



Федеральное государственное унитарное предприятие
«Научно-исследовательский центр «Строительство»
ФГУП «НИЦ «Строительство»
ООО «ПЕНОПЛЭКС СПб»

РУКОВОДСТВО

**по применению теплоизоляции из плит полистирольных вспененных
экструзионных ПЕНОПЛЭКС® при проектировании и устройстве
фундаментов зданий и опор трубопроводов на подсыпках на
многолетнемерзлых грунтах**

Москва
2009

Рекомендовано к изданию решением секции ученого совета НИИОСП им. Н.М. Герсеева филиала ФГУП НИЦ «Строительство».

Рецензент – доктор технических наук Роман Л.Т., МГУ им. М.В. Ломоносова

Руководство предназначено для использования при проектировании и устройстве фундаментов на подсыпках на многолетнемерзлых грунтах с применением теплоизоляции из плит полистирольных вспененных экструзионных ПЕНОПЛЭКС® под гражданские, промышленные здания и трубопроводы. Применение теплоизоляции совместно с подсыпками из песчаного грунта значительно сокращает трудоемкость и стоимость работ по возведению зданий и отдельно стоящих опор.

Руководство разработано научно-исследовательским, проектно-исследовательским и конструкторско-технологическим институтом оснований и подземных сооружений (НИИОСП) им. Н.М. Герсеева (кандидаты технических наук Конаш В.Е., Алексеев А.Г., Бондаренко Г.И.), МГУ им. М.В. Ломоносова (сотрудник геологического факультета доктор технических наук Хрусталева Л.Н.), ООО «Пеноплэкс СПб» (начальник технического отдела Кашабин А.В.) и техническим консультантом (кандидат технических наук Бек-Булатов А.И.)

Содержание

Введение

1. Область применения
2. Нормативные ссылки
3. Термины и определения
4. Общие положения по проектированию
5. Расчеты основных параметров при проектировании фундаментов здания на подсыпках
6. Расчет основных параметров при проектировании опор трубопроводов на подсыпках
7. Технология производства работ

Приложение 1. Примеры расчета

Приложение 2. Свойства материалов теплоизоляции и подсыпок

Введение

При возведении зданий и сооружений в районах распространения многолетнемерзлых грунтов значительную долю от их общей стоимости составляют затраты на устройство фундаментов и мероприятий по сохранению грунтов основания в мерзлом состоянии.

Применение новых строительных материалов и технологий позволяет добиться значительной экономии ресурсов, снизить трудоемкость и продолжительность строительства при сохранении высокой надежности здания.

Опыт успешного использования фундаментов на подсыпках в криолитозоне России (Районы Воркуты, Магадана, Норильска и др.) при строительстве различных зданий и сооружений с сохранением грунтов основания в мерзлом состоянии показал, что применение синтетических теплоизоляторов в теле подсыпки позволяет значительно уменьшить ее мощность, что особенно важно в районах, где отсутствуют карьеры крупно скелетных грунтов, а также повысить надежность вечномерзлых оснований. Однако методика расчета фундаментов на подсыпке с использованием синтетических теплоизоляторов в настоящее время отсутствует. Настоящее Руководство восполняет указанный пробел при строительстве на вечномерзлых грунтах.

Для разработки руководства выполнены аналитические расчеты и математическое моделирование теплового и механического взаимодействия теплоизолированных фундаментов на подсыпке с вечномерзлыми грунтами основания с применением полистирольных вспененных экструзионных плит ПЕНОПЛЭКС® с разработкой расчетных данных для подбора их параметров при проектировании в районах распространения вечномерзлых грунтов малоэтажных гражданских и промышленных зданий, а также отдельно стоящих опор трубопроводов.

1 Область применения

Данное руководство предназначено для проектирования и строительства зданий и сооружений в криолитозоне при сохранении мерзлого состояния грунтов (принцип I). Руководство применимо к отапливаемым и неотапливаемым зданиям и трубопроводам с условием, что конструктивные требования, не касающиеся вопросов защиты от оттаивания грунтов, соответствуют строительным нормам и правилам или принятым методам проектирования.

2 Нормативные ссылки

При разработке Руководства использованы следующие нормативные и рекомендательные документы:

СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений.

СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия.

СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии.

СНиП 3.01.01-85 Организация строительного производства.

СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты.

СНиП 3.04.01-87 Изоляционные и отделочные покрытия.

СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.

СНиП 2.03.13-88 Полы

СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства (ч. I-III).

СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания.

СНиП 23-01-99* Строительная климатология.

СНиП 31-02-2001 Дома жилые многоквартирные.

СП 31-105-2002 Проектирование и строительство энергоэффективных многоквартирных

жилых домов с деревянным каркасом.

СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения.

СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий.

СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование.

СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения.

СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.

СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.

СНиП 12-01-2004 Организация строительства.

ГОСТ 25609-83 Материалы полимерные рулонные и плиточные для полов. Метод определения показателя.

ГОСТ 27751-88 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету.

ГОСТ 17177-94 Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний.

ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация.

ГОСТ 12248-96 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.

ГОСТ 26263-84 Грунты. Метод лабораторного определения теплопроводности мерзлых грунтов.

ГОСТ Р 1.4-2004 Стандарты организаций. Общие положения.

Руководство по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах. М.: Стройиздат, 1979.

Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов. М.: Стройиздат, 1986.

Рекомендации по проектированию и расчету малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах. М.: НИИОСП, 1985.

Пособие по проектированию основания зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83). М.: Стройиздат, 1986.

ТСН МФ-97 МО Проектирование и устройство мелкозаглубленных фундаментов малоэтажных жилых зданий в Московской области. М, 1998.

МГСН 2.07-01 Основания, фундаменты и подземные сооружения.

ТУ 5767-006-56925804-2007 Плиты полистирольные вспененные экструзионные ПЕНОПЛЭКС®.

3 Термины и определения

Грунт: горные породы, почвы, техногенные образования, представляющие собой многокомпонентную и многообразную геологическую систему и являющиеся объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Грунт мерзлый: грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий в своем составе видимые ледяные включения и (или) лед-цемент и характеризующийся криогенными структурными связями.

Грунт многолетнемерзлый (синоним — **грунт вечномерзлый**): грунт, находящийся в мерзлом состоянии постоянно в течение трех и более лет.

Грунт сезонномерзлый: грунт, находящийся в мерзлом состоянии периодически в течение холодного сезона.

Грунт морозный: скальный грунт, имеющий отрицательную температуру и не содержащий в своем составе лед и незамерзшую воду.

Грунт сыпучемерзлый (синоним — «сухая мерзлота»): крупнообломочный и песчаный грунт, имеющий отрицательную температуру, но не сцементированный льдом и не обладающий силами сцепления.

Грунт охлажденный: засоленный крупнообломочный, песчаный и глинистый грунты, отрицательная температура которых выше температуры начала их замерзания.

Грунт мерзлый распученный: дисперсный грунт, который при оттаивании уменьшает свой объем.

Грунт твердомерзлый: дисперсный грунт, прочно сцементированный льдом, характеризуемый относительно хрупким разрушением и практически несжимаемый под внешней нагрузкой, с коэффициентом сжимаемости $\leq 0,1 \text{ кПа}^{-1} (0,001 \text{ см}^2/\text{кгс})$.

Грунт пластичномерзлый: дисперсный грунт, сцементированный льдом, но обладающий вязкими свойствами и сжимаемостью под внешней нагрузкой, с коэффициентом сжимаемости $> 0,1 \text{ кПа}^{-1} (0,001 \text{ см}^2/\text{кгс})$.

Лед (синоним — **грунт ледяной**): природное образование, состоящее из кристаллов льда с возможными примесями обломочного материала и органического вещества не более 10% (по объему), характеризующееся криогенными структурными связями.

Пучинистые грунты: грунты, которые изменяют свой объем и свойства при промерзании – оттаивании. К ним относятся глины, суглинки, супеси, пылеватые и мелкие пески, а также крупнообломочные грунты с включением выше перечисленных грунтов более 35% по объему. При замерзании грунта развиваются силы нормального и касательного пучения, которые, воздействуя на фундамент, могут вызвать его перемещение и деформации надфундаментных конструкций. Практически непучинистыми грунтами могут быть: мелкие и пылеватые пески и глинистые грунты твердой консистенции при глубоком залегании уровня грунтовых вод, а именно мелкие пески при $z > 0,5 \text{ м}$, пылеватые пески при $z > 1,0 \text{ м}$, супеси при $z > 1,5 \text{ м}$, суглинки при $z > 2,5 \text{ м}$ и глины при $z > 3,0 \text{ м}$ (z – глубина залегания уровня грунтовых вод, считая от подошвы слоя сезонного промерзания).

Непучинистые грунты: грунты, которые не изменяют свой объем и свойства при промерзании-оттаивании. К ним относятся галька, гравий, щебень, крупно- и среднезернистые пески, а также их смеси. Кроме того, к непучинистым грунтам относятся промышленные шлаки, не подверженные химическому разложению, и горелые породы шахтных терриконов.

Вентилируемое подполье: устройство, призванное обеспечить неизменность мерзлотных условий грунтов основания зданий за счет ветрового напора через вентиляционные отверстия в цоколе здания или через щель между ростверком фундамента и поверхностью грунта.

