

## Технические решения ОАО «Гипротюменнефтегаз» при проектировании объектов нефтегазового комплекса на многолетнемерзлых грунтах (часть 2)<sup>1</sup>

И.А. Щербинин,  
И.З. Фахретдинов,  
С.С. Иванов,  
И.А. Жолобов

(ОАО «Гипротюменнефтегаз»,  
Группа ГМС)

Адрес для связи: ivanov@gtnng.ru

**Ключевые слова:** многолетнемерзлый грунт, теплотехнический расчет, способы сохранения многолетнемерзлых грунтов.

Одним из актуальных вопросов проектирования и строительства оснований в районах распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ) является определение высоты и конструкции искусственной насыпи для исключения сезонного оттаивания подстилающей мерзлоты. Высота и конструкция искусственной насыпи устанавливаются по результатам теплотехнических расчетов. Одна из задач проектирования насыпи (как для площадочных объектов, так и для автодорог) – определение рациональной конструкции откосов. Здесь, кроме решения задачи устойчивости откосов, актуальным является исключение растепления грунтов под насыпью.

Для расчета температурного поля насыпи и фронта оттаивания с учетом годовой динамики температуры окружающего воздуха и неоднородного геологического разреза в ОАО «Гипротюменнефтегаз» разработан алгоритм, который основан на численном моделировании на двумерной сетке. Алгоритм позволяет решать задачу (нестационарную, двумерную, нелинейную) определения ореола оттаивания для любых типов грунтов, в том числе неоднородных по геологическому разрезу. Численный расчет учитывает изменение свойств грунта (коэффициентов теплопроводности и теплоемкости) в зависимости от фазового состояния воды в грунте; теплоту фазовых переходов; сезонное изменение температуры воздуха; переменные в течение года условия теплообмена на поверхности; форму и размер сооружения.

Расчетная область размером 100×100 м имеет сложную форму. С целью оптимизации расчет выполняется на неравномерной (динамической) сетке. Расчетная сетка измельчается только там, где это необходимо: в области фазовых переходов откосной части насыпи и теплоизолирующего слоя. Таким образом достигается необходи-

Giprotyumenneftegaz engineering solutions for construction of oil and gas industrial facilities in permafrost areas (part 2)

I.A. Shcherbinin, I.Z. Fakhretdinov, S.S. Ivanov, I.A. Zholobov (Giprotyumenneftegaz, HMS Group, RF, Tyumen)

E-mail: ivanov@gtnng.ru

**Key words:** permafrost soil, thermal design, safety methods permafrost.

To date, due to the increased volume of construction in permafrost areas and unstable soils, the urgency of developing new methods of construction of buildings and structures is constantly increasing. Existing construction methods require further development and updating in accordance with the new requirements.

Таблица 1

Тип грунта	Код	Плотность грунта, кг/м <sup>3</sup>	Влажность	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Коэффициент объемной теплоемкости, кДж/(м <sup>3</sup> ·К)	Толщина, м
Песок	70	1750	0,10	$\frac{1,85}{2,07}$	$\frac{2345}{1972}$	2,6
Торф	913	153	5,50	$\frac{0,36}{0,63}$	$\frac{2520}{1580}$	0,5
Песок	42607	1596	0,19	$\frac{2,07}{2,30}$	$\frac{2732}{2105}$	1,8
Супесь	309	1435	0,16	$\frac{1,23}{1,39}$	$\frac{2270}{1800}$	2,9
Суглинок	209	1540	0,19	$\frac{1,21}{1,37}$	$\frac{2360}{2030}$	7,4
Песок	428	1614	0,17	$\frac{1,94}{2,15}$	$\frac{2410}{2060}$	2,2

**Примечание.** В числителе приведены коэффициенты для талого грунта, в знаменателе – для многолетнемерзлого.

мый баланс между достоверностью и скоростью расчета (исключаются вычисления, несущественно влияющие на результаты расчета). Свойства грунтов, такие как коэффициенты теплопроводности и теплоемкости (в талом и мерзлом состояниях), а также плотность, влажность, зависят от температуры, координаты и времени. Расчетный период составляет 30 лет, шаг по времени – 72 ч.

В качестве примера приведем результаты расчетов для следующих вариантов конструкции откоса насыпи:

- 1) без теплоизоляции;
- 2) с теплоизолирующим слоем (искусственный теплоизолирующий материал);
- 3) с теплоизолирующим слоем и устройством бермы (искусственный теплоизолирующий материал);
- 4) с теплоизолирующим слоем (искусственный теплоизолирующий материал и естественный – торф).

<sup>1</sup> Технические решения ОАО «Гипротюменнефтегаз» при проектировании объектов нефтегазового комплекса на многолетнемерзлых грунтах (часть 1)/И.А. Щербинин, И.З. Фахретдинов, С.С. Иванов, И.А. Жолобов // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 90–92.

Таблица 2

Месяц	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Средняя температура	-25,1	-24,4	-18	-8,1	-0,7	9,8	15,8	12	6	-5	-16,8	-23,1

Примечание. Годовая температура равна  $-6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Свойства грунтов принимаются по материалам инженерных изысканий и для примера приведены в табл. 1. Геологический разрез для расчетной модели также представлен в табл. 1. Среднемесячные температуры воздуха принимаются по материалам инженерных изысканий и для примера даны в табл. 2.

### Результаты расчета для конструкции 1

Высота насыпи составляет 2,6 м, крутизна ее откоса – 1:2. На рисунке, а представлены схема откоса насыпи и фронт оттаивания. При данной конструкции под откосом насыпи произойдет оттаивание ММГ, что может вызвать ее деформацию.

