НИИОСП

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
имени Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ОСНОВАНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФУНДАМЕНТОВ

gost.e-ecolog.ru

МОСКВА–1985

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
имени Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ОСНОВАНИЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФУНДАМЕНТОВ

МОСКВА-1985

УДК 624.139 : 624.15

Рекомендации содержат методику и пример теплотехнического расчета оснований зданий и сооружений, строящихся на пространственных вентилируемых фундаментах в районах сплошного распространения вечномерзлых грунтов. Конструктивные решения, особенности статического расчета и устройства пространственных вентилируемых фундаментов изложены в "Рекомендациях по проектированию пространственных вентилируемых фундаментов на вечномерзлых грунтах" (М., НИИОСП, 1985).

Методика позволяет установить режим вентилирования и параметры фундаментов, обеспечивающие требуемое для устойчивости и надежности здания или сооружения тепловое состояние вечномерзлых грунтов основания.

Рекомендации разработаны кандидатами техн. наук Н.Б.Кутвицкой и М.Р.Гохманом (НИИ оснований и подземных сооружений им.Н.М.Герсеванова Госстроя СССР) при участии инж.Ю.А.Струбцова (СибНИИгазстрой), одобрены секцией "Фундаментостроение на вечномерзлых грунтах" Научно-технического совета института и рекомендованы к изданию.

Замечания и предложения просьба направлять по адресу: 109389, Москва, Ж-389, 2-я Институтская, д.6, НИИ оснований и подземных сооружений им.Н.М.Герсеванова.

©Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова, 1985

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие Рекомендации составлены в развитие главы СНиП II-I8-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" и распространяются на проектирование оснований зданий и сооружений, возводимых на пространственных вентилируемых фундаментах в районах вечномерзлых грунтов.

I.2. Рекомендации предназначены для расчетов температурного режима вечномерзлых грунтов основания, которые используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего заданного периода эксплуатации здания или сооружения.

I.3. Настоящие Рекомендации дополняют "Рекомендации по проектированию пространственных вентилируемых фундаментов на вечномерзлых грунтах" (М., НИИОСП, I985), в которых приведены конструктивные решения пространственных фундаментов, способы и режимы их вентилирования, особенности проектирования, строительства и эксплуатации оснований с пространственными вентилируемыми фундаментами.

I.4. Пространственные фундаменты подразделяются на плитные, ленточные и столбчатые. Плитный фундамент (рис.I) имеет верхний (I) и нижний (II) пояса и наклонные элементы (III), которые образуют сквозные полости треугольного сечения. Нижний пояс плитного фундамента опирается на подсыпку. Ленточный фундамент (рис.2) состоит из коробчатых элементов (I) или складок (II), между и под которыми отсыпается подсыпка (III). Столбчатый фундамент состоит из массивных опорных элементов, имеющих сквозные полости, и соединительного тонкостенного канала. По охлаждающему воздействию на грунты основания столбчатый фундамент не отличается от ленточного.

Поперечное сечение вентилируемых сквозных полостей пространственных фундаментов может иметь прямоугольную, треугольную, трапецеидальную, полукруглую и др. формы.

I.5. Пространственные вентилируемые фундаменты совмещают функции несущей конструкции и охлаждающего устройства. Охлаждение грунтов оснований достигается в зимнее время при движении по сквозным полостям пространственных фундаментов холодного наружного воздуха. Интенсивность охлаждения грунтов при вентилировании пространственных фундаментов зависит от формы и размеров вентилируемых полостей, расстояний между ними, скорости движения по ним воздуха, сопротивления теплопередаче конструкций над и между полостями, температур

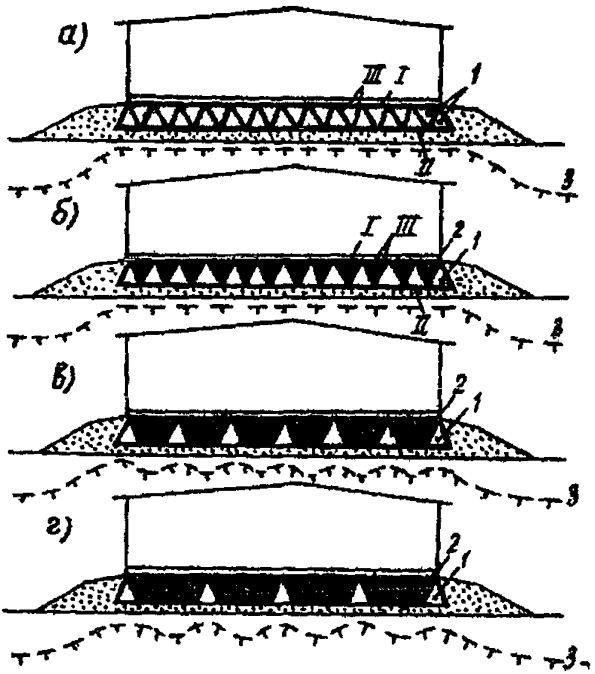


Рис.I. Схемы охлаждения грунтов оснований плитных фундаментов:
а,б – общее охлаждение; в,г – местное охлаждение;
I – верхний пояс; II – нижний пояс; III – наклонные элементы;
I– вентилируемые полости;
2 – закрытые полости;
3 – граница талой зоны

