**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и технической оценки соответствия в строительстве»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО РАСЧЕТУ ТЕПЛОПОТЕРЬ И ПРИВЕДЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗДАНИЯ, КОНТАКТИРУЮЩИХ С ЕГО ОСНОВАНИЕМ

Москва 2019

gost.e-ecolog.ru

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Общие положения 3
5 Исходные данные 5
6 Методика расчета теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче в грунтовое основание методом однородных зон (МОЗ) 10
7 Аналитическая методика расчета теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче в грунтовое основание (АМР) 13
8 Численный расчет теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче методом нестационарных температурных полей (МНТП) 23
Приложение А Примеры расчета теплопотерь для отапливаемого подвала здания с использованием трех методик 36
Приложение Б Пример расчет начальных условий и оценки температуры грунтовых вод для методики МНТП 49
Приложение В Порядок расчета теплопотерь в неотапливаемых помещениях, контактирующих с основанием, с использованием методики МНТП 56
Приложение Г Примеры расчетов с использованием методики МНТП теплопотерь и приведенных сопротивлений теплопередаче различных конструкций зданий, контактирующих с основанием 61
Библиография 80

Введение

Настоящие методические рекомендации разработаны в развитие положений СП 50.13330 для реализации проектировщиками требований, заложенных в действующих нормативных правовых актах и документах по стандартизации, и содержат рекомендации по расчету теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче элементов зданий, контактирующих с его основанием.

Настоящие методические рекомендации разработаны для организаций, осуществляющих проектирование зданий, включая их тепловую защиту, а также могут быть использованы при подготовке специалистов в строительной отрасли.

В настоящих методических рекомендациях рассматриваются методики расчета приведенных сопротивлений теплопередаче и расчета теплопотерь для зданий, имеющих различные способы контакта с грунтовым основанием, и учитываются постоянные изменения температуры наружного воздуха и присутствие грунтовых вод под зданием.

В настоящих методических рекомендациях содержатся три методики, позволяющие проводить расчет теплопотерь в основания:

- упрощенная оценочная методика на основе использования табличных данных по приведенному сопротивлению теплопередаче отдельных зон контакта здания с основанием – метод однородных зон (МОЗ). Методика не учитывает сезонные изменения температуры;

- аналитическая методика, позволяющая проводить оценки средних теплопотерь за определенный период времени (по месяцам, за отопительный сезон и за год) – метод аналитического расчета (АМР);

- методика, основанная на использовании расчетов нестационарных температурных полей, – метод нестационарных температурных полей (МНТП).

В настоящих методических рекомендациях использованы данные (физико-математические и численные модели и результаты расчетов), полученные в лабораториях НИИСФ РААСН и других научно-исследовательских организаций Российской Федерации и зарубежных стран.

В приложениях к методическим рекомендациям приведены примеры расчетов теплопотерь в отапливаемых зданиях, а также в неотапливаемых помещениях, контактирующих с основанием.

Применение методических рекомендаций направлено на использование при проектировании тепловой защиты малоэтажных зданий, а также первых этажей и этажей, заглубленных в основание, для многоэтажных зданий с обеспечением требований их энергетической эффективности и безопасности. Настоящие методические рекомендации позволят повысить качество выполняемых проектных работ за счет поэтапного расчета теплопереноса в основании и смежных конструкциях. Получаемые данные позволят более точно сформулировать требования к системе отопления и спрогнозировать тепловлажностный режим конструкций на стадиях строительства и эксплуатации. Методические рекомендации также могут быть использованы при проведении исследовательских работ в области изучения процессов теплопереноса в строительных объектах.

Настоящие методические рекомендации разработаны авторским коллективом НИИСФ РААСН (руководитель работы – канд. физ.-мат. наук *А.Ю. Окунев*, исполнители – канд. физ.-мат. наук *Е.В. Левин*, *К.С. Шагинян*).

1 Область применения

1.1 Настоящие методические рекомендации распространяются на малоэтажные здания (с числом этажей до двух) и помещения первых и заглубленных в основание этажей многоэтажных зданий и содержат рекомендации по расчету теплопотерь в основаниях зданий. Рекомендации относятся к вновь возводимым, реконструируемым, модернизируемым или капитально ремонтируемым отапливаемым зданиям и сооружениям.

1.2 Настоящие методические рекомендации детализируют приложение Е СП 50.13330.2012 в части порядка расчета приведенного сопротивления теплопередаче фрагментов конструкции, контактирующих с основанием, а также пункт 5.7 СП 50.13330.2012 при проверке выполнения санитарно-гигиенического требования для внутренних поверхностей элементов ограждающих конструкций, контактирующих с грунтовым основанием.

2 Нормативные ссылки

В настоящих методических рекомендациях использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 30494–2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях

ГОСТ Р 54851–2011 Конструкции строительные ограждающие неоднородные. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче

ГОСТ Р 57188–2016 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения

ГОСТ Р 57356–2016 / EN ISO 6946:2007 Конструкции ограждающие строительные и их элементы. Метод расчета сопротивления теплопередаче и коэффициента теплопередачи

СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий» (с изменением № 1)

СП 131.13330.2018 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»

СанПиН 2.1.2.2645–10 Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях

СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений

Примечание – При пользовании настоящими методическими рекомендациями целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящих методических рекомендаций в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил можно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящих методических рекомендациях применены термины по ГОСТ Р 57188, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **грунтовое основание:** Массив грунта под зданием и вблизи него, через который осуществляется теплообмен с внутренним объемом здания.

3.2 **коэффициент теплопередачи:** Величина, обратная сопротивлению теплопередаче или приведенному сопротивлению теплопередаче элемента конструкции.

3.3 **мгновенные значения:** Значения теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче, определенные по текущим значениям тепловых потоков и перепаду температур между внутренним и наружным воздухом.

3.4 **нестационарное температурное поле:** Температурное поле, изменяющееся во времени.

3.5 **площадь основания под зданием:** Площадь пола подвала, цокольного этажа, плиты по грунту или подполья здания.

3.6 **приведенное сопротивление теплопередаче:** Сопротивление теплопередаче, усредненное по площади элемента ограждающих конструкций или площади грунтового основания.

3.7 **сопротивление теплопередаче:** Отношение средней разницы температуры между внутренним и наружным воздухом или между отапливаемыми и неотапливаемыми помещениями к величине средних трансмиссионных теплопотерь на единице площади ограждающих конструкций или площади основания под зданием.

3.8 **температурное поле:** Распределение температуры на поверхности или в объеме ограждающей конструкции или грунтового основания.

3.9 **термическое сопротивление:** Отношение разницы температуры на противоположных поверхностях конструкции к плотности потока теплоты через эту конструкцию.

3.10 **трансмиссионные теплопотери:** Потери теплоты из внутреннего объема здания за счет теплопроводности ограждающих конструкций и грунтового основания.

4 Общие положения

4.1 Теплопотери в здании осуществляются за счет трансмиссионной передачи тепла окружающему воздуху через оболочку, уноса тепла в вентиляционном воздухе и трансмиссионной передачи тепла грунтовому основанию через элементы, контактирующие с ним.

4.2 Уровень трансмиссионных теплопотерь, приходящихся на основания зданий, для малоэтажных зданий и сооружений и для первых и заглубленных этажей многоэтажных зданий в зависимости от условий может

составлять от нескольких до нескольких десятков процентов от общих трансмиссионных теплопотерь.

4.3 Теплопотери здания характеризуются суммой его удельной теплозащитной и удельной вентиляционной характеристик (СП 50.13330).

4.4 Удельная теплозащитная характеристика здания является нормируемой величиной и определяется в соответствии с пунктом 5.5 СП 50.13330.2012.

4.5 Удельная теплозащитная характеристика здания пропорциональна сумме отношений площадей фрагментов здания, через которые происходят теплопотери, к их приведенному сопротивлению теплопередаче и рассчитывается в соответствии с приложением Ж СП 50.13330.2012.

4.6 При эксплуатации зданий должно выполняться санитарно-гигиеническое требование в соответствии с пунктом 5.7 СП 50.13330.2012.

4.7 Фрагментами здания, по которым рассчитывается удельная теплозащитная характеристика и проверяется санитарно-гигиеническое требование, являются фрагменты теплозащитной оболочки (пункт 3.38 СП 50.13330.2012), а также фрагменты здания, имеющие контакт с грунтовым основанием, в частности, поверхности полов и стен, находящихся ниже уровня грунта.

4.8 Теплообмен между зданием и грунтовым основанием определяется теплообменом между поверхностью грунта вокруг здания и окружающим воздухом, накоплением и отдачей тепла в массиве грунта основания и в грунте вокруг него, а также теплообменом между грунтом и протекающими в его толще грунтовыми водами.

4.9 Теплоперенос в грунтовом основании здания имеет нестационарный характер, определяющийся сезонными изменениями температуры окружающего воздуха и сезонными изменениями влагонасыщенности грунта.

4.10 В силу большой тепловой инерции грунта, вовлеченного в теплообмен, суточные колебания температуры окружающего воздуха в пределах одних суток не оказывают заметного влияния на мгновенные значения теплопотерь.

4.11 В условиях постоянно протекающего нестационарного теплопереноса в грунтовых основаниях и его высокой тепловой инерции мгновенное значение приведенного сопротивления теплопередаче грунтовых оснований неприменимо для расчетов теплопотерь. Вместо мгновенных значений следует использовать средние значения за определенный период времени, например за год, за отопительный период, за наиболее холодный месяц и др.

4.12 Защита от теплопотерь в основания и выполнение санитарно-гигиенического требования по пункту 5.7 СП 50.13330.2012 для смежных с основанием помещений должны соответствовать требованиям, установленным в СанПиН 2.1.2.2645, СанПиН 2.2.4.548, ГОСТ 30494.

5 Исходные данные

5.1 Требуемые для проведения расчетов теплопотерь через основания исходные данные делятся на четыре группы: геометрические, теплофизические, температурные и геологические.

5.2 Исходные данные могут относиться либо к одной из трех используемых методик расчета, либо одновременно к нескольким методикам.

5.3 Геометрические исходные данные

К геометрическим исходным данным относятся данные, характеризующие контакт здания с основанием и размеры расчетной области при использовании методики МНТП. В таблице 5.1 приведены перечень требуемых для расчетов геометрических данных и их принадлежность к используемым методикам.

Таблица 5.1 – **Перечень геометрических исходных данных**

Наименование параметра	Принадлежность к методике		
	МОЗ	АМР	МНТП
Длина здания L, м	+	+*	+
Ширина здания B, м	+	+*	+
Площадь основания под зданием S, м^2	–	+**	+**
Длина периметра здания P, м	–	+**	+**
Высота заглубленной в грунт части здания (от пола до уровня грунта) z, м	+	+	+
Глубина расчетной области в грунте от верхнего уровня земли h, м	–	–	+
Ширина расчетной области l, м	–	–	+
Толщина цокольной части стены здания w, м	–	+	+
* Не задается если заданы S и P. ** Задается для зданий сложной формы в горизонтальном сечении.			

5.4 Теплофизические исходные данные

К теплофизическим исходным данным относятся теплофизические свойства грунтового основания, а также элементов здания, контактирующих с основанием. К ним относятся коэффициенты теплопроводности грунта, удельные теплоемкости грунта, термическое сопротивление элементов здания, контактирующих с грунтовым основанием, термическое сопротивление поверхности грунта вокруг здания и коэффициенты теплоотдачи в воздух. В таблице 5.2 приведены требуемые для расчетов теплофизических данные и их принадлежность к используемым методикам.

Таблица 5.2 – **Перечень теплофизических исходных данных**

Наименование параметра	Принадлежность к методике		
	МОЗ	АМР	МНТП
Коэффициент теплопроводности грунта или его слоев λ, Вт/(м·°С)	–	+	+*
Удельная теплоемкость грунта или его слоев c, Дж/(м^3·°С)	–	+	+*
Термические сопротивления внутренних элементов здания, контактирующих с основанием r, м^2·°С/Вт	+	+	+
Термическое сопротивление поверхности грунта вне здания r_i**, м^2·°С/Вт	–	+	+
Коэффициент теплоотдачи воздуху внутри здания α_{in}***, Вт/(м^2·°С)	–	+	+
Коэффициент теплоотдачи наружному воздуху α_{out}***, Вт/(м^2·°С)	–	+	+

* Используется несколько значений, если грунт имеет слоистую структуру с отличающимися теплофизическими свойствами.

** Задается, если здание имеет утепленную отмостку и (или) учитывается утепление иным искусственным или естественным образом.

*** Согласно таблицам 4 и 6 СП 50.13330.2012.

5.5 Температурные исходные данные

К температурным исходным данным относятся данные по температуре наружного и внутреннего воздуха (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – **Перечень температурных исходных данных**

Наименование параметра	Принадлежность к методике		
	МОЗ	АМР	МНТП
Температура воздуха отапливаемых помещений T_{in} [*], °С	+	+	+
Детализированная температура наружного воздуха T_{out} [**], °С	–	–	+
Среднесуточные значения температуры наружного воздуха $\overline{T}_{out}$ [***], °С	–	–	+
Средняя температура наружного воздуха для *i*-го месяца $\overline{\overline{T}}_{i,out}$ [*4], °С	–	+	–
Среднегодовая температура наружного воздуха $\tilde{T}_{out}$ [*5], °С	+	+	–
Амплитуда колебаний среднемесячных температур наружного воздуха за годовой период T''_{out}, °С	–	+	–
Температура наружного воздуха с обеспеченностью 0,94 $\tau_{хм}$ [*6], °С	+	+	+
Средняя за отопительный период температура наружного воздуха $\tau_{оп}$ [*7], °С	–	+	+

Наименование параметра	Принадлежность к методике		
	МОЗ	АМР	МНТП
* Согласно ГОСТ 30494 по максимальным значениям оптимальной температуры. ** Задается на период одного года с детализацией в пределах каждых суток. *** Задается на период одного года в виде среднесуточных значений по архивным метеорологическим данным. *4 Задается на период одного года по архивным метеорологическим данным. *5 Рассчитывается по среднемесячным значениям для каждого месяца по архивным метеорологическим данным. *6 Согласно СП 131.13330.2018, таблица 3.1. *7 Согласно СП 131.13330.2018, таблица 3.1, и СП 50.13330.2012, раздел 3.			

5.6 Геологические исходные данные

К геологическим исходным данным относятся глубина залегания поверхности грунтовых вод и интенсивность их потока. Принадлежность требуемым данных к методикам приведена в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – **Перечень данных по грунтовым водам**

Наименование параметра	Принадлежность к методике		
	МОЗ	АМР	МНТП
Глубина поверхности вод ниже верхнего уровня грунта z_w, м	–	+	+
Средняя плотность потока воды q_w, м^3/м^2/с	–	+	+

6 Методика расчета теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче в грунтовое основание методом однородных зон (МОЗ)

6.1 Данная методика основана на обобщении ряда аналитических исследований по теплопереносу в грунтах, выполненных в первой половине XX века [1], [2].

6.2 Методика может быть применена как оценочная, когда точные значения теплопотерь в грунтовые основания не требуются, например в условиях избыточных тепловыделений в помещениях, смежных с грунтовым основанием (подвальные и цокольные помещения, в которых размещено инженерно-техническое оборудование, при эксплуатации которого происходят тепловыделения).

6.3 Данная методика устанавливает:

- разбивку поверхности контакта здания с грунтовым основанием на зоны, принятые однородными по величине приведенного сопротивления теплопередаче;

- величину базового значения приведенного сопротивления теплопередаче для каждой из зон;

- корректировку базовых значений с учетом наличия утепляющих слоев;

- расчет полного значения приведенного сопротивления теплопередаче;

- оценочный расчет среднегодовых теплопотерь через грунтовое основание.

6.4 Разбивку поверхности контакта здания с грунтом проводят в соответствии с пунктом Е.7 СП 50.13330.2012 и [3, пункт 5.3]. Всю поверхность контакта делят на четыре последовательные зоны (I, II, III и IV) от краев здания. Зоны I, II, III имеют ширину по 2 м, а зона IV включает оставшуюся площадь. Зона I начинается от уровня земли для заглубленных в грунт помещений или от стен – для незаглубленных. Если глубина подвала не кратна 2 м, то соответствующая зона частично переходит со стены на пол подвала. Каждая из зон имеет площадь ($м^2$) S_I, S_{II}, S_{III}, S_{IV} соответственно.

6.5 В том случае, когда стены и пол не имеют утепления или коэффициент теплопроводности утепления $\lambda \geq 1{,}2$ Вт/(м·°С), приведенные сопротивления теплопередаче для каждой из зон, (м^2·°С)/Вт, имеют значения:

$$R_{\text{I}} = 2{,}1;\ R_{\text{II}} = 4{,}3;\ R_{\text{III}} = 8{,}6;\ R_{\text{IV}} = 14{,}2.$$

6.6 В том случае, когда утепления имеют коэффициент теплопроводности $\lambda < 1{,}2$ Вт/(м·°С), приведенные сопротивления теплопередаче должны быть дополнены термическими сопротивлениями утепления r (м^2·°С/Вт):

$$R_{0,i} = R_i + r, \tag{1}$$

где i – номер зоны (I, II, III, IV).

6.7 Термические сопротивления для однослойных или многослойных утеплений, включающих также и воздушные слои, рассчитывают согласно приложению Е СП 50.13330.2012 или по [3], [4] как

$$r = \sum_j r_j = \sum_j \frac{\delta_j}{\lambda_j}, \tag{2}$$

где δ_j – толщина j-го слоя, м;

λ_j –коэффициент теплопроводности данного слоя, Вт/(м·°С).

6.8 Для полов, установленных на лагах, при расчете общего сопротивления теплопередаче вводят повышающий коэффициент

$$\tilde{R}_{0,i} = 1{,}18 R_{0,i}. \tag{3}$$

6.9 На основе рассчитанных для каждой из зон приведенных сопротивлений теплопередаче согласно СП 50.13330.2012 (формула (Е.5)) вычисляется общее приведенное сопротивление теплопередаче в основание

$$R_0 = \frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i / R_{0,i}}. \tag{4}$$

6.10 Оценочную величину коэффициента теплопередачи от здания в основание, Вт/(м^2·°С), рассчитывают согласно СП 50.13330.2012 (формула (Е.3)):

$$U = \frac{1}{R_0} \tag{5}$$

6.11 Оценочную величину среднегодовой мощности теплопотерь из здания в основание, Вт, рассчитывают по формуле

$$\Phi = U\left(\widetilde{T}_{out} - T_{in}\right)\sum_i S_i \,. \tag{6}$$

6.12 Пример расчета теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче в грунтовое основание согласно МОЗ и условия, при которых данная методика может быть использована, приведены в приложении А.