Невентилируемое подполье (синоним – **закрытое**): устройство, призванное обеспечить неизменность мерзлотных условий грунтов основания здания за счет теплопотерь через цоколь здания в зимнее.

Вентиляционные трубы или каналы: трубы (каналы) размещаемые в подсыпке крупноскелетного материала, служащие для обеспечения неизменности мерзлотных условий грунтов основания зданий за счет подачи вентиляторами воздуха в зимний период.

Термосифоны: холодильные устройства, обеспечивающие неизменность мерзлотных условий грунтов основания зданий и работающие за счет низких температур атмосферного воздуха.

Отдельно стоящая опора: элемент конструкции, воспринимающий вертикальную осевую нагрузку.

Берма: часть гребня подсыпки, выступающая за периметр здания.

Рабочий слой: слой непучинистого грунта, расположенный между теплоизолятором и подошвой подсыпки.

Условная толщина рабочего слоя: толщина рабочего слоя для эквивалентного грунта, характеристики которого приведены в таблице 2 Приложения 2.

ПЕНОПЛЭКС®: теплоизоляционные плиты из вспененного экструзионного пенополистирола, отвечающие требованиям ТУ 5767-006-56925804-2007.

4. Общие положения по проектированию

4.1. При строительстве на многолетнемерзлых грунтах в зависимости от конструктивных и технологических особенностей зданий и сооружений, инженерно-геокриологических условий и возможности целенаправленного изменения свойств грунтов основания применяется один из следующих принципов использования вечномерзлых грунтов в качестве основания сооружений:

принцип I – многолетнемерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения;

принцип II – многолетнемерзлые грунты основания используются в оттаянном или оттаивающем состоянии (с их предварительным оттаиванием на расчетную глубину до начала возведения сооружения или с допущением их оттаивания в период эксплуатации сооружения).

4.2. Выбор принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания сооружений, а также способов и средств, необходимых для обеспечения принятого в проекте температурного режима грунтов, следует производить на основании сравнительных технико-экономических расчетов.

4.3. Применение подсыпок под здания целесообразно при условии сохранения грунтов в мерзлом состоянии (принцип I).

4.4. Устройство подсыпок под отдельные здания и сооружения следует выполнять в сочетании с другими мероприятиями: термоизоляцией, проветриваемым подпольем, воздушными и искусственными системами охлаждения.

4.5. В качестве материала подсыпок рекомендуется использовать гравий, щебень, песок, гравийно- и щебинистопесчаную смесь, горелые породы шахтных терриконов и промышленные шлаки не подвергшиеся химическому разложению.

4.6. Исходя из опыта строительства зданий на подсыпках, в качестве фундаментов под здания приняты ленточные фундаменты как наиболее надежные и лучше воспринимающие неравномерные деформации, которые могут возникнуть при померзании-оттаивании материала подсыпки ниже подошвы фундамента по двум причинам:

а) в материале подсыпки могут оказаться глинистые примеси в количестве выше допустимых, что при промерзании подсыпки вызовет ее пучение;

б) материал подсыпки может быть недостаточно уплотнен, что при передаче на него полезной нагрузки вызовет неравномерные осадки.

4.7. Под опоры трубопроводов приняты плитные железобетонные фундаменты.

4.8. Фундаменты на подсыпках на многолетнемерзлых грунтах должны проектироваться на основе нормативных документов с учетом:

а) результатов инженерно-геологических, гидрогеологических и криологических изысканий для площадки строительства;

б) прогноза изменения инженерно-геологических, гидрогеологических условий и температурного режима грунтов площадки в период строительства и эксплуатации;

в) климатических условий района строительства;

г) данных, характеризующих назначение, конструктивные и технологические особенности здания и условия его эксплуатации;

д) нагрузок действующих на фундаменты;

е) наличия существующей застройки и влияния на нее нового строительства;

ж) экологических требований;

з) технико-экономического сравнения возможных вариантов проектных решений.

4.9. При проектировании должны быть предусмотрены решения, обеспечивающие надежность, долговечность и экономичность сооружений на всех стадиях строительства и эксплуатации.

4.10. Используемые при устройстве фундаментов на подсыпках на многолетнемерзлых грунтах, материалы, изделия и конструкции должны удовлетворять требованиям проектов, соответствующих стандартов и технических условий.

4.11. При проектировании и возведении фундаментов из монолитного и сборного бетона или железобетона следует руководствоваться СНиП 52-01-2003, СНиП 2.03.11-85 и СНиП 3.04.01-87, а также соблюдать требования нормативных документов по организации строительного производства, технике безопасности, правилам пожарной безопасности при производстве строительно-монтажных работ и охране окружающей среды.

4.12. При производстве земляных работ следует выполнять приемочный контроль, руководствуясь СНиП 3.01.01-85 и 3.02.01-87. Приемку фундаментов следует выполнять с составлением актов на скрытые работы. При необходимости в проекте допускается указывать другие элементы, подлежащие промежуточной приемке, с составлением актов на скрытые работы.

5. Расчеты основных параметров при проектировании фундаментов зданий на подсыпках

Расчет основных параметров производится в соответствии со схемой, представленной на рис. 1 и заключается в определении:

- толщины теплоизоляции под серединой (δ_c), краем (δ_k) и углом (δ_y) здания;
- длины участка теплоизоляции с толщиной δ_y возле угла здания (L_c);
- толщины рабочего слоя ($h_{раб}$);
- условной толщины рабочего слоя (h_y), вычисленной при условии, что материал подсыпки соответствует эталонному (см. Приложение 2);
- ширины фундаментной ленты (b_f);
- высоты подсыпки (H);
- температурного режима вентилируемого подполья.

Теплоизоляция укладывается непосредственно под подошвой фундамента и на нее передается полезная нагрузка от здания. Слой подсыпки между подошвой теплоизоляции и естественной поверхностью грунта мы называем рабочим слоем – $h_{раб}$, он воспринимает нагрузку от здания (мощность слоя определяется расчетом), а слой подсыпки над теплоизоляцией – защитным слоем, он принимается равным 0,3 м и по нему устраивается бетонная или асфальтовая стяжка толщиной 0,05 м. Если охлаждение осуществляется вентилируемым подпольем, то стяжка покрывает площадь пятна здания, включая берму; если трубчатая система – то только поверхность бермы, а внутри здания по поверхности защитного слоя устраивается пол здания. Откосы подсыпки во избежание перегрева в летнее время солнцем укрепляются дерном или травопосевом по слою почвы толщиной 0,2 м или георешеткой.

При проектировании зданий размер подсыпки по верху принимается равным площади пятна здания плюс ширина бермы, которая назначается равной 1,8 м. Высота подсыпки определяется расчетом, а крутизна откосов принимается 1:1,5. Теплоизоляция предусматривается в пределах всей поверхности подсыпки на глубине 0,3 м до ее верха.

При этом толщина теплоизоляции под краями и углами здания принята больше, чем под серединой, это обусловлено дополнительным прогревом поверхности бермы солнечной энергией.

Краевая и угловая теплоизоляции заходят внутрь здания на величину 0,6 м, и выходят наружу здания на 2,2 м (см. рис.1).

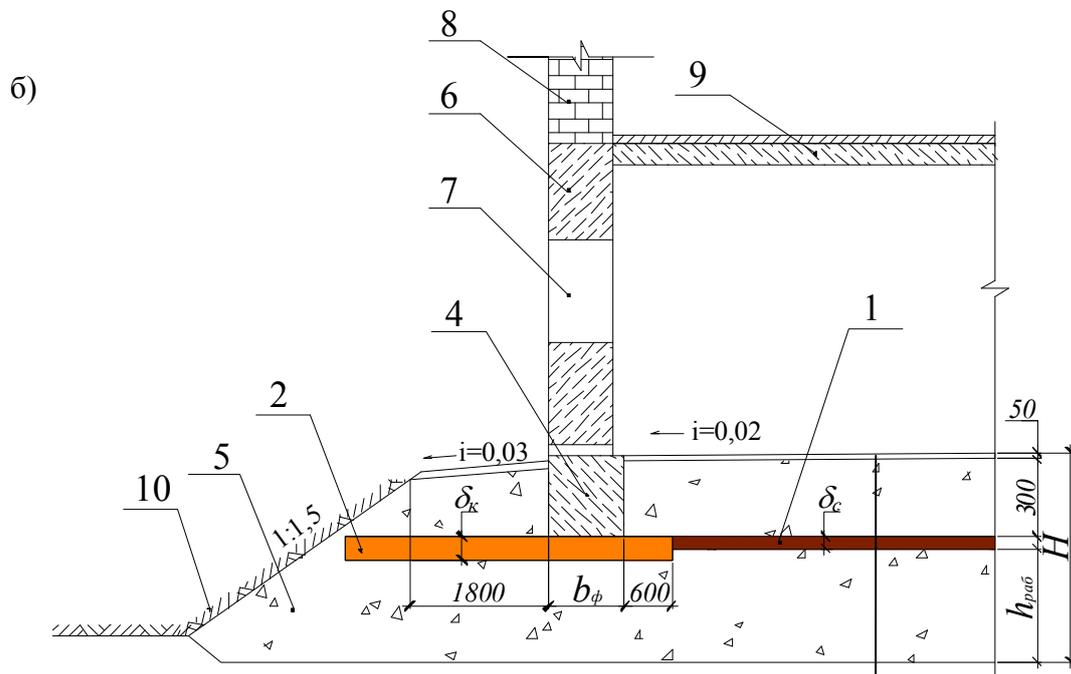
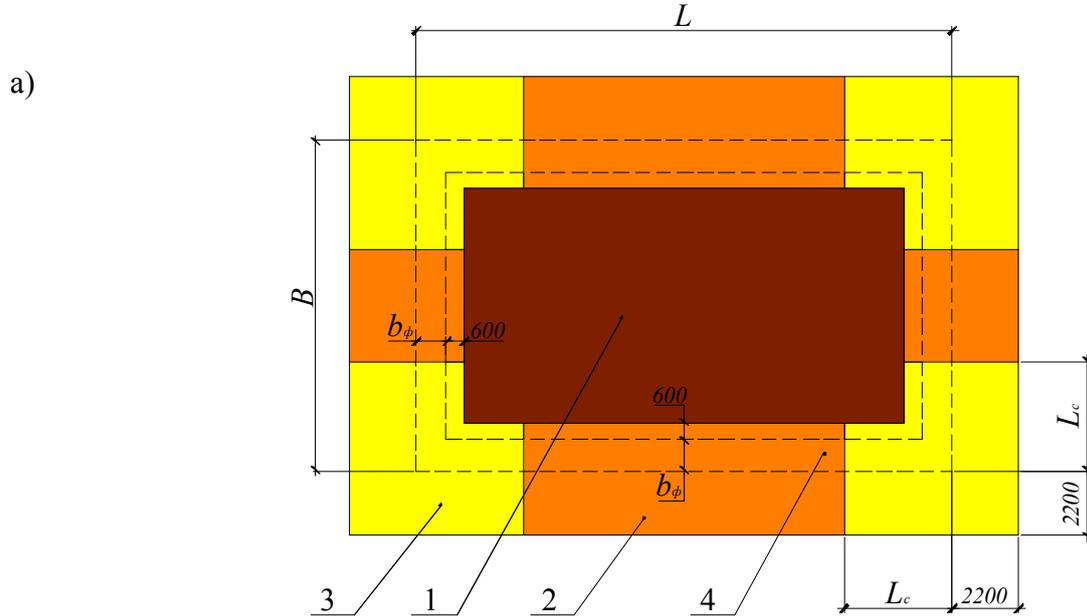


