

Перспективы развития документации по стандартизации в части применения экструзионного пенополистирола РАПЭКС при проектировании и строительстве заглубленных конструкций. Современные методы расчета и перспективные технические решения.



Обязательные нормативные документы в соответствии с постановлением
№985 от 4 июля 2020г.:

ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения»

СП 22.13330.2016 (с изм. №3) «Основания зданий и сооружений»

СП 25.13330.2012 (с изм. №4) «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах»

СП 28.13330.2017 (с изм. №2) «Защита строительных конструкций от коррозии»

СП 45.13330.2017 (с изм. №2) «Земляные сооружения, основания и фундаменты»

СП 50.13330.2012 (с изм. №1) «Тепловая защита зданий»

СП 70.13330.2012 (с изм. №3) «Несущие и ограждающие конструкции»

Добровольные (рекомендуемые) в соответствии с постановлением №687 от 2 апреля 2020г.:

СП 15.13330.2012 (с изм. №3) «Каменные и армокаменные конструкции» (в т.ч. редакция 2020г.)

СП 229.1325800.2014 «Железобетонные конструкции подземных сооружений и коммуникаций. Защита от коррозии» (с изм. №1, 2).

СП 248.1325800.2016 «Сооружения подземные. Правила проектирования».

СП 345.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты»

и некоторые другие...

Актуальные проблемы при теплоизоляции фундаментов, оснований и заглубленных помещений.



Воздействие влаги, высокий уровень грунтовых вод



Ошибки проектирования



Пучинистые грунты в основании (актуально для МЗФ)



Оттаивание массива ММГ (актуально для районов распространения ММГ)



Наличие теплопроводных включений (мостиков холода)

“4.1 Для обеспечения требуемой долговечности строительного объекта при его проектировании необходимо учитывать:

-условия эксплуатации по назначению;

-расчетное влияние окружающей среды;

-свойства применяемых материалов, возможные средства их защиты от негативных воздействий среды, а также возможность деградации их свойств.”

При утеплении заглубленных конструкций, фундаментов важны следующие свойства теплоизоляции:

1.Практически нулевая гигроскопичность;

2.Высокие прочностные показатели;

**3.Низкий показатель теплопроводности, в т.ч.
при эксплуатации во влажной или обводнённой среде;**

4.Долговечность и стойкость к биокоррозии.

Анализ иностранных нормативных документов по части теплоизоляции фундаментов, оснований и заглубленных помещений.

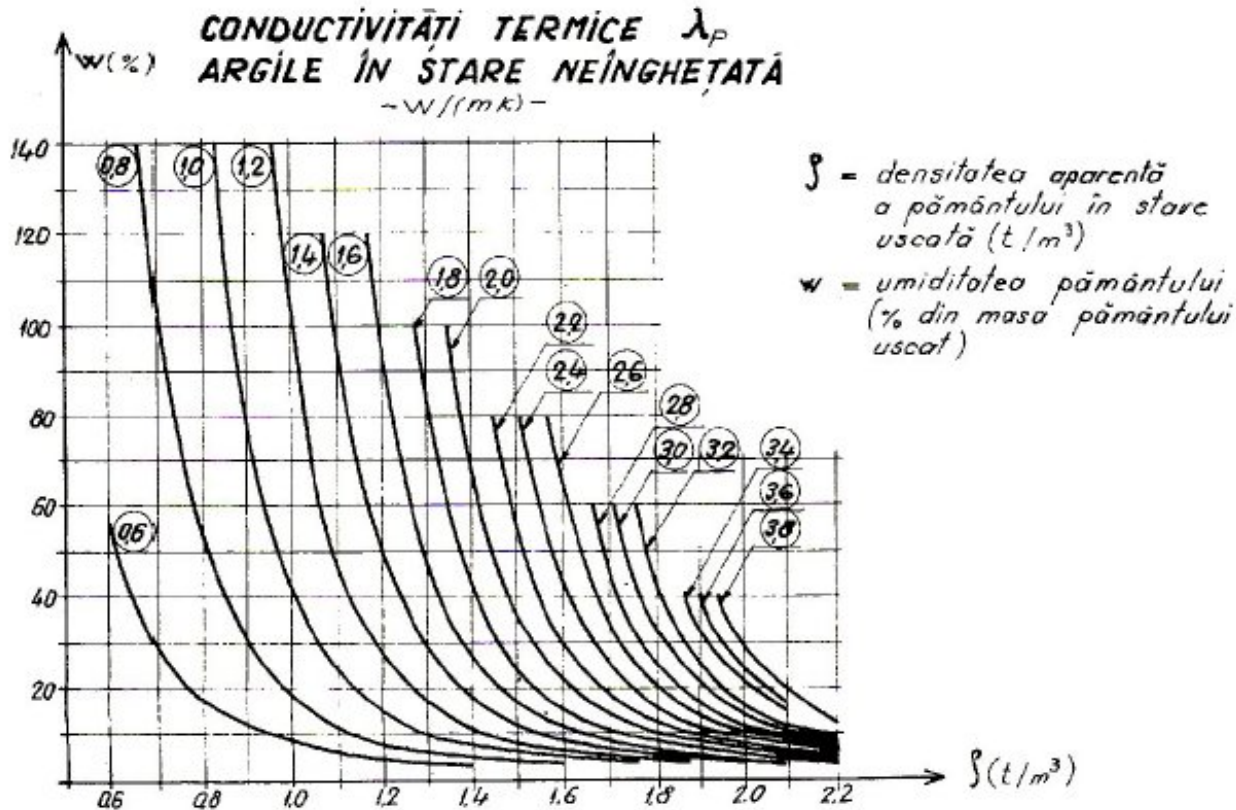
Некоторые выдержки из “Методологии расчёта энергоэффективности зданий МС 001” (Румыния)

Таблица 2. 2. **Коэффициенты увеличения теплопроводности** материалов в зависимости от их состояния и возраста (расчётные коэффициенты)

Материал	Условия эксплуатации материала	Коэффициент увеличения "а"
Насыпная минеральная вата, матрасы, войлок	возраст ≤ 10 лет в сухом состоянии	1,15
	подверженность конденсации	1,30
	влажный из-за проникновения воды (особенно на крышах)	1.60
Жесткие плиты из минеральной ваты	возраст ≤ 10 лет в сухом состоянии	1,10
	подверженность конденсации	1,20
	влажный из-за проникновения воды (особенно на крышах)	1,30
Пенополистирол (EPS)	возраст ≤ 10 лет в сухом состоянии	1.05
	подверженность конденсации	1,10
	влажный из-за проникновения воды (особенно на крышах)	1,15
Экструдированный пенополистирол (XPS)	возраст ≤ 10 лет в сухом состоянии	1.02
	подверженность конденсации	1.05
	влажный из-за проникновения воды (особенно на крышах)	1,10
Жесткий полиуретан	возраст ≤ 10 лет в сухом состоянии	1,10
	подверженность конденсации	1,15
	влажный из-за проникновения воды (особенно на крышах)	1,25

Анализ иностранных нормативных документов по части теплоизоляции фундаментов, оснований и заглубленных помещений.

