

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТКИ СЕЗОННО-МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ

Предложена методика расчета толщины полимерной пены для эффективной защиты грунта от промерзания, позволяющая снизить затраты на экскавацию подготовленного (утепленного) грунта на примере грунтового фона республики Саха.

**Ключевые слова:** сезонно-мерзлые грунты, температурный режим, полимерные композиции, теплозащита грунтов, пеноутеплители.

Таблица 2

## Физико-механические свойства карбамидной пены-утеплителя

Показатели	Единица изм.	Значение показателя
Объемная масса	Кг/м <sup>3</sup>	10-50
Прочность при 10% сжатии	МПА	0.196-0.0588
Водопоглощение за 24 часа	Кг/м <sup>2</sup>	1,1
Пористость	%	95-98
Рабочая температура	оК	От -193 до +373
Кратность изготовления		13-28
Технологическая усадка	%	10-15
Коэффициент теплопроводность,	Вт/(м К)	0,03-0,064
Коэффициент температуропроводности	10-3м <sup>2</sup> /ч	4
Удельная теплоемкость	Дж/(кгК)	0,34

Для снижения трудоемкости разработки грунтов используется способ теплозащиты грунтов площадок промышленного освоения месторождений от сезонного промерзания с использованием пен новых полимерных композиций, которые не только обеспечивают теплозащитные свойства, но и обладают новыми физико-механическими свойствами, гидрофобной способностью. Приведенные удельные затраты на разработку подготовленных (утепленных) однородных грунтов экскаваторами снижаются на 10–15 %, а удельные затраты на разработку подготовленных грунтов с гравийно-каменистыми включениями, в первую очередь зависящие от гранулометрического состава и процентного содержания фракций в разрабатываемых грунтах, в отдельных случаях могут снижаться в несколько раз.

Новые физико-механические свойства полимерных пен позволяют эффективно использовать полимерные композиции для утепления грунтов от сезонного промерзания. Прочностными характеристиками, определяющими сопротивляемость сезонно-мерзлых грунтов резанию, являются их температура, гранулометрический состав и влажность. Опыт использования пен для утепления грунта [1], [2] от глубокого сезонного промерзания позволил выделить наиболее приемлемый рецептурный состав (табл. 1), используемый для приготовления и рациональные эксплуатационные показатели пен-утеплителей (табл.2).

Таблица 1

## Рецептурный состав

Наименование компонента	Содержание, %
Мочевинформальдегидная смола М-19-62	25-30
Пенообразователь ПО-1	5
Соляная кислота 5-6 % концентрации	16
Вода	49-50

Необходимая толщина пены-утеплителя для предохранения грунта от сезонного промерзания, определяется по формуле

$$h = K_y L_u (K_p K_w R_o - R_c), \text{ м}$$

где  $K_y$  – толщина слоя пены-утеплителя, м

$L_u$  – коэффициент теплопроводности утеплителя, ккал/м·°С

$K_p$  – коэффициент влияния плотности грунта

$K_w$  – коэффициент влияния влажности грунта

$R_o$  – общее термическое сопротивление, требуемое для предохранения грунта от промерзания, м<sup>2</sup>·°С/ккал

$R_c$  – термическое сопротивление снега, м<sup>2</sup>·°С/ккал

Общее термическое сопротивление, требуемое для предохранения грунта от промерзания зависит от гранулометрического состава как самого грунта так и его каменистых включений. Термическое сопротивление снега определяется по формуле

$$R_c = \frac{h_c}{L_c}$$

где  $h_c$  – высота снежного покрова, м;

$L_c$  – коэффициент теплопроводности снега, ккал/час·град.

Коэффициент теплопроводности снежного покрова определяется по формуле

$$L_c = 0,018 + 0,87 P_{cy}$$

Коэффициент влияния объемной плотности  $K_p$  зависит от типа грунта и его гранулометрическо-

го состава. Для практических расчетов рекомендуется принимать значение  $K_p=1,00$  для грунтов плотностью от 1500 до 1700 кг/м<sup>3</sup> и  $K_p=0,85$  - для грунтов плотностью от 1700 кг/м<sup>3</sup> и более.