7 Аналитическая методика расчета теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче в грунтовое основание (АМР)

7.1 Данная методика использует положения СП 50.13330, ГОСТ Р 54851, ГОСТ Р 57356, касающиеся расчетов приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций.

7.2 Методика может быть применена для случаев, когда грунт имеет простую структуру с постоянными коэффициентом теплопроводности и удельной теплоемкостью.

7.3 По точности расчетов методика является оценочной и используется, когда точные значения теплопотерь в грунтовые основания не требуются, а также не требуются их детализированные значения по элементам здания и по времени.

7.4 Данная методика устанавливает:

- расчет приведенных сопротивлений теплопередаче и коэффициентов теплопередачи для элементов отапливаемого здания, контактирующих с грунтом (полов по грунту для незаглубленных помещений, полов и стен для заглубленных помещений);

- расчет коэффициентов теплопередачи для отапливаемого подвала, неотапливаемого подвала и частично отапливаемого подвала;

- расчет средней мощности расхода тепла через грунт отдельно для каждого месяца, для холодного и теплого периодов, для года в среднем;

- учет в расчетах теплопроводных элементов узлов сопряжений «стена – перекрытие»;

- учет в расчетах теплоизолирующих элементов, установленных на стенах вблизи перекрытия или на краю перекрытия под ним;

- учет в расчетах влияния проточных грунтовых вод.

7.5 В расчетах используются параметрические величины, указанные в 7.5.1 и 7.5.2.

7.5.1 Расчетная ширина здания

Данную величину используют, для того чтобы учесть трехмерную природу теплопереноса в основании и сложную форму здания по его нижнему периметру. Определяют как площадь основания под зданием, отнесенную к половине периметра здания:

$$B' = \frac{A}{0{,}5P}, \tag{7}$$

где A – площадь основания под зданием, м^2;

P – периметр, м, задается по наружному периметру здания.

При задании A и P наружные неотапливаемые пристройки в их расчет не входят.

7.5.2 Эквивалентная толщина

Эквивалентная толщина представляет собой толщину слоя грунта, которая обеспечивает то же сопротивление теплопередаче, что и рассматриваемая конструкция здания вместе с грунтовым основанием. Эквивалентную толщину рассчитывают отдельно для пола по грунту и для стен, заглубленных в грунт (стены подвала). Расчеты проводят по формулам:

- для пола

$$d_t = w + \lambda\left(\frac{1}{\alpha_{in}} + r_f + \frac{1}{\alpha_{out}}\right), \tag{8}$$

где w – толщина стены, м;

λ – коэффициент теплопроводности грунта, Вт/(м·°С);

r_f – термическое сопротивление пола, (м^2·°С)/Вт;

α_{in} – коэффициент теплоотдачи внутреннему воздуху, Вт/(м^2·°С);

α_{out} – коэффициент теплоотдаче наружному воздуху, Вт/(м^2·°С);

- для стены

$$d_w = w + \lambda\left(\frac{1}{\alpha_{in}} + r_w + \frac{1}{\alpha_{out}}\right), \tag{9}$$

где r_w – термическое сопротивление стены.

Термические сопротивления r_f и r_w рассчитывают по формуле (2). Коэффициенты теплоотдачи задают в соответствии с таблицами 4 и 6 СП 50.13330.2012. Коэффициент теплоотдачи наружному воздуху α_{out} принимают для зимних условий.

7.6 Расчет приведенных сопротивлений теплопередаче и коэффициентов теплопередачи

7.6.1 Приведенное сопротивление теплопередаче для полов незаглубленных этажей отапливаемых зданий (плита по грунту) рассчитывают в зависимости от эквивалентной толщины:

- в случае $d_t < B'$ (нетеплоизолированный или умеренно теплоизолированный пол) сопротивление теплопередаче вычисляют по формуле

$$R_0 = \frac{\pi B' + d_t}{2\lambda}\left[\ln\left(\frac{\pi B'}{d_t}+1\right)\right]^{-1}, \qquad (10)$$

- в случае $d_t \geq B'$ (хорошо утепленный пол) сопротивление теплопередаче вычисляют по формуле

$$R_0 = \frac{0,457B' + d}{\lambda}. \qquad (11)$$

7.6.2 Коэффициент теплопередачи U_0 и эффективный коэффициент теплопередачи U' рассчитывают как величину, обратную приведенному сопротивлению теплопередаче:

$$U_0 = U' = 1/R_0. \qquad (12)$$

7.6.3 Приведенные сопротивления теплопередаче для заглубленного этажа (отапливаемые цокольный этаж или подвал) рассчитывают, как указано в 7.6.3.1 и 7.6.3.2.

7.6.3.1 Теплопередача через полы

Теплопередачу через полы рассчитывают по формулам:

- для слабо утепленных полов ($d_t + 0{,}5z < B'$)

$$R_f = \frac{\pi B' + d_t + 0{,}5z}{2\lambda}\left[\ln\left(\frac{\pi B'}{d_t + 0{,}5z} + 1\right)\right]^{-1}; \quad (13)$$

- для хорошо утепленных полов ($d_t + 0{,}5z \geq B'$)

$$R_f = \frac{0{,}457B' + d_t + 0{,}5z}{\lambda}. \quad (14)$$

Здесь z – глубина подвала от наружного уровня грунта, м.

7.6.3.2 Теплопередача через стены

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче проводят различными способами в зависимости от соотношения между величинами эквивалентной толщины d_t и d_w.

Если $d_w \geq d_t$, то

$$R_w = \frac{\pi z}{2\lambda}\left[\left(1 + \frac{0{,}5d_t}{d_t + z}\right)\ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right)\right]^{-1}. \quad (15)$$

Если $d_w < d_t$, то в формуле (15) d_t следует заменить на d_w.

7.6.4 Коэффициенты теплопередачи для заглубленного этажа рассчитывают по формулам:

- для пола

$$U_{pf} = \frac{1}{R_f}; \quad (16)$$

- для стен

$$U_{pw} = \frac{1}{R_w}. \quad (17)$$

7.6.5 Эффективный коэффициент теплопередачи заглубленного этажа, одновременно учитывающий пол и стены, соприкасающиеся с грунтом, рассчитывают по уравнению

$$U' = \frac{U_{pf} \cdot A + U_{pw} \cdot P \cdot z}{A + P \cdot z}. \quad (18)$$

7.6.6 Для неотапливаемых подвалов, вентилируемых наружным воздухом и отделенных от отапливаемого этажа полом, эффективный коэффициент теплопередачи вычисляют по формуле

$$\frac{1}{U'}=\frac{1}{U_f}+\frac{A}{A\cdot U_{pf}+zPU_{pw}+hPU_w+0,33V}, \qquad (19)$$

где U_{pf} и U_{pw} – коэффициенты теплопередачи пола и стен подвала, вычисляемые по формулам (16), (17);

U_w – коэффициент теплопередачи стены подвала, расположенной выше уровня наружного грунта и имеющей высоту h;

V – воздухообмен подвала с наружным воздухом, м^3/ч;

U_f – коэффициент теплопередачи пола (перекрытия) вышерасположенного отапливаемого помещения, вычисляемый по формуле

$$U_f=\frac{1}{1/\alpha_1+r_f+1/\alpha_2}, \qquad (20)$$

здесь α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи верхней и нижней поверхности пола;

r_f – термическое сопротивление пола.

Если величина воздухообмена V не известна, то ее определяют исходя из кратности воздухообмена, равной 0,3 ч$^{-1}$.

7.6.7 Для частично отапливаемого подвала проводят два расчета эффективного коэффициента теплопередачи – расчет, когда подвал полностью отапливаемый, и расчет, когда подвал полностью неотапливаемый. Полученные данные суммируют пропорционально площади стен и пола подвала, контактирующих с грунтом, для его отапливаемой и неотапливаемой частей.

7.6.8 На основе вычисленных эффективных коэффициентов теплопередачи U' по формуле (21) проводят расчет коэффициента стационарной теплопередачи в грунт, Вт/°С, для здания в целом:

$$H=AU'. \qquad (21)$$

7.7 Расчет мощности расхода тепла через грунт для определенных периодов

7.7.1 Расчету подлежат средние за период величины.

7.7.2 Средняя мощность расхода тепла через грунт может быть рассчитана для каждого месяца, для отопительного сезона и для всего года.

7.7.3 При расчете средней мощности расходов тепла используются следующие данные по температуре:

- температура внутреннего воздуха отапливаемых помещений принимается постоянной, равной максимальному значению оптимальной температуры для помещения данного типа в соответствии с ГОСТ 30494;

- температура наружного воздуха, °С, задается в виде средней годовой температуры $\tilde{\tilde{T}}_{out}$, среднемесячных температур в течение года $\bar{\bar{T}}_{i,out}$ и амплитуды колебаний среднемесячных температур в течение года T''_{out}.

7.7.4 Амплитуду колебаний среднемесячных температур вычисляют как полусумму минимального и максимального значений среднемесячной температуры в течение года.

7.7.5 Значения температуры для расчетов должны быть получены из архива метеорологических данных по региону для типичного года.

7.7.6 В случае неполноты архивных метеорологических данных соотношения между температурами задаются в виде закона косинуса:

$$\bar{T}_{m,out} = \tilde{T}_{out} - T''_{out} \cos\left(2\pi \frac{m-n}{12}\right), \qquad (22)$$

где m – номер текущего месяца;

n – номер месяца, в котором была минимальная наружная температура (может быть не целым числом).

7.7.7 Среднюю мощность расхода тепла, Вт, для каждого месяца вычисляют по формуле (23):

$$\Phi_m = H\left(T_{in} - \tilde{T}_{out}\right) + H_{pe}\tilde{T}_{out} \cos\left(2\pi \frac{m\text{-}n\text{-}\beta}{12}\right), \qquad (23)$$

где β – отставание изменений теплового потока от изменений наружной температуры (в единицах месяцев). Величина β достаточно точно может быть вычислена методом нестационарных температурных полей с использованием значений удельной теплоемкости грунта.

В формуле (23) величина H_{pe}, Вт/°С, представляет собой коэффициент, отвечающий за нестационарную теплопередачу от грунта наружному воздуху в годовом цикле. Произведение $H_{pe}\tilde{\tilde{T}}_{out}$ может быть оценено методом нестационарных температурных полей как средняя за год абсолютная величина отклонений расхода тепла относительно среднегодового, которое рассчитывают по формуле (26). При расчетах теплопотерь методом нестационарных температурных полей тепловые потери в грунтовые воды не учитывают.

7.7.8 Среднюю мощность расхода тепла за отопительный период, Вт, вычисляют по формуле

$$\bar{\Phi} = H\left(T_{in} - \tilde{T}_{out}\right) + \gamma H_{pe}\tilde{T}_{out}. \qquad (24)$$

В формуле (24) коэффициент

$$\gamma = \frac{12}{m\pi}\sin\left(\frac{m\pi}{12}\right) \qquad (25)$$

отвечает за продолжительность отопительного периода m, мес (величина m может быть не целым числом).

7.7.9 Среднюю мощность расхода тепла в грунт за год, Вт, вычисляют по формуле

$$\bar{\Phi} = H\left(T_{in} - \tilde{T}_{out}\right). \qquad (26)$$

7.7.10 При расчете теплопотерь в течение отопительного периода, теплого периода и наибольших значений вместо помесячного расчета по формулам (22)–(25) допускается разделить конструкции здания на две условные зоны, обладающие существенно различной инерционностью. Разделение определяется кратчайшим расстоянием по грунтовому основанию от края зоны до наружного воздуха, которое принимается равным 2 м. Более

близкие части конструкций принимаются малоинерционными, более дальние – высокоинерционными. Для обеих зон расчет теплопотерь в различные периоды проводится без учета задержки (H_{pe}=0), при этом для высокоинерционных частей теплопотери постоянны во времени и определяются среднегодовым перепадом температур между внутренним и наружным воздухом, в то время как для малоинерционных теплопотери за отопительный период соответствуют стационарным при наружной температуре, равной средней за отопительный период. Наибольшие теплопотери для малоинерционных конструкций определяются при температуре наружного воздуха, равной температуре воздуха с обеспеченностью 0,94 (температуре наиболее холодного месяца). Пример расчета с разделением конструкций на две зоны по инерционности приведен в приложении А.

7.8 Учет в расчетах теплопроводных и теплоизолирующих элементов в конструкциях, контактирующих с грунтом

7.8.1 В тех случаях, когда пол и стены имеют линейные и точечные теплопроводные неоднородности, контактирующие с грунтом, их приведенное сопротивление теплопередаче рассчитывается с учетом этих неоднородностей по приложению Е СП 50.13330.2012:

$$R^{pr} = \frac{1}{1/R_0 + \sum_i l_i \Psi_i + \sum_j n_j \xi_j}, \qquad (27)$$

где l_i – протяженность *i*-й неоднородности;

Ψ_i – удельные потери тепла через *i*-ю неоднородность, Вт/м/°С;

n_j – плотность точечных неоднородностей *j*-го типа, шт/м^2;

ξ_j – удельные потери тепла через точечную неоднородность *j*-го типа, Вт/°С.

7.8.2 Величина R_0 в уравнении (27) – приведенное сопротивление теплопередаче перекрытий и стен, вычисляемое по формулам (10), (11), (13)–

(15), или других элементов здания, которое рассчитано без учета наличия теплопроводных неоднородностей.

7.8.3 Согласно приложению Е СП 50.13330.2012 и [4] величины Ψ_i и ξ_j вычисляют с помощью расчета температурных полей.

7.8.4 Если перекрытие имеет утепление по краям периметра, то влияние этого утепления на приведенное сопротивление теплопередаче (10), (11) может быть учтено через формулу (27) введением дополнительного коэффициента Ψ_g, характеризующего дополнительный поток тепла через теплоизоляцию, как линейный элемент. В формуле (27) этот поток тепла имеет отрицательное значение по отношению ко всем остальным Ψ_i.

7.8.5 Для горизонтальной теплоизоляции перекрытия коэффициент Ψ_g рассчитывают по формуле

$$\Psi_e = -\frac{\lambda}{\pi}\left[\ln\left(\frac{D}{d_t}+1\right)-\ln\left(\frac{D}{d_t+d'}+1\right)\right], \qquad (28)$$

где D – ширина горизонтальной изоляции, м;

$$d' = r_e\lambda - d_e; \qquad (29)$$

r_e – термическое сопротивление изоляции, м^2·°С/Вт;

d_e – толщина изоляции, м;

d_t – то же, что и по формуле (8).

7.8.6 Для вертикальной изоляции коэффициент Ψ_g рассчитывают по формуле

$$\Psi_e = -\frac{\lambda}{\pi}\left[\ln\left(\frac{2D}{d_t}+1\right)-\ln\left(\frac{2D}{d_t+d'}+1\right)\right], \qquad (30)$$

где D – глубина вертикальной изоляции фундамента ниже уровня земли, м.

7.9 Учет влияния проточных грунтовых вод

7.9.1 По данной методике влияние грунтовых вод может быть учтено после расчета для коэффициента стационарной теплопередачи (21) путем умножения его на поправочный безразмерный коэффициент G_w.

7.9.2 Для нахождения G_w необходимо определить следующие геометрические величины, масштабируемые по величине размерной характеристике перекрытия B', определяемой по формуле (7):

- относительная глубина залегания грунтовых вод ниже контакта перекрытия с основанием $\nu_1 = z_w / B'$ (z_w – глубина залегания грунтовых вод, м);

- дистанция, на которой тепловой поток, передаваемый за счет теплопроводности, равен потоку за счет конвективного уноса в грунтовых водах $\nu_2 = \left(\frac{\lambda}{cq_w}\right) / B'$ (q_w – плотность потока грунтовых вод, м^3/м^2/с);

- относительная эквивалентная толщина грунта $\nu_3 = d_t / B'$. Величину d_t рассчитывают по формуле (8).

В таблице 7.1 приведены значения G_w в зависимости от параметров грунтовых вод ν_1, ν_2, ν_3.

Таблица 7.1 – **Значения** G_w

ν_1	ν_2	G_w		
		$\nu_3 = 0{,}1$	$\nu_3 = 0{,}5$	$\nu_3 = 1{,}0$
0,0	1,0	1,01	1,01	1,01
0,0	0,2	1,16	1,11	1,07
0,0	0,1	1,33	1,20	1,13
0,0	0,0	–	1,74	1,39
0,5	1,0	1,00	1,00	1,00
0,5	0,1	1,06	1,04	1,02
0,5	0,02	1,11	1,07	1,05
0,5	0,0	1,20	1,12	1,08
1,0	0,1	1,05	1,03	1,02
2,0	0,0	1,02	1,01	1,00

7.10 Примеры расчета теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче в грунтовое основание методом АМР и условия, при которых он может быть использован, приведены в приложении А.

8 Численный расчет теплопотерь и приведенного сопротивления теплопередаче методом нестационарных температурных полей (МНТП)

8.1 Данная методика основывается на том, что в расчетах тепловых потоков из здания в грунтовые основания и приведенных сопротивлений теплопередаче не используются приближенные аналитические решения, которые являются причиной существенных неточностей получаемых результатов и по сути делают их только оценочными и не в достаточной мере пригодными при проведении проектирования и разработке конкретных инженерных решений.

8.2 При расчетах используют принципы численного моделирования нестационарного теплопереноса в системе «здание – грунтовое основание», которое основывается на использовании физико-математических моделей достаточной полноты.

8.3 Поскольку теплоперенос в грунтовых основаниях является принципиально нестационарным процессом, то его численное моделирование относится к классу методов расчета температурных полей, которые в данном случае являются нестационарными. Использование метода температурных полей для расчета стационарных теплотехнических характеристик сложных узлов строительных конструкций в настоящее время устанавливается действующими нормативными документами (согласно разделу 5 и приложению Н СП 50.13330.2012 и [4, разделы 9, 15 и приложение М]).

8.4 Численный расчет по МНТП проводят для определения теплопотерь через грунтовое основание при проектировании тепловой защиты здания. Использование методик МОЗ и АМР целесообразно только для оценочных расчетов, в том числе для сравнения теплопотерь с

теплоизбытками (например, выделения теплоты инженерного оборудования расположенного в подвальной части зданий), и в других случаях, когда величины теплопотерь через основание здания не подлежат точному расчету.

8.5 Основными данными, получаемыми в результате численных расчетов, являются нестационарные температурные поля в толще грунта и нестационарные тепловые потоки в грунте и на границах его контакта с элементами здания. Мгновенные и стационарные значения приведенных сопротивлений теплопередаче, используемые в методиках МОЗ и АМР, в силу неполной определенности их понятий в нестационарных условиях расчету не подлежат. При численном моделировании справочно могут быть рассчитаны их средние значения за любой определенный период времени.