Рис.1. Схема к расчету параметров теплоизоляции из плит ПЕНОПЛЭКС®:

- а) план раскладки плит теплоизоляции ПЕНОПЛЭКС®,
 б) разрез вентилируемого подполья здания с фундаментом на подсыпке
 1-центральные плиты, 2-краевые плиты, 3-угловые плиты, 4-фундамент,
 5-подсыпка, 6-цоколь здания, 7-вентиляционное отверстие, 8-стена здания,
 9-перекрытие над вентилируемым подпольем, 10-дерн, В и L – габаритные
 размеры фундамента

- цементно-песчаное или асфальтовое покрытие – 50 мм
- защитный слой - 300 мм
- теплоизоляция ПЕНОПЛЭКС®
- рабочий слой

5.1. Значения величин δ_c , δ_k , δ_y , L_c и h_y определены методом математического моделирования теплового взаимодействия здания с грунтами основания. Результаты расчетов приведены в табл. 1. Входными параметрами в таблицу являлись: сумма градусочасов температуры наружного воздуха в летнее время Ω_s (определяется по данным СНиП 23-01-99) и температура вечномерзлых грунтов на глубине 10 м T_0 (определяется по данным изысканий). Если значения T_0 не совпадают с табличными, то принимается ближайшее значение T_0 в сторону более высоких температур.

Таблица 1

Расчетные параметры теплоизоляции из плит ПЕНОПЛЭКС®

$\Omega_s, \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{ч}$	$T_0, \text{ }^\circ\text{C}$	$\delta_c, \text{ см}$	$\delta_k, \text{ см}$	$\delta_y, \text{ см}$	$L_c, \text{ м}$	$h_y, \text{ м}$
меньше 10000	-5,0	0,0	2,0	2,4	0,6	0,00
	-7,0	0,0	1,0	1,2		0,00
	ниже -7,0	0,0	0,0	1,2		0,00
от 10000 до 15000	-1,0	3,0	5,0	6,0	0,8	0,10
	-2,5	3,0	5,0	6,0		0,02
	-3,5	2,0	4,0	5,0		0,10
	-4,5	2,0	3,0	4,0		0,09
	-6,0	1,0	2,0	2,5		0,00
	-8,0	0,0	1,0	2,5		0,00
	-9,5	0,0	1,0	1,5		0,00
	ниже -9,5	0,0	0,0	0,0		0,00
от 15000 до 20000	-1,0	3,0	5,0	6,5	1,0	0,12
	-3,0	3,0	5,0	6,5		0,02
	-3,5	2,0	4,0	5,2		0,10
	-4,0	2,0	4,0	5,2		0,09
	-5,0	2,0	3,0	4,0		0,09
	-6,5	1,0	2,0	2,6		0,00
	-8,0	0,0	1,0	1,3		0,07
	-9,5	0,0	1,0	1,3		0,00

от 20000 до 25000	-0,5	5,0	8,0	10,5	1,0	0,10
	-1,5	5,0	8,0	10,5		0,08
	-2,5	4,0	6,0	8,0		0,09
	-3,5	4,0	5,0	6,5		0,09
	-4,5	3,0	4,0	5,0		0,07
	-5,0	3,0	4,0	5,0		0,05
	-6,0	2,0	4,0	5,0		0,10
	-7,0	1,0	2,0	2,6		0,17
от 25000 до 30000	-0,5	6,0	8,0	10,5	1,0	0,20
	-1,0	5,0	8,0	10,5		0,21
	-2,0	5,0	8,0	10,5		0,20
	-2,5	5,0	8,0	10,5		0,20
	-3,5	4,0	7,0	9,0		0,15
	-4,0	4,0	7,0	9,0		0,14
	-4,5	4,0	5,0	6,5		0,10
	-6,0	2,0	4,0	5,0		0,12
	-7,5	1,0	3,0	4,0		0,14
	-9,0	0,0	2,0	2,6		0,15
от 30000 до 35000	-0,5	6,0	9,0	12,5	1,2	0,21
	-1,5	5,0	8,0	11,0		0,22
	-3,0	4,0	6,0	8,5		0,24
	-4,0	4,0	6,0	8,5		0,15
	-4,5	4,0	6,0	8,5		0,12
	-6,5	2,0	4,0	5,5		0,15
	-8,0	1,0	3,0	4,0		0,17
	-9,0	0,0	2,0	3,0		0,22
от 35000 до 40000	-0,5	7,0	11,0	15,5	1,4	0,27
	-1,5	5,0	9,0	12,5		0,26
	-2,5	4,0	7,0	10,0		0,38

	-3,0	4,0	6,0	8,5		0,24
	-4,5	4,0	6,0	8,5		0,13
от 40000	-0,5	8,0	16,0	22,0	1,5	0,35
до 45000	-2,0	6,0	12,0	17,0		0,26
	-2,5	6,0	12,0	17,0		0,26
	-3,5	5,0	10,0	14,0		0,13
	-4,0	5,0	8,0	11,0		0,19
	-5,0	4,0	6,0	8,5		0,14
	-5,5	4,0	6,0	8,5		0,11
	-6,0	3,0	5,0	7,0		0,19

5.2. Расчет высоты подсыпки производится по формуле:

$$H = 0,35 + \delta_y + h_{раб}, \quad (1)$$

где δ_y – толщины теплоизоляции под углом здания, принимается по табл. 1

$h_{раб}$ – толщина рабочего слоя в м, определяемая по формуле (2) для зданий с вентилируемыми и закрытыми подпольями.

$$h_{раб} = C \cdot h_y, \quad (2)$$

где h_y – толщина рабочего слоя, принимается по табл. 1

C – пересчетный множитель, безразмерная величина;

$$C = 10,7 \cdot \sqrt{\frac{\lambda_{th} \cdot (1 + W_c)}{\rho \cdot W_c}}, \quad (3)$$

здесь λ_{th} – коэффициент теплопроводности материала подсыпки в талом состоянии, Вт/(м·°С);

W_c – суммарная влажность материала подсыпки, д.е.;

ρ – плотность материала подсыпки, кг/м³.