### Результаты расчета для конструкции 2

Высота насыпи равна 2,6 м. На выравнивающий слой грунта толщиной 0,3 м уложен теплоизолирующий слой толщиной 0,1 м и шириной 3 м. Крутизна откоса составляет 1:2. Теплоизолирующий слой лежит по всей ширине откоса, ширина слоя в откосе – 4,2 м. В расчетах принимался искусственный теплоизолирующий слой из материала с коэффициентом теплопроводности, равным  $0,029\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ . При данной конструкции под откосом насыпи также произойдет оттаивание грунтов основания.

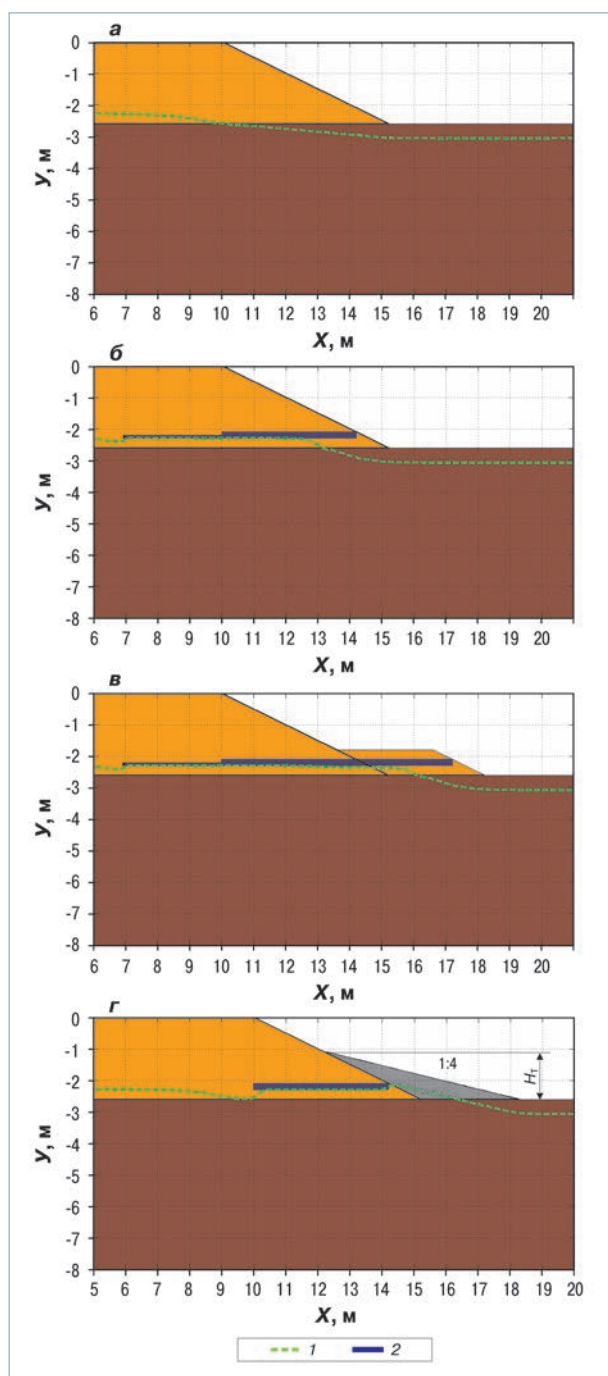
### Результаты расчета для конструкции 3

Вариант рассчитан на конструкцию насыпи с бермой, высота которой составляет 0,8 м, длина – 3 м. Теплоизолирующий слой толщиной 0,2 м лежит на выравнивающем слое насыпного грунта толщиной 0,3 м, на теплоизолирующий слой накладывается слой насыпного грунта толщиной 0,3 м.

Высота насыпи составляет 2,6 м (см. рисунок, в). На выравнивающий слой грунта наложен теплоизолирующий слой толщиной 0,1 м и шириной 3 м. Крутизна откоса составляет 1:2. Теплоизолирующий слой толщиной 0,2 м лежит на выравнивающем слое насыпного грунта. Ширина данного слоя в откосе составляет 4,2 м. Общая длина теплоизолирующего слоя составляет = 10,2 м (в насыпи – 3 м, в откосной части – 4,2 м, в берме – 3 м). При устройстве насыпи по конструкции 3 под откосом насыпи грунты основания остаются в мерзлом состоянии.

### Результаты расчета для конструкции 4

Высота насыпи равна 2,6 м. На выравнивающий слой грунта толщиной 0,3 м уложен теплоизолирующий слой толщиной 0,1 м и шириной 3 м. Крутизна откоса составляет 1:2. Теплоизолирующий слой толщиной 0,2 м лежит на выравнивающем слое насыпного грунта. Ширина слоя в откосе составляет 4,2 м,  $H_T = 1,5\text{ м}$ . При устройстве насыпи по конструкции 4 под откосом насыпи ММГ остается в мерзлом состоянии.



Фронт оттаивания для конструкций 1 (а), 2 (б), 3 (в) и 4 (г):

$H_T$  – высота теплоизоляционного слоя торфа; 1 – фронт оттаивания; 2 – теплоизолирующий слой

На основе алгоритма, разработанного в ОАО «Гипротюменнефтегаз», создан современный программный комплекс, позволяющий с высокой точностью и минимальными временными затратами определять оптимальную конструкцию откосной части насыпей, сооружаемых в условиях ММГ.