8.6 Данная методика устанавливает:

- основные требования, предъявляемые к численной реализации метода расчета нестационарного теплопереноса в системе «здание – грунтовое основание»;

- способы задания расчетной области;

- способы задания для расчетной области граничных и начальных условий;

- порядок детализированного расчета пространственно-временных температурных полей и тепловых потоков в грунтовом основании для отапливаемых и неотапливаемых помещений, контактирующих с грунтом;

- порядок детального расчета во времени температуры контактирующих с грунтом внутренних поверхностей здания для установления соответствия ее величины санитарно-гигиеническим требованиям (СП 50.13330, СанПиН 2.1.2.2645, СанПиН 2.2.4.548 и [4]). При расчетах температуры на внутренних поверхностях могут потребоваться расчеты с высокой степенью детализации по времени, достаточной для получения средних значений температуры за периоды до 1 ч. При детализации температуры на внутренних поверхностях программное

обеспечение должно позволять устанавливать местоположение температурных аномалий и их продолжительность.

8.7 Основные требования, предъявляемые к численной реализации метода проведения расчетов

8.7.1 Для расчетов нестационарного теплопереноса могут быть использованы методики в виде стандартных пакетов программ, удовлетворяющих нижеприведенным требованиям, или разработаны новые, основанные на использовании методов контрольного объема или конечно-разностных сеточных методов.

8.7.2 При выборе метода расчета предпочтение отдается методикам на основе использования конечно-разностных сеточных методов.

8.7.3 Используемые конечно-разностные сеточные методы должны обеспечивать высокое быстродействие. Для этого предпочтительно использовать явные высокоустойчивые схемы, позволяющие проводить расчеты глубиной в несколько лет или несколько десятков лет реального времени эксплуатации здания с не менее чем посуточной детализацией процессов теплопереноса. При этом обеспечиваются возможность расчета многих вариантов и постановка вычислительных экспериментов при исследованиях и при проектировании зданий и сооружений. Описание основных принципов построения достаточно эффективной явной схемы расчета приводится в [5]–[9].

8.7.4 Расчеты могут быть двухмерные или трехмерные. При двухмерных расчетах в качестве геометрической характеристики здания используется расчетная ширина здания B', определяемая по формуле (7).

8.7.5 При расчетах нестационарного теплопереноса в грунтах для зданий простой геометрии в горизонтальном сечении (прямоугольные, протяженные и т. п.), а также при отсутствии явно выраженных теплопроводных неоднородностей в плоскости контакта здания с основанием достаточно двухмерных расчетов.

8.7.6 Численная реализация метода должна позволять задавать на границах расчетной области граничные условия различных типов:

- граничные условия первого рода в виде постоянной или меняющейся по известному закону температуры;

- граничные условия второго рода в виде отсутствия на границе теплового потока;

- граничные условия третьего рода в виде заданного закона теплообмена на границе с наружной средой;

- граничные условия четвертого рода в виде непрерывности теплового потока на границе слоев с различными теплофизическими характеристиками.

8.8 Способы задания расчетной области

8.8.1 Расчетная область задается по грунту и включает основание под зданием и грунт вне здания. Выше поверхности основания и поверхности грунта вне здания расчетную область не задают.

8.8.2 При двухмерном расчете глубина расчетной области составляет не менее

$$h > B'/2 + z, \tag{31}$$

где B' – расчетная ширина здания, определяемая по формуле (7);

z – высота заглубленной в грунт части здания (от пола до уровня наружного грунта), м.

8.8.3 При трехмерном расчете глубина расчетной области составляет, м, не менее

$$h > B/2 + z, \tag{32}$$

где B – ширина здания, м.

8.8.4 Если под зданием протекают грунтовые воды, то глубину расчетной области задают по формуле

$$h = z_w, \tag{33}$$

где z_w – глубина поверхности вод относительно поверхности грунта вне здания, м. Если величина $z_w > B'$, то глубину расчетной области задают по формулам (31), (32).

8.8.5 При двухмерном расчете принимают, что здание симметрично в вертикальной плоскости. При этом расчетную область отсчитывают от плоскости симметрии и ее ширина должна быть не менее

$$l > B'. \tag{34}$$

8.8.6 При трехмерных расчетах ширину расчетной области задают в двух направлениях. При этом, если здание симметрично (простая геометрия и отсутствие значительных теплопроводных неоднородностей, то ширину расчетной области задают от плоскостей симметрии по формуле

$$l_1 > B \tag{35}$$

по ширине (B – ширина здания, м) и

$$l_2 > L/2 + B/2 \tag{36}$$

по длине. Здесь L – длина здания, м.

Если плоскости симметрии отсутствуют, то расчетная область покрывает все здание и грунт вокруг него. Размеры расчетной области в данном случае задают удвоенными ($l_1 > 2B, l_2 > L + B$).

8.8.7 При наличии утепленной отмостки или иного утепления грунта вблизи здания, отличного по термическому сопротивлению от удаленных от здания участков грунта, в формулах (34)–(36) размеры расчетной области увеличивают на ширину отмостки (утепления).

8.8.8 В формулах (31), (32), (34)–(36) используемые величины глубины и ширины расчетной области определяют путем подбора при проведении предварительных сравнительных расчетов.

8.9 Способы задания граничных условий для расчетной области

8.9.1 Граница контакта верхней поверхности грунта с воздухом

В качестве граничного условия используют условие третьего рода для конвективного теплообмена

$$-\lambda\frac{\partial T^*}{\partial n}=\frac{\alpha_{out}\left(T(\tau)_{out}-T^*\right)}{\alpha_{out}r_a+1}, \qquad (37)$$

где α_{out} – коэффициент теплоотдачи наружному воздуху, Вт/(м$^2\cdot$°С);

r_a – термическое сопротивление теплоизолирующего слоя поверх грунта, (м$^2\cdot$°С)/Вт;

$T(\tau)_{out}$ – температура наружного воздуха (°С) в зависимости от времени τ;

T^* – температура поверхности грунта, являющаяся расчетной величиной и также зависящая от времени. Утепляющим слоем поверх грунта могут быть снежный покров, травяной покров, утеплитель отмостки вокруг здания и пр.

8.9.2 Температуру $T(\tau)_{out}$ задают для годового цикла эксплуатации здания по статистическим метеорологическим данным для рассматриваемого региона. Как правило, статистические метеорологические данные содержат информацию по температурно-влажностному состоянию воздуха с трехчасовым интервалом. Более детальные требуемые данные могут быть получены с помощью численной интерполяции.

8.9.3 В тех случаях, когда детальные расчеты температуры контактирующих с грунтом внутренних поверхностей здания не проводят, для расчетов могут быть использованы среднесуточные данные по $T(\tau)_{out}$ для годового цикла. По среднесуточным значениям осуществляют непрерывную интерполяцию данных, позволяющую проводить расчеты с детализацией до требуемого значения шага по времени.

8.9.4 При отсутствии теплоизолирующих слоев по грунту граничное условие (37) преобразуется к виду

$$-\lambda\frac{\partial T^*}{\partial n}=\alpha_{out}\left(T(\tau)_{out}-T^*\right). \qquad (38)$$

8.9.5 Границы контакта грунта с элементами здания (стены и полы) для отапливаемых помещений

В качестве граничного условия используют формулы (37) или (38), в которых температуру наружного воздуха заменяют на температуру

помещений T_{in}, коэффициент теплоотдачи наружному воздуху заменяют на коэффициент теплоотдачи для внутреннего воздуха α_{in} и используют термические сопротивления внутренних утепляющих покрытий r_{in}:

$$-\lambda\frac{\partial T^*}{\partial n}=\frac{\alpha_{in}\left(T_{in}-T^*\right)}{\alpha_{in}r_{in}+1}, \tag{39}$$

$$-\lambda\frac{\partial T^*}{\partial n}=\alpha_{in}\left(T_{in}-T^*\right). \tag{40}$$

8.9.6 При проектировании тепловой защиты зданий для отапливаемых помещений температуру внутреннего воздуха T_{in} принимают постоянной в течение всего года, а ее значение задают согласно ГОСТ 30494 по максимальным значениям оптимальной расчетной температуры для помещений данного типа.

8.9.7 Используемые коэффициенты теплоотдачи в наружный и внутренний воздух α_{out} и α_{in} задают согласно разделу 5 СП 50.13330.2012.

8.9.8 Для вентилируемых подпольев и неотапливаемых подвалов граничные условия на расчетной области идентичны условиям (39), (40), за исключением того, что температура внутреннего воздуха изменяется во времени:

$$-\lambda\frac{\partial T^*}{\partial n}=\frac{\alpha_{in}\left(T(\tau)_{in}-T^*\right)}{\alpha_{in}r_{in}+1}, \tag{41}$$

$$-\lambda\frac{\partial T^*}{\partial n}=\alpha_{in}\left(T(\tau)_{in}-T^*\right), \tag{42}$$

и должна также подлежать расчету. Способ ее вычисления при использовании явных конечно-разностных схем расчета нестационарного теплопереноса в грунтовых основаниях содержится в [5] и приведен в приложении В.

8.9.9 Нижняя граница расчетной области

В качестве граничного условия может быть использовано одно из трех условий:

- граничное условие первого рода в виде постоянной температуры

$$T = \text{const}; \tag{43}$$

- граничное условие второго рода в виде отсутствия теплового потока

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = 0; \tag{44}$$

- граничное условие третьего рода для теплообмена с водоносным слоем

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = \frac{\left(\bar{T}_w - T\right)}{r_w}. \tag{45}$$

8.9.10 Граничные условия (43), (44) относятся к случаям, когда грунтовые воды не входят в расчетную область. Использование этих граничных условий дает идентичные качественные результаты расчетов. Количественные результаты практически совпадают, когда расчетная область имеет достаточно большую глубину под перекрытием и температура в толще грунта является практически постоянной и равной среднегодовой температуре наружного воздуха.

8.9.11 Граничное условие (45) используют для случаев, когда под зданием расположены грунтовые воды малой и средней глубин залегания. Под средней глубиной залегания имеется в виду глубина z_w от верхней границы основания под зданием, равная ширине здания B. При такой глубине влияние грунтовых вод на теплопотери из здания, независимо от их интенсивности, практически прекращается ([9]–[11]).

8.9.12 Грунтовые воды с глубиной залегания более средней в расчетах нестационарного теплопереноса не учитывают.

8.9.13 В формуле (45) величина r_w является средним термическим сопротивлением, м^2·°С/Вт, водоносного слоя, а $\bar{T}_w$ – средняя по водоносному слою температура, °С. Для грунтовых вод среднего залегания она постоянна и принимается равной среднегодовой температуре наружного воздуха.

8.9.14 Для грунтовых вод более мелкого залегания температура $\bar{T}_w$ может зависеть от глубины и от времени года. В граничном условии (45) необходимо использовать ее среднемесячные значения, которые определяют согласно приложению Б.

8.9.15 Термическое сопротивление водоносного слоя рассчитывают в соответствии с [4], [5] по формуле

$$r_{gw} = \frac{2}{3\lambda_w}\sqrt{\frac{2c_w}{q_w}L_0}\,, \qquad (46)$$

где λ_w – коэффициент теплопроводности влагонасыщенного грунта, Вт/(м·°С);

c_w – удельная теплоемкость воды, Дж/(м^3·°С);

L_0 – длина пути, проходимого грунтовыми водами в расчетной области, м.

При наличии грунтовых вод теплоперенос в грунте в любом случае является несимметричным, даже если само здание обладает осями или плоскостями симметрии, и расчетная область включает в себя грунт под зданием и вокруг него.

8.9.16 Боковые границы расчетной области

По мере удаления от здания теплота, поступающая из него в грунт, постепенно уносится в наружный воздух и грунтовые воды. Поэтому для боковых границ необходимо использовать граничное условие (44) отсутствия теплового потока в нормальном к границам направлении.

8.9.17 Граничные условия на осях и плоскостях симметрии

Если под зданием отсутствуют грунтовые воды, а его конструкция является симметричной в геометрическом и теплотехническом отношении (отсутствуют явно выраженные теплопроводные аномалии по плоскости полов и стен), то необходимо выделить ось симметрии для двухмерной методики расчета и две плоскости симметрии для трехмерной. В результате в двухмерном случае расчету подлежит только половина здания, а в

трехмерном – только его четверть. На оси или плоскостях симметрии необходимо использовать граничное условие (44).

8.10 Порядок задания начального условия для расчетной области

8.10.1 Для сокращения времени расчетов необходимо задать начальное распределение температуры на расчетной области, максимально близкое к реальному распределению.

8.10.2 Начальное распределение температуры определяют с помощью решения одномерной задачи нестационарного теплопереноса от поверхности вглубь открытого грунта того же состава, что и грунтовое основание.

8.10.3 Порядок расчетов начального условия представлен в приложении Б.

8.11 Общий порядок расчета нестационарного теплообмена между зданием и грунтовым основанием

8.11.1 Данный порядок включает в себя набор общих мероприятий, необходимых для проведения расчетов.

8.11.2 Перед началом расчетов необходимо определить, каким методом будут проводиться расчеты: двухмерным или трехмерным. При выборе метода следует обращать внимание на то, что трехмерные расчеты требуют примерно на два порядка больше процессорного времени персональных компьютеров по сравнению с двухмерными. Основными критериями выбора трехмерного расчета являются сложность геометрии здания по площади его контакта с основанием, а также ярко выраженные чередующиеся нерегулярные теплопроводные неоднородности в элементах здания, контактирующих с грунтом, и неоднородности в теплопроводности и теплоемкости самого грунта (например, частичное залегание скальных пород и пр.).

8.11.3 Расчетную область задают в соответствии с 8.8. Как правило, расчетную область задают в виде прямоугольной области при проведении двухмерных расчетов и в виде прямоугольного параллелепипеда для

трехмерных расчетов. При использовании методов контрольных объемов граница расчетной области может иметь произвольную форму.

8.11.4 Первоначально глубина расчетной области может быть выбрана, как минимальная величина, вычисляемая по формулам (31), (32) в 8.8. В случае наличия грунтовых вод глубину задают по формуле (33). Ширину задают в соответствии с неравенствами (34)–(36), причем ее начальное значение должно на 50 % превышать глубину расчетной области. Выбранные величины используют в качестве первичного расчета. Сам порядок проведения расчетов будет описан далее. Целевыми параметрами расчетов могут быть выбраны средние плотности тепловых потоков между зданием и основанием за какой-либо период времени (например, за отопительный период). Далее проводят постепенное увеличение размеров расчетной области, как по глубине, так и по ширине и сравнение результатов расчетов. Совпадение результатов в пределах 1 % – 3 % свидетельствует об окончании задания расчетной области.

8.11.5 Для проведения вычислений вся расчетная область должна быть покрыта двухмерной или трехмерной сеткой, на которой проводится аппроксимация дифференциальных уравнений теплопереноса и задание начальных и граничных условий. Характерный размер сетки Δx должен удовлетворять условию

$$\Delta x << h, \tag{47}$$

где h – наименьший размер расчетной области, м. При этом величина шага по времени Δt, ч, при использовании явных высокоустойчивых методов [5] должна удовлетворять условию

$$\Delta t \le \frac{\Delta x^2 c}{3600\lambda}, \tag{48}$$

где c – теплоемкость грунта, Дж/(м^3·°С);

λ – коэффициент его теплопроводности, Вт/(м·°С).

Конкретный размер сетки (47) следует выбирать таким образом, чтобы несколько ее ячеек легли по толщине стены здания w.

8.11.6 Для расчетов в соответствии с 8.10 необходимо задать начальное условие по температуре в толще грунта, а также исходные данные в соответствии с таблицами 5.1 – 5.4.

8.11.7 Каждый из вариантов расчета теплопереноса проводят для периода времени минимум несколько лет. Для каждого года используют одинаковые данные по температуре наружного воздуха, получаемые в соответствии с 8.9.2. Детализация температурных данных должна соответствовать выбранной величине шага по времени (48).

В качестве критерия остановки расчетов возможно использовать сравнение среднегодовых тепловых потоков. Необходимо проводить погодовое сравнение нескольких тепловых потоков: через поверхность земли вокруг здания, через пол и стены, контактирующие с грунтом, и тепла, отдаваемого в грунтовые воды. Балансовая сумма среднегодовых тепловых потоков не должна превышать заранее заданное малое значение.

8.11.8 В процессе расчетов выходными данными являются нестационарные температурные поля в толще грунта и на поверхности элементов здания, контактирующих с грунтом, которые должны быть переработаны в данные по тепловым потокам.

8.11.9 Приведенная численная методика предназначена для расчета теплообмена с грунтовым основанием для отапливаемых зданий. Но она также без существенных изменений может быть использована и для неотапливаемых помещений, контактирующих с основанием. Принципиально вопрос решают таким образом: в применяемых в численной методике граничных условиях для внутренних поверхностей (39), (40) температуру внутреннего воздуха T_{in} не задают постоянной, а вычисляют на основе теплового баланса неотапливаемого помещения с наружной атмосферой и вышерасположенным отапливаемым помещением. Корректировку температуры проводят на каждом шаге по времени. Основные положения порядка такого метода расчета приведены в приложении В.

8.11.10 Примеры расчета тепловых потоков между отапливаемым зданием и грунтовым основанием методом МНТП приведены в приложениях А и Г.

Приложение А

Примеры расчета теплопотерь для отапливаемого подвала здания с использованием трех методик

А.1 Примеры расчета с использованием рассматриваемых методик относятся к зданию с заглубленным в грунт подвальным этажом. Подвальный этаж является отапливаемым и в нем кроме отопительных систем размещено инженерное оборудование, выделяющее тепло. Инженерное оборудование обладает теплоизбытками мощностью 3 кВт.

Здание имеет прямоугольную форму с размерами 30 × 12 м по внешнему периметру. Подвальный этаж заглублен в грунт на высоту относительно поверхности грунта z = 2 м. Утепление на полу и стенах подвала отсутствует. Также отсутствует утепление отмостки и грунта вокруг здания.

Под зданием протекает поток грунтовых вод, глубина поверхности которых относительно верхнего уровня грунта вокруг здания составляет $z_w \approx 14$ м. Средняя плотность потока грунтовых вод составляет $q_w \approx 10^{-6}$ м^3/м^2/с.

Грунт основания является однородным по теплотехническим свойствам и имеет коэффициент теплопроводности λ = 1,5 Вт/м/ºС и удельную теплоемкость c = 2 МДж/м^3/ºС.

В подвале здания размещено инженерное оборудование с избыточной среднегодовой тепловой мощностью, оцененной при проектировании тепловой защиты здания без учета теплопотерь в грунт, как

$$\bar{\Phi} = 3 \text{ кВт}. \qquad \text{(А.1)}$$

Расчетную температуру внутреннего воздуха принимают равной T_{in} = +20 ºС, среднегодовую температуру наружного воздуха $\widetilde{T}_{out}$ = +5,4 ºС, среднюю температуру наружного воздуха в отопительный период $\tau_{оп}$ = –2,2 ºС, температуру воздуха с обеспеченностью 0,94 $\tau_{хм}$ = –13 ºС.

