. 1. Конечно-элементная модель промерзающей насыпи

На рис. 2-3 приведены расчетные распределения температур в зависимости от величины отрицательных градусо-часов при устройстве теплоизолирующего

пенополистирольного покрытия и без него. На графике показано распределение температур по оси насыпи от верха до основания насыпи.

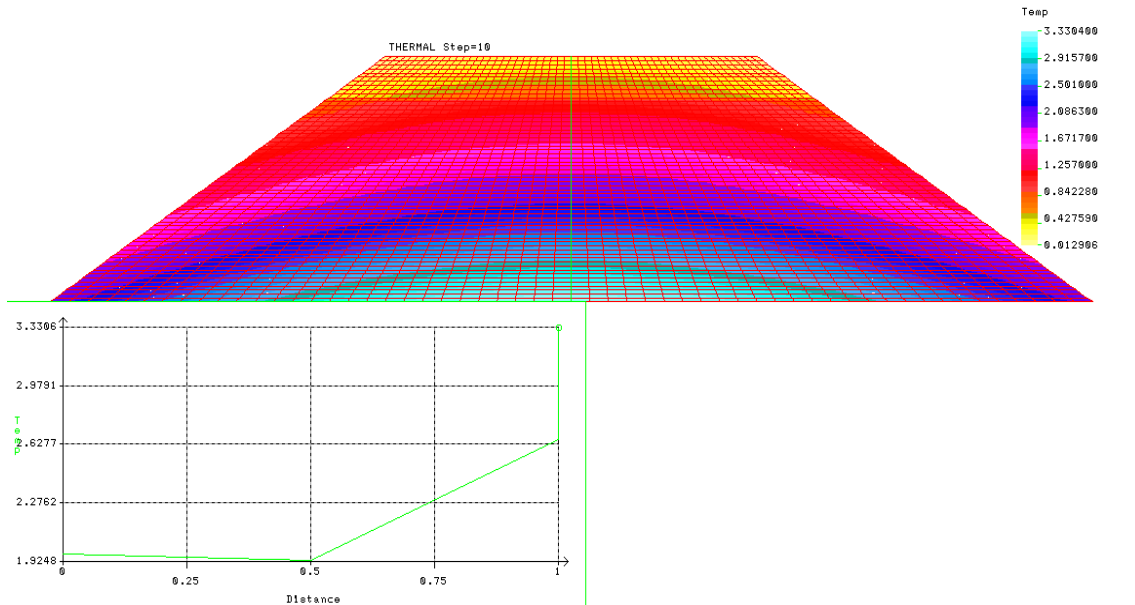


Рис. 2. Распределение температур в насыпи при устройстве теплозащитного слоя через 2400 отрицательных градусо-часов

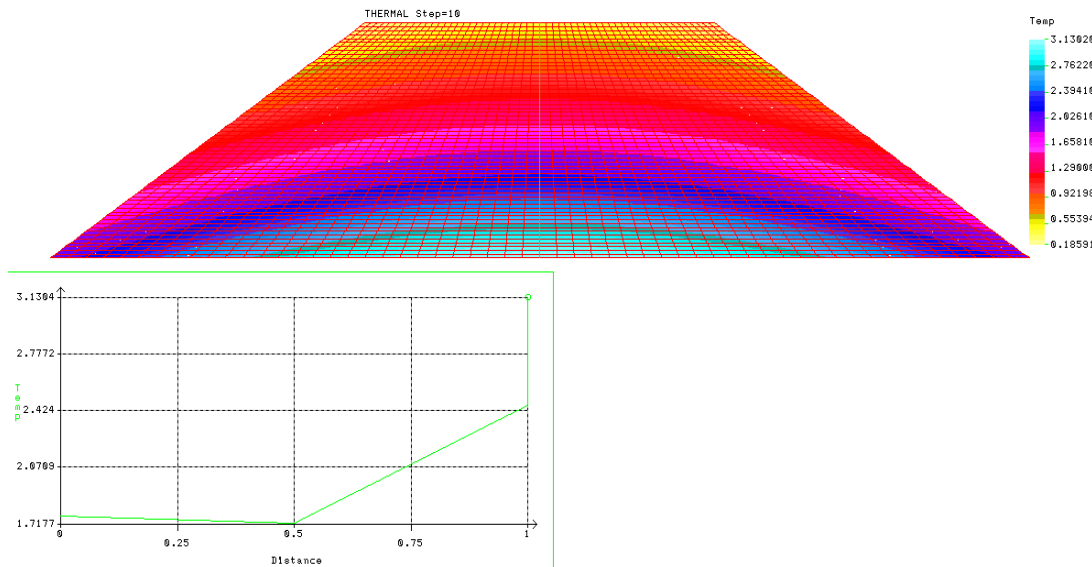


Рис. 3. Распределение температур в теле насыпи без устройства теплоизолирующего слоя после 2400 отрицательных градусо-часов

**Выводы.** При устройстве железнодорожного пути на плитном основании обязательно размещение теплозащитного слоя в Южной, Средней и

Северной зонах Казахстана (если глинистые грунты попадают в зону промерзания).

### *Список литературы*

1. Омаров, А.Д. Земляное полотно железных дорог Казахстана [Текст] / А.Д. Омаров. – Алматы : Бастау, 2000. – 208 с.
2. Бредюк, В.Б. Автоматизированная система постановки пути в проектное положение [Текст] / В.Б. Бредюк // Путь и путевое хозяйство. – 1997. – № 12. – С. 34-39.
3. Бредюк, Г.П. Расчет противопучинных устройств [Текст] / Г.П. Бредюк // Путь и путевое хозяйство. – 1966. – № 3. – С. 34-36.
4. Строительно-технические нормы МПС РФ. Железные дороги колеи 1520 мм [Текст] / СТН Ц-01-95. – М. : Транспорт, 1995. – 199 с.
5. Расчеты железнодорожного пути с использованием конечно-элементных моделей [Текст]: учеб.-метод. пособие / Исаенко Э.П. [и др.]. – Нижний Новгород: Нижегородский печатник, 2002. – 215 с.

**Ключевые слова:** скорость, метод, состав, деформация, нагрузка.

### *Аннотации*

Навантаження залізничної колії рухомим складом є випадковим процесом, залежним від його конструкції і параметрів, осевих навантажень, швидкості руху, деформацій колії під навантаженням, нерівностей як на рейках, так і на колесах, динамічних якостей рухомого складу, змінності жорсткісних і дисипативних характеристик, температурних напруг та ін. Розглянуто можливість числового моделювання залізничної колії методом кінцевих елементів.

Нагрузка железнодорожного пути подвижным составом является случайным процессом, зависящим от его конструкции и параметров, осевых нагрузок, скорости движения, деформаций пути под нагрузкой, неровностей как на рельсах, так и на колесах, динамических качеств подвижного состава, переменности жесткостных и диссипативных характеристик, температурных напряжений и др. Рассмотрена возможность численного моделирования железнодорожного пути методом конечных элементов.

Loading of a railway way a rolling stock is the casual process depending on its design and parameters, axial loadings, speeds of movement, way deformations under loading, roughnesses both on rails, and on wheels, dynamic qualities of a rolling stock, variability of the stiffness and dissipation characteristics, temperature tension, etc. In article possibility of numerical modeling of a railway way is considered by a method of final elements.