Некоторые выдержки из С107/5 : “Стандарт на термический анализ строительных элементов, контактирующих с землей” (Румыния)



Модель грунта для упрощённого расчёта:

Теплопроводность,

-до глубины 3,0 м от уровня земли $\lambda = 2,0$ Вт/(м·К);

-ниже глубины 3,0 м от уровня земли $\lambda = 4,0$ Вт/(м·К);

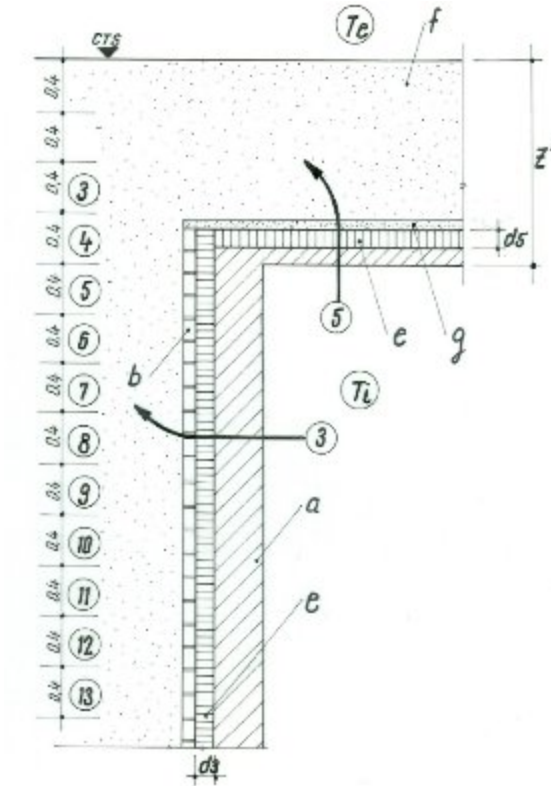
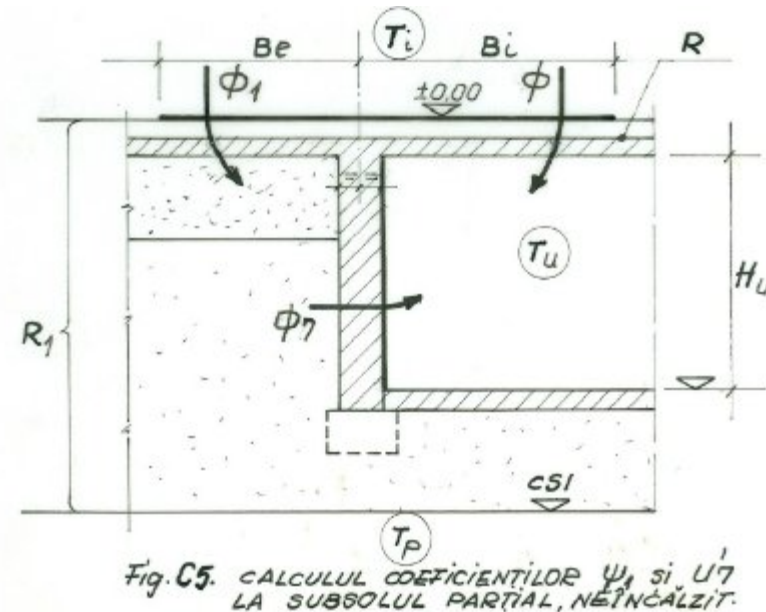
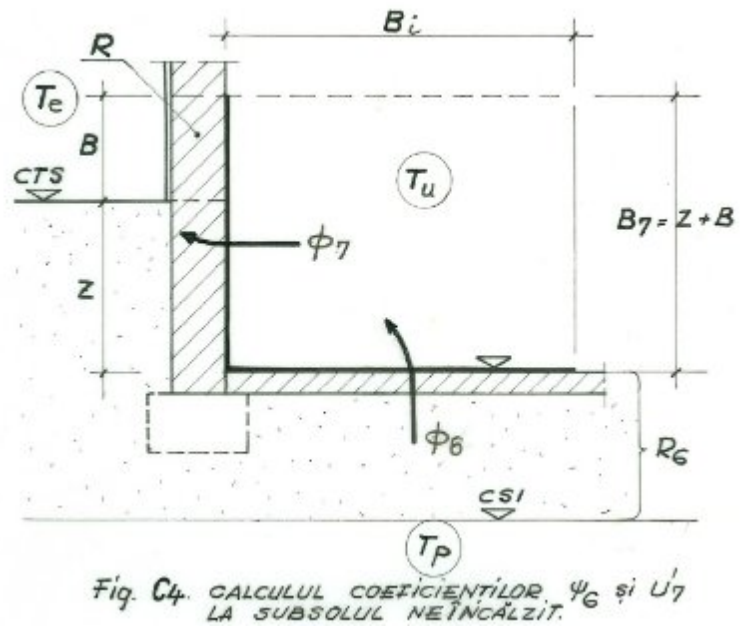
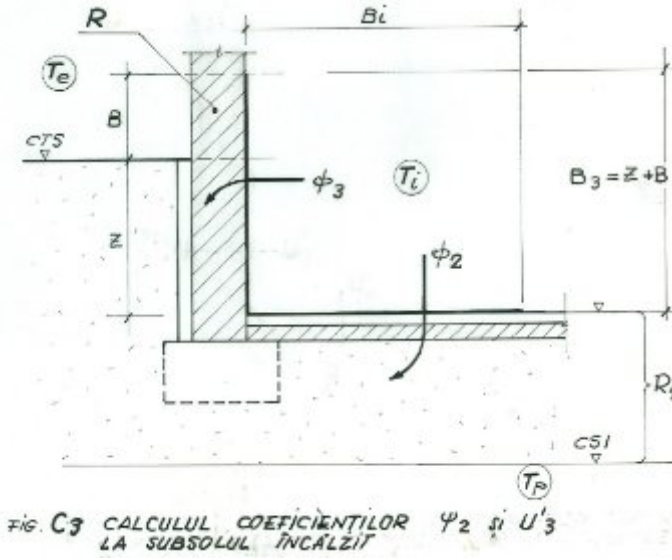
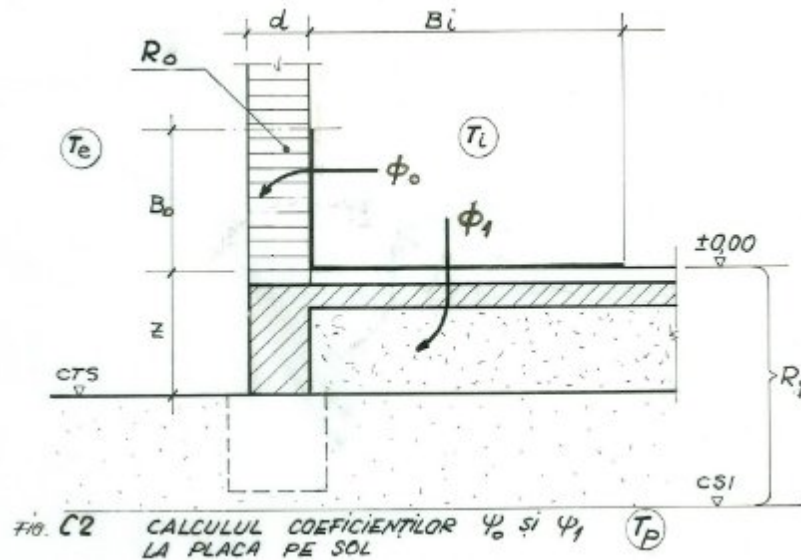
Удельная теплоёмкость $C_y = 1110$ Дж/(кг·К);

Объёмная теплоёмкость $C_o = 2,0 \cdot 10^6$ Дж/(м³·К);

Насыпная плотность в сухом состоянии $\rho = 1800$ кг/м³;

Упрощённый способ определения теплотехнических свойств грунтов в зависимости от кажущейся плотности и влажности.

Некоторые выдержки из С107/5 : "Стандарт на термический анализ строительных элементов, контактирующих с землей" (Румыния)

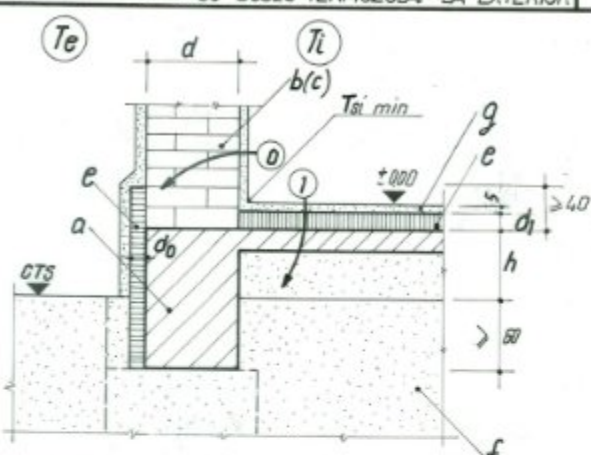


Детализация различных вариантов расчётных моделей. Расчёт ведётся численными методами - моделированием при помощи сертифицированных программных комплексов (МКЭ-моделирование) в т.ч. с учётом влияния фильтрации подземных вод.