Продолжительность отопительного периода (количество суток со средней наружной температурой ниже плюс 8 °С) – 205.

Климатические данные соответствуют данным по г. Москва согласно таблицам 3.1 и 5.1 СП 131.13330.2018.

А.2 Оценка теплового баланса по методу однородных зон (МОЗ)

Разбивка поверхности контакта пола и стен подвала здания по зонам, выполненная в соответствии с 6.4, приведена на рисунке А.1.

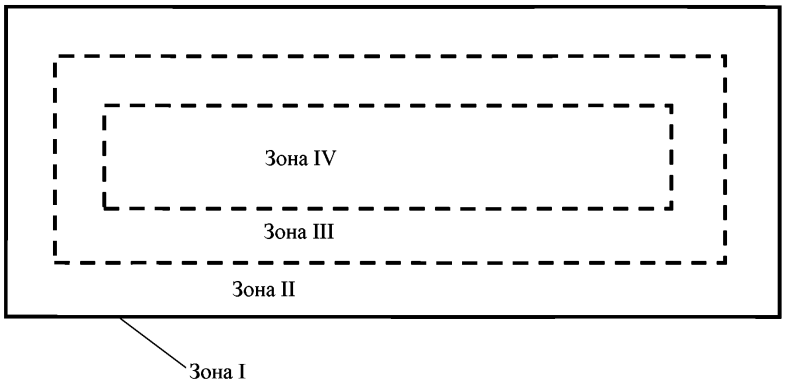


***Рисунок А.1* – Разбивка пола и стен подвала по зонам**

Площади и приведенные сопротивления теплопередаче каждой зоны в соответствии с 6.4 и 6.5 составляют:

- площадь зоны I S_{I} = 168 м^2 (стены подвала), R_{I} = 2,1 °С·м^2/Вт;
- площадь зоны II S_{II} = 152 м^2 (пол подвала), R_{II} = 4,3 °С·м^2/Вт;
- площадь зоны III S_{III} = 120 м^2 (пол подвала), R_{III} = 8,6 °С·м^2/Вт;
- площадь зоны IV S_{IV} = 88 м^2 (пол подвала), R_{IV} = 14,2 °С·м^2/Вт.

Суммарная площадь зон $\sum_i S_i$ =528 м^2.

Общее приведенное сопротивление теплопередаче, определяемое по формуле (4), составляет

$$R_0 = \frac{\sum_i S_i}{\sum_i S_i / R_{0,i}} = \frac{168+152+120+88}{\frac{168}{2,1}+\frac{152}{4,3}+\frac{120}{8,6}+\frac{88}{14,2}} = 3,90\left(\frac{\text{м}^2\,^\circ\text{C}}{\text{Вт}}\right). \quad \text{(А.2)}$$

Среднегодовая мощность теплопотерь в грунт, определяемая по формуле (6), составляют:

$$\Phi = \frac{\left(\tilde{T}_{out} - T_{in}\right)}{R_0}\sum_i S_i = \frac{20-5,4}{3,90}\cdot 528 \text{ Вт} = 1,98 \text{ кВт}. \quad \text{(А.3)}$$

Средняя мощность теплопотерь в наиболее холодный месяц с обеспеченностью 0,94 составляет

$$\Phi = \frac{\left(\tilde{T}_{out} - \tau_{\text{хм}}\right)}{R_0}\sum_i S_i = \frac{20+13}{3,90}\cdot 528 \text{ Вт} = 4,47 \text{ кВт}. \quad \text{(А.4)}$$

При сравнении (А.1) и (А.4) видно, что теплоизбытки не превосходят теплопотери, оцененные по методу зон, и для определения теплопотерь в грунтовое основание соответственно необходимо применять более точные методики. В том случае, если бы теплоизбытки оказались более проведенной выше оценки теплопотерь, на этом расчеты можно было бы не проводить, т. к. теплоизбытки могут скомпенсировать теплопотери в грунтовое основание.

А.3 Оценка теплового баланса по аналитической методике расчета (АМР)

При расчетах использованы следующие значения требуемых дополнительных параметров:

- коэффициент теплопроводности грунта $\lambda = 1,5\frac{\text{Вт}}{(^\circ\text{C}\cdot\text{м})}$;

- толщина цоколя здания w = 0,3 м.

Коэффициент теплопроводности материала стен подвала принят равным коэффициенту теплопроводности грунта. Теплопроводность цоколя в расчетах не учитывают.

Расчетная ширина здания, определяемая по формуле (7), имеет значение

$$B' = \frac{2S}{P} = \frac{2 \cdot 360}{84} = 8{,}6 \text{ м}, \qquad \text{(А.5)}$$

а полуширина соответственно $B'_{1/2} = 4{,}3$ м.

Расчетная схема с указанием размеров представлена на рисунке А.2.

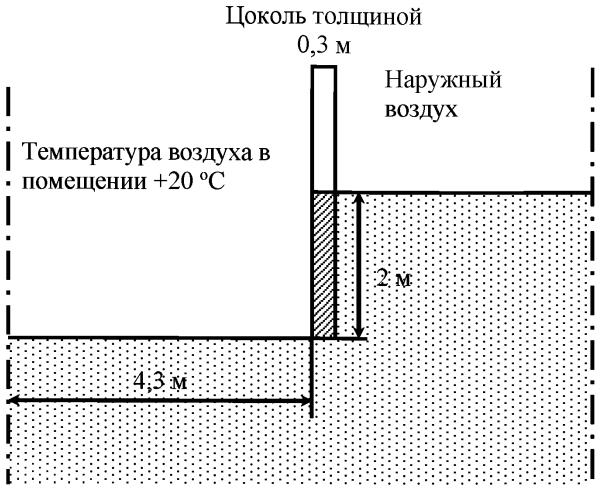


***Рисунок А.2* – Расчетная схема для аналитической методики**

Коэффициент теплоотдачи пола и стен подвала принимают согласно таблице 4 СП 50.13330.2012 равным $8{,}7 \frac{\text{Вт}}{\left(\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C}\right)}$, коэффициент теплоотдачи наружному воздуху – согласно таблице 6 СП 50.13330.2012 равным $23 \frac{\text{Вт}}{\left(\text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C}\right)}$.

Результаты расчетов эквивалентных толщин (8), (9):

$$d_w = d_t = w + \lambda\left(\frac{1}{\alpha_{in}} + r_f + \frac{1}{\alpha_{out}} + r_o\right) = \left(0{,}3 + 1{,}5 \cdot \left(\frac{1}{8{,}7} + 0 + \frac{1}{23} + 0\right)\right) \text{м} = 0{,}54 \text{ м}. \qquad \text{(А.6)}$$

В соответствии с формулой (13) подвал является слабоутепленным ($d_t + 0{,}5z = 1{,}54$ м $< B' = 8{,}6$ м), следовательно, сопротивление теплопередаче пола подвала, определяемое по формуле

$$R_f = \frac{\pi B' + d_t + 0{,}5z}{2\lambda}\left[\ln\left(\frac{\pi B'}{d_t + 0{,}5z} + 1\right)\right]^{-1}, \qquad \text{(A.7)}$$

составляет

$$R_f = 3{,}26 \ \frac{\text{м}^2 \cdot °\text{C}}{\text{Вт}}. \qquad \text{(A.8)}$$

Для стены подвала при этом

$$R_w = \frac{\pi z}{2\lambda}\left[\left(1 + \frac{0{,}5d_t}{d_t + z}\right)\ln\left(\frac{z}{d_w} + 1\right)\right]^{-1} = 1{,}32 \ \frac{\text{м}^2 \cdot °\text{C}}{\text{Вт}} \qquad \text{(A.9)}$$

Для сравнения по рассмотренному ранее менее точному методу МОЗ значения сопротивлений теплопередаче составляют:

- стены подвала (в настоящем расчете зона I целиком) – $R_w = 2{,}1 \ \frac{\text{м}^2 \cdot °\text{C}}{\text{Вт}}$;

- пол подвала (в настоящем расчете зоны II, III, IV) – $R_f = 6{,}48 \ \frac{\text{м}^2 \cdot °\text{C}}{\text{Вт}}$.

Теплопотери через пол подвала, заглубленного на 2 м и ниже, меняются во времени слабо и, как и в формуле (А.3), могут быть оценены по среднегодовому перепаду температур:

$$\Phi_f = \frac{(20 - 5{,}4) \cdot 360}{3{,}26}\text{Вт} = 1{,}61 \text{ кВт}. \qquad \text{(A.10)}$$

Предельные теплопотери через стены подвала более корректно оценивать по наиболее холодному месяцу:

$$\Phi_w = \frac{(20 - (-13)) \cdot 168}{1{,}32}\text{Вт} = 4{,}20 \text{ кВт}. \qquad \text{(A.11)}$$

В формулах (А.10) и (А.12) значения 360 и 168 соответствуют площадям пола и стен подвала соответственно.

Итоговая суммарная мощность максимальных теплопотерь составляет

$$\Phi_{max} = 5{,}81 \text{ кВт}, \qquad \text{(A.12)}$$

что выше оцененного по методу МОЗ (см. формулу (А.4)) и также превышает среднюю мощность теплоизбытков (см. формулу (А.1)).

Использование аналитической методики расчета АМР позволяет провести детализированный тепловой баланс теплопотерь в грунт. В качестве варианта может быть использован расчет баланса, который приводится ниже.

Для определения средних теплопотерь через основание в течение отопительного периода используют близкие к поверхности земли и к наружному воздуху части конструкции (ближе 2 м от наружного воздуха по массиву грунта) и наружные температурные условия, соответствующие средней наружной температуре отопительного периода (минус 2,2 °С для г. Москвы). Для более удаленных элементов используют среднегодовую температуру (плюс 5,4 °С для г. Москвы).

В этом случае средние теплопотери составят: для пола – $\Phi_f = 1{,}61$ кВт и для стены подвала – $\Phi_w = \frac{(20+2{,}2)\times 168}{1{,}32}$ Вт $= 2{,}83$ кВт. Итоговые потери за отопительный период составят 2,83·24·205 кВт·ч = 13901 кВт·ч для стен подвала и 1,61·24·205 кВт·ч = 7921 кВт·ч для пола подвала. Эффективное сопротивление теплопередаче в расчете на отопительный период: для стен подвала соответствует мгновенному значению – $R_{w\text{от}} = 1{,}32 \frac{\text{м}^2 \cdot °\text{C}}{\text{Вт}}$. Для пола подвала (конструкций, удаленных более чем на 2 м по массиву грунта от наружных условий) оно увеличивается относительно формулы (А.7) пропорционально отношению разнице температур между внутренним воздухом и наружным для отопительного периода и среднегодовых условий:

$$R_{f\text{от}} = \frac{20+2{,}2}{20-5{,}4} 3{,}26 = 4{,}96 \left(\frac{\text{м}^2 \cdot °\text{C}}{\text{Вт}} \right). \qquad \text{(А.13)}$$

В течение теплого периода также имеют место теплопотери в грунт основания здания. Тепловой поток для дальних элементов конструкции изменяется слабо, в то время как для ближних он может быть оценен по разнице температур между внутренним и наружным воздухом теплого периода (4,9 °С, продолжительность 160 сут). В итоге за теплый период теплопотери через пол составят 6182 кВт·ч, через стены подвала –

2395 кВт·ч. Среднее мгновенное значение теплопотерь за теплый период – 2,23 кВт, что перекрывается теплоизбытками – 3 кВт (см. формулу (А.1)).

За год суммарные теплопотери через пол подвала составляют: 7921 + 6182 = 14103 (кВт·ч) или удельные теплопотери 44,1 кВт·ч/м^2. Суммарные теплопотери через стену подвала составят 13901 + 2395 = 16296 (кВт·ч) или удельные теплопотери – 97,0 кВт·ч/м^2, суммарные годовые теплопотери – 30399 кВт·ч. Рассчитанные за год значения приведенного сопротивления теплопередаче пола и стены подвала совпадают с мгновенными: $R_{f\text{год}} = 3,26 \frac{\text{м}^2 \cdot °\text{C}}{\text{Вт}}$, $R_{и\text{год}} = 1,31 \frac{\text{м}^2 \cdot °\text{C}}{\text{Вт}}$.

А.4 Расчет теплопотерь через основание и проверка выполнения санитарно-гигиенического требования с использованием методики нестационарных температурных полей (МНТП)

Для расчета подвала принята расчетная схема, приведенная на рисунке А.3.

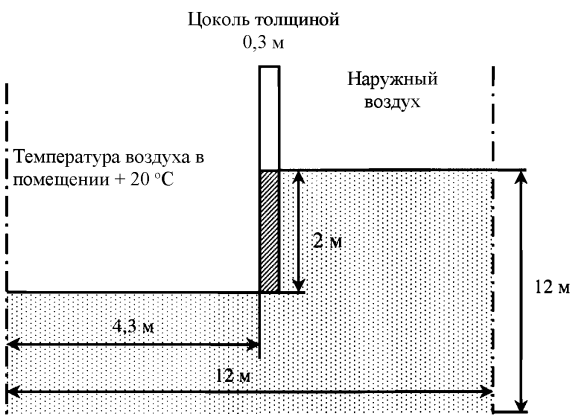


Рисунок А.3 – **Расчетная схема для метода нестационарных температурных полей**

Расчеты проводят с использованием двухмерной численной методики [5], в которой расчетную ширину здания вычисляют по формуле (А.5).

Уровень залегания грунтовых вод больше суммы ширины и глубины подвала, в этом случае глубина расчетной зоны может быть уменьшена до значения, не меньшего суммы расчетной ширины здания (по формуле (А.5)) и глубины подвала. Глубина расчетной области принята равной 12 м. В соответствии с 8.8.4, 8.9.11 и 8.9.12 на нижней границе расчетной области используют граничное условие второго рода (44). Ширину расчетной области принимают не менее глубины и не менее удвоенной суммы ширины здания, толщины цоколя и ширины утепленной отмостки. В данном случае ширина расчетной области также составляет 12 м.

Температуру наружного воздуха для расчета теплопотерь определяют плавно изменяющимися между среднемесячными значениями для региона расчета (рисунок А.4). По прошествии первого расчетного года принимают те же значения температуры для второго и так далее, в результате проводят расчет с циклически меняющейся наружной температурой. Использованная зависимость соответствует продолжительности периода 205,5 сут со среднесуточной температурой ниже плюс 8 °С, средняя температура этого периода – минус 1,9 °С, среднегодовая температура – плюс 5,5 °С, средняя температура теплого периода – плюс 15,0 °С, что близко к принимаемым в других методиках значениям.

Расчет проведен во времени на 17 лет. После этого периода расчетная система вышла на периодически повторяющийся из года в год колебательный процесс. Критерием окончания расчета является малое годовое изменение разницы теплопоступлений и теплоотвода из грунта основания.

Графически значения температур в основании по месяцам в установившемся процессе представлены на рисунке А.5. Данные на рисунке содержат цветовые шкалы температуры, где каждый цвет соответствует определенному значению температуры в соответствии с цветовой шкалой.

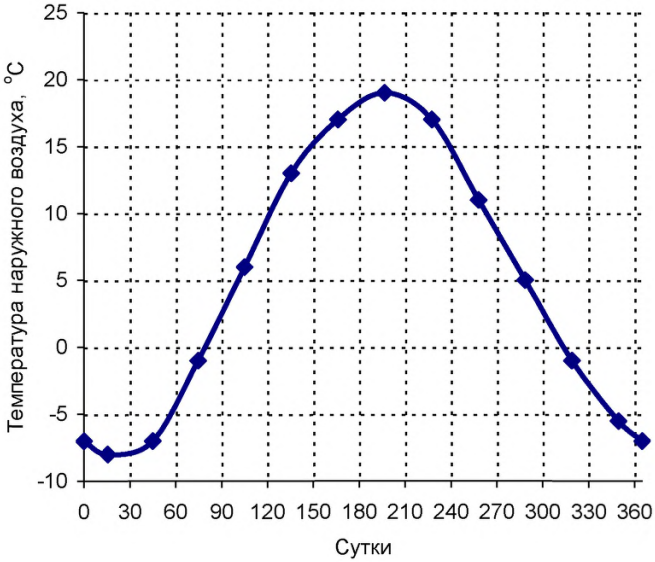


Рисунок А.4 **– График зависимости температуры наружного воздуха от времени**

На рисунке А.6 представлены графики зависимости теплопотерь от времени для стены и пола подвала в установившемся циклическом процессе. Данные приведены на единицу периметра здания. Для пересчета на все здание данные значения умножаются на периметр, равный в рассматриваемом случае 84 м.

Суммарные теплопотери достигают максимального значения 6,04 кВт (1,61 кВт через пол и 4,43 кВт через стены подвала) на 41-е сутки (10 февраля), минимальные теплопотери – 2,28 кВт (1,49 кВт через пол и 0,79 кВт через стены подвала) на 216-е сутки (4 августа). При этом минимальная наружная температура соответствует 22-м суткам, а максимальная – 198-м. Соответственно задержка тепловых потоков относительно наружных условий в настоящем расчете составит около 20 сут.