Для зданий с вентилируемыми трубами или горизонтальными термосифонами по формуле (4), но во всех случаях из конструктивных соображений должна быть не менее 0,2м.

$$h_{\text{раб}} = \sqrt{\frac{2 \cdot \lambda_{\text{th}} \cdot T_{\text{in}} \cdot t_s}{L_v} \cdot \mu^2 + y^2} - \lambda_{\text{th}} \cdot R_1, \quad (4)$$

- где T_{in} – где температура воздуха в помещениях, для гражданских зданий принимается 22 °С, для промышленных 18 °С;
- t_s – продолжительность летнего периода, час;
- μ – коэффициент, учитывающий отток тепла в мерзлую зону, $\mu = 1 + 0.033 \cdot T_0^1$ (T_0^1 – расчетная температура вечномерзлого грунта под зданием в °С, определяется по данным табл.2);
- y – мощность талой зоны к концу зимнего периода над вентилируемыми трубами или горизонтальными термосифонами в м, определяется по указанию п.5.6;
- L_v – удельные затраты тепла на оттаивание подсыпки, Вт·ч/м³, определяются по формуле (5);
- R_1 – термическое сопротивление теплообмену в м²·°С/Вт, вычисляется по формуле (6).

$$L_v = 93 \cdot \rho \cdot W_c / (1 + W_c) + 0,5 \cdot C_{\text{th}} \cdot T_{\text{in}} \cdot \frac{h_0 - y}{h_0} - 0,5 \cdot C_f \cdot T_{\text{cp}}, \quad (5)$$

- здесь C_{th}, C_f – теплоемкость материала подсыпки в талом и мерзлом состояниях, Вт·ч/(м³·°С);
- h_0 – приведенная глубина заложения труб в м, определяется по указанию п.5.6;
- T_{cp} – средняя температура грунта на глубине заложения труб к концу зимнего периода в м, определяется по указанию п. 5.6.

$$R_1 = \frac{1}{\alpha_{\text{in}}} + R_{\text{нол}} + \frac{0.3}{\lambda_{\text{th}}} + \frac{\delta_c}{\lambda_{\text{из}}}, \quad (6)$$

- здесь α_{in} – коэффициент теплообмена между воздухом в помещении и поверхностью пола, принимается равным 6,5 Вт/(м²·°С);
- $R_{\text{нол}}$ – термическое сопротивление пола, м²·°С/ Вт;
- δ_c – толщина теплоизоляции под серединой здания в м, определяется по данным табл. 1;
- $\lambda_{\text{из}}$ – коэффициент теплопроводности теплоизоляции, Вт/(м·°С).

Примечание. Вычисляемая по формуле (4) толщина рабочего слоя должна быть $h_{\text{раб}} \geq h_p + r_p$, где h_p – глубина заложения вентиляционных труб или термосифонов, считая от подошвы теплоизоляции, в м; r_p – радиус труб в м. Если это условие не выполняется, следует уменьшить глубину заложения труб или толщину теплоизоляции.

5.3. Расчет ширины фундаментной ленты производится по формуле:

$$b_{\phi} = \frac{N}{R}, \quad (7)$$

где N – нагрузка от здания на один п. м. фундаментной ленты, кН/м;
 R – расчетное сопротивление грунта подсыпки, находящегося ниже подошвы теплоизоляции в кПа, определяется по формуле (7) СНиП 2.02.01-83.
 Значение R должно быть не больше 66-167 кПа в зависимости от типа теплоизоляционных плит из ПЕНОПЛЭКС® (см. Приложение 2), которые находятся непосредственно под подошвой фундамента.

5.4. Расчет вентилируемого подполья осуществляется согласно указаниям Приложения 4 СНиП 2.02.04-88, при этом расчетная температура вечномерзлого грунта в основании здания T_0^1 определяется по данным табл. 2, а термическое сопротивление перекрытия над вентилируемым подпольем R_0 - по формуле (8).

Таблица 2

Значения температур $T_0^1 - T_{bf}$

$T_0 - T_{bf}, ^\circ C$	-0,5	-1,0	-2,0	-5,0	-8,0
Ширина здания 12 м					
$T_0^1 - T_{bf}, ^\circ C$	-10,0	-10,0	-9,0	-6,5	-3,0
Ширина здания 24 м					
$T_0^1 - T_{bf}, ^\circ C$	-8,0	-8,0	-7,0	-6,0	-4,0

Условные обозначения: T_0 – температура вечномерзлого грунта на глубине нулевых годовых теплооборотов в естественных условиях; T_{bf} – температура промерзания – оттаивания грунта в основании здания.

Примечание: При средней годовой температуре наружного воздуха T_{out} выше табличных значений T_0^1 в расчетах следует принимать $T_0^1 = T_{out}$.

$$R_0 \geq \frac{0,9 \cdot \left(T_{in} - T_{cold} \cdot \frac{T_{c,a}}{T_{out}} \right)}{\Delta T^H \cdot \alpha_{in}}, \quad (8)$$

- где T_{cold} – температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки, °С;
 $T_{c,a}$ – среднегодовая температура воздуха в вентилируемом подполье в °С, определяется по формуле (1) Приложения 4 СНиП 2.02.04-88;
 T_{out} – среднегодовая температура наружного воздуха, °С;
 ΔT^H – нормированный температурный перепад между температурой воздуха в помещении и температурой поверхности пола, принимается в гражданских зданиях равным 2,5 °С, в промышленных 4,0 °С;
 α_{in} – коэффициент теплообмена между воздухом в помещении и поверхностью пола, принимается равным 6,5 Вт/(м²·°С).

5.5. При малых размерах здания в плане вентилируемое подполье может быть заменено на невентилируемое (закрытое) подполье. При этом ширина здания не должна превышать размеров, вычисляемых по формуле:

$$b_{зд} \leq \frac{2 \cdot h_u \cdot (1 + K)}{K} \cdot \frac{T_{ca} - T_{out}}{T_{in} - T_{ca}} \cdot \frac{R_0}{R_q}, \quad (9)$$

- где $b_{зд}$ – ширина здания, м;
 h_u – высота цоколя здания, м;
 K – отношение длины здания к его ширине;
 R_q – термическое сопротивление цоколя, м²·°С/Вт; остальные обозначения даны выше.

5.6. Расчет вентилируемых труб и горизонтальных термосифонов, укладываемых в тело подсыпки

Целью расчета трубчатой охлаждающей системы является определение параметров охлаждающей системы, соответствующих принятому значению расчетной температуры вечномерзлого грунта под зданием (T_0^1), которое задается равным $T_0^1 = T_0$, но не выше -2,0 °С и не ниже -5,0 °С (T_0 – температура вечномерзлого грунта на глубине нулевых годовых теплооборотов в естественных условиях).

К параметрам охлаждающей системы относятся ее линейные размеры в м:

- радиус труб r_p ;
- глубина заложения труб от подошвы теплоизоляции под серединой здания h_p ;
- расстояние между трубами (шаг расстановки) b_p ;
- минимальная скорость воздуха в трубах, при котором обеспечивается необходимый отвод тепла от здания v_{min} в м/ч (в системах, вентилируемых наружным воздухом).

Расчет ведется методом последовательных приближений. Вначале задаются частью параметров r_p , h_p , b_p , затем вычисляют T_0^1 . Если T_0^1 соответствует принятому значению, то расчет прекращают, в противном случае корректируют линейные размеры охлаждающей системы и расчет повторяют. Расчетная процедура осуществляется по нижеследующим формулам:

$$th(nl) < ml, \quad (10)$$

где $th(x)$ – гиперболический тангенс, $th(x) = (1 - e^{-2x}) / (1 + e^{-2x})$;

nl, ml – безразмерные параметры, определяемые в основном линейными размерами охлаждающей системы.

Если условие (10) не выполняется, то линейные размеры охлаждающей системы заданы неправильно и следует их поменять, проще всего это сделать, уменьшив шаг между трубами b_p .

$$ml = \sqrt{th\left[\frac{\pi}{b_p}(h_0 - r_p)\right] \cdot th\left[\frac{\pi}{b_p}(h_0 + r_p)\right]}, \quad (11)$$

$$h_0 = h_p + \lambda_{th} \cdot R_l, \quad (12)$$

где R_l – термическое сопротивление теплообмену, вычисляется по формуле (6), $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$

$$nl = \frac{\beta}{1 + \beta} \cdot \frac{1 + A \cdot B_i}{B_i}, \quad (13)$$

где β – безразмерная температура;

A – безразмерный параметр, зависящий от линейных размеров охлаждающей системы;

B_i – критерий Био, определяющий условия теплообмена труб с вмещающей их средой.

$$\beta = -\frac{\lambda_{th} \cdot T_{in}}{\lambda_f (T_w + \Delta T)}, \quad (14)$$

где λ_f – теплопроводность материала подсыпки в мерзлом состоянии, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$;

T_w – средняя зимняя температура наружного воздуха, °C ;

ΔT – абсолютная разница температуры теплоносителя и наружного воздуха, принимается для термосифонов $\Delta T = 1 \text{ °C}$, для труб, вентилируемых атмосферным воздухом, $\Delta T = 2,5 \text{ °C}$.

$$A = \operatorname{arth} \sqrt{\frac{th \left[\frac{\pi}{b_p} (h_0 - r_p) \right]}{th \left[\frac{\pi}{b_p} (h_0 + r_p) \right]}}, \quad (15)$$

где $\operatorname{arth}(x)$ – гиперболический арктангенс, при $|x| < 1$ $\operatorname{arth}(x) = 0,5 \cdot \ln \frac{1+x}{1-x}$, при $|x| > 1$

$$\operatorname{arth}(x) = 0,5 \cdot \ln \frac{x+1}{x-1}.$$

$$B_i = \frac{2 \cdot r_p \cdot k_h}{\lambda_f \cdot R_{in}}, \quad (16)$$

где k_h – безразмерный коэффициент, учитывающий снижения тепловосприятия термосифонов в результате их горизонтального расположения, определяется по данным табл. 3, для труб, вентилируемых атмосферным воздухом, принимается равным $k_h = 1$;

R_{in} – внутреннее термическое сопротивление трубы теплообмену, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, определяемое для парожидкостных термосифонов по формуле (17), для воздушных и рассольных установок – по формуле (18), для жидкостных термосифонов – по формуле (19).