Анализ иностранных нормативных документов по части теплоизоляции фундаментов, оснований и заглубленных помещений.

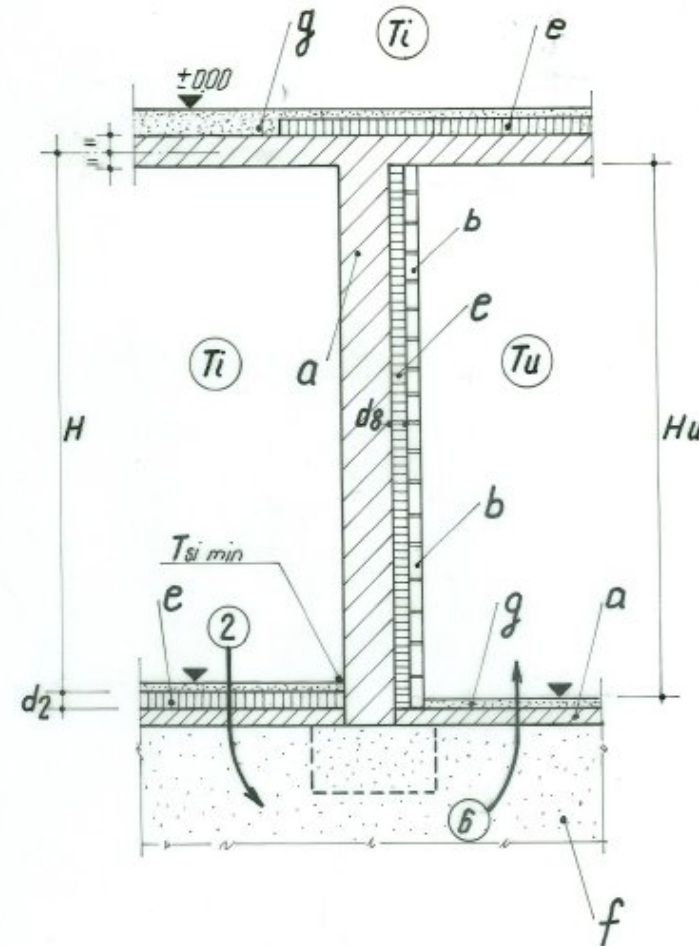
Некоторые выдержки из С107/5 : “Стандарт на термический анализ строительных элементов, контактирующих с землей” (Румыния)

PLACĂ PE SOL • CU TERMOIZOLATIE ORIZONTALĂ TABEL 71
• CU SOCLU TERMOIZOLAT LA EXTERIOR



PERETE EXTERIOR	SOCLU PLACĂ	h = 40 cm				h = 80 cm				h = 120 cm					
		R1		Tsi min	Ψ	R1		Tsi min	Ψ	R1		Tsi min	Ψ		
		d	λ	do	d1	PLACĂ		PLACĂ		PLACĂ		PLACĂ			
		cm	w/(mK)	cm	m ² /w	°C	w/(mK)	m ² /w	°C	w/(mK)	m ² /w	°C	w/(mK)		
536	5	5	5	3,95	12,8	-0,18	0,56	4,15	12,7	-0,18	0,58	4,35	12,6	-0,17	0,62
			10	4,95	12,7	-0,17	0,43	5,15	12,6	-0,17	0,46	5,35	12,5	-0,16	0,50
		10	5	3,95	13,8	-0,23	0,60	4,15	13,8	-0,23	0,52	4,35	13,8	-0,23	0,55
			10	4,95	13,7	-0,22	0,38	5,15	13,7	-0,22	0,40	5,35	13,6	-0,22	0,42
44	0,8	5	5	3,95	12,9	-0,13	0,55	4,15	12,9	-0,13	0,56	4,35	12,7	-0,12	0,64
			10	4,95	12,9	-0,12	0,42	5,15	12,7	-0,12	0,44	5,35	12,6	-0,11	0,49
		10	5	3,95	13,8	-0,18	0,49	4,15	13,8	-0,18	0,52	4,35	13,8	-0,18	0,54
			10	4,95	13,7	-0,17	0,37	5,15	13,7	-0,17	0,39	5,35	13,7	-0,17	0,41
49	10	5	5	3,95	13,0	-0,10	0,54	4,15	12,9	-0,10	0,60	4,35	12,8	-0,09	0,63
			10	4,95	13,0	-0,09	0,41	5,15	12,8	-0,09	0,46	5,35	12,7	-0,08	0,48
		10	5	3,95	13,8	-0,15	0,49	4,15	13,8	-0,15	0,51	4,35	13,8	-0,15	0,54
			10	4,95	13,7	-0,14	0,37	5,15	13,7	-0,14	0,39	5,35	13,7	-0,14	0,41

Для узлов линейных теплопроводных включений заглубленных конструкций параметры удельных потерь теплоты сведены в соответствующие таблицы.




Закон об энергетике в зданиях (GEG, от 8 августа 2020г.) – Германия.

Конструктивный элемент	Требования GEG 2020		Эквивалентная толщина XPS, мм
	U_{min} , Вт/м ² *К	R_{min} , м ² *К/Вт	
Стены, контактирующие с землёй	0,35	2,86	100
Полы по грунту, перекрытия над подпольями	0,35	2,86	100

Также GEG 2020 устанавливает требования к **классу конструктивной теплоизоляции**, в соответствии с Приложением 4, таблицы 1-3.

Конструктивный элемент	Показатель	3							
		Вариант тепловой защиты							
		A		B		C		D	
Стены, контактирующие с землёй Полы по грунту, перекрытия над подпольями	Минимальное значение сопротивления теплопередаче R [(м ² • К) / Вт] и толщина XPS, мм	5,00	160	3,85	130	3,45	110	2,86	100

 - эквивалентная толщина XPS (пропорционально теплопроводности).

Анализ иностранных нормативных документов по части теплоизоляции фундаментов, оснований и заглубленных помещений.

Также GEG 2020 устанавливает требования к классу структурной теплоизоляции, в соответствии с Приложением 4, таблицы 1-3. **МИНИМАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ОТДЕЛЬНОСТОЯЩЕГО ЗДАНИЯ (выдержки по двум позициям):**

№	Общая отапливаемая площадь этажа здания A _{GFA} B м ²	от	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		до	115	141	166	196	236	281	341	406	491	581	701	881	1101	1401	1801
		140	165	195	235	280	340	405	490	580	700	880	1100	1400	1800	2300	
Вариант системы		Требуемый вариант теплозащиты															
4	Местное / централизованное теплоснабжение или местная когенерация, центральное отопление питьевой водой	D				C						B					
5	Местное / централизованное теплоснабжение или местная когенерация, центральное отопление питьевой воды, <u>система вентиляции с рекуперацией тепла</u>	D															

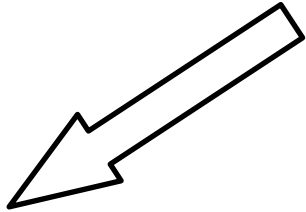
Предложения по развитию стандартов и сводов правил по части тепловой изоляции оснований, заглубленных сооружений (помещений).

1. Конкретизация требований к техническим и эксплуатационным характеристикам теплоизоляционных материалов, применяемых при тепловой изоляции заглубленных конструкций и оснований (теплопроводность, водопоглощение, сорбционная влажность, прочность на сжатие, структура материала и гигроскопичность и др.). Внедрение коэффициентов запаса для расчётной величины теплопроводности с учётом расчётного срока службы сооружения, условий эксплуатации и типа теплоизоляционного материала.

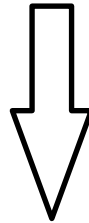
2. Доработка методик теплотехнических расчётов оснований и заглубленных сооружений с учётом возможности применения современных численных методов расчёта (нестационарное моделирование тепловых полей методом конечных элементов – МКЭ-моделирование); включение обновленной информации в профильные своды правил (СП), в т.ч. по теплопроводным включениям (линейным и точечным). Формирование описания теплотехнических моделей грунтов и способы задания граничных условий.