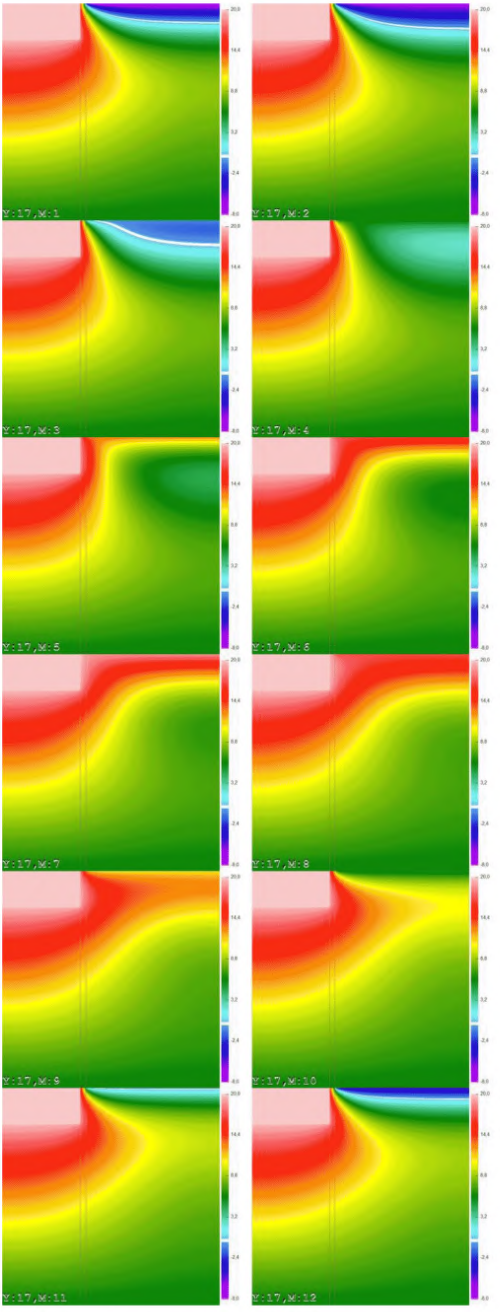


Рисунок А.5 **– Распределение температуры в основании здания по месяцам**

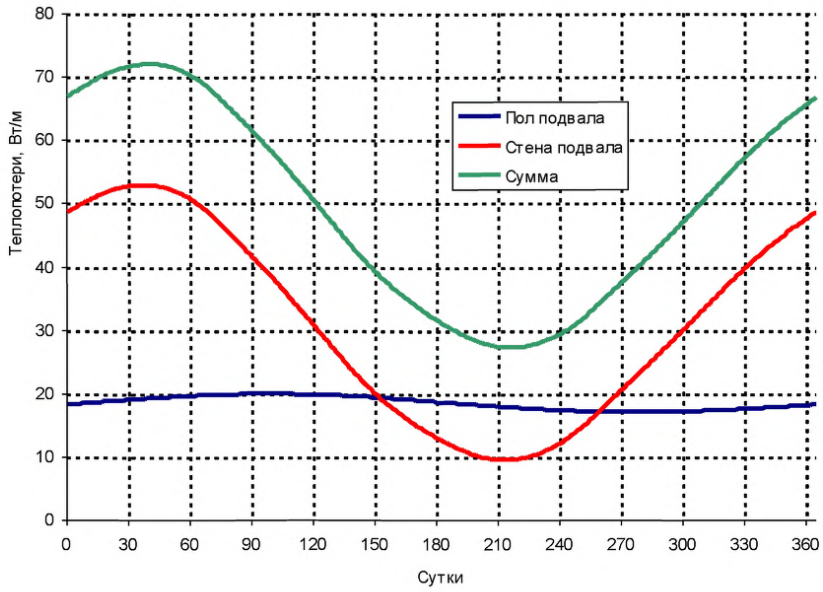


***Рисунок А.6* – Теплопотери через пол и стену подвала в зависимости от суток**

Среднегодовые теплопотери составляют 4,13 кВт, из них 1,54 кВт через пол и 2,59 кВт через стены подвала.

Теплопотери в период с наружной температурой ниже плюс 8 °С (в отопительный период) составляют 5,09 кВт, из них 1,55 кВт через пол и 3,54 кВт через стены подвала.

Теплопотери в теплый период составляют 2,92 кВт, из них 1,54 кВт через пол и 1,38 кВт через стены подвала.

Итоговые потери тепла:

- за год – 36252 кВт·ч, из них 13522 кВт·ч через пол и 22730 кВт·ч через стены подвала;

- за период с наружной температурой ниже плюс 8 °С – 25095 кВт·ч, из них 7636 кВт·ч через пол и 17459 кВт через стены подвала;

- за теплый период – 11157 кВт·ч, из них 5886 кВт·ч через пол и 5271 кВт·ч через стены подвала.

Сопротивление теплопередаче в расчете на период с наружной температурой ниже плюс 8 °С:

$R_{f\text{от}} = 4,52 \frac{\text{м}^2 \cdot °\text{С}}{\text{Вт}}$, $R_{w\text{от}} = 1,04 \frac{\text{м}^2 \cdot °\text{С}}{\text{Вт}}$ – для пола и стен подвала соответственно.

Сопротивление теплопередаче в расчете на год:

$R_{f\text{год}} = 3,39 \frac{\text{м}^2 \cdot °\text{С}}{\text{Вт}}$, $R_{w\text{год}} = 0,94 \frac{\text{м}^2 \cdot °\text{С}}{\text{Вт}}$ – для пола и стен подвала соответственно.

Сравнивая с результатами применения аналитической методики АМР видно, что теплопотери в пол подвала отличаются не сильно, в то время как теплопотери через стену подвала отличаются почти на треть. Итоговые теплопотери, рассчитанные по методике АМР, занижены на величину примерно 20 %.

Минимальная среднесуточная температура внутренней поверхности, полученная в расчете, составляет 14,17 °С и соответствует верхней точке стены подвала.

А.5 Проверка выполнения санитарно-гигиенического требования в наиболее холодный период

Расчет заключается в определении минимальной температуры внутренней поверхности на расстоянии не более 2 м от зоны наружного воздуха по массиву грунта при постоянной температуре наружного воздуха, соответствующей показателю «температура воздуха с обеспеченностью 0,94» ($\tau_{\text{хм}}$ = – 13 °С). Расчет проводят для всей конструкции, однако принимают во внимание только участки, расположенные достаточно близко к наружному воздуху. В рассматриваемом случае проверяют температуру поверхности высотой 1,98 м стен подвала. Расчет может быть проведен с применением метода конечных элементов для стационарного случая, а также с помощью МНТП при постоянной наружной температуре.

Результат расчета температурных полей представлен на рисунке А.7.

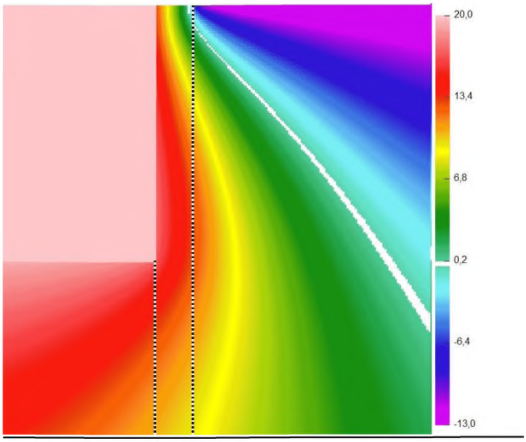


***Рисунок А.7* – Распределение температуры в основании здания при постоянной наружной температуре минус 13 °С**

Точка с минимальной температурой находится вверху стены подвала. В этой точке необходима проверка на выполнение требования необразования конденсата в расчетных условиях. Температура в точке составляет 13,06 °С. При наружной температуре, равной температуре воздуха с обеспеченностью 0,94, расчетной температуре внутреннего воздуха плюс 20 °С и влажности в подвале не выше 64 % (отн.) санитарно-гигиеническое требование по пункту 5.7 СП 50.13330.2012 выполняется.

Приложение Б

Пример расчета начального условия и оценки температуры грунтовых вод для методики МНТП

Б.1 Настоящее приложение содержит пример, показывающий порядок расчета начального распределения температуры в толще грунта, необходимого для использования в методике МНТП, а также оценочного расчета средней по водоносному слою температуры $\overline{T}_w$, используемой в граничном условии (45) для грунтовых вод, протекающих под зданием.

Б.2 Общие положения, используемые при расчетах

Б.2.1 При задании начальных условий по 8.10 исходят из того, что при изменяющейся и повторяющейся в годовых циклах температуре наружного воздуха и прочих неизменных условиях в грунте под зданием (отсутствие нерегулярных источников выделения и (или) поглощения теплоты) по истечении переходного периода теплоперенос также имеет повторяющийся циклический годовой характер. При численном моделировании переходный период достижения циклической повторяемости теплопереноса сильно зависит от выбора начального условия по температуре и в реальном масштабе может достигать от нескольких лет до нескольких десятков лет. Сокращение этого переходного периода и, как следствие, сокращение процессорного времени расчетов может быть достигнуто выбором начальных условий, достаточно приближенных к реализующимся на практике.

Б.2.2 Выбор начального по температуре условия в подавляющем большинстве случаев необходимо проводить исходя из того, что грунт до возведения здания был открытым и подвергался тепловым воздействиям только со стороны атмосферного воздуха. При этом в толще грунта, начиная от его поверхности, уже существуют повторяющиеся годовые циклы изменения температуры, которые и могут быть использованы в качестве начального условия для расчета нестационарных температурных полей в условиях теплообмена со зданием.

Б.2.3 При расчетах начального условия используют те же самые теплофизические характеристики грунта, что и при решении основной задачи, перечисленные в таблице 5.2, а также детализированную температуру наружного воздуха T_{out} (см. 8.9.2 и таблицу 5.3). Учет присутствия грунтовых вод при расчетах необязателен.

Б.3 Описание системы «грунтовое основание – здание»

Здание в горизонтальном сечении имеет квадратную форму с длиной L = 10 м и шириной B = 10 м. Под зданием и вокруг него грунт является однородным и имеет коэффициент теплопроводности λ = 1,5 Вт/(м·°С) и объемную удельную теплоемкость c = $2 \cdot 10^6$ Дж/(м^3·°С). Под зданием протекают грунтовые воды, глубина поверхности которых z_w и средняя плотность потока воды q_w не известны до проведения геологических изысканий.

Б.4 Задание расчетной области

При проведении расчетов нестационарного теплопереноса выбрана основная расчетная область с глубиной h = 10 м. Данная глубина удовлетворяет всем условиям, приведенным в 8.8, и позволяет учесть присутствие влияющих на теплоперенос грунтовых вод.

На всей этой глубине должно быть задано начальное распределение температуры.

В качестве глубины расчетной области для расчетов начального распределения температуры также выбирают глубину основной расчетной области

$$h' = h = 10 \text{ м}. \qquad (Б.1)$$

При расчетах начального условия глубина расчетов всегда должна быть задана не менее глубины расчетной области при расчетах нестационарных

температурных полей в условиях теплообмена со зданием, определяемой положениями, содержащимися в 8.8.2, 8.8.3 и 8.8.8.

Б.5 Время в течение года, на которое рассчитывается начальное условие

Конкретный вид начального условия зависит от выбора даты, начиная с которой проводят численное моделирование теплообмена между зданием и грунтовым основанием. Детализация этой даты при расчетах может быть выполнена практически любой с точностью, определяемой величиной шага по времени, с которым проводят расчет начального условия. Например, при использовании явной схемы расчета [5] такая детализация может составить порядка 1 ч (см. формулу (48)).

Для определенности принимают, что распределение температуры должно соответствовать среднему распределению по глубине в грунте за октябрь. Подобная ситуация является типичной для малоэтажного строительства, когда все строительные, монтажные и отделочные работы проводят в течение летнего периода, а с октября в здании включают отопление для поддержания требуемой внутренней температуры помещений.

Б.6 Температурные характеристики, учитываемые при расчете начального условия

Расчет начального условия проводят для периода 10 лет и более в масштабе реального времени. При этом должны быть использованы данные по детализированной температуре наружного воздуха T_{out} (см. 8.9.2 и таблицу 5.3). Поскольку в рассматриваемом примере в качестве цели заявлено получение начального условия, соответствующего среднему распределению температуры по глубине в грунте за определенный месяц, то точную детализацию наружной температуры достаточно проводить до среднемесячных значений $\bar{\bar{T}}_{i,out}$ (см. таблицу 5.3). Изменение наружной

температуры по годам принято периодически повторяющимся (см. рисунок А.4).

Б.7 Граничные и стартовые условия, используемые для расчета начального условия

Б.7.1 В качестве граничного условия на поверхности земли допускается использовать граничное условие (38). В качестве граничного условия в глубине грунта допускается использование условия постоянства температуры (43), где температура задается равной среднегодовой температуре наружного воздуха $\widetilde{T}_{out}$ (см. таблицу 5.3).

В тех случаях, когда на поверхности открытого грунта учитывают теплоизоляцию вместо граничного условия (37), следует использовать условие (38).

Б.7.2 В качестве стартового распределения температуры при расчетах начального условия может быть использовано произвольное распределение. Наиболее целесообразно использовать постоянную по глубине температуру, равную среднегодовой температуре наружного воздуха $\widetilde{T}_{out}$, которая является заранее известной величиной (см. таблицу 5.3).

Б.8 Продолжительность расчетов и критерии их завершения

Б.8.1 Расчет начального условия следует проводить в течение нескольких лет реального времени.

Б.8.2 В качестве критерия остановки расчета может быть использовано такое же условие (см. 8.11.6), как и при основном расчете, когда учитывают только теплообмен с наружным воздухом и грунтовыми водами (при рассмотрении их в расчетной задаче).

Б.9 Результаты расчетов начального условия

Б.9.1 Получаемыми в процессе расчетов выходными данными является нестационарное распределение температуры по глубине в грунте, которое может быть использовано в качестве начального условия для проведения дальнейших расчетов, а также содержать данные для оценок температуры грунтовых вод. Детализация начального условия может быть выполнена практически любой с точностью до шага по времени, при котором проводят его расчет. Например, при использовании явной схемы расчета [5] такая детализация может составить порядка 1 ч (см. формулу (48)).

Б.9.2 На рисунке Б.1 приведены результаты расчетов, соответствующие использованным исходным данным согласно Б.2, Б.3 и температуре наружного воздуха, приведенной на рисунке А.4.

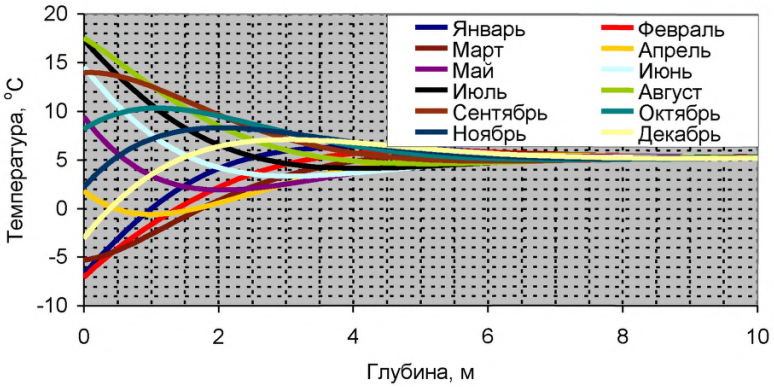


Рисунок Б.1 **– Графики зависимости среднемесячной температуры грунта в зависимости от глубины**

Приведенные на рисунке данные являются в достаточной степени общими, для того чтобы их использовать при решении других задач, в которых теплофизические свойства грунта схожи с использованными при данных расчетах (см. Б.2). Например, из рисунка Б.2 следует, что на глубине 5 м и более температура грунта практически постоянна в любое время года и

близка к среднегодовой температуре наружного воздуха. Начиная с глубины 2 м, температура в рассматриваемом грунте всегда положительна.

Б.10 Оценка температуры грунтовых вод

Необходимая для учета по граничному условию (45) теплопотерь в грунтовые воды, средняя по толщине температура водоносного слоя $\bar{T}_w$ также может быть определена по графикам, приведенным на рисунке Б.2. При этом учитывается, что грунтовые воды достигают расчетную область теплопереноса системы «здание – грунтовое основание» из области открытого грунта, температурные характеристики которого приведены на этом рисунке.

Поэтому, если поверхность грунтовых вод расположена на глубине 5 м и более, то температура водоносного слоя $\bar{T}_w$ соответствует среднегодовой температуре наружного воздуха $\widetilde{T}_{out}$, как это показано на рисунке Б.1.

Если поверхность грунтовых вод расположена выше, то при оценке $\bar{T}_w$ следует учитывать, что температура водоносного слоя зависит от времени года. При этом для оценки средней температуры водоносного слоя следует использовать среднее значение между $\widetilde{T}_{out}$ и температурой грунта на границе с водоносным слоем, определяемое по формуле

$$\bar{T}_w(m) = \left(T^z(m) + \widetilde{T}_{out}\right)/2, \qquad (Б.2)$$

где $T^z(m)$ – температура открытого грунта на глубине поверхности водоносного слоя, °С;

m – номер месяца, начиная с января.

Данные для расчета $T^z(m)$ на различной глубине приведены на рисунке Б.1. Для примера: на рисунке Б.2 приведены расчетные значения средней по водоносному слою температуры $\bar{T}_w$ в течение года для случая, когда поверхность водоносного слоя залегает на глубине 4 м от поверхности земли.

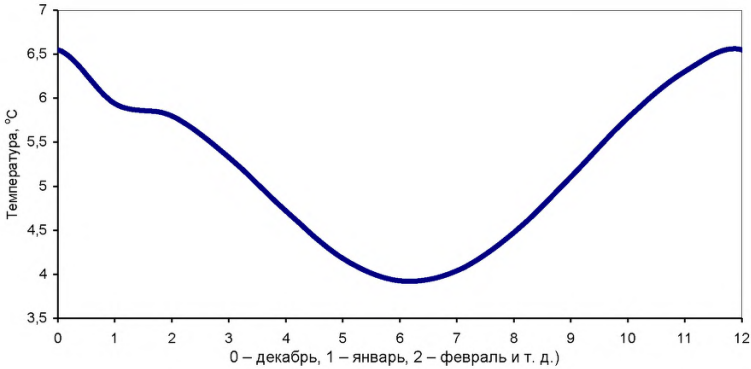


Рисунок Б.2 **– График зависимости среднемесячной температуры грунтовых вод на глубине 4 м**

Приложение В

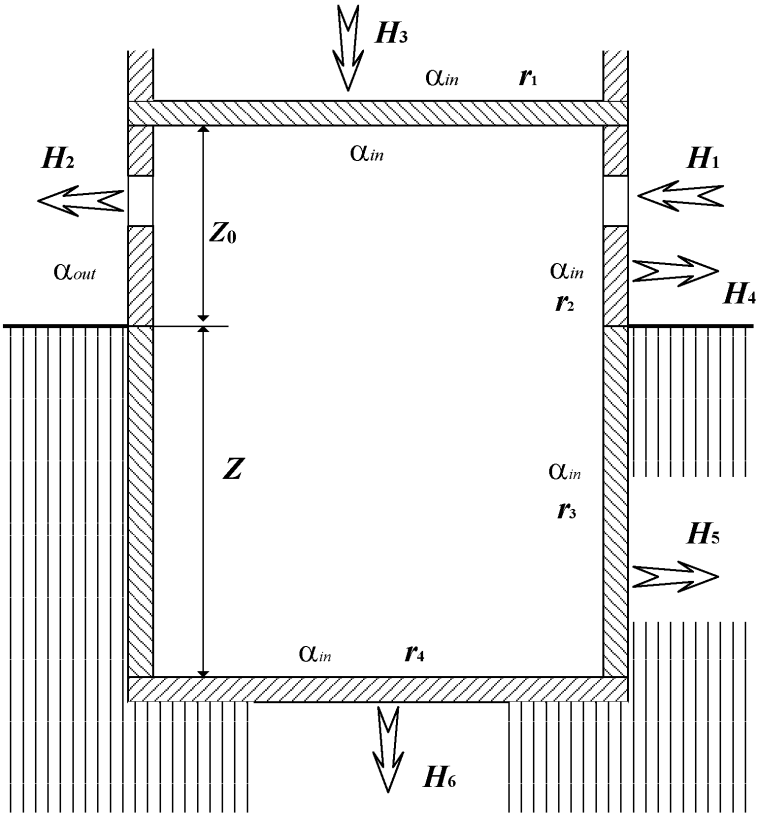
Порядок расчета теплопотерь в неотапливаемых помещениях, контактирующих с основанием, с использованием методики МНТП

В.1 Настоящее приложение устанавливает порядок дополнительных расчетов, которые следует проводить в случае нестационарного теплопереноса в грунтовых основаниях зданий с неотапливаемым подвалом или подпольем (неотапливаемым помещением).