Таблица 3

Значения безразмерного коэффициент k_h

Хладоноситель	k_h при термическом сопротивлении R_{in} в $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$								
	0,090	0,040	0,028	0,022	0,017	0,015	0,012	0,010	0,009
Аммиак	1,00	0,85	0,80	0,75	0,68	0,65	0,60	0,57	0,50
Хладон 12	0,75	0,50	0,35	0,32	0,30	0,27	0,24	0,20	0,18

$$R_{in} = \frac{S_e}{\alpha_{out} S_c}, \quad (17)$$

$$R_{in} = \frac{1}{\alpha_{in}}, \quad (18)$$

$$R_{in} = \frac{S_e}{\alpha_{out} S_c} + \frac{1}{\alpha_{in}}, \quad (19)$$

где α_{out} – коэффициент теплообмена между наружным воздухом и поверхностью конденсатора парожидкостного термосифона Вт/(м²·°С), определяемый по данным табл. 4;

α_{in} – коэффициент теплообмена между рабочим телом и внутренней поверхностью колонки, принимаемый для жидкого рабочего тела – 116 Вт/(м²·°С), для газообразного – 25 Вт/(м²·°С);

S_e, S_c – площади поверхности испарителя и конденсатора термосифона, м².

Таблица 4

Значения α_{out} для стальных гладких (числитель) и оребренных (знаменатель) труб конденсатора термосифона, Вт/(м²·°С).

Радиус трубы конденсатора, мм	Скорость ветра, м / с				
	0	2	4	6	8
17,0	6,9 / 8,7	21,0 / 24,4	33,0 / 37,1	45,0 / 48,7	55,0 / 59,2
22,0	6,5 / 9,2	20,0 / 24,4	31,0 / 38,3	42,0 / 49,9	51,0 / 60,3
28,5	6,0 / 11,0	17,0 / 30,2	29,0 / 47,6	38,0 / 61,5	48,0 / 74,2
36,5	5,3 / 11,2	16,0 / 30,2	27,0 / 47,6	36,0 / 61,5	44,0 / 74,2
44,5	4,9 / 10,3	15,0 / 26,7	26,0 / 41,8	34,0 / 54,5	41,0 / 65,0
54,0	4,4 / 8,2	15,0 / 23,2	24,0 / 36,0	31,0 / 47,6	38,0 / 56,8
63,5	4,1 / 11,8	14,0 / 33,6	23,0 / 53,4	30,0 / 68,4	37,0 / 83,5
73,0	3,6 / 10,6	14,0 / 29,0	22,0 / 45,2	29,0 / 59,2	36,0 / 71,9
84,0	3,4 / 10,0	13,0 / 25,5	21,0 / 39,4	28,0 / 52,2	35,0 / 62,6

$$T_0^1 = 0,5 \cdot T_{cp} \frac{t_w}{t_y}, \quad (20)$$

где T_{cp} – средняя температура грунта на глубине заложения труб к концу зимнего периода, °С;

t_w – продолжительность зимнего периода, ч.

$$T_{cp} = -\frac{\lambda_{th} \cdot T_{in} (h_0 - y)}{\lambda_f \cdot y}, \quad (21)$$

где y – приведенная мощность талой зоны к концу зимнего периода над трубами, м

$$y = \frac{b_p}{2\pi} \cdot \left\{ \operatorname{arth}[m1 \cdot th(n1)] + \operatorname{arth}\left[\frac{1}{m1} \cdot th(n1)\right] \right\}, \quad (22)$$

$$v_{\min} = 0,169 \cdot \frac{b_{зд}}{r_p^2} \cdot \left[q_p + L_v \cdot b_p \frac{h_{раб} + \lambda_{th} \cdot R_1 - y}{t_w} \right], \quad (23)$$

где q_p – удельный теплопоток к трубе от здания, Вт/м;

$b_{зд}$ – ширина здания, м; остальные обозначения даны выше.

$$q_p = \frac{\pi \cdot \lambda_f (T_{in} - T_p)}{A}, \quad (24)$$

где T_p – температура поверхности трубы, °С.

$$T_p = \frac{T_{in} + A \cdot B_i (T_w + 2,5)}{1 + A \cdot B_i}. \quad (25)$$

Последовательность расчетов по изложенной методике поясним примерами.

6. Расчет основных параметров при проектировании опор трубопроводов на подсыпках

Расчет производится в соответствии со схемой, представленной на рис.2 и заключается в определении:

- толщины теплоизоляции под опорой трубопровода (δ);

- высоты подсыпки (H);

- толщины рабочего слоя ($h_{раб}^*$).

- условной толщины рабочего слоя (h_y^*), вычисленной при условии, что материал подсыпки соответствует эталонному (см. Приложение 2)

При проектировании опоры трубопровода размер подсыпки по верху принимается $3D_n \times 5D_n$ (D_n – внешний диаметр трубопровода). Высота подсыпки определяется расчетом, а крутизна откосов назначается 1:1,5. Фундаменты опоры закладываются в защитном слое, мощность которого принимается 0,7 м. Ниже располагается теплоизолятор и под ним рабочий слой, толщина которого определяется расчетом. Во избежание перегрева откосов в летнее время солнцем откосы и часть поверхности подсыпки укрепляются дерном или травопосевом по слою почвы толщиной 0,2 м.

6.1. Значения δ и h_y^* определены методом математического моделирования теплового взаимодействия здания с грунтами основания входными параметрами при этом являлись: сумма градусочасов температуры наружного воздуха в летнее время Ω_s (определяется по данным СНиП 23-01-99) и температура вечномерзлых грунтов на глубине нулевых годовых теплооборотов T_0 (определяется по данным изысканий). Если расчетные значения T_0 не совпадают с табличными, то принимается ближайшее значение T_0 в сторону более высоких температур. Результаты моделирования помещены в табл. 5.

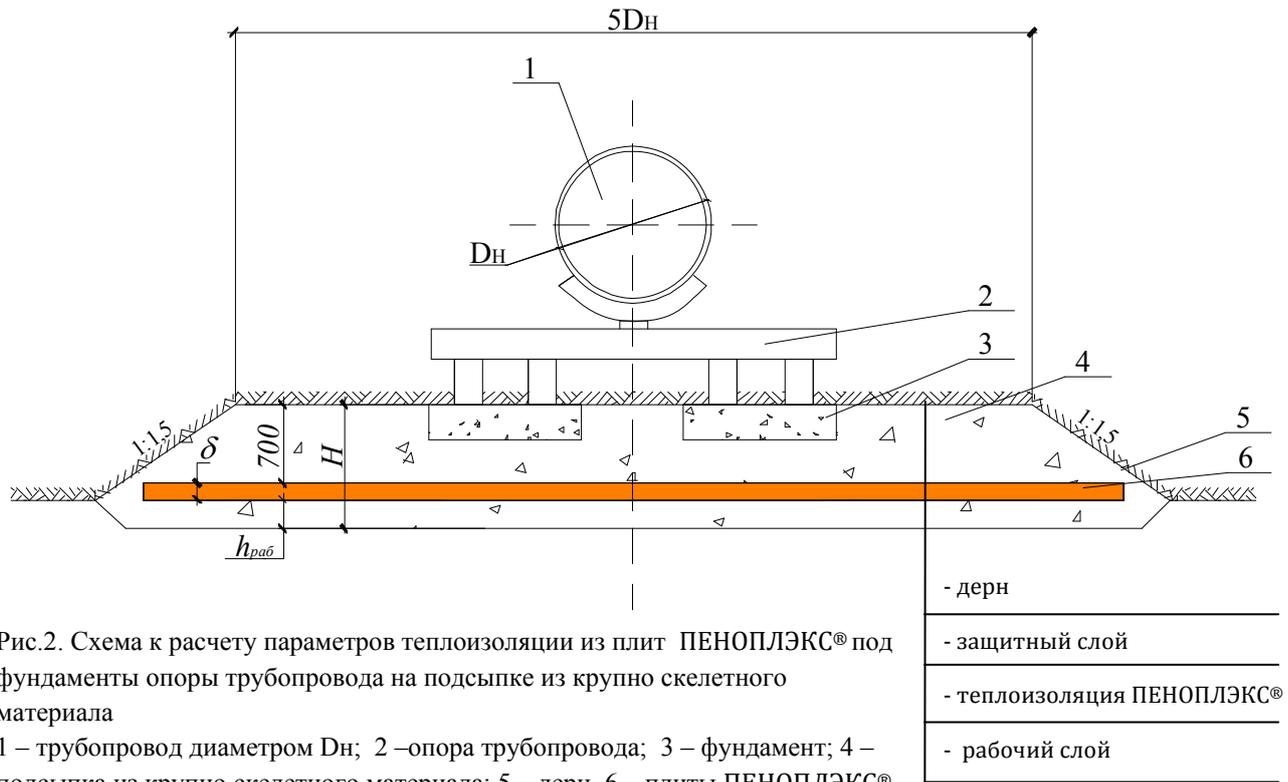


Рис.2. Схема к расчету параметров теплоизоляции из плит ПЕНОПЛЭКС® под фундаменты опоры трубопровода на подсыпке из крупно скелетного материала

1 – трубопровод диаметром $D_{\text{н}}$; 2 – опора трубопровода; 3 – фундамент; 4 – подсыпка из крупно скелетного материала; 5 – дерн, 6 – плиты ПЕНОПЛЭКС®