3. Дополнение СП 230.1325800.2015 характеристиками теплотехнических неоднородностей для подземных и заглубленных конструкций.

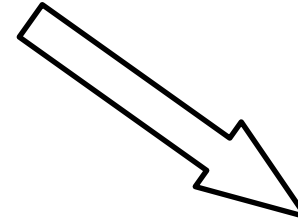
Перспективные направления развития технических решений при тепловой изоляции фундаментов/оснований, заглубленных конструкций



Усовершенствование технологии тепловой изоляции фундаментов и заглубленных конструкций с учётом **минимизации тепловых потерь через теплопроводные включения ("мостики холода") при НОВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**



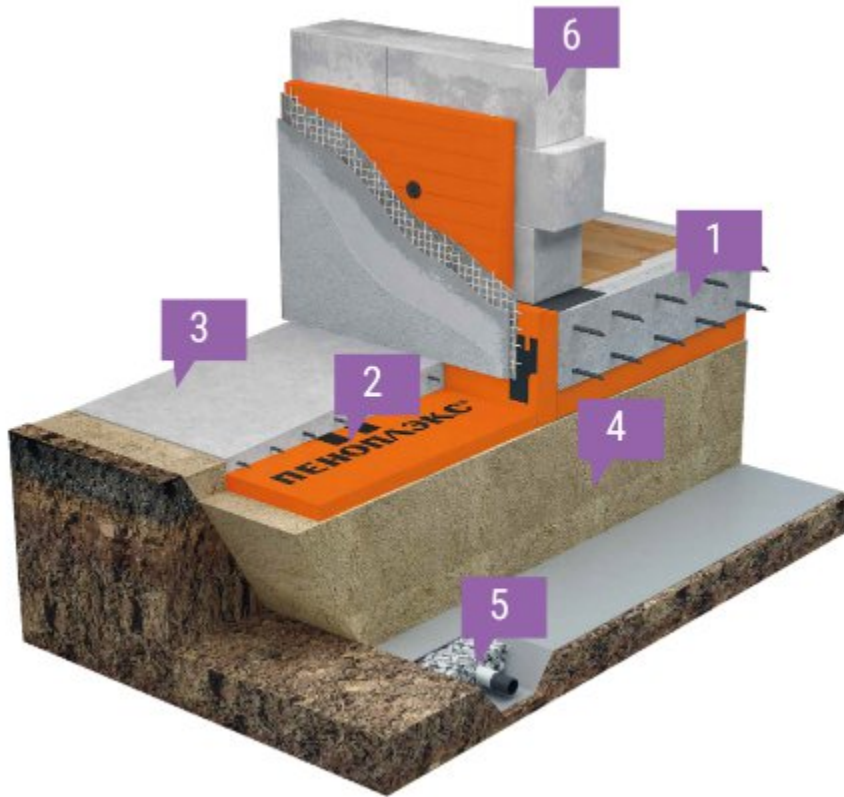
Реконструкция существующих заглубленных и цокольных частей сооружений (подземные помещения, цокольные этажи, подвалы и др.)



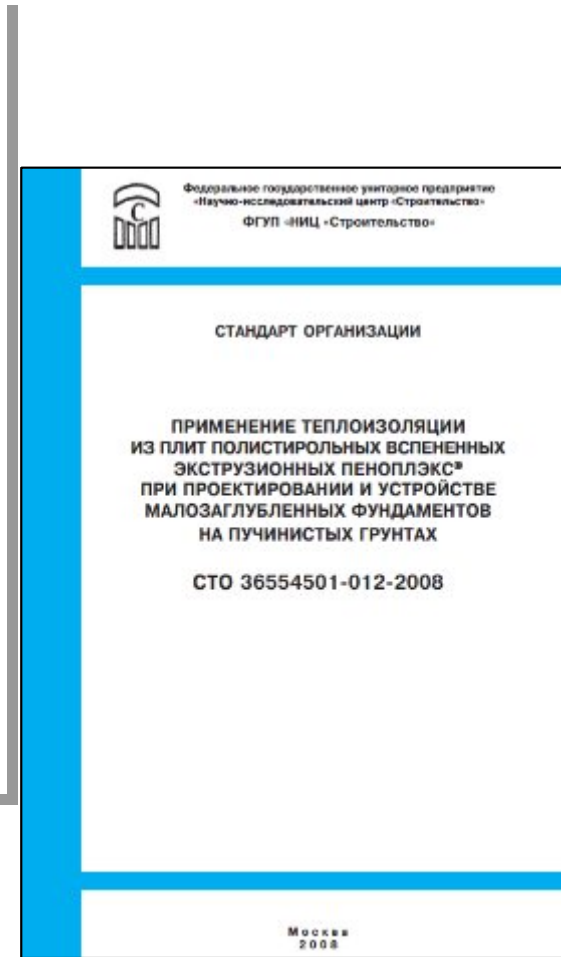
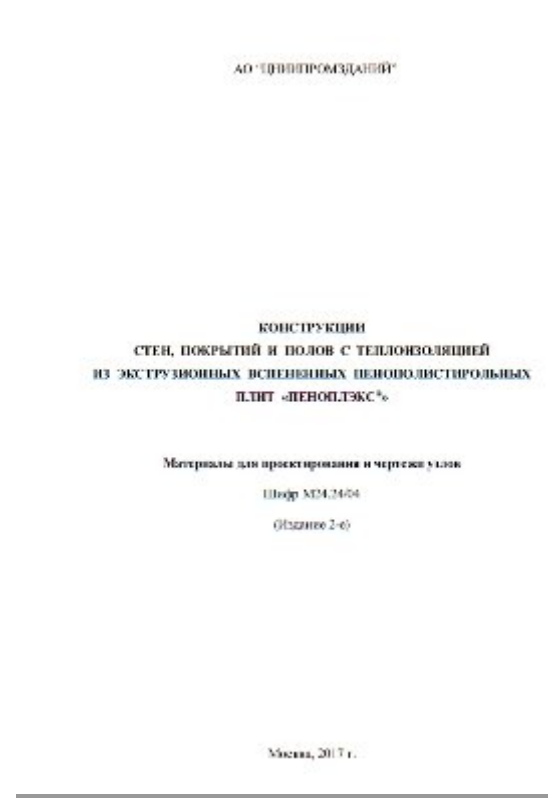
Новое строительство, **мониторинг состояния и реконструкция** существующих фундаментов/оснований в **районах распространения ММГ (Арктической зоне)**

Основные и перспективные технические решения при тепловой изоляции подземных и заглубленных сооружений.

Теплоизоляция малозаглубленных фундаментов.



1. Фундамент
2. РАПЭКС XPS
3. Отмостка
4. Средний или крупный песок
5. Дренаж
6. Стена



Основные и перспективные технические решения при тепловой изоляции подземных и заглубленных сооружений.

Теплоизоляция малозаглубленных фундаментов.

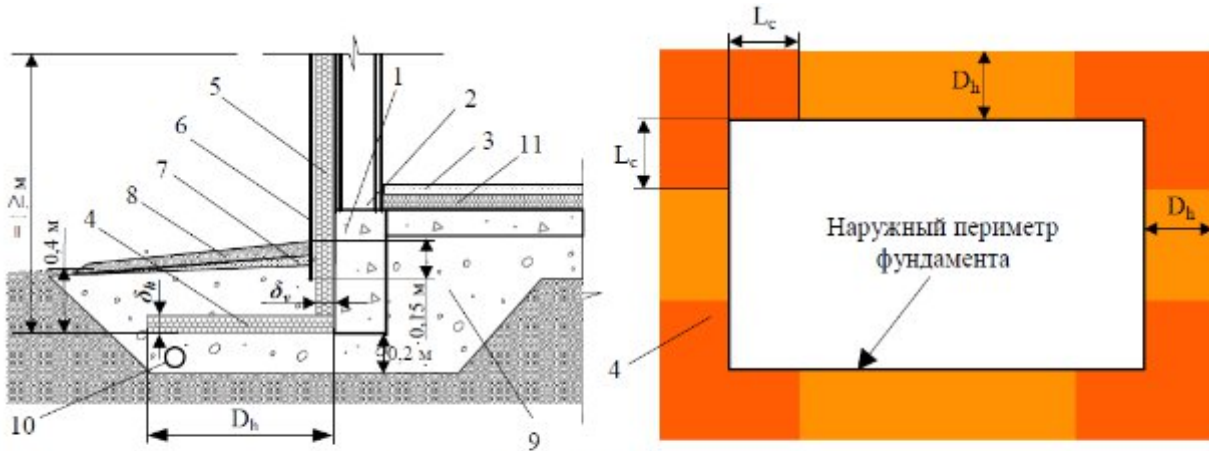


Схема укладки и параметры теплоизоляции ПЕНОПЛЭКС® в фундаментах отапливаемых зданий с теплоизоляцией пола