Расчеты проводят для случая, когда основная часть здания является отапливаемой и в ней поддерживается постоянная температура T_{in}. Неотапливаемое помещение является смежным по отношению к отапливаемому, и его часть контактирует с грунтовым основанием и через стены может контактировать с наружным воздухом с переменной во времени температурой T_{out}. Неотапливаемое помещении может вентилироваться наружным воздухом.

В.2 Схема теплообмена в неотапливаемом помещении приведена на рисунке В.1.

Вентиляция неотапливаемого помещения осуществляется наружным воздухом, может быть любого типа и характеризуется переменным во времени потоком воздуха V, м^3/с.



r_1, r_2, r_3, r_4 – термические сопротивления верхнего перекрытия, стены над грунтом, стены, контактирующей с грунтом, и нижнего перекрытия соответственно, (м^2·°С)/Вт; α_{in} и α_{out} – коэффициенты теплоотдачи внутреннему и наружному воздуху, Вт/(м^2·°С); H_1 – поток теплоты в помещение, поступающий с входящим наружным вентиляционным воздухом, Вт; H_2 – поток теплоты, уходящий из помещения с вентиляционным воздухом, Вт; H_3 – поток теплоты из отапливаемого помещения в неотапливаемое, Вт; H_4 – поток теплоты через стену наружному воздуху, Вт; H_5 и H_6 – потоки теплоты в грунт через стены и пол соответственно, Вт; Z_0 и Z – высота незаглубленной и в грунт и заглубленной части неотапливаемого помещения, м

***Рисунок В.1* – Схема тепловых потоков в неотапливаемом помещении**

Коэффициенты теплопередачи, тепловые потоки в вентиляционном воздухе и внутренняя температура неотапливаемого помещения T_0 зависят от времени.

В.3 При расчете нестационарного теплопереноса в грунтовом основании для определения температуры внутри неотапливаемого помещения в процедуре расчета на каждом шаге по времени необходимо учитывать баланс по потокам теплоты в вентиляционном воздухе и коэффициентам теплопередачи. Для учета этого баланса необходимо использовать следующую систему уравнений:

$$H_1(\tau) = c_p^a T_{out}(\tau) V(\tau), \tag{В.1}$$

$$H_2(\tau) = c_p^a T_0(\tau) V(\tau), \tag{В.2}$$

$$H_3(\tau) = \left(\frac{2}{\alpha_{in}} + r_1\right)^{-1} \left(T_0(\tau) - T_{in}\right) S_1 \tag{В.3}$$

$$H_4(\tau) = \left(\frac{1}{\alpha_{in}} + \frac{1}{\alpha_{out}} + r_2\right)^{-1} \left(T_{out}(\tau) - T_0(\tau)\right) S_2 \tag{В.4}$$

$$H_5(\tau) = \frac{\alpha_{in}}{\alpha_{in} r_3 + 1} \left[\int_{S_{3x}} \left(T^*(\tau) - T_0(\tau)\right) \mathrm{d}s + \int_{S_{3y}} \left(T^*(\tau) - T_0(\tau)\right) \mathrm{d}s \right], \tag{В.5}$$

$$H_6(\tau) = \frac{\alpha_{in}}{\alpha_{in} r_4 + 1} \int_{S_4} \left(T^*(\tau) - T_0(\tau)\right) \mathrm{d}s, \tag{В.6}$$

$$H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 = 0, \tag{В.7}$$

где c_p^a – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(м^3·°С);

T^* – температура на поверхности заглубленных стен и пола, касающихся грунта, °С. Температура T^* зависит не только от времени, но и от координаты на заглубленной поверхности;

τ – время, с.

В.4 Система уравнений (В.1)–(В.7) записана в общем виде в трехмерном случае для здания, имеющего симметрию по вертикальным плоскостям (рассматривается ¼ здания). Интегрирование ведется по площади

соответствующих поверхностей контакта с грунтом и воздухом. Здесь S_1 – площадь перекрытия над помещением, S_2 – площадь стены выше уровня грунта, S_{3x} и S_{3y} – площади стены ниже уровня грунта в направлении осей x и y в горизонтальной плоскости и S_4 – площадь пола помещения. По такому же принципу эта система уравнений записывается для несимметричного здания и для случая двухмерного расчета. При двухмерных расчетах интегралы в (В.5), (В.6) берут не по поверхности, а по линейной координате на границе здания и грунта. При расчете интегралов в численной реализации методики расчета используют процедуры численного интегрирования.

В.5 В уравнениях (В.2)–(В.6) температуру внутреннего воздуха для неотапливаемого помещения принимают в каждый момент времени одинаковой для всего его объема (модель идеального смешения).

В.6 Искомую температуру T_0 и, при необходимости, температуру грунта на границе контакта с элементами здания T^* находят путем решения уравнений теплопереноса на каждом шаге по времени совместно с решением системы уравнений (В.1)–(В.7). При этом, если используемая численная методика расчета основана на методах контрольного объема или на неявных конечно-разностных сеточных методах (см. 8.7.1), то решение системы уравнений должно быть включено в общий итерационный процесс поиска всех зависимых переменных на каждом шаге по времени.

В.7 Если используются явные конечно-разностные методы, например, как предлагается в [5], то на каждом шаге по времени необходимость решения уравнений (В.5)–(В.7) приводит к нарушению явности общей схемы расчетов и потребует использования итерационных расчетов для решения систем нелинейных алгебраических уравнений. Эффективным способом для устранения данного недостатка при решении системы уравнений (В.1)–(В.7) является расчет с задержкой по времени на один шаг.

Данный процесс реализуется следующим образом:

- первоначально для текущего слоя по времени проводят расчет распределения температуры T^* и коэффициентов теплопередачи на границах здания и грунта основания. В качестве температуры внутреннего воздуха T_0 используют ее значение, полученное на предыдущем шаге по времени;

- далее с использованием текущего значения температуры наружного воздуха проводят решение системы уравнений (В.1)–(В.7) и уточняют значение внутренней температуры T_0;

- наконец, по основному алгоритму проводят расчет распределения температуры T^* и по системе уравнений (В.1)–(В.7) – уточнение внутренней температуры T_0.

Подобный цикл расчетов, при необходимости, может быть повторен несколько раз до получения требуемой точности для T_0 и T^*. Применение данной физико-математической и численной модели с запаздыванием на шаг по времени может вызвать практически незначительные погрешности вычисления тепловых потерь вблизи угловых элементов контакта здания с основанием и в верхних частях заглубленных стен, где могут существовать большие градиенты температуры.

В.8 Вместо процесса, реализуемого по В.7 на каждом шаге по времени T_0 может быть найдена с учетом теплоемкости подвала (подпола). Для этого систему уравнений (В.1)–(В.6) вместо уравнения (В.7) дополняют следующим:

$$H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 = c_{\text{п}} \frac{\mathrm{d}T_0}{\mathrm{d}\tau}, \qquad \text{(В.8)}$$

где $c_{\text{п}}$ – суммарная теплоемкость подвала (подпола) с учетом воздуха, конструкций и наполнения, Дж/°С.

Приложение Г

Примеры расчетов с использованием методики МНТП теплопотерь и приведенных сопротивлений теплопередаче различных конструкций зданий, контактирующих с основанием

Г.1 В зависимости от типа здания, грунтовых условий, необходимого к размещению комплекса инженерных систем и прочих факторов реализуют виды внутренних конструкций здания, через которые осуществляется тепловой обмен с основанием, приведенные в Г.2 и Г.3.

Г.2 Плита по грунту

В данном случае обычно изготовляется монолитная железобетонная плита, часто с утеплением непосредственно по грунту. Ее же используют в качестве перекрытия первого этажа. В данном случае имеется непосредственный тепловой контакт здания и основания, один из подлежащих расчету с применением настоящих методических рекомендаций.

Г.3 Ленточный фундамент

Г.3.1 Отапливаемый подвал

В данном случае имеется теплообмен между внутренним объемом здания и основанием, один из подлежащих расчету с применением настоящих методических рекомендаций.

Г.3.2 Неотапливаемый подвал и подполье

В данном случае осуществляется тепловой обмен между отапливаемым первым этажом и основанием через воздушную прослойку. Данный случай также подлежит расчету с применением настоящих методических рекомендаций. В расчетах принимается, что тепловая инерция подолья отсутствует, внутренняя температура рассчитывается исходя из теплового баланса данного объема.

Г.3.3 Вентилируемое подполье

В ленточном фундаменте устраивают отверстия (продухи), через которые поступает наружный воздух, который сбрасывается либо через

другие продухи, либо через специально организованные стояки. Этот случай также подлежит расчету с применением настоящих методических рекомендаций. При расчете теплопотерь принимают, что вентиляционный воздух из подполья внутри здания не используется. Расход вентиляционного воздуха на единицу площади подполья обычно составляет порядка одного–нескольких $м^3/(ч \cdot м^2)$.

Г.4 Ниже представлены результаты расчетов теплопотерь в основании здания по методу МНТП для различных случаев. Расчеты проведены по двухмерной модели с использованием расчетной полуширины, определяемой как половина расчетной ширины по формуле (7).

При расчетах принято плавное изменение внешней температуры согласно среднемесячным значениям для г. Москвы. Принятая в расчетах зависимость изменения температуры от суток представлена на рисунке А.4.

Температуру грунтовых вод принята равной 5,5 °С, что близко к среднегодовой температуре воздуха г. Москвы по таблице 5.1 СП 131.13330.2018 и соответствующей среднегодовой температуре на рисунке А.4. Такие параметры использованы исходя из предположения достаточно глубокого залегания грунтовых вод (не менее 5 м), без учета геотермального подогрева и теплового загрязнения грунтовых вод.

Приняты постоянными следующие параметры:

c = 2 МДж/($м^3 \cdot$°С) – теплоемкость грунта основания/несущих элементов конструкции;

λ = 1,5 Вт/(м·°С) – теплопроводность грунта основания/несущих элементов конструкции;

α_{in} = 8,7 Вт/($м^2 \cdot$°С) – коэффициент теплоотдачи внутренних поверхностей;

α_{out} = 23 Вт/($м^2 \cdot$°С) – коэффициент теплоотдачи наружных поверхностей.

При описании различных вариантов и параметров расчета использованы следующие обозначения:

r_w – термическое сопротивление теплопередаче утепления стены подвала, м^{2}·°С/Вт;

r_f – термическое сопротивление теплопередаче утепления пола подвала/плиты, м^{2}·°С/Вт;

r_o – термическое сопротивление теплопередаче утепления отмостки, м^{2}·°С/Вт;

r_{gw} – эффективное сопротивление теплопередаче грунтовым водам, м^{2}·°С/Вт;

$r_п$ – приведенное сопротивление теплопередаче перекрытия над неотапливаемым подвалом (подпольем) без учета основания и контактирующих с ним конструкций, м^{2}·°С/Вт;

$R_ц$ – приведенное сопротивление теплопередаче цоколя неотапливаемого подвала (подполья), м^{2}·°С/Вт;

$B'_{1/2}$ – расчетная полуширина основания под зданием, м;

l – ширина расчетной области, м;

L_o – ширина утепленной отмостки, м;

z – глубина подвала, м;

h – глубина расчетной области (уровень грунтовых вод (УГВ)), м;

$H_ц$ – высота цоколя подвала (подполья), м;

w – толщина теплоизолированной стены выше уровня земли, м;

V – удельный расход вентиляционного воздуха вентилируемого подполья на единицу площади подполья, м^{3}/(м^{2}·ч);

Глубину залегания грунтовых вод, или УГВ, отсчитывают вниз от поверхности открытого грунта до верхнего слоя грунта с подвижным водоносным слоем.

Расчетная задача является многопараметрической, поэтому представить данные, охватывающие все возможные случаи, затруднительно. Для определения тепловых потерь через основание в каждом конкретном случае следует проводить отдельный расчет, задавая вышеперечисленные параметры, а также климатические данные и параметры грунта. Поэтому

нижеприведенные результаты характеризуют типичные случаи, имеющие практическую значимость, однако не позволяющие определить теплопотери в произвольно взятом частном случае.

Результаты расчетов представляют собой распределения тепловых потоков через элементы конструкции, контактирующие с основанием, и распределения температуры в основании в зависимости от времени. Также рассчитывают следующие параметры:

Q_{w0} – теплопотери через стену подвала за отопительный период, кВт·ч/(м·год);

Q_{f0} – теплопотери через пол подвала/плиту по грунту/грунт подполья за отопительный период, кВт·ч/(м·год);

$Q_{wг}$ – теплопотери через стену подвала за год, кВт·ч/(м·год);

$Q_{fг}$ – теплопотери через пол подвала/плиту по грунту/грунт подполья за год, кВт·ч/(м·год);

$Q_{по}$ – теплопотери через перекрытие над неотапливаемым подвалом (подпольем) за отопительный период, кВт·ч/(м·год);

$Q_{пг}$ – теплопотери через перекрытие над неотапливаемым подвалом (подпольем) за год, кВт·ч/(м·год).

Данные параметры приведены к единице длины здания (линейные «мостики холода»).

Дополнительно из данных параметров рассчитывают действующие (эффективные) значения сопротивлений теплопередаче для i-х элементов конструкции, $м^2 \cdot °С/Вт$, определяемые по формуле

$$R_i = ГЧО \cdot X/Q_i/1000, \qquad (Г.1)$$

где ГЧО – градусо-часы рассматриваемого периода (отопительный или полный год);

X – размер элемента (полуширина подвала/плиты/перекрытия или высота стены подвала), м.

Рассчитываемые величины сопротивлений теплопередаче R отнесены к тем же элементам конструкции и к тем же рассматриваемым периодам, что и теплопотери и имеют такую же индексацию.

Приведенные ниже результаты получены варьированием отдельных параметров расчета относительно выбранной базовой точки. Значения параметров в базовой точке приведены отдельно для каждого из примеров и во всех расчетах варьируется один или несколько из них с сохранением остальных.

Приведенные ниже данные для случаев, схожих с рассматриваемыми, могут быть использованы при проектировании тепловой защиты конструкций зданий, контактирующих с основанием. В случае если параметры теплопереноса соответствуют промежуточным между приведенными ниже, то данные по теплопереносу (тепловые потери, значения сопротивления теплопередаче) могут быть найдены интерполяцией. В интерполяции могут быть использованы данные двух расчетов одной или различных таблиц, приведенных в настоящем приложении.

Г.5 Плита по грунту

Параметры базовой точки:

$r_w = 0$; $r_f = 0$; $r_o = 2$ м^2·°С/Вт; $r_{gw} = 0{,}01$ м^2·°С/Вт;

$B'_{1/2} = 4$ м; $L_0 = 1$ м; $z = 0$; $h = 12$ м; $w = 0{,}2$ м.

Результаты расчетов по МНТП с различными вариантами утепления отмостки и плиты представлены в таблице Г.1.

Таблица Г.1 – **Теплопотери и значения сопротивлений теплопередаче для плиты по грунту полушириной 4 м с УГВ 12 м**

№	L_o, м	r_o, м^2·°С/Вт	r_f, м^2·°С/Вт	Q_{fo}, кВт·ч/(м·год)	Q_{ft}, кВт·ч/(м·год)	R_{fo}, м^2·°С/Вт	R_{ft}, м^2·°С/Вт
1	0	3	0	171,42	259,20	2,51	1,96
2	1	2	0	141,21	225,08	3,05	2,25
3	1	2	0	127,01	209,43	3,39	2,42
4	2	2	0	119,54	201,21	3,61	2,52
5	2	2	0	115,04	196,10	3,75	2,59
6	3	2	0	110,54	190,39	3,90	2,66
7	4	2	0	108,80	187,52	3,96	2,71
8	0	2	1	121,20	192,94	3,56	2,63
9	0	2	1	97,69	159,08	4,41	3,19
10	0	2	2	82,67	136,34	5,21	3,72
11	0	2	2	71,96	119,63	5,99	4,24
12	0	2	3	57,43	96,38	7,51	5,26
13	0	2	5	41,13	69,63	10,48	7,28
14	1	1	0	140,41	224,57	3,07	2,26
15	1	1	0	132,69	215,87	3,25	2,35
16	1	2	0	129,09	211,80	3,34	2,39
17	1	3	0	124,68	206,78	3,46	2,45
18	1	5	0	122,63	204,44	3,52	2,48

Для справки приведены также распределения температуры в основании здания по месяцам для установившегося годового цикла в случае вариантов № 1, 7 и 13 таблицы Г.1 (см. рисунки Г.1, Г.2, Г.3 соответственно).