Значение коэффициента влияния влажности грунта  $K_w$  рекомендуется принимать при влажности грунта от 8% до 20%, равным 1,35, а при влажности грунта более 20% - 0,71.

Для расчета толщины пены-утеплителя на карбомидной основе воспользуемся среднестатистическими метеорологическими данными месячных температур, высоты и плотности снежного покрова, а также количества суточных градусочасов отрицательных температур по Республике Саха (табл.3). Исходя из эксплуатационных характеристик, допустимых эксплуатационных затрат на разработку мерзлого грунта с гравийно-каменистыми включениями парком землеройных машин ООО «Мехдорстрой», выполняющего значительные объемы земляных работ в зимнее время на территории республики Саха, зададимся допустимой глубиной сезонного промерзания грунта равной 0,65м. Показатели объемной массы грунта и его влажности возьмем из паспорта грунтов Республика Саха. Для расчетов примем в качестве обязательного условия, что нанесение пены-утеплителя на предохраняемый грунт производится в осенний период в условиях отсутствия снега (условно принимаем период с 25 по 30 августа), а значение плотности снежного покрова в течении зимних месяцев является величиной постоянной и равна 0,2 т/м<sup>3</sup>. Продолжительность промерзания грунта вычислим как произведение дней в каждом зимнем месяце.

Таблица3

Среднестатистические данные

Название месяца разработки грунта	Среднемесячная температура, °С	Высота снежного покрова, м
октябрь	-12,7	0,10
ноябрь	-18,9	0,18
декабрь	-26,1	0,25
январь	-31,8	0,32
февраль	-25,5	0,38
март	-17,7	0,24

Продолжительность времени промерзания грунта по каждому месяцу определим исходя из количества дней в каждом месяце, а количество фактических градусочасов отрицательных температур, воздействующих на грунт с учетом средне-месячных температур:

октябрь - 12,7x680+1800=10436,0  
 ноябрь - 18,9x720+2232=15840,0  
 декабрь - 26,1x744+6408=25826,4  
 январь - 31,8x744+18386,4=35498,4  
 февраль - 25,5x672+31034,4=48170,4  
 март - 17,7x744+41450,4=54619,4

При разработке грунта в январе значение термического сопротивления пены-утеплителя рав-

но 1,9 м<sup>2</sup> °С/Вт, в феврале - 2,7 м<sup>2</sup> °С/ккал,

в марте 3,0 м<sup>2</sup> °С/ккал. Принимаем характеристики планируемого к разработке грунта: значение плотности грунта 1700 кг/м<sup>3</sup>, значение влажности - 20%. При этом коэффициент влияния плотности  $K_p = 0,85$ , а коэффициент влияния влажности грунта  $K_w=0,71$ .

Определим коэффициент теплопроводности снежного покрова

$$\Lambda_c = 1.16(0,018 + 0,85 \cdot 0,2) = 0,2233 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С})$$

Термическое сопротивление снежного покрова составит:

в январе -

$$R_c = (0,08 + 0,12 + 0,12) / 3 / 0,223 = 0,48 \text{ м} \cdot \text{°С}/ \text{Вт};$$

в феврале -

$$R_c = (0,08 + 0,12 + 0,12 + 0,14) / 4 / 0,223 = 0,52 \text{ м} \cdot \text{°С}/ \text{Вт};$$

в марте -

$$R_c = (0,08 + 0,12 + 0,12 + 0,14 + 0,10) / 5 / 0,223 = 0,50 \text{ м} \cdot \text{°С}/ \text{Вт};$$

Принимаем коэффициент теплопроводности пены-утеплителя, имеющей кратность 30 объемных единиц  $\Lambda_n = 0,097 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С})$ .

Толщина слоя пены-утеплителя, способная предотвратить от промерзания грунт, планируемый к разработке:

в январе -

$$h = 1.1 \cdot 0,097(0,95 \cdot 0,87 \cdot 0,85 \cdot 1,9 - 0,48) = 0,083 \text{ м}$$

в феврале месяце

$$h = 1.1 \cdot 0,097(0,95 \cdot 0,87 \cdot 0,85 \cdot 2,7 - 0,52) = 0,150 \text{ м}$$

в марте -

$$h = 1.1 \cdot 0,097(0,95 \cdot 0,87 \cdot 0,85 \cdot 3,0 - 0,50) = 0,172 \text{ м}$$

Таким образом, нанесение пены утеплителя толщиной 0,172м в сентябре месяце на участок, планируемый к разработке землеройными машинами в марте месяце, надежно предохраняет от сезонного промерзания на глубину не более 0,65м.