1 — фундамент; 2 — стена здания; 3 — пол здания; 4 — горизонтальная теплоизоляция ПЕНОПЛЭКС®; 5 — вертикальная теплоизоляция ПЕНОПЛЭКС®; 6 — защитное покрытие; 7 — песчаная подготовка под отмостку; 8 — асфальтовая или бетонная отмостка; 9 — непучинистый грунт; 10 — дренаж; 11 — теплоизоляция пола

Индекс мороза (ИМ) — абсолютное значение отрицательных градусо-часов наружного воздуха с обеспеченностью 1 % или наступлением события с вероятностью один раз в 100 лет. Индекс мороза с такой обеспеченностью не применяется в строительной практике на территории РФ. Необходимые значения ИМ получаются путем специальных вычислений. Такая обеспеченность обусловлена высокими требованиями к долговечности фундаментов. При пониженных требованиях к долговечности фундамента можно принимать значение обеспеченности ИМ 2 % (наступление события с вероятностью один раз в 50 лет).



Замена показателя ИМ при унификации метода подбора толщин теплоизоляции для МЗФ

Использование данных СП 131.13330 "Климатология":

- среднегодовая температура воздуха;
- годовая амплитуда среднемесячных температур;
- пиковые значения температур – наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92/0,98.

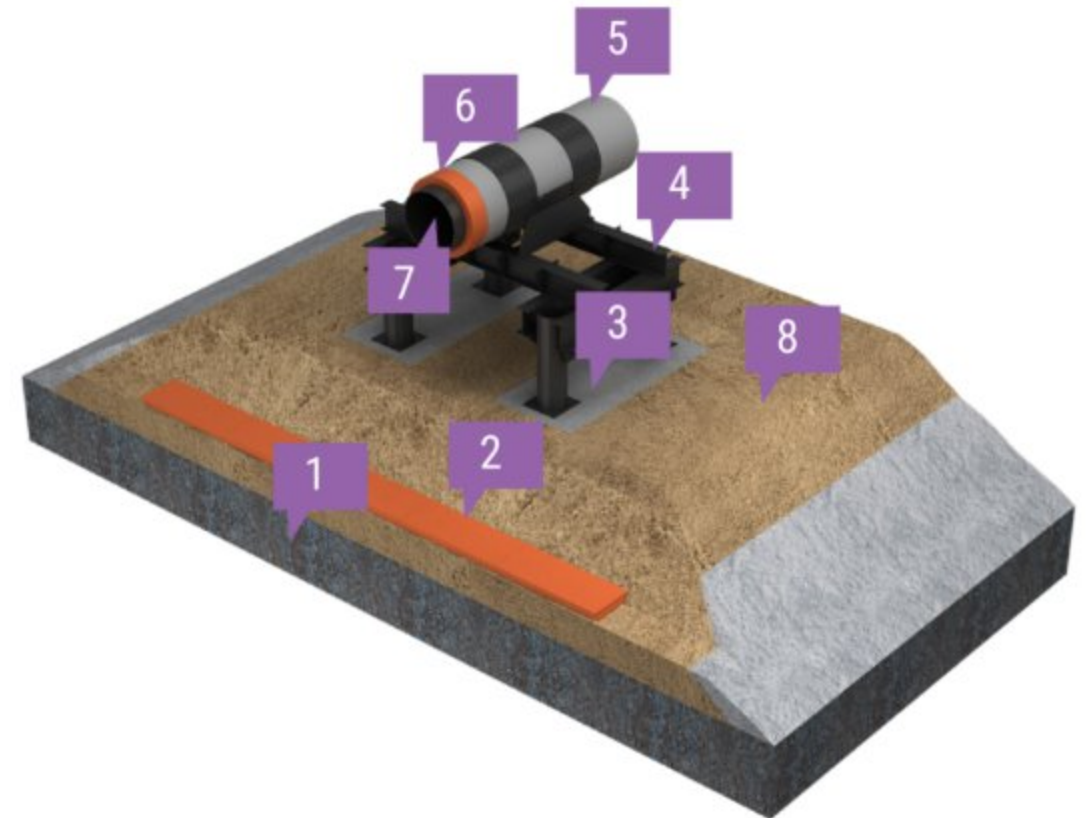
Расчетные параметры плит ПЕНОПЛЭКС® для проектирования ТФМЗ отапливаемых зданий с теплоизоляцией пола					
ИМ, град.-ч	$\delta_{\text{в}}$, см	Горизонтальная теплоизоляция вдоль стен		Горизонтальная теплоизоляция на углах	
		D_{h} , м	δ_{h} , см	L_{c} , м	δ_{c} , см
1	2	3	4	5	6
20000	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25000	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0
30000	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0
		0,0	0,0		0,0
35000	9,1	0,3	1,8	1,2	2,5
40000	9,8	0,3	3,9	1,2	5,4
		0,6	3,2		4,4

Основные и перспективные технические решения при тепловой изоляции подземных и заглубленных сооружений.

Теплоизоляция фундаментов на подсыпках в районах распространения ММГ.



1. Многолетнемерзлый грунт основания
2. Насыпь (песок)
3. Почвенно-растительный слой
4. Отмостка
5. Ленточный фундамент
6. РАПЭКС XPS
7. Проветриваемое подполье
8. Отапливаемое помещение
9. РАПЭКС XPS (фасад)



1. Многолетнемерзлый грунт основания
2. РАПЭКС XPS
3. Фундамент опоры
4. Опора трубопровода
5. Защитный слой (ПВХ-мембрана)
6. Сегментная теплоизоляция РАПЭКС
7. Трубопровод
8. Песчано-гравийная смесь (насыпь)



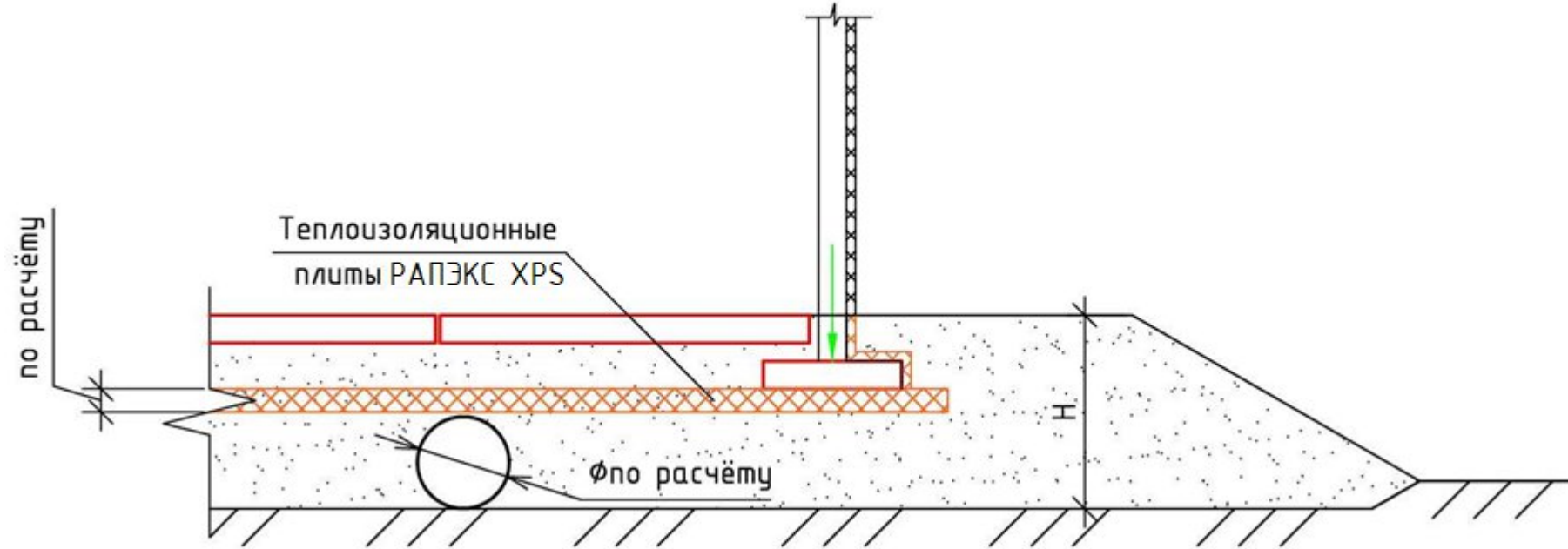
Основные и перспективные технические решения при тепловой изоляции подземных и заглубленных сооружений.