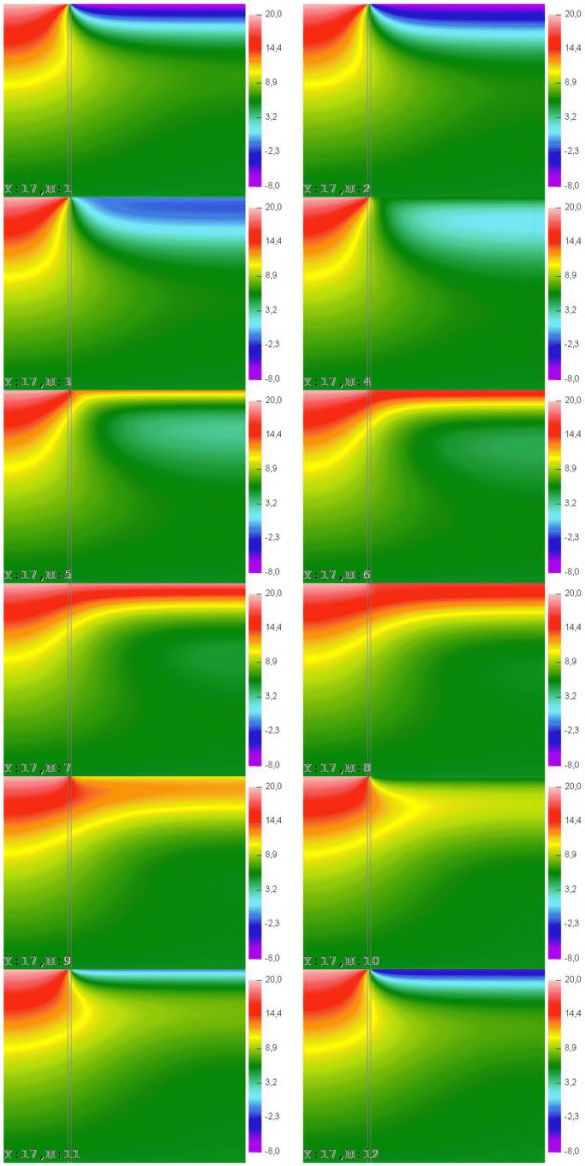


Рисунок Г.1 **– Распределение температуры в основании здания по месяцам для варианта 1 таблицы Г.1**

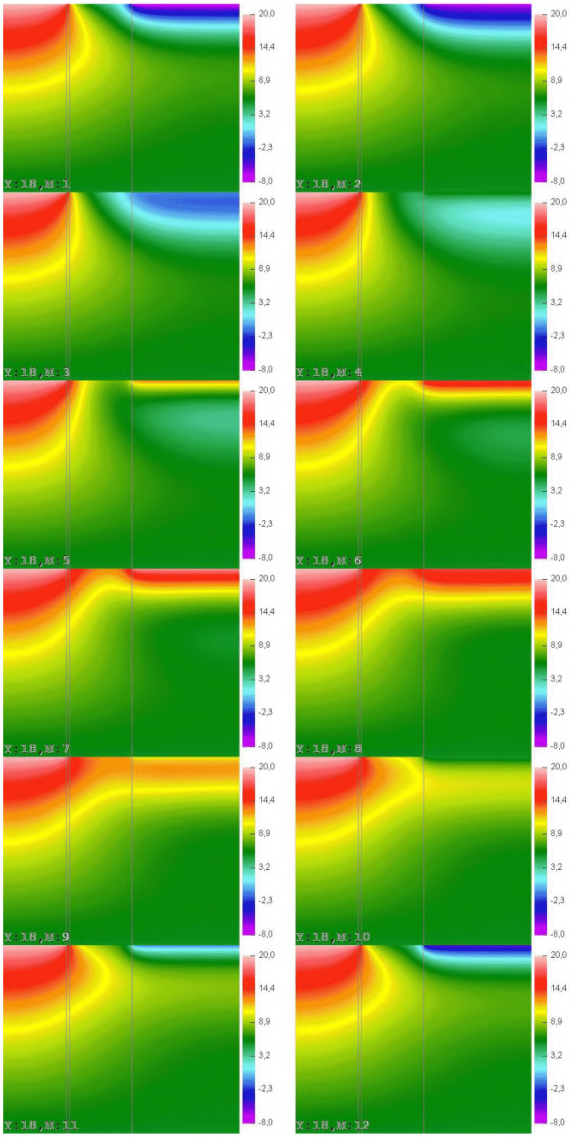


Рисунок Г.2 **– Распределение температуры в основании здания по месяцам для варианта 7 таблицы Г.1**

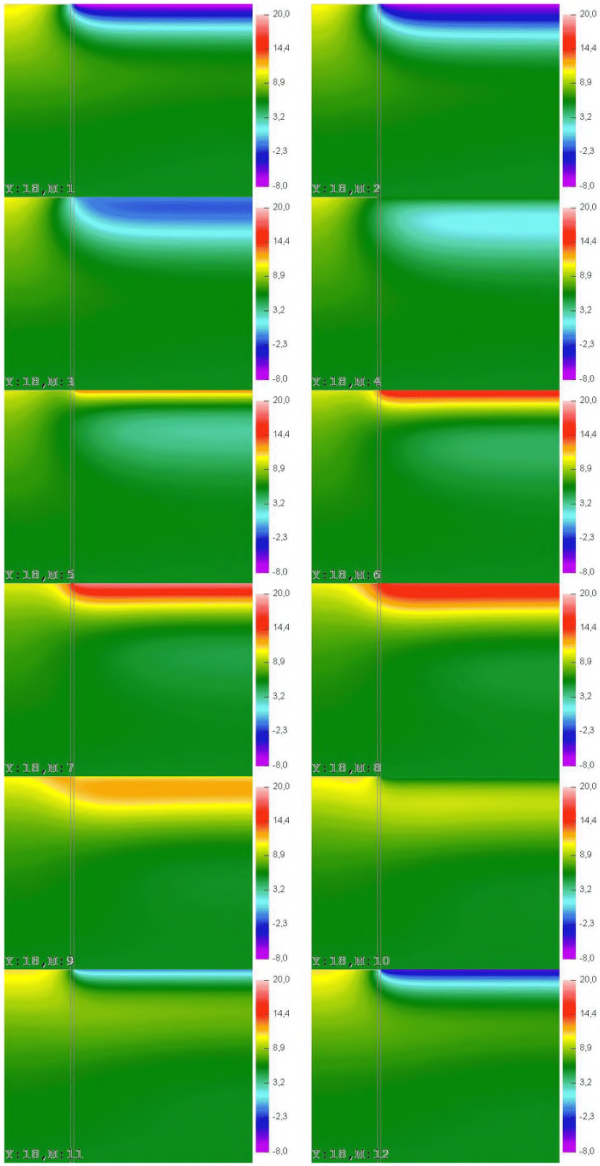


Рисунок Г.3 **– Распределение температуры в основании здания по месяцам для варианта 13 таблицы Г.1**

В таблице Г.2 приведены величины теплопотерь и сопротивлений теплопередаче, полученные при варьировании коэффициента теплопроводности грунта. Расчеты выполнены для базовой точки со следующими параметрами:

$$r_w = 0;\ r_f = 0;\ r_o = 0;\ B'_{1/2} = 6 \text{ м};$$

$$L_0 = 0;\ h = 20 \text{ м};\ z = 0;\ w = 0{,}4 \text{ м}.$$

Таблица Г.2 – **Теплопотери и значения сопротивлений теплопередаче для неутепленной плиты по грунту расчетной полушириной 6 м при различных значениях коэффициента теплопроводности**

№	λ, Вт/(м·°С)	Q_{f0}, кВт·ч/(м·год)	Q_{ft}, кВт·ч/(м·год)	R_{f0}, (м²·°С)/Вт	R_{ft}, (м²·°С)/Вт
1	1	113,42	179,72	5,70	4,23
2	1,25	139,9	220,26	4,63	3,45
3	1,5	165,27	259,51	3,91	2,93
4	1,75	190,19	297,61	3,40	2,56
5	2	214,65	334,68	3,01	2,27
6	2,5	261,37	405,99	2,47	1,87

В таблице Г.3 приведены результаты расчетов теплопотерь и сопротивлений теплопередаче при различных значениях расчетной полуширины зданий и толщины утепленного цоколя (стены). Расчеты выполнены для базовой точки со следующими параметрами:

$$r_w = 0;\ r_f = 0;\ r_o = 0;\ r_{gw} = 0{,}01 \text{ м}^2\cdot\text{°С/Вт};$$

$$L_0 = 0;\ z = 0;\ h = 10 \text{ м}.$$

Таблица Г.3 – **Теплопотери и значения сопротивлений теплопередаче для неутепленной плиты по грунту различной расчетной полуширины и при различных толщинах утепленного цоколя. УГВ 10 м**

№	$B'_{1/2}$, м	L, м	w, м	Q_{fo}, кВт·ч/(м·год)	Q_{ft}, кВт·ч/(м·год)	R_{fo}, м^2·°С/Вт	R_{ft}, м^2·°С/Вт
1	1	6	0	147,37	197,01	0,73	0,64
2	1	6	0,1	131,55	179,28	0,82	0,71
3	1	6	0,2	119,55	166,12	0,90	0,76
4	1	6	0,3	111,01	156,94	0,97	0,81
5	1	6	0,5	98,15	143,49	1,10	0,88
6	1	6	0,75	87,22	132,39	1,24	0,96
7	1	6	1	79,21	124,45	1,36	1,02
8	3	8	0	188,98	271,53	1,71	1,40
9	3	8	0,1	172,09	252,05	1,88	1,51
10	3	8	0,2	159,02	237,11	2,03	1,60
11	3	8	0,3	149,58	226,41	2,16	1,68
12	3	8	0,5	135,13	210,2	2,39	1,81
13	3	8	0,75	122,62	196,33	2,64	1,94
14	3	8	1	113,34	186,1	2,85	2,04
15	5	10	0	213,87	315,86	2,52	2,01
16	5	10	0,1	196,84	296,12	2,74	2,14
17	5	10	0,2	183,63	280,91	2,94	2,26
18	5	10	0,3	174,06	269,96	3,10	2,35
19	5	10	0,5	159,36	253,3	3,38	2,50
20	5	10	0,75	146,58	238,92	3,68	2,65
21	5	10	1	137,06	228,26	3,93	2,78
22	7	12	0	234,93	353,8	3,22	2,52
23	7	12	0,12	215,8	331,62	3,51	2,68
24	7	12	0,24	201,35	314,98	3,76	2,83
25	7	12	0,36	191,06	303,22	3,96	2,94
26	7	12	0,48	182,49	293,51	4,15	3,03
27	7	12	0,72	169,69	279,05	4,46	3,19
28	7	12	0,96	160,14	268,31	4,73	3,32
29	10	15	0	267,27	410,72	4,03	3,09
30	10	15	0,1	250,19	390,9	4,31	3,24
31	10	15	0,2	236,93	375,6	4,55	3,38
32	10	15	0,3	227,31	364,57	4,74	3,48
33	10	15	0,5	212,52	347,75	5,07	3,65
34	10	15	0,75	199,65	333,21	5,40	3,81
35	10	15	1	190,04	322,38	5,67	3,93

Г.6 Отапливаемый подвал

Параметры базовой точки для неутепленного подвала:

$r_w = 0$; $r_f = 0$; $r_o = 0$; $r_{gw} = 1$ м^{2}·°С/Вт;

$B'_{1/2} = 6$ м; $l = 20$ м; $L_0 = 0$; $z = 2$ м; $h = 20$ м; $w = 0{,}4$ м.

Результаты расчетов теплопотерь и значений сопротивлений теплопередаче при различных значениях коэффициента теплопроводности грунта основания представлены в таблице Г.4.

Таблица Г.4 – **Теплопотери и значения сопротивлений теплопередаче для неутепленного подвала расчетной полушириной 6 м и глубиной 2 м при различных значениях коэффициента теплопроводности**

№	λ, Вт/(м·°С)	Q_{wo}, кВт·ч/(м·год)	Q_{fo}, кВт·ч/(м·год)	Q_{wt}, кВт·ч/(м·год)	Q_{ft}, кВт·ч/(м·год)	R_{wo}, м^{2}·°С/Вт	R_{wt}, м^{2}·°С/Вт	R_{fo}, м^{2}·°С/Вт	R_{ft}, м^{2}·°С/Вт
1	1	134,16	62,98	178,52	112,39	1,61	1,42	10,27	6,77
2	1,25	163,37	78,59	215,06	139,6	1,32	1,18	8,23	5,45
3	1,5	190,46	93,93	249,27	166,5	1,13	1,02	6,88	4,57
4	1,75	216,18	109,37	281,41	193,12	1,00	0,90	5,91	3,94
5	2	240,59	124,87	311,71	219,45	0,90	0,81	5,18	3,47
6	2,5	285,19	155,31	367,45	271,26	0,76	0,69	4,16	2,80

В таблице Г.5 представлены результаты расчетов теплопотерь и значений сопротивлений теплопередаче при различных значениях толщины утепленного цоколя. Расчеты выполнены для неутепленного подвала для базовой точки со следующими параметрами:

$r_w = 0$; $r_f = 0$; $r_o = 0$; $r_{gw} = 1$ м^{2}·°С/Вт;

$B'_{1/2} = 5$ м; $l = 10$ м; $L_0 = 0$; $z = 2$ м; $h = 10$ м.

Таблица Г.5 – **Теплопотери и значения сопротивлений теплопередаче для неутепленного подвала расчетной полушириной 5 м и глубиной 2 м при различных значениях толщины утепленного цоколя**

№	w, м	Q_{wo}, кВт·ч/(м·год)	Q_{fo}, кВт·ч/(м·год)	Q_{wr}, кВт·ч/(м·год)	Q_{fr}, кВт·ч/(м·год)	R_{wo}, м^{2}·°С/Вт	R_{wr}, м^{2}·°С/Вт	R_{fo}, м^{2}·°С/Вт	R_{fr}, м^{2}·°С/Вт
1	0	280,15	106,37	355,23	188,32	0,77	0,71	5,07	3,37
2	0,1	251,66	106,27	321,82	188,17	0,86	0,79	5,07	3,37
3	0,2	227,21	106,1	293,21	187,9	0,95	0,87	5,08	3,37
4	0,3	207,85	105,88	270,63	187,56	1,04	0,94	5,09	3,38
5	0,5	178,37	105,29	236,48	186,67	1,21	1,07	5,12	3,40
6	0,75	151,74	104,36	206,04	185,25	1,42	1,23	5,16	3,42
7	1	131,81	103,25	183,68	183,58	1,64	1,38	5,22	3,45

В таблице Г.6 представлены результаты расчетов теплопотерь и величин сопротивления теплопередаче при различных геометрических параметрах неутепленного подвала. Расчеты выполнены для базовой точки со следующими параметрами:

$r_w = 0$; $r_f = 0$; $r_o = 0$; $r_{gw} = 1$ м^{2}·°С/Вт;

$L_0 = 0$; $h = 10$ м; $w = 0{,}4$ м.

Результаты аналогичных расчетов, но только с утеплением стен и пола подвала, с термическим сопротивлением 2 м^{2}·°С/Вт представлены в таблице Г.7.

Таблица Г.6 – **Теплопотери и значения сопротивлений теплопередаче для неутепленного подвала различной полуширины и глубины**

№	z, м	$B'_{1/2}$, м	Q_{wo}, кВт·ч/(м·год)	Q_{fo}, кВт·ч/(м·год)	Q_{wr}, кВт·ч/(м·год)	Q_{fr}, кВт·ч/(м·год)	R_{wo}, м^2·°С/Вт	R_{wr}, м^2·°С/Вт	R_{fo}, м^2·°С/Вт	R_{fr}, м^2·°С/Вт
1	1	1	137,28	60,88	176,72	98,83	0,79	0,72	1,77	1,28
2	1	2	135,3	79,7	173,03	132,93	0,80	0,73	2,70	1,91
3	1	3	134,57	93,48	171,68	157,62	0,80	0,74	3,46	2,41
4	1	4	134,23	105,4	171,06	178,81	0,80	0,74	4,09	2,84
5	1	6	133,96	126,99	170,59	217,16	0,80	0,74	5,09	3,50
6	1	8	133,89	147,52	170,46	253,64	0,80	0,74	5,84	4,00
7	1	10	133,86	167,74	170,41	289,58	0,81	0,74	6,42	4,38
8	1	15	133,85	218,03	170,39	378,94	0,81	0,74	7,41	5,02
9	1	20	133,85	268,27	170,39	468,21	0,81	0,74	8,03	5,42
10	2	1	193,81	45,28	256,45	79,45	1,11	0,99	2,38	1,60
11	2	2	193,74	62,8	255,15	111,04	1,11	0,99	3,43	2,28
12	2	3	192,87	76,54	253,57	135,53	1,12	1,00	4,22	2,81
13	2	4	192,47	88,89	252,86	157,47	1,12	1,00	4,85	3,22
14	2	6	192,18	112	252,35	198,53	1,12	1,00	5,77	3,83
15	2	8	192,1	134,42	252,21	238,37	1,12	1,01	6,41	4,26
16	2	10	192,08	156,65	252,17	277,87	1,12	1,01	6,88	4,56
17	2	15	192,07	212,1	252,16	376,41	1,12	1,01	7,62	5,05
18	2	20	192,07	267,53	252,16	474,9	1,12	1,01	8,06	5,34
19	3	1	226,91	38,74	309,21	70,04	1,42	1,23	2,78	1,81
20	3	2	225,52	56,07	305,92	101,1	1,43	1,24	3,84	2,51
21	3	3	225,92	70,42	306,34	126,61	1,43	1,24	4,59	3,00
22	3	4	225,55	83,65	305,68	150,12	1,43	1,24	5,15	3,38
23	3	6	225,31	108,97	305,25	195,1	1,43	1,25	5,93	3,90
24	3	8	225,25	133,83	305,15	239,28	1,44	1,25	6,44	4,24
25	3	10	225,24	158,59	305,13	283,27	1,44	1,25	6,80	4,48
26	3	15	225,24	220,41	305,13	393,13	1,44	1,25	7,33	4,84
27	3	20	225,24	282,23	305,13	502,98	1,44	1,25	7,64	5,04
28	4	1	249,26	36,14	348,54	65,58	1,73	1,46	2,98	1,93
29	4	2	248,06	54,11	345,66	97,62	1,74	1,47	3,98	2,60
30	4	3	247,62	69,53	344,62	125,01	1,74	1,47	4,65	3,04
31	4	4	248,2	84,12	345,61	150,93	1,74	1,47	5,12	3,36
32	4	6	248,02	112,42	345,29	201,22	1,74	1,47	5,75	3,78
33	4	8	247,98	140,44	345,23	251	1,74	1,47	6,14	4,04
34	4	10	247,98	168,4	345,22	300,69	1,74	1,47	6,40	4,22
35	4	15	247,98	238,28	345,22	424,86	1,74	1,47	6,78	4,48
36	4	20	247,98	308,15	345,22	549,02	1,74	1,47	6,99	4,62

Таблица Г.7 – **Теплопотери и значения сопротивлений теплопередаче для утепленного подвала с термическим сопротивлением утепления стен и пола, равным 2 м²·°С/Вт, при различных значениях расчетной полуширины и глубины подвала**