Таблица 5

Расчетные параметры теплоизоляции из плит ПЕНОПЛЭКС®

$\Omega_s, \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{ч}$	$T_0, \text{ }^\circ\text{C}$	$\delta, \text{ см}$	$h_y^*, \text{ м}$
меньше 10000	-5,0	1	0,10
	-7,0 и ниже	0	0,00
от 10000 до 15000	-0,5	6	0,13
	-2,5	5	0,07
	-3,5	2	0,07
	-5,5	1	0,14
	-7,0 и ниже	0	0,00

от 15000 до 20000	-1,0	6	0,17
	-3,0	5	0,16
	-3,5	4	0,20
	-4,0	4	0,08
	-6,5	3	0,10
	-8,0	1	0,14
	-9,0 и ниже	0	0,00
от 20000 до 25000	-0,5	14	0,09
	-1,0	10	0,15
	-1,5	10	0,10
	-2,5	7	0,10
	-3,5	6	0,18
	-4,5	6	0,14
	-6,0	4	0,13
	-7,0	2	0,08
от 25000 до 30000	-0,5	18	0,09
	-1,0	16	0,09
	-2,0	14	0,08
	-2,5	13	0,07
	-3,5	10	0,09
	-4,0	7	0,07
	-4,5	6	0,10
	-6,0	5	0,18
	-7,5	4	0,13
	-9,0	2	0,10
от 30000 до 35000	-1,0	18	0,09
	-1,5	17	0,10
	-2,0	15	0,09
	-3,0	14	0,08

	-4,0	13	0,10
	-4,5	10	0,07
	-6,5	7	0,13
	-8,0	5	0,13
	-9,5	3	0,10
от 35000 до 40000	-0,5	20	0,09
	-1,5	18	0,10
	-2,5	16	0,09
	-3,0	15	0,09
	-4,5	10	0,07
от 40000 до 45000	-2,0	25	0,08
	-2,5	20	0,14
	-3,5	16	0,10
	-4,0	14	0,07
	-5,0	12	0,10
	-5,5	10	0,14
	-6,0	8	0,12
	-6,5	7	0,16

6.2. Расчет высоты подсыпки под опоры наземного трубопровода (см. рис. 2) производится по формуле:

$$H = 0,7 \cdot C + \delta + h_{раб}, \quad (26),$$

где H – высота подсыпки, м;

C – пересчетный множитель, определяется по формуле (3);

δ – толщина теплоизоляции в м, определяется по данным табл. 5;

$h_{раб}$ – толщина рабочего слоя, определяется по формуле (27), м.

$$h_{раб} = C \cdot h_y^*, \quad (27)$$

здесь h_y^* – условная толщина рабочего слоя, определяется по данным табл. 5, м

6.3. Расчет площади подошвы фундамента опоры трубопровода (суммарной площади подошвы железобетонных плит, см. рис.2) производится по формуле (7). При этом под b_{ϕ} понимается площадь подошвы фундамента в m^2 , а под N - полезная нагрузка на фундамента в кН.

7. Технология производства работ

7.1. При устройстве фундаментов на подсыпках следует соблюдать требования Руководства по организации строительного производства в условиях северной зоны, а также руководствоваться требованиями нормативных документов по организации строительного производства, геодезическим работам, технике безопасности, правилам пожарной безопасности при производстве строительного-монтажных работ и охране окружающей среды.

7.2. Устройство фундаментов на подсыпках должны предшествовать следующие подготовительные работы:

- а) вырубка кустарника и корчевка пней;
- б) снятие в пределах площади подсыпки дернового покрова;
- в) осушение площадки путем устройства водоотводных и нагорных канав, кюветов, лотков и т.п. с отводом воды в пониженные места;
- г) устройство подъездных путей и ЛЭП;
- д) строительство инженерных сетей до колодцев ввода и заглубленных конструкций, предусмотренных проектом.

7.3. При устройстве фундаментов на подсыпках следует избегать оттаивания грунтов в основании подсыпки в период строительства, что достигается ведением работ только в зимнее время после промерзания слоя сезонного оттаивания. При этом следует не допускать попадание в тело подсыпки снега и льда. Для ускорения промерзания слоя сезонного оттаивания рекомендуется в пределах контура подсыпки очищать снег.

7.4. Строительство фундаментов на подсыпках начинают с отсыпки рабочего слоя, по которому укладываются плиты ПЕНОПЛЭКС®, затем, если сооружается здание, то по плитам возводятся фундаменты, после чего отсыпается защитный слой и по нему устраивается бетонная или асфальтовая стяжка. Если сооружается опора трубопровода, то по плитам отсыпается слой крупноскелетного материала мощностью 0,4 м, по нему возводятся фундаменты опоры и этот слой досыпается до мощности 0,7 м. После устройства фундаментов и подсыпки откосы последней укрепляются дерном или травопосевом по слою почвы толщиной 0,2 м.

7.5. Материал, применяемый для устройства подсыпки должен быть:

- а) непучинистым (содержание глинистых примесей не должно превышать 10% по весу);
- б) неразмокаемым;
- в) в уплотненном состоянии должен дренировать воду;

7.6. Материал должен укладываться в тело подсыпки в талом состоянии, слоями толщиной не более 20 см с последующим уплотнением любыми известными способами

(катками, трамбуемыми машинами, гружеными самосвалами). Работы должны вестись круглосуточно.

7.7. При устройстве подсыпки из разных материалов, каждый вид материала укладывается отдельными горизонтальными слоями. Рекомендуется более крупный материал располагать по более мелкому.

7.8. Плотность укладки грунта в подсыпку следует проверять, определяя плотность скелета грунта каждого слоя, которая должна составлять не менее 1900 кг/м^3 для гравийно-щебеночных и гравийных грунтов и 1600 кг/м^3 для песчаных грунтов.

7.9. При возведении монолитных фундаментов следует руководствоваться нормативными документами на производство бетонных и железобетонных работ, а также местным опытом строительства. После монтажа сборных фундаментов или укладки бетона в монолитный фундамент следует произвести досыпку крупно скелетного грунта до проектной отметки с его тщательным уплотнением.

7.10. После устройства фундаментов и досыпки грунта надлежит закончить планировку площадки вокруг здания с обеспечением стока воды от него.

7.11. Работы по устройству фундаментов на подсыпках подлежат приемке заказчиком на всех стадиях их выполнения с составлением актов скрытых работ на перечисленные ниже конструктивные элементы и технологические процессы:

а) устройство системы водоотлива и осушения, а также другие подготовительные работы; к акту следует прикладывать исполнительные планы, продольные и поперечные профили дренажных канав;

б) устройство предусмотренных проектом инженерных сетей;

в) результаты осмотра естественных покровных грунтов, на которых будет устраиваться надземная подсыпка и их сопоставление с данными изысканий, по результатам осмотра принимается решение о возведении подсыпки;

г) устройство рабочего слоя подсыпки (осмотр в натуре надо подкреплять данными лабораторных определений плотности материала рабочего слоя, только в том случае, если она соответствует проектной, можно приступать к укладке плит ПЕНОПЛЭКС® и устройству фундаментов);

д) устройство теплоизоляции;

е) устройство фундаментов;

ж) устройство защитного слоя, бетонной или асфальтовой стяжки и креплению откосов подсыпки дерном.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Примеры расчета

Вариант 1

Гражданское здание с вентилируемым подпольем возводится в районе г. Игарка Красноярского края на подсыпке из крупноскелетного материала. Грунты основания представлены суглинками со среднегодовой температурой $T_0 = -2,3^{\circ}\text{C}$ и температурой начала замерзания $T_{bf} = -0,2^{\circ}\text{C}$.

Требуется определить размеры теплоизоляции из плит ПЕНОПЛЭКС®, толщину рабочего слоя, высоту подсыпки, ширину фундаментной ленты, термическое сопротивление перекрытия над вентилируемым подпольем и модуль вентиляции подполья.

Исходные данные: Размеры здания в плане 12×48 м (площадь пятна здания $A_b = 576 \text{ м}^2$); высота цоколя 1,5 м (площадь цоколя $A_z = 180 \text{ м}^2$); Сопротивление теплопередаче цоколя $R_z = 0,4 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$; нагрузка на 1 п.м фундаментной ленты $N = 75 \text{ кН/м}$. В качестве теплоизолятора приняты плиты ПЕНОПЛЭКС® типа 45; в качестве материала для устройства подсыпки – гравийно-щебеночная смесь с плотностью $\rho = 2040 \text{ кг/м}^3$, суммарной влажностью $W_c = 0,07$, сцеплением $c = 1,34 \text{ кПа}$, углом внутреннего трения $\varphi = 34^{\circ}$, коэффициентами теплопроводности, соответственно, в талом и мерзлом состояниях $\lambda_{th} = 2,09 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$, $\lambda_f = 2,61 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$, теплоемкостью, соответственно, в талом и мерзлом состояниях $C_{th} = 696 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$, $C_f = 464 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$.

Последовательность расчета:

Шаг 1. Определение климатических характеристик района. Необходимые для расчета климатические характеристики находим по СНиП 23-01-99:

сумма летних градусочасов наружного воздуха $\Omega_s = 28324 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{ч}$; среднегодовая температура наружного воздуха $T_{out} = -8,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$; температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки $T_{cold} = -48 \text{ }^{\circ}\text{C}$, среднегодовая скорость ветра $V_a = 4,9 \text{ м/с}$, продолжительность периода с отрицательной среднесуточной температурой воздуха $t_{f,n} = 240 \text{ сут}$.