Теплоизоляция фундаментов на подсыпках в районах распространения ММГ.

1 – стены сооружения (утепление – по проекту); 2 – экструзионный пенополистирол РАПЭКС XPS; 3 – насыпь; 4 – горизонт ММГ; 5 – грунт основания.

Основные и перспективные технические решения при тепловой изоляции подземных и заглубленных сооружений.

Теплоизоляция фундаментов на подсыпках в районах распространения ММГ.



В результате расчёта определяются следующие параметры:

- размеры и толщина теплоизоляционного слоя из плит РАПЭКС XPS;
- оптимальные параметры ширины фундаментной ленты;
- расчётная температура грунта в основании здания;
- высота подсыпки;
- минимальная скорость воздуха в трубах, шаг их расстановки и диаметр.



Основные и перспективные технические решения при тепловой изоляции подземных и заглубленных сооружений.

Теплоизоляция вентилируемых фундаментов в районах распространения ММГ.

1 – стены сооружения (утепление – по проекту); 2 – экструзионный пенополистирол РАПЭКС XPS; 3 – вентилируемое подполье (каналы/трубопроводы); 4 – горизонт ММГ; 5 – грунт основания.



Основные и перспективные технические решения при тепловой изоляции подземных и заглубленных сооружений.

Теплоизоляция фундаментов с системой СОУ в районах распространения ММГ.

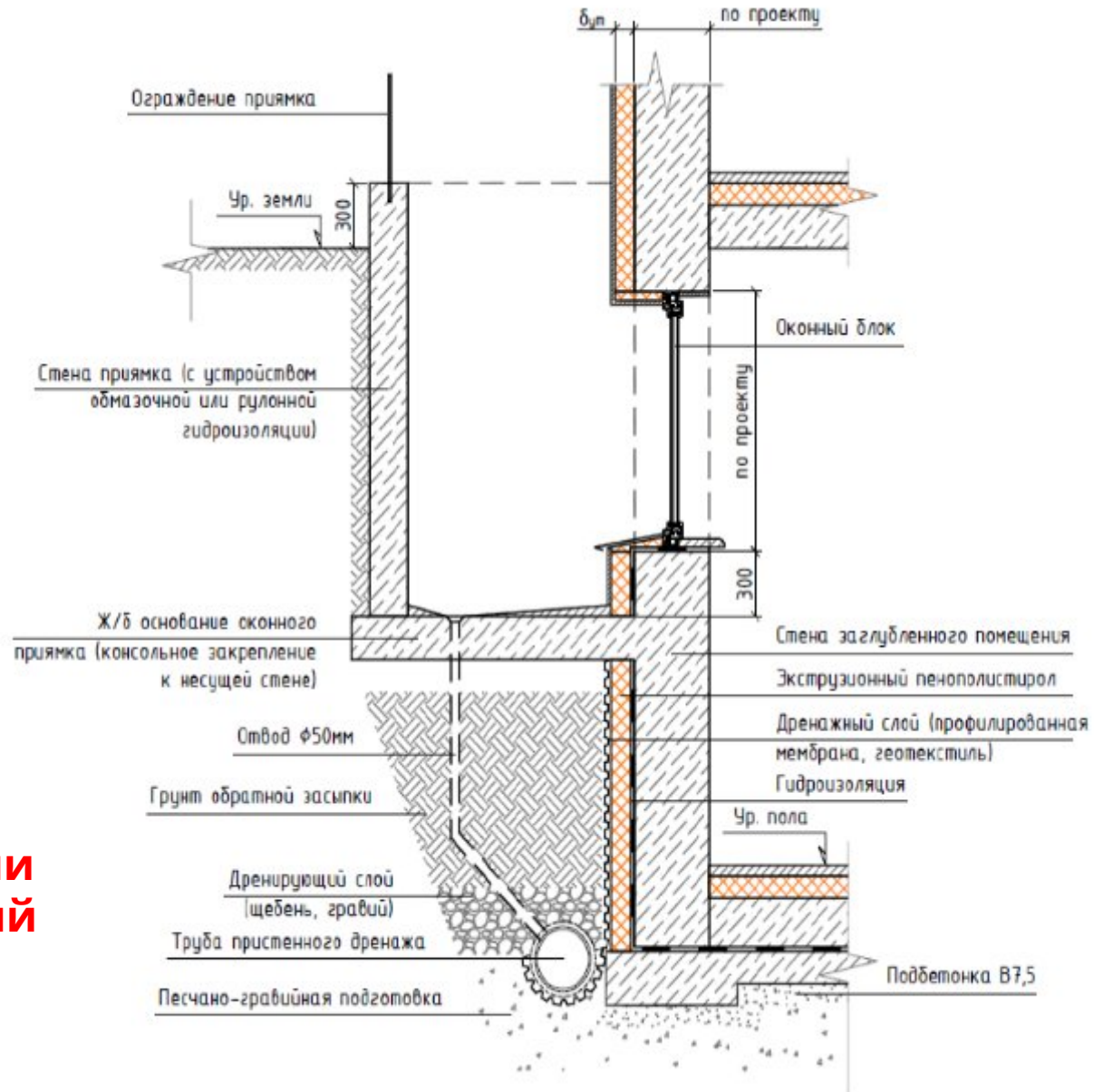
- 1 – стены сооружения (утепление – по проекту); 2 – экструзионный пенополистирол РАПЭКС XPS; 3 – сезоннодействующие охлаждающие устройства (СОУ);**
4 – горизонт ММГ.

Основные и перспективные технические решения при тепловой изоляции подземных и заглубленных сооружений.

Теплоизоляция фундаментов глубокого заложения.



СТО 36554501-061-2019
“Проектирование и устройство теплоизоляции заглубленных конструкций (помещений) зданий и сооружений”