№	z, м	$B'_{1/2}$, м	Q_{wo}, кВт·ч/(м·год)	Q_{fo}, кВт·ч/(м·год)	Q_{wt}, кВт·ч/(м·год)	Q_{ft}, кВт·ч/(м·год)	R_{wo}, м²·°С/Вт	R_{wt}, м²·°С/Вт	R_{fo}, м²·°С/Вт	R_{ft}, м²·°С/Вт
1	1	1	33,47	24,03	45,46	39,89	3,22	2,79	4,48	3,18
2	1	2	32,82	39,07	44,23	67,4	3,28	2,87	5,52	3,76
3	1	3	32,5	51,07	43,59	89,03	3,32	2,91	6,33	4,27
4	1	4	32,31	61,45	43,24	107,51	3,34	2,93	7,01	4,72
5	1	6	32,12	79,63	42,9	139,79	3,36	2,96	8,12	5,44
6	1	8	32,05	96,25	42,78	169,32	3,36	2,96	8,96	5,99
7	1	10	32,02	112,29	42,73	197,83	3,37	2,97	9,60	6,41
8	1	15	32,01	151,7	42,71	267,86	3,37	2,97	10,66	7,10
9	1	20	32,01	190,93	42,71	337,57	3,37	2,97	11,29	7,51
10	2	2	58,03	34,75	81,33	62,32	3,71	3,12	6,20	4,07
11	2	3	57,51	46,42	80,35	83,2	3,75	3,16	6,96	4,57
12	2	4	57,21	56,74	79,81	101,53	3,77	3,18	7,60	5,00
13	2	6	56,93	75,39	79,33	134,65	3,79	3,20	8,58	5,65
14	2	8	56,84	92,9	79,16	165,77	3,79	3,20	9,28	6,12
15	2	10	56,81	110,03	79,11	196,21	3,79	3,21	9,79	6,46
16	2	15	56,79	152,45	79,07	271,58	3,80	3,21	10,60	7,00
17	2	20	56,79	194,76	79,07	346,77	3,80	3,21	11,07	7,31
18	3	2,5	76,66	38,45	112,2	69,62	4,22	3,39	7,01	4,55
19	3	3	76,4	44,09	111,73	79,64	4,23	3,40	7,33	4,78
20	3	4	76,05	54,63	111,12	98,36	4,25	3,42	7,89	5,16
21	3	6	75,76	74,17	110,61	133,08	4,27	3,44	8,72	5,72
22	3	8	75,67	92,91	110,45	166,37	4,27	3,44	9,28	6,10
23	3	10	75,64	111,4	110,39	199,23	4,27	3,45	9,67	6,36
24	3	15	75,63	157,38	110,37	280,93	4,27	3,45	10,27	6,77
25	3	20	75,63	203,31	110,37	362,55	4,27	3,45	10,60	7,00
26	4	3,5	91,46	48,88	138,97	87,93	4,71	3,65	7,72	5,05
27	4	4	91,33	54,3	138,74	97,56	4,72	3,66	7,94	5,20
28	4	6	91,07	75,16	138,28	134,62	4,73	3,67	8,60	5,65
29	4	8	91	95,46	138,15	170,69	4,74	3,67	9,03	5,94
30	4	10	90,98	115,61	138,12	206,5	4,74	3,67	9,32	6,14
31	4	15	90,97	165,87	138,1	295,81	4,74	3,67	9,75	6,43
32	4	20	90,97	216,1	138,1	385,07	4,74	3,67	9,97	6,59

Г.7 Вентилируемое подполье

Для подполья выполнены расчеты с варьированием интенсивности вентиляции (в м³/(м²·ч)) от случая, близкого к невентилируемому, до свободно вентилируемого (столбчатый фундамент). В таблице Г.8

представлены результаты расчетов теплопотерь через перекрытия первого этажа.

Расчеты выполнены для базовой точки со следующими параметрами:

$r_w = 0$; $r_f = 0$; $r_o = 0$; $r_{gw} = 0{,}01$ м^{2}·°С/Вт; $R_ц = 3$ м^{2}·°С/Вт; $r_п = 3$ м^{2}·°С/Вт;

$B'_{1/2} = 4$ м; $l = 12$ м; $L_0 = 0$; $z = 0$; $h = 12$ м; $H_ц = 0{,}8$ м; $w = 0{,}3$ м.

В таблице Г.8 дополнительно введены следующие величины:

$t_{по}$ – средняя температура в подполье за отопительный период, °С;

$t_{пг}$ – средняя температура в подполье за теплый период, °С.

Таблица Г.8 – **Теплопотери и значения сопротивлений теплопередаче перекрытия над вентилируемым подпольем, а также значения средних температур воздуха в подполье при различной интенсивности вентиляции подполья**

№	V, м^3/(м^2·ч)	$t_{по}$, °С	$t_{пг}$, °С	$Q_{по}$, кВт·ч/(м·год)	$Q_{пг}$, кВт·ч/(м·год)	$R_{по}$, м^{2}·°С/Вт	$R_{пг}$, м^{2}·°С/Вт
1	0,001	10,15	11,99	64,72	105,65	6,66	4,80
2	0,01	10,11	11,99	64,95	105,89	6,64	4,79
3	0,02	10,08	11,98	65,19	106,15	6,61	4,78
4	0,05	9,96	11,98	65,93	106,93	6,54	4,74
5	0,1	9,78	11,97	67,13	108,18	6,42	4,69
6	0,2	9,43	11,95	69,42	110,54	6,21	4,59
7	0,5	8,5	11,95	75,54	116,67	5,71	4,35
8	1	7,25	12,04	83,78	124,48	5,15	4,07
9	2	5,46	12,32	95,5	134,77	4,51	3,76
10	5	2,73	13,08	113,49	148,85	3,80	3,41
11	10	0,95	13,76	125,19	157,08	3,44	3,23
12	20	–0,29	14,29	133,3	162,46	3,23	3,12
13	50	–1,19	14,71	139,21	166,26	3,10	3,05
14	100	–1,52	14,86	141,39	167,64	3,05	3,03

Графически данные таблицы Г.8 представлены на рисунках Г.4, Г.5.

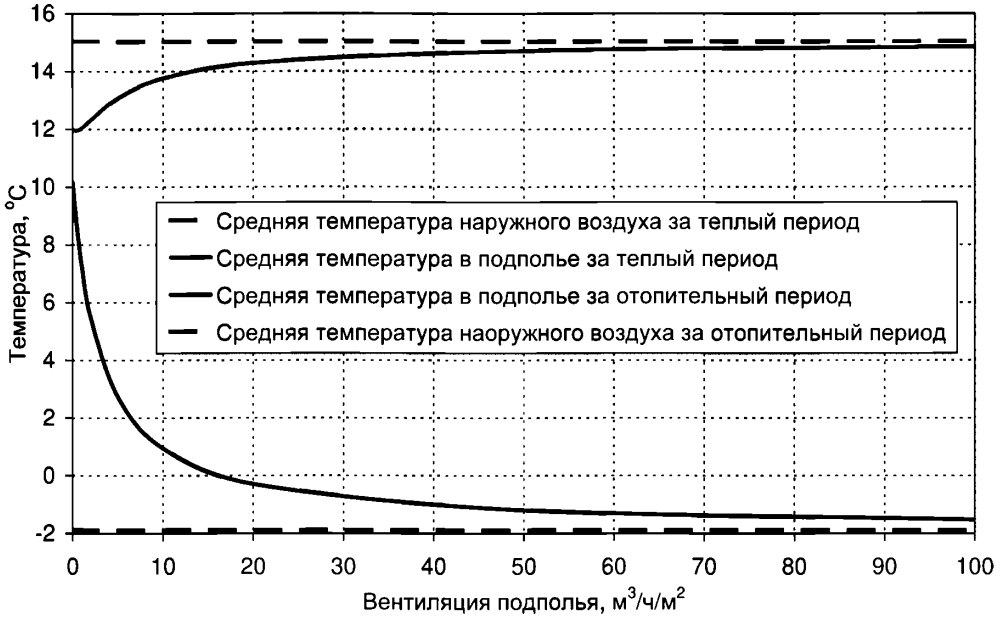


Рисунок Г.4 **– Графики зависимости температуры в вентилируемом подполье от интенсивности вентиляции подполья**

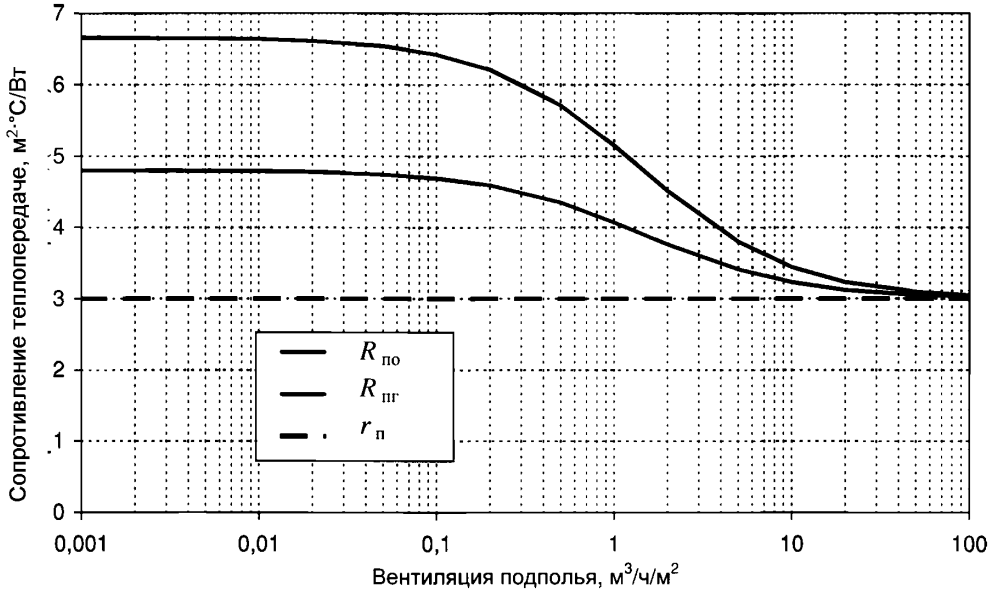


Рисунок Г.5 **– Графики зависимости эффективного сопротивления теплопередаче перекрытия первого этажа, определенного за отопительный период ($R_{по}$) и за полный год ($R_{пг}$), от интенсивности вентиляции подполья**

Г.8 Неотапливаемый подвал

В качестве базовой точки использованы следующие значения параметров расчета:

$r_w = 0$; $r_f = 0$; $r_o = 0$; $r_{gw} = 0{,}01$ м^2·°С/Вт; $R_ц = 3$ м^2·°С/Вт; $r_п = 0{,}5$ м^2·°С/Вт;

$B'_{1/2} = 7$ м; $l = 20$ м; $L_0 = 0$; $z = 2$ м; $h = 20$ м; $H_ц = 0$; $w = 0{,}4$ м.

Результаты расчетов приведены в таблице Г.9.

В таблице Г.9 введены следующие величины:

$t_{по}$ – средняя температура в подвале за отопительный период, °С;

$t_{пт}$ – средняя температура в подвале за теплый период, °С.

Таблица Г.9 – **Теплопотери и значения сопротивлений теплопередаче через пол, стену неотапливаемого подвала и через перекрытие первого этажа, а также значения средней температуры воздуха в неотапливаемом подвале**

№	L_o, м	r_o, м^2·°С/Вт	r_w, м^2·°С/Вт	r_f, м^2·°С/Вт	r_{gw}, м^2, °С/Вт	$Q_{но}$, кВт·ч/(м·год)	$Q_{об}$, кВт·ч/(м·год)	Q_{wt}, кВт·ч/(м·год)	Q_{ft}, кВт·ч/(м·год)	$r_п$, м^2·°С/Вт	$t_{но}$, °С	$t_{пт}$, °С	$Q_{по}$, кВт·ч/(м·год)	$Q_{пт}$, кВт·ч/(м·год)	$R_{по}$, м^2·°С/Вт	$R_{пт}$, м^2·°С/Вт
1	0	0	0	0	0,01	175,28	83,19	227,26	164,72	0,2	18,5	19	258,47	392	2,92	2,26
2	0	0	0	0	0,01	157,58	63,35	200,67	145,47	0,5	16,8	17,7	220,93	346,1	3,41	2,56
3	0	0	0	0	0,01	137,09	42,38	167,93	121,75	1	14,8	15,9	179,47	289,7	4,20	3,06
4	0	0	0	0	0,01	112,43	19,54	126,61	91,82	2	12,35	13,6	131,97	218,4	5,72	4,06
5	0	0	0	0	0,01	97,85	6,94	101,6	73,71	3	10,89	12,1	104,79	175,3	7,20	5,06
6	0	0	0	0	0,01	81,28	-6,86	72,82	52,86	5	9,21	10,5	74,42	125,7	10,14	7,06
7	0	0	0	0	0,01	64,02	-20,77	42,61	30,99	10	7,46	8,69	43,25	73,6	17,44	12,06
8	1	0,5	0	0	0,01	118,48	68,86	159,68	146,24	0,5	17,28	17,8	187,33	305,9	4,03	2,90
9	1	1	0	0	0,01	108,45	70,27	149,14	146,34	0,5	17,41	17,8	178,72	295,5	4,22	3,00
10	1	2	0	0	0,01	101,03	71,32	141,31	146,4	0,5	17,5	17,9	172,35	287,7	4,38	3,09
11	1	3	0	0	0,01	97,99	71,75	138,09	146,42	0,5	17,54	17,9	169,75	284,5	4,44	3,12
12	0	3	0	0	0,1	157,58	63,22	200,67	145,24	0,5	16,8	17,7	220,8	345,9	3,42	2,57
13	0	3	0	0	1	157,56	62,02	200,64	143,11	0,5	16,82	17,7	219,59	343,8	3,44	2,58
14	0	3	0	0	2	157,55	60,88	200,62	141,08	0,5	16,83	17,7	218,43	341,7	3,45	2,60
15	0	3	0	0	5	157,51	58,26	200,55	136,42	0,5	16,87	17,7	215,77	337	3,50	2,63
16	0	3	0	0	10	157,46	55,45	200,46	131,42	0,5	16,91	17,8	212,91	331,9	3,54	2,67
17	0	3	0	0	20	157,41	52,4	200,37	126,01	0,5	16,96	17,8	209,81	326,4	3,60	2,72
18	0	3	0	0	100	157,31	47,47	200,2	117,24	0,5	17,03	17,9	204,79	317,5	3,68	2,80
19	0	3	0	0	0,01	157,61	70,32	200,73	157,86	0,5	16,7	17,6	227,93	358,6	3,31	2,48
20	0	3	0	0	0,01	157,34	87,9	200,24	189,09	0,5	16,45	17,3	245,24	389,3	3,08	2,28
21	0	3	0	0	0,01	156,31	117,08	198,48	241,37	0,5	16,04	16,9	273,38	439,8	2,76	2,02
22	0	3	0	0	0,01	153,99	168,23	194,19	329,91	0,5	15,33	16,2	322,22	524,1	2,34	1,69
23	0	3	0	0	0,01	151,59	223,81	188,49	425,41	0,5	14,56	15,6	375,4	613,9	2,01	1,45
24	0	3	0	0	0,01	144,06	336,2	173,38	630,32	0,5	13,04	14	480,26	803,7	1,57	1,10
25	0	0	0,5	0	0,01	96,28	85,51	123,89	171,11	0,5	17,36	17,9	181,79	295	4,15	3,01
26	0	0	1	0	0,01	69,53	94,99	89,97	182,5	0,5	17,62	18	164,52	272,5	4,59	3,26
27	0	0	2	0	0,01	44,7	103,87	58,18	193,23	0,5	17,85	18,1	148,57	251,4	5,08	3,53
28	0	0	3	0	0,01	32,94	108,1	43	198,38	0,5	17,96	18,1	141,04	241,4	5,35	3,68
29	0	0	5	0	0,01	21,58	112,2	28,25	203,38	0,5	18,06	18,2	133,78	231,6	5,64	3,83
30	0	0	0	0,5	0,01	163,35	55,51	213,32	121,5	0,5	16,83	17,8	218,86	334,8	3,45	2,65
31	0	0	0	1	0,01	166,54	50,35	219,97	107,4	0,5	16,86	17,9	216,89	327,4	3,48	2,71
32	0	0	0	2	0,01	170,62	42,83	228,31	88,51	0,5	16,91	18,1	213,46	316,8	3,53	2,80
33	0	0	0	3	0,01	173,33	37,31	233,72	75,72	0,5	16,95	18,2	210,65	309,5	3,58	2,87
34	0	0	0	5	0,01	176,87	29,64	240,62	59,02	0,5	17,01	18,3	206,51	299,6	3,65	2,96
35	0	0	0,5	0,5	0,01	101,3	72,21	133,37	142,79	0,5	17,48	18,1	173,51	276,2	4,35	3,21
36	0	0	1	1	0,01	75,71	71,32	101,44	135,27	0,5	17,87	18,3	147,04	236,7	5,13	3,75
37	0	0	2	2	0,01	50,99	64,87	69,68	119,44	0,5	18,32	18,6	115,86	189,1	6,51	4,69
38	0	0	3	3	0,01	38,75	58,2	53,56	105,99	0,5	18,59	18,8	96,95	159,6	7,78	5,56
39	0	0	5	5	0,01	26,4	47,62	36,97	85,99	0,5	18,93	19,1	74,03	123	10,19	7,22

Библиография

[1] Мачинский В.Д. Теплопередача в строительстве. – М.–Л.: Госстройиздат, 1939. – 343 с.

[2] Власов О.Е. Основы строительной теплотехники. – М.: Издание военно-инженерной академии РККА, 1938. – 96 с.

[3] Малявина Е.Г. Теплопотери здания: справочное пособие / Е.Г. Малявина. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2007. – 144 с.

[4] СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий

[5] Окунев А.Ю., Левин Е.В., Шагинян К.С., Сильбер О.Л. Исследование тепло-, массопереноса в грунтах оснований и разработка методики расчета теплопотерь через основания зданий и сооружений // Отчет о НИР. № Г.Р. АААА-А15-115112310068-5. – М.: НИИСФ РААСН, 2015. – 184 с.

[6] Окунев А.Ю., Левин Е.В. Методы расчета теплопотерь через основания зданий и сооружений // Жилищное строительство. – 2016. – № 6. – С. 25–28

[7] Окунев А.Ю., Левин Е.В. Численные исследования нестационарного теплопереноса в основаниях зданий. Отапливаемый заглубленный этаж // БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2019. – № 6. – С. 55–57

[8] Левин Е.В., Окунев А.Ю. Теплоперенос в грунтовых основаниях зданий. Влияние утепленной отмостки // Строительство и реконструкция. – 2019. – № 3 (83). – С.83–93

[9] Левин Е.В., Окунев А.Ю. Численные исследования нестационарного теплопереноса в основаниях зданий. Влияние грунтовых вод // Технологии текстильной промышленности. – 2019. – № 4 (382). – С. 216–223

[10] Hagentoft, C.-E., 1996, Heat losses and temperature in the ground under a building with and without ground water flow – I. Infinite ground water flow rate // Building and Environment. – 1996. – Vol. 31, pp. 3–12

[11] Hagentoft C.-E., 1996. Heat losses and temperature in the ground under a building with and without ground water flow – II. Finite ground water flow rate // Building and Environment. – 1996. – Vol. 31, pp. 13–19

gost.e-ecolog.ru