

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭСКАВАЦИИ УТЕПЛЕННЫХ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ С КАМЕНИСТЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ**

Приведены уравнения аппроксимации распределения отрицательных температур и прочности грунта с каменистыми включениями по глубине залегания на севере Красноярского края, республик Саха, Бурятия, Иркутской области и территории, прилегающей к БАМ, в зависимости от режима промерзания. Рассмотрена методика расчета толщины полимерной пены для эффективной защиты грунта от промерзания, позволяющая снизить затраты на эскавацию подготовленного (утепленного) грунта на примере грунтового фона республики Саха.

**Ключевые слова:** температурный режим, прочность грунта, объемная масса грунта, влажность грунта, гранулометрический состав грунта, уравнения аппроксимации, утепленные грунты, карбамидный пеноутеплитель, мобильный промышленный комплекс, эксплуатационные затраты.

Прочностными характеристиками, определяющими сопротивляемость мерзлых грунтов разработке, являются их температура, гранулометрический состав и влажность. Результатом обработки огромного массива экспериментальных исследований грунтов с каменистыми включениями [1] за период с 1984 по 1995 гг. явились уравнения аппроксимации распределения отрицательных температур и прочности по глубине залегания грунта Красноярского края, республика Саха, Иркутской области, территории прилегающей к БАМ и Республики Бурятия в зависимости от режима промерзания  $T_i$  (табл.1).

Для снижения трудоемкости разработки грунтов используется способ теплозащиты грунтов, площадок промышленного освоения месторождений от сезонного промерзания с использованием пен новых полимерных композиций, обеспечивающих не только теплозащитные свойства, но и обладающих новыми физико-механическими свойствами, гидрофобной способностью.

Приведенные удельные затраты на разработку подготовленных (утепленных) однородных грунтов траншейными 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.

Опыт использования пен для предохранения грунта [2] от глубокого сезонного промерзания позволил рекомендовать рациональные эксплуатационные показатели пен утеплителей (табл.2).

Для нанесения полимерного теплоизоляционного материала на подготавливаемый грунт в полевых условиях применяется мобильный промышленный комплекс [3].

При использовании фиксированного рецептурного состава [4] и поддержании физико-механических свойств карбамидной пены утеплителя основным расчетным параметром методики является толщина промерзания грунта на момент его утепления.

Таблица 1

*Вероятность распределения отрицательных температур и прочности мерзлых грунтов Восточной Сибири*

Исследуемая зона	Температурный режим	Распределение отрицательных температур (t) по глубине (H)	Распределение прочности грунта (C) по глубине (H)
Красноярский край, Северная зона	$T_2$	$t = -5,9 + 8,7H - 2,8H^2$	$C = 228 - 201H$
	$T_3$	$t = -10,8 + 10,5H - 2,6H^2$	$C = 276 - 119H$
	$T_4$	$t = -9,7 + 7,6H - 1,6H^2$	$C = 232 - 48H$
Республика Саха	$T_4$	$t = -12,5 + 10,1H - 2,1H^2$	$C = 277 - 57H$
Республика Бурятия	$T_2$	$t = -8,1 + 16,3H - 7,7H^2$	$C = 236 - 256H$
Иркутская обл.	$T_2$	$t = -8,7 + 18,1H - 8,5H^2$	$C = 268 - 322H$
	$T_3$	$t = -5,2 + 5,7H - 1,4H^2$	$C = 208 - 134H$
БАМ	$T_2$	$t = -6,3 + 8,9H - 3,2H^2$	$C = 235 - 198H$
	$T_3$	$t = -12,9 + 10,7H - 2,2H^2$	$C = 377 - 105H$
	$T_4$	$t = -11,5 + 11,3H - 1,8H^2$	$C = 285 - 65H$

Таблица 2  
Физико-механические свойства  
карбамидной пены-утеплителя

Показатели	Единица изм.	Значение показателя
Объемная масса	кг/м <sup>3</sup>	50
Прочность при 10% сжатии	МПА	0,185
Водопоглощение за 24 часа	кг/м <sup>2</sup>	1,15
Пористость	%	95
Рабочая температура	оК	От — 193 до + 373
Технологическая усадка	%	10
Коэффициент теплопроводность,	Вт/(м· К)	0,03
Коэффициент температуропроводности	10 <sup>-3</sup> м <sup>2</sup> /ч	4
Удельная теплоемкость	Дж/(кг· К)	0,34

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.

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

Необходимое термическое сопротивление пены, применяемой в качестве утеплителя для предохранения грунта от промерзания зависит от гранулометрического состава как самого грунта, так и его каменистых включений, а также от термического сопротивления снежного покрова. Термическое сопротивление снега определяется по формуле

$$R_c = h_c / L_c,$$

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 грануло-

метрического 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 ( $K_w$ ) при влажности грунта от 8% до 20 % рекомендуется принимать равным 1,35, а при влажности грунта более 20% значение коэффициента равняется 0,71.