Шаг 2. Определение параметров теплоизоляции и условной толщины рабочего слоя. В таблице 1 по значениям $\Omega_s = 28324 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{ч}$ и $T_0 = -2,3^{\circ}\text{C}$ находим искомые параметры, предварительно округлив значение среднегодовой температуры грунта в большую сторону, а именно $T_0 = -2,0^{\circ}\text{C}$:

- толщина теплоизоляции под серединой здания $\delta_c = 0,05 \text{ м}$;
- толщина теплоизоляции под краем здания $\delta_k = 0,08 \text{ м}$;
- толщина теплоизоляции под углом здания $\delta_y = 0,105 \text{ м}$;
- длина участков по углам здания L_C с толщиной теплоизоляции δ_y равна 1,0 м;
- условная толщина рабочего слоя $h_y = 0,2 \text{ м}$.

Шаг 3. Расчет толщины рабочего слоя. Вначале по формуле (3) вычисляем пересчетный множитель: $C = 10,7 \cdot \sqrt{\frac{2,09 \cdot (1 + 0,07)}{2040 \cdot 0,07}} = 1,339$, затем по формуле (2) рассчитываем толщину рабочего слоя: $h_{раб} = 1,339 \cdot 0,2 = 0,268$ м.

Шаг 4. Расчет высоты подсыпки. Высоту подсыпки рассчитываем по формуле (1):

$$H = 0,35 + 0,105 + 0,268 = 0,723 \text{ м, округляем до } 0,73 \text{ м.}$$

Шаг 5. Расчет ширины фундаментной ленты. Вначале по формуле (7) СНиП 2.02.01-83 вычисляем расчетное сопротивление грунта подсыпки:

$R = \frac{1,4 \cdot 1,2}{1,1} \cdot (1,55 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 20 + 7,22 \cdot 0,35 \cdot 20 + 9,22 \cdot 1,34) = 124,46$ кПа. Это значение меньше прочности на сжатие ПЕНОПЛЭКС® (167 кПа), поэтому оно является расчетным. Ширину фундаментной ленты определяем по формуле (7): $b_{\phi} = \frac{75}{124,46} = 0,6$ м.

Шаг 6. Расчет термического сопротивления перекрытия над вентилируемым подпольем. Предварительно по данным таблицы 2 находим расчетную температуру грунта в основании здания $T_0^1 = -7,2$ °С. Затем по таблице 1 Приложения 4 СНиП 2.02.04-88 – коэффициент $k_0 = 0,945$ и по формуле (1) этого же Приложения – среднегодовую температуру воздуха в вентилируемом подполье: $T_{c,a} = 0,945 \cdot (-7,2) = -6,8$ °С. Термическое сопротивление перекрытия над вентилируемым подпольем рассчитываем по формуле (8):

$$R_0 = \frac{0,9 \cdot (22 + 48 \cdot \frac{6,8}{8,7})}{2,5 \cdot 6,5} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт.}$$

Шаг 8. Расчет модуля вентиляции. Вначале по формуле (4) Приложения 4 СНиП 2.02.04-88 вычисляем безразмерный параметр: $\chi = \frac{180}{576} \cdot \frac{3,3}{0,4} = 2,578$. Затем по формуле (3) этого же приложения – модуль вентиляции:

$$M = 1,5 \cdot \frac{22 + 6,8 \cdot (-6,8 + 8,7) \cdot 2,578}{0,77 \cdot 3,3 \cdot 1300 \cdot 0,37 \cdot 4,9 \cdot (-6,8 + 8,7)} \cdot \sqrt{1 + 0,5 + 0,64} = 0,00461$$

Ответ. На основе проведенного расчета окончательно принимаем:

- толщину теплоизоляции под серединой здания $\delta_c = 0,05$ м;
- толщину теплоизоляции под краем здания $\delta_k = 0,08$ м;
- толщина теплоизоляции под углом здания $\delta_y = 0,105$ м;
- длина участков по углам здания L_C с толщиной теплоизоляции δ_y равна 1,0 м;
- толщину рабочего слоя $h_{раб} = 0,27$ м;
- высоту подсыпки $H = 0,73$ м;
- ширину фундаментной ленты $b_{\phi} = 0,6$ м;
- термическое сопротивление перекрытия над вентилируемым подпольем $R_0 = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°С} / \text{Вт}$;
- модуль вентиляции подполья $M = 0,00461$.

Вариант 2

Промышленное здание на подсыпке из крупноскелетного материала, в которой уложены трубы, вентилируемые в зимнее время наружным воздухом, возводится в районе г. Игарка Красноярского края. Грунты основания представлены суглинками со среднегодовой температурой $T_0 = -2,3^{\circ}\text{C}$.

Требуется определить размеры теплоизоляции из плит ПЕНОПЛЭКС®, толщину рабочего слоя, высоту подсыпки, ширину фундаментной ленты, радиус труб, глубину их заложения и шаг их расстановки, а также минимальную скорость воздуха в трубах.

Исходные данные: Размеры здания в плане 24×96 м; термическое сопротивление пола $R_{\text{пол}} = 0,1 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$; температура воздуха в здании $T_{\text{ин}} = 18^{\circ}\text{C}$; нагрузка на 1 п.м фундаментной ленты $N = 87 \text{ кН/м}$. В качестве теплоизолятора приняты плиты ПЕНОПЛЭКС® тип 45; в качестве материала для устройства подсыпки – гравийно-щебеночная смесь с теми же характеристиками, что и в примере 1.

Последовательность расчета:

Шаг 1. Определение климатических характеристик района. Необходимые для расчета климатические характеристики находим по СНиП 23-01-99:

сумма летних градусочасов наружного воздуха $\Omega_S = 28324^{\circ}\text{C} \cdot \text{ч}$; среднезимняя температура наружного воздуха $T_w = -18^{\circ}\text{C}$; продолжительность зимнего периода $t_w = 5840$ ч, соответственно, продолжительность летнего периода $t_s = 8760 - 5840 = 2920$ ч.

Шаг 2. Определение параметров теплоизоляции и условной толщины рабочего слоя. В таблице 1 по значениям $\Omega_S = 28324^{\circ}\text{C} \cdot \text{ч}$ и $T_0 = -2,3^{\circ}\text{C}$ находим искомые параметры, предварительно округлив значение среднегодовой температуры грунта в большую сторону, а именно $T_0 = -2,0^{\circ}\text{C}$:

- толщина теплоизоляции под серединой здания $\delta_c = 0,05$ м;
- толщина теплоизоляции под краем здания $\delta_k = 0,08$ м;
- толщина теплоизоляции под углом здания $\delta_y = 0,105$ м;
- длина участков по углам здания L_c с толщиной теплоизоляции δ_y равна 1,0 м.

Шаг 3. Расчет ширины фундаментной ленты. Вначале по формуле (7) СНиП 2.02.01-83 вычисляем расчетное сопротивление грунта подсыпки:

$$R = \frac{1,4 \cdot 1,2}{1,1} \cdot (1,55 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 20 + 7,22 \cdot 0,35 \cdot 20 + 9,22 \cdot 1,34) = 124,46 \text{ кПа}.$$
 Это значение меньше прочности на сжатие ПЕНОПЛЭКС® (167 кПа), поэтому оно является расчетным. Ширину фундаментной ленты определяем по формуле (7): $b_{\phi} = \frac{87}{124,46} = 0,7$ м.

Шаг 4. Определение термического сопротивления теплообмену. Термическое сопротивление теплообмену определяем по формуле (6):

$$R_1 = \frac{1}{6,5} + 0,1 + \frac{0,3}{2,09} + \frac{0,05}{0,031} = 2,01 \text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}.$$

Шаг 5. Определение расчетной температуры грунта в основании здания. Расчет состоит из 12 этапов:

Этап 1. Задаемся линейными размерами охлаждающей системы – радиусом вентиляционных труб $r_p = 0,1$ м, глубиной их заложения, считая от подошвы теплоизоляционных плит $h_p = 0,3$ м, расстоянием между трубами $b_p = 4,0$ м.

Этап 2. По формуле (12) определяем приведенную глубину заложения труб от поверхности пола: $h_0 = 0,3 + 2,09 \cdot 2,01 = 4,5$ м.

Этап 3. По формуле (14) определяем безразмерную температуру:
$$\beta = -\frac{2,09 \cdot 18}{2,61 \cdot (-18 + 2,5)} = 0,92.$$

Этап 4. По формуле (11) вычисляем безразмерный параметр:
$$m1 = \sqrt{th[\pi(4,5 - 0,1)/4,0] \cdot th[\pi(4,5 + 0,1)/4,0]} = 0,999.$$

Этап 5. По формуле (15) определяем безразмерный параметр:
$$A = arth \sqrt{\frac{th[\pi(4,5 - 0,1)/4,0]}{th[\pi(4,5 + 0,1)/4,0]}} = 4,458.$$

Этап 6. По формуле (18) вычисляем внутреннее термическое сопротивление в вентиляционных трубах: $R_{in} = 1/25 = 0,04$ м²·°С/Вт.

Этап 7. По формуле (16) определяем критерий Био: $Bi = 2 \cdot 0,1/(2,61 \cdot 0,04) = 1,92.$

Этап 8. По формуле (13) находим безразмерный параметр:
$$n1 = \frac{0,92}{1 + 0,92} \cdot \frac{1 + 4,458 \cdot 1,92}{1,92} = 2,386; th(2,386) = 0,983.$$

Этап 9. Проверяем условие (10): $0,983 < 0,999$. Условие выполняется, поэтому расчет продолжаем.