Приложение Е, СП 50.13330.2012

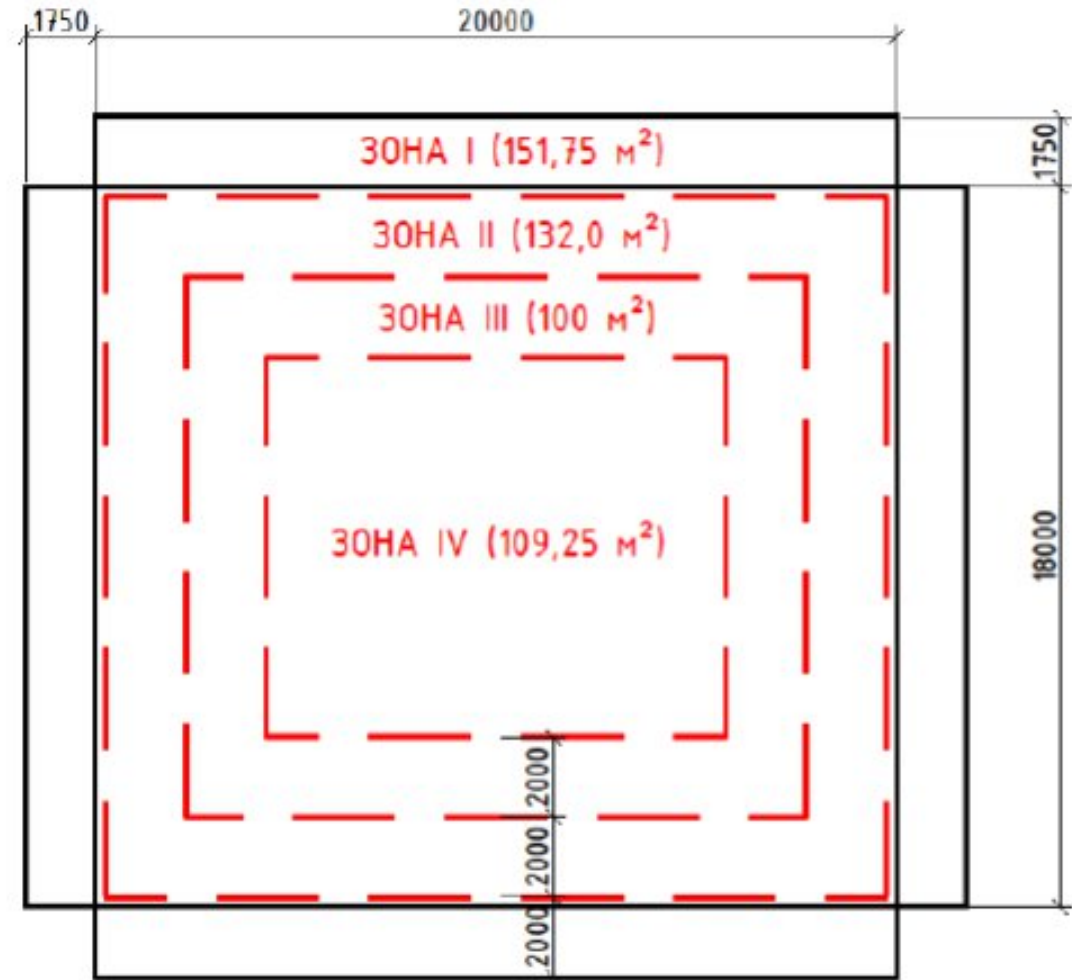
Е.7 Приведенное сопротивление теплопередаче полов, $R_{o,пол}$, ($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт, определяется в следующей последовательности:

Для неутепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, с теплопроводностью $\lambda \geq 1,2$ Вт/($м^2 \cdot ^\circ C$) по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам, принимая R_n , ($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт, равным:

- 2,1 - для I зоны;
- 4,3 - « II »;
- 8,6 - « III »;
- 14,2 - « IV »; (для оставшейся площади пола);

Для утепленных полов на грунте и стен, расположенных ниже уровня земли, с теплопроводностью $\lambda_n < 1,2$ Вт/($м^2 \cdot ^\circ C$) утепляющего слоя толщиной δ , м, принимая $R_{o,пол}$, ($м^2 \cdot ^\circ C$)/Вт, по формуле

$$R_{o,пол} = R_n + \delta/\lambda_n. \text{ (E.15)}$$



Пример разбивки площади заглубленного сооружения на зоны, шириной 2м

Основные рекомендации по линейному теплотехническому расчёту приведены в:

- СП 50.13330 “Тепловая защита зданий”;
- СП 230.1325800.2015 “Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей”
- СП 345.1325800.2017 “Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты”
- СП 25.13330.2012 “Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах”
- и др. нормативные и справочные документы

Выдержки из СП 25.13330:

Приложение К (рекомендуемое) Расчет глубины оттаивания грунтов под сооружениями

К.1 Расчет глубины оттаивания грунтов в основании сооружения (7.3.3) Н, м (считая от поверхности грунта под сооружением), за время его эксплуатации t, с (ч), производится по формулам:

под серединой сооружения

$$H_c = k_n(\xi_c - k_c) B;$$

$$\alpha_R = \lambda_{th} R_0 / B;$$

$$\beta = - \frac{\lambda_f (T_0 - T_{bf})}{\lambda_{th} (T_{in} - T_{bf})};$$

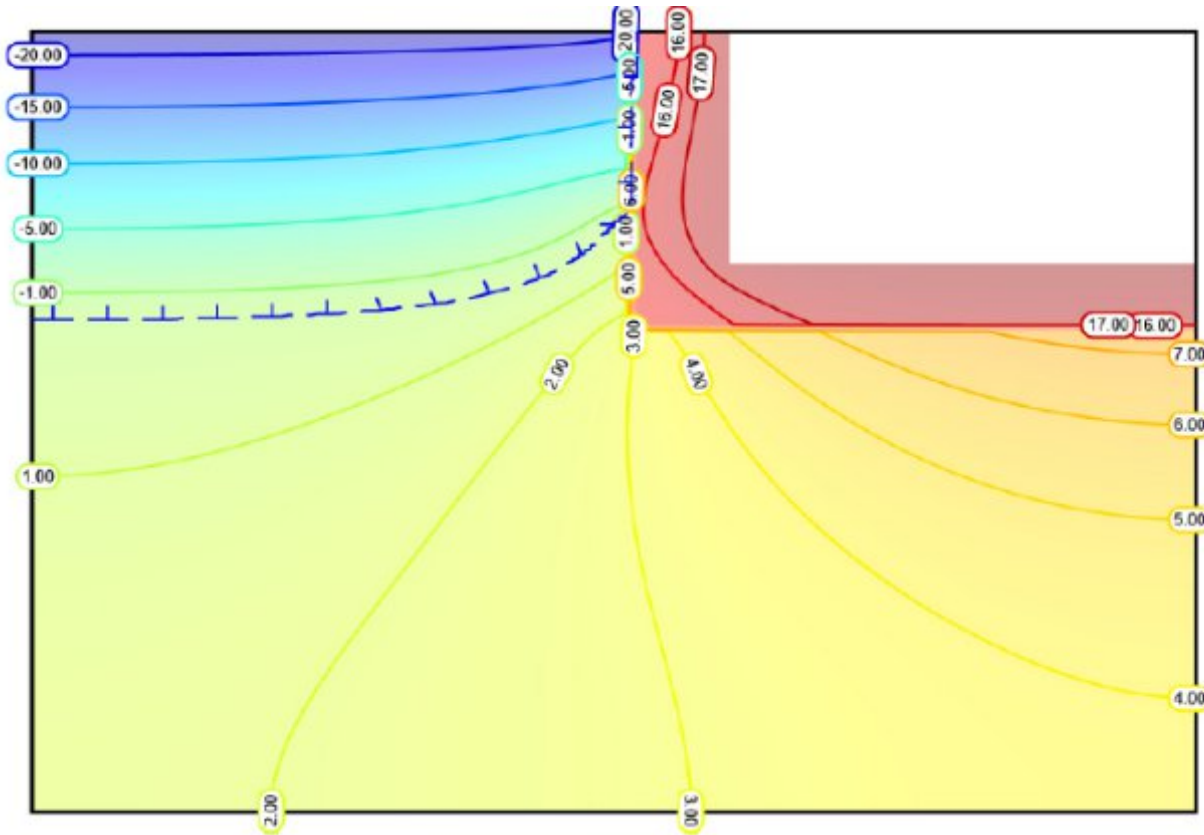
под краем сооружения

$$H_e = k_n(\xi_e - k_e - 0.1\beta\sqrt{\psi}) B;$$

$$\psi = \lambda_{th} T_{in} t / L_v B^2;$$

Основные методы теплотехнических расчётов заглубленных конструкций и фундаментов/оснований.

Современные методы теплотехнического расчёта методом конечных элементов / конечных разностей (МКЭ/МКР моделирование).