Для расчета толщины пены-утеплителя на карбамидной основе воспользуемся среднестатистическими метеорологическими данными месячных температур, высоты снежного покрова, плотности снежного покрова и количества суточных градусочасов отрицательных температур по Республике Саха (табл.3) и исходя из эксплуатационных характеристик парка землеройных машин ООО «Мехдорстрой» и допустимых эксплуатационных затрат на разработку грунта в зимних условиях.

Учитывая допустимые затраты на разработку мерзлого грунта с гравийно-каменистыми включениями и возможностей парка землеройной техники, зададимся допустимой глубиной сезонного промерзания грунта равной 0,4 м. Показатели объемной массы грунта и его влажности принимаем из паспорта грунтов Республика Саха. Для расчетов примем в качестве обязательного условия, что нанесение пены-утеплителя на предохраняемый грунт производится в осенний период года, в условиях отсутствия снега (условно принимаем период с 10 по 17 сентября), а значение плотности снежного покрова является величиной постоянной и равно 0,2 т/м<sup>3</sup>. Продолжительность промерзания грунта вычислим как произведение дней в каждом зимнем месяце.

Таблица 3  
Среднестатистические данные

Месяц разработки грунта	Среднемесячная температура, оС	Высота снежного покрова, м
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 среднемесячных температур на территории Республики Саха:

ноябрь — 18,9 x 720 + 2232 = 15840,0;  
 декабрь — 26,1 x 744 + 6408 = 25826,4;  
 январь — 31,8 x 744 + 18386,4 = 35498,4;  
 февраль — 25,5 x 672 + 31034,4 = 48170,4;  
 март — 17,7 x 744 + 41450,4 = 54619,4.

При разработке грунта в январе значение термического сопротивления пены утеплителя равно  $1,9 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{С/ккал}$ ; в феврале —  $2,7 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{С/ккал}$ ; в марте —  $3,0 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{С/ккал}$ . Принимаем характеристики планируемого к разработке грунта: значение плотности грунта —  $1700 \text{ кг/м}^3$ ; значение влажности —  $20\%$ . При этом коэффициент влияния плотности  $K_p = 0,85$ , а коэффициент влияния влажности грунта  $K_w = 0,71$ .

Принимаем коэффициент теплопроводности пены-утеплителя, имеющей кратность 30 объемных единиц,

$$\lambda_n = 0,097 \text{ Вт/(м }^\circ\text{С)}.$$

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

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

$$Q_n = (fh_n \gamma) / k_n,$$

где  $f$  — площадь утепления;

$h_n$ ,  $h$ ,  $k_n$  — толщина, плотность слоя, кратность пеноутеплителя.

Отрицательные значения температуры грунта республики Саха в естественных условиях в конце декабря сохраняются до глубины 2,1 м. Отрицательные значения температуры утепленного грунта характерные для условий залегания и декабря месяца сохраняются до глубины 0,75 м.

Градиент температур грунта в естественных условиях залегания и в условиях утепления

увеличивается по глубине залегания грунта, и на глубине 0,95 м достигает наибольшего значения  $0,8 \text{ }^\circ\text{С}$ , а на глубине 1,2 м температура утепленного грунта стабилизируется на величине  $1,1 \text{ }^\circ\text{С}$ .

Используемые полимерные пеноутеплители имеют кратность 35 и выше, значение кратности определяется исходными материалами и технологией получения, удельный вес в сухом состоянии изменяется в широком диапазоне от 4 до  $35 \text{ кг/м}^3$ .

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 пены в качестве утеплителя позволяет существенно уменьшить понижение температуры разрабатываемого грунта и уменьшить глубину его промерзания, что позволяет уменьшить эксплуатационные затраты на разработку сезонно-мерзлого грунта. На глубине 1,2 м в декабре месяце температура суглинка на территории республика Саха, утепленного полимерной пеной, стабилизируется на уровне  $1,12 \text{ }^\circ\text{С}$ .

#### Литература

1. Васильев, С. И. Прогнозные физико-механические характеристики мерзлых грунтов с каменными включениями / С. И. Васильев, С. П. Ереско, Б. В. Осипенко // Механика XXI ВЕКУ : сб. докл. VII Всерос. науч.-техн. конф. — Братск : БрГУ, 2008. — С 380 — 384.
2. Васильев, С. И. Способ предохранения грунтов Восточно-Сибирского региона от сезонного промерзания : информ. листок № ИЛ 029-078-2008 / С. И. Васильев, В. М. Мелкозеров. — Красноярск.
3. Васильев, С. И. Мобильный промышленный комплекс по производству в полевых условиях полимерного теплоизоляционного материала и сорбентов : информ. листок № ИЛ 029-078-2008 / С. И. Васильев. — Красноярск.
4. Мелкозеров, В. М. Охрана окружающей среды и рациональное недропользование / В. М. Мелкозеров, С. И. Васильев ; Сиб. федер. ун-т. Красноярск : ИПК СФУ, 2007. — 197 с.