Этап 10. По формуле (22) определяем приведенную мощность талой зоны к концу зимнего периода над трубами: $y = \frac{4,0}{2\pi} \cdot [arth(0,999 \cdot 0,985) + arth(0,985/0,999)] = 3,04$ м.

Этап 11. По формуле (21) вычисляем среднюю температуру грунта на глубине заложения вентиляционных труб к концу зимнего периода:
$$T_{cp} = -\frac{2,09 \cdot 18 \cdot (4,5 - 3,04)}{2,61 \cdot 3,04} = -6,92$$
 °С.

Этап 12. По формуле (20) вычисляем расчетную температуру грунта в основании здания:

$$T_0^1 = 0,5 \cdot (-6,92) \cdot \frac{5840}{8760} = -2,31$$
 °С. Поскольку $T_0^1 \approx T_0$ расчет продолжаем.

Шаг 6. Определение толщины рабочего слоя. Предварительно по формуле (5) определяем удельные затраты тепла на оттаивание подсыпки:

$L_v = 93 \cdot 2040 \cdot 0,07 / (1 + 0,07) + 0,5 \cdot 696 \cdot 18 \cdot \frac{4,5 - 3,04}{4,5} + 0,5 \cdot 464 \cdot 6,92 = 15050 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3$. Затем по

формуле (4) вычисляем толщину рабочего слоя:

$$h_{\text{раб}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,09 \cdot 18 \cdot 2920}{15050} \cdot (1 - 0,033 \cdot 2,31)^2 + 3,04^2} - 2,09 \cdot 2,01 = 0,45 \text{ м.}$$
 Поскольку

$h_{\text{раб}} > h_p + r_p$ расчет продолжаем.

Шаг 7. Расчет высоты подсыпки. Расчет осуществляем по формуле (1):

$$H = 0,35 + 0,105 + 0,45 = 0,905 \text{ м. Принимаем } H = 0,91 \text{ м.}$$

Шаг 8. Расчет минимальной скорости воздуха в трубах. Расчет состоит из трех этапов.

Этап 1. По формуле (25) находим температуру поверхности вентиляционных труб:

$$T_p = \frac{18 + 4,458 \cdot 1,92 \cdot (-18 + 2,5)}{1 + 4,458 \cdot 1,92} = -12,0 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Этап 2. По формуле (24) находим удельный теплопоток к трубе от здания:

$$q_p = \frac{\pi \cdot 2,61 \cdot (18 + 12)}{4,458} = 55,17 \text{ Вт/м.}$$

Этап 3. По формуле (23) вычисляем минимальную скорость воздуха в трубах:

$$v_{\text{min}} = 0,169 \cdot \frac{24}{0,1^2} \cdot \left(55,17 + 15050 \cdot 4 \cdot \frac{0,45 + 2,09 \cdot 2,01 - 3,04}{5840} \right) = 29112 \text{ м/ч (8,09 м/с).}$$

Ответ. На основе проведенного расчета окончательно принимаем:

- толщину теплоизоляции под серединой здания $\delta_c = 0,05 \text{ м}$;
- толщину теплоизоляции под краем здания $\delta_k = 0,08 \text{ м}$;
- толщина теплоизоляции под углом здания $\delta_y = 0,105 \text{ м}$;
- длина участков по углам здания L_c с толщиной теплоизоляции δ_y равна 1,0 м;
- толщину рабочего слоя $h_{\text{раб}} = 0,45 \text{ м}$;
- высоту подсыпки $H = 0,91 \text{ м}$;
- ширину фундаментной ленты $b_\phi = 0,7 \text{ м}$;
- радиус вентиляционных труб $r_p = 0,1 \text{ м}$;
- глубина заложения труб $h_p = 0,3 \text{ м}$;
- расстояние между трубами $b_p = 4,0 \text{ м}$;
- минимальная скорость воздуха в трубах $v_{\text{min}} = 8,09 \text{ м/с}$.

Вариант 3

Нефтепровод диаметром 820 мм прокладывается надземно на подсыпке из крупноскелетного материала в районе г. Игарка Красноярского края. Грунты основания представлены суглинками со среднегодовой температурой $T_0 = -2,3^{\circ}\text{C}$.

Требуется определить размеры теплоизоляции из плит ПЕНОПЛЭКС®, толщину рабочего слоя, высоту подсыпки и суммарную площадь железобетонных плит, служащих фундаментом опоры нефтепровода.

Исходные данные: Размеры верха подсыпки в плане $2,46 \times 4,10$ м; нагрузка на опору $N = 359$ кН. В качестве теплоизолятора приняты плиты ПЕНОПЛЭКС® типа 45; в качестве материала для устройства подсыпки – гравийно-щебеночная смесь с теми же характеристиками, что и в примере 1.

Последовательность расчета:

Шаг 1. Определение климатических характеристик района. Необходимую для расчета климатическую характеристику находим по СНиП 23-01-99:

сумма летних градусочасов наружного воздуха $\Omega_s = 28324$ °С·ч.

Шаг 2. Определение параметров теплоизоляции и условной толщины рабочего слоя. В таблице 5 по значениям $\Omega_s = 28324$ °С·ч и $T_0 = -2,3^{\circ}\text{C}$ находим искомые параметры, предварительно округлив значение среднегодовой температуры грунта в большую сторону, а именно $T_0 = -2,0^{\circ}\text{C}$:

- толщина теплоизоляции $\delta = 0,14$ м;
- условная толщина рабочего слоя $h_y^* = 0,08$ м.

Шаг 3. Определение толщины рабочего слоя. Вначале по формуле (3) вычисляем пересчетный множитель: $C = 10,7 \cdot \sqrt{\frac{2,09 \cdot (1 + 0,07)}{2040 \cdot 0,07}} = 1,339$, затем по формуле (27) рассчитываем толщину рабочего слоя: $h_{раб} = 1,339 \cdot 0,08 = 0,107$ м.

Шаг 4. Расчет высоты подсыпки под опору нефтепровода. Расчет осуществляем по формуле (26): $H = 0,7 \cdot 1,339 + 0,14 + 0,107 = 1,18$ м. Принимаем $H = 1,2$ м

Шаг 3. Расчет площади подошвы фундамента. Вначале по формуле (7) СНиП 2.02.01-83 вычисляем расчетное сопротивление грунта подсыпки:

$R = \frac{1,4 \cdot 1,2}{1,1} \cdot (1,55 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 20 + 7,22 \cdot 0,35 \cdot 20 + 9,22 \cdot 1,34) = 124,46$ кПа. Это значение меньше

прочности на сжатие ПЕНОПЛЭКС® (167 кПа), поэтому оно является расчетным. Площадь подошвы фундамента (суммарную площадь железобетонных плит) определяем по формуле

(7): $b_{\phi} = \frac{359}{124,46} = 2,88$ м².

Ответ. На основе проведенного расчета окончательно принимаем:

- толщину теплоизоляции под серединой здания $\delta = 0,14$ м;
- толщину рабочего слоя $h_{раб} = 0,107$ м;
- высоту подсыпки $H = 1,2$ м;
- площадь подошвы фундамента $b_{\phi} = 2,88$ м².

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Свойства материалов теплоизоляции и подсыпок

Технические характеристики плит полистирольных вспененных экструзионных ПЕНОПЛЭКС®

Физико-механические свойства	Ед. измер.	Тип 31С	Тип 35	Тип 45
Плотность	кг/м ³	28,0-30,5	28,0-38,0	38,1-45,0
Постоянная прочность на сжатие при 2% линейной деформации	кПа	66	83	167
Модуль упругости	кПа	14000	15000	18000
Предел прочности при статическом изгибе	кПа	400 - 700	400 - 700	400 - 700
Водопоглощение за 30 суток, не более	% по объему	0,4	0,4	0,4
Категория стойкости к огню	группа	Г4	Г1	Г4
Коэф. теплопроводности при усл. эксплуатации «А»	Вт/(м·°К)	0,031	0,031	0,031
Коэф. теплопроводности при усл. эксплуатации «Б»	Вт/(м·°К)	0,032	0,032	0,032
Удельная теплоемкость	кДж/(кг·°С)	1,65	1,65	1,53
Коэффициент паропроницаемости	мг/(м·ч·Па)	0,008	0,007	0,007
Температурный диапазон эксплуатации	°С	-50.....+75		
Долговечность	лет	Более 50		
Типовые размеры плит:				
- длина	мм	1200		2400
- ширина		600		
- толщина		30; 40; 50; 60; 80; 100; 120		

Физико-механические характеристики некоторых грунтов, используемых для создания грунтовых подушек и засыпки пазух котлованов

Вид грунта	Характеристики грунта			
	Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Модуль деформации, кПа	Коэффициент теплопроводности мерзлого грунта, Вт/м·°С
Щебень и гравий	2040	7	65000	2,25
Дресва изверженных пород	2040	10	35000	2,3
Песок крупный и средний	1470	5	35000	1,62
	1680	5	35000	1,10
	1980	10	35000	2,20
	1890	5	35000	1,51
	2200	10	35000	2,90
Гравийно-песчаная и щебеночно-песчаная смесь	2264	11	35000	1,98
	1988	6	35000	1,17
Песчано-гравийная и песчано-щебеночная смесь (эталон)	2100	12	35000	2,32