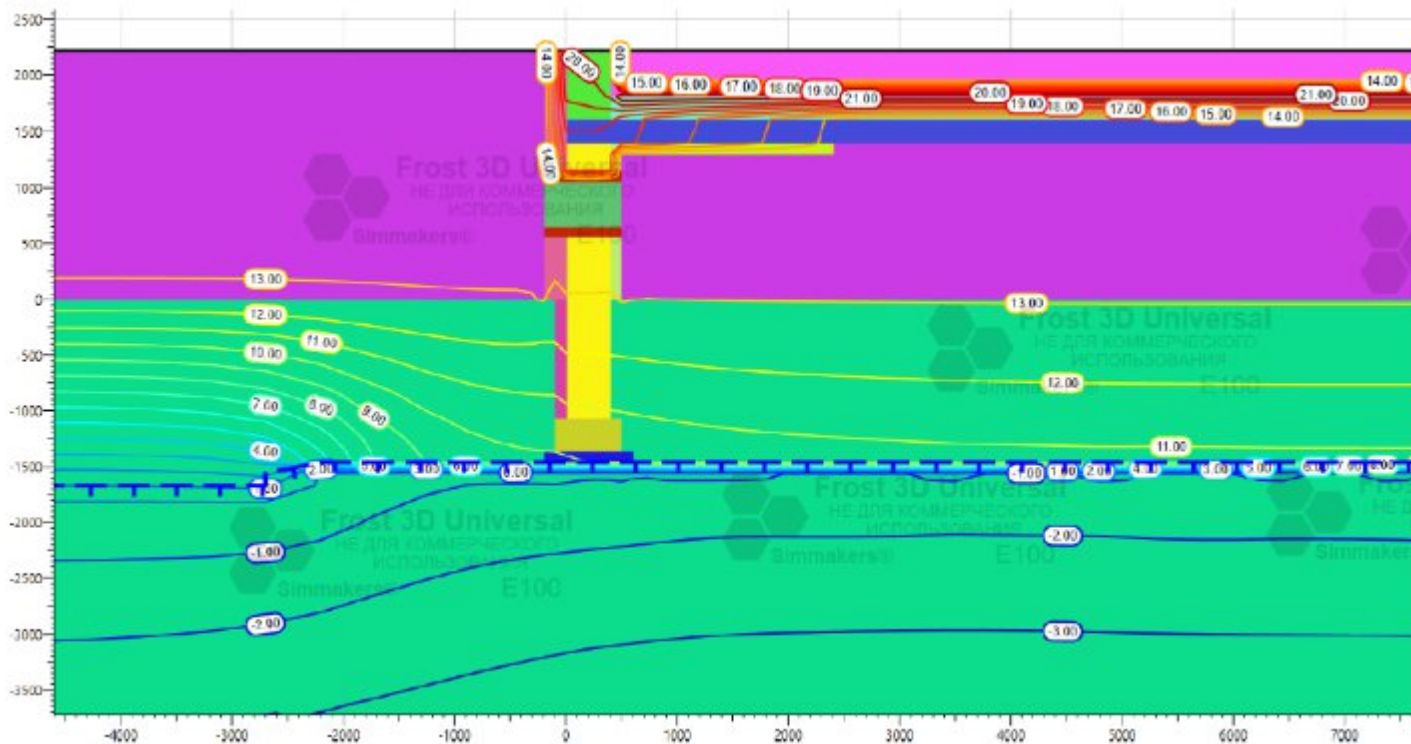
Определение параметров теплоизоляции заглубленного сооружения сопряжено с необходимостью решения нелинейной – плоской (двумерной или трёхмерной задачи). Современные методы математического моделирования позволяют достаточно точно прогнозировать распределение тепловых полей в разрезе конструкции при решении плоской или объёмной нестационарной теплотехнической задачи с учётом следующих граничных условий:

- **графика годового цикла колебаний внешней температуры;**
- **дополнительной тепловой нагрузки от суммарной солнечной радиации** с учётом черноты поверхности (теплообмен по Стефану-Больцману);
- наличия или отсутствия **снежного покрова на поверхности;**
- **уровня грунтовых вод и фильтрационных процессов;**
- теплотехнических характеристик грунтов и строительных материалов (теплопроводность и **объёмная теплоёмкость** в талом и мёрзлом состоянии), суммарной весовой влажности грунтов.

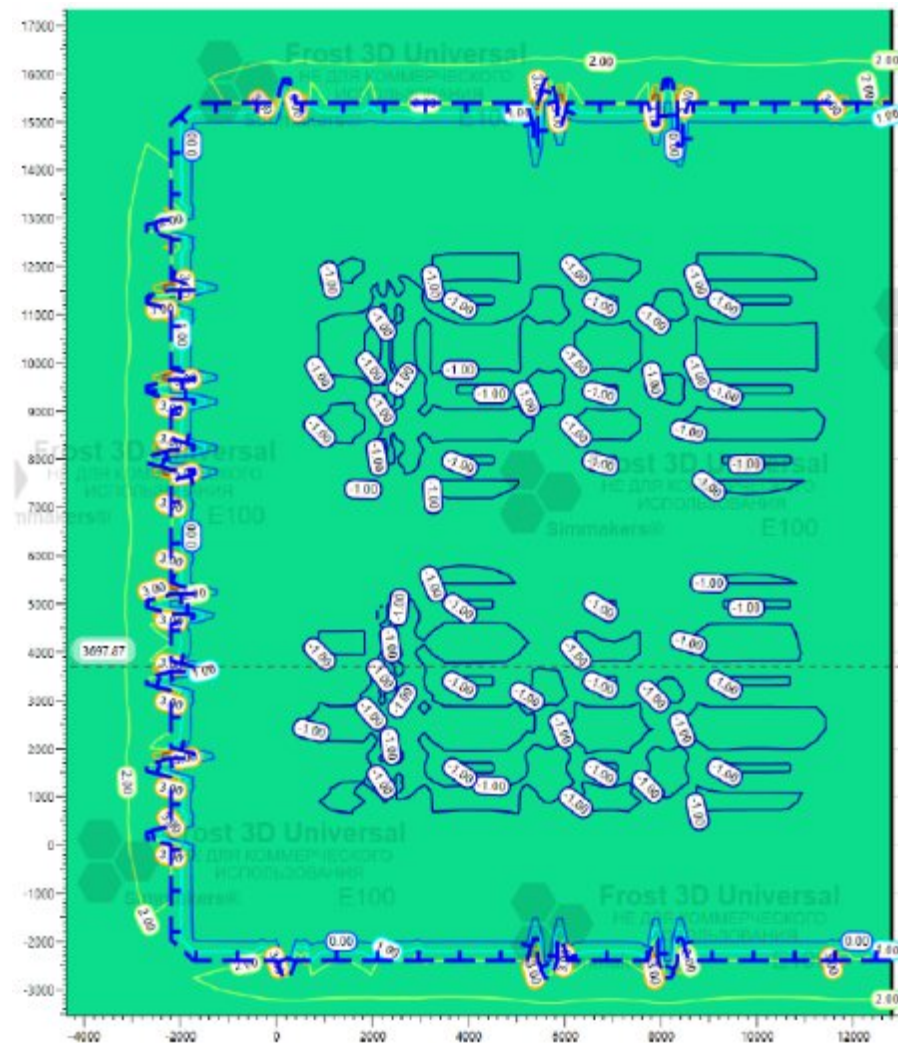
В некоторых случаях учитывается **засоленность грунтов** и температура фазового перехода. Внешние температурные граничные условия могут быть заданы исходя из наиболее неблагоприятного сочетания тепловой нагрузки – в том числе с учётом пико-вых колебаний (температура наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 или средняя максимальная температура воздуха наиболее тёплого месяца – в соответствии с СП 131.13330 “Строительная климатология”).

Основные методы теплотехнических расчётов заглубленных конструкций и фундаментов/оснований.

Современные методы теплотехнического расчёта методом конечных элементов / конечных разностей (МКЭ/МКР моделирование).



**Распределение тепловых полей по
разрезу конструкции**



**Распределение тепловых полей в
плоскости основания (под пятой
заложения теплоизоляции XPS)**



Благодарим Вас за внимание!



РАПЭКС

Ассоциация производителей
экструдированного пенополистирола

Докладчик: П.М. Абраменков

**Технический отдел ООО "ПЕНОПЛЭКС
СПб"**

к.т.: +7(924)266-24-23

E-mail: p.abramenkov@penoplex.ru

<https://rapex-org.ru/>

к.т.: +7(916)125-31-21

E-mail: mb@rapex-org.ru