Как показали натурные эксперименты и промышленное использование пен-утеплителей [3], наиболее эффективна защита грунта от глубокого промерзания полимерными пенами, наносимыми на подготавливаемый грунт в осенний месяц до появления снега. Толщина слоя полимерного пено-утеплителя ( $h$ ), способного предотвратить грунт от глубокого промерзания, зависит от режима промерзания грунта, предполагаемой глубины промерзания грунта ( $H$ ), его термического сопротивления  $R_0$  [1]

$$h = K_n \lambda_n (K_Y K_w K_t R_0 - R_c),$$

где  $K_n$  - коэффициент усадки пены утеплителя;

$\lambda_n$  - коэффициент теплопроводности полимерной пены;

$K_Y, K_t, K_w$  - коэффициенты влияния плотности грунта, срока нанесения полимерной пены и влажности грунта;

$R_c$  - термическое сопротивление снежного покрова.

Учитывая физико-механические свойства полимерной пены, не имеющей объемной усадки ( $K_n = 1$ ), обладающей гидрофобностью, а также

влияние плотности снежного покрова ( $K_C$ ) на его термическое сопротивление указанная формула принимает вид

$$h_n = \lambda_n(K_Y K_t R_o - K_C R_C),$$

где  $R_C$  – термическое сопротивление снежного покрова;

$K_C$  – коэффициент плотности снежного покрова.

Термическое сопротивление грунта в первую очередь зависит от разновидности грунта, его влажности, гранулометрического состава включений и процентного содержания гравийно-каменистых включений.

Расход быстротвердеющей полимерной пены для утепления грунта для предотвращения от промерзания на каждые 200–300 мм предполагаемой глубины промерзания определяется по формуле [4]

$$Q_n = \frac{(F h_n Y)}{K_n},$$

где  $F$  – площадь утепления;  $h_n$ ,  $Y$ ,  $K_n$  – толщина, плотность слоя, кратность пеноутеплителя.

Отрицательные значения температуры грунта в естественных условиях в конце декабря в грунтах республики Саха сохраняются до глубины

1,6 м; отрицательные значения температуры утепленного грунта характерные для условий залегания и декабря месяца - до глубины 0,75 м.

Разница температур грунта в естественных условиях залегания и в условиях утепления увеличивается по глубине залегания грунта и на глубине 0,83 м достигает наибольшего значения 1,1 °С, а на глубине 1,2 м температура утепленного грунта стабилизируется на величине 0,6 °С.

Используемые полимерные пеноутеплители имеют кратность до 35 и выше, значение кратности определяется исходными материалами и технологией их получения.

Поры быстротвердеющей полимерной карбамидной пены имеют размеры от 0,25 мм внутри покрытия и до 3,15 мм на поверхности, удельный вес в сухом состоянии изменяется в широком диапазоне до 35 кг/м<sup>3</sup>.

Использование полимерных пен для защиты однородных грунтов от сезонного промерзания позволяет существенно снизить затраты на эскавацию подготовленного к разработке грунта, повысить производительность землеройной техники, затраты на подготовку грунта к механической разработке.

Выводы. Использование карбамидного пеноутеплителя позволяет существенно уменьшить понижение температуры грунта и уменьшить глубину его промерзания, что позволяет уменьшить эксплуатационные затраты на разработку сезонно-мерзлого грунта.

### Литература

1. Филиппов, Г. С. Комбинированный способ подготовки сырьевых материалов к зимней разработке / Г. С. Филиппов, В. М. Мелкозеров, А. И. Заика // Цемент. – 1985. – № 7. – С. 9–10.
2. Васильев, С. И. Принципы классификации мерзлых грунтов на основе использования коэффициента трудности разработки / С. И. Васильев, В. Г. Жубрин, З. С. Ташпаева. - М., 1988. – Деп. в ЦНИИТЭСтроймаш 16.05.1990, № 39 СД90.