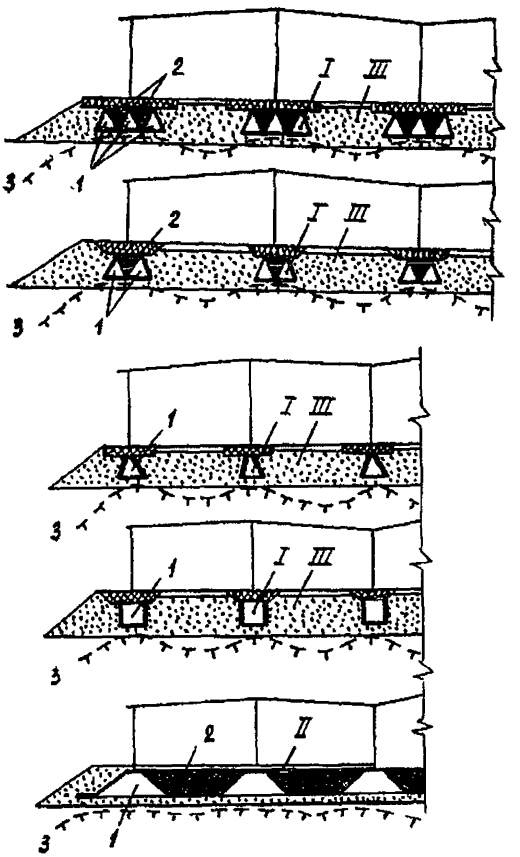


Рис. 2. Схемы охлаждения грунтов оснований ленточных и столбчатых фундаментов:
I – вентилируемые полости; 2 – закрытые полости;
3 – граница талой зоны

наружного воздуха и воздуха в помещении и др. На летний период вентилируемые полости закрываются, чтобы исключить попадание в фундамент теплого наружного воздуха. За время летней консервации фундаментов происходит повышение температуры грунтов основания при частичном или полном оттаивании подсыпки и в допустимых случаях ограниченного слоя подстилающего грунта.

I.6. В зависимости от типа пространственных фундаментов (плитного, ленточного или столбчатого) и принятой схемы движения по ним воздуха может быть достигнуто общее или местное охлаждение грунтов основания. При общем охлаждении приток холода в грунт происходит по всей поверхности грунта под зданием, так, как это, например, наблюдается при устройстве вентилируемого подполья, (п.3.I2 СНиП II-I8-76). При местном-наиболее интенсивное охлаждение грунта имеет место в зонах размещения вентилируемых полостей, а между ними формируются локальные зоны постоянно талого грунта.

I.7. При применении фундаментов плитного типа возможны оба вида охлаждения грунтов основания - общее или местное. Общее охлаждение наблюдается при вентилировании всех полостей фундамента (рис.Iа) или только полостей нижнего ряда (рис.Iб). Местное - при вентилировании отдельных полостей нижнего ряда фундамента (рис.Iв,г). Фундаменты ленточного и столбчатого типов, последний в сочетании со специальными вентилируемыми ригелями, создают только местное охлаждение грунтов основания (рис. 2).

I.8. Настоящие Рекомендации распространяются на местное охлаждение грунтов оснований с помощью пространственных вентилируемых фундаментов при расстоянии между вентилируемыми полостями B = 3 ÷ I2 м, ширине подошв вентилируемых полостей b = 0,5 ÷ 2 м, высоте фундаментов h = 0,5 ÷ 2,0 м (рис.3). При общем охлаждении теплотехнический расчет может быть выполнен по той же методике, что и для открытых вентилируемых подполий (см. СНиП II-I8-76). При этом, если верхний слой полостей фундамента не вентилируется, то его сопротивление теплопередаче, осредненное по площади, включается в суммарное сопротивление теплопередаче перекрытия над подпольем.

I.9. Теплотехническим расчетом устанавливаются геометрические и теплотехнические параметры системы охлаждения, а также режим ее зимнего вентилирования, обеспечивающие создание в период строительства и сохранение во время эксплуатации температурного режима грунтов основания, требуемого для надежной и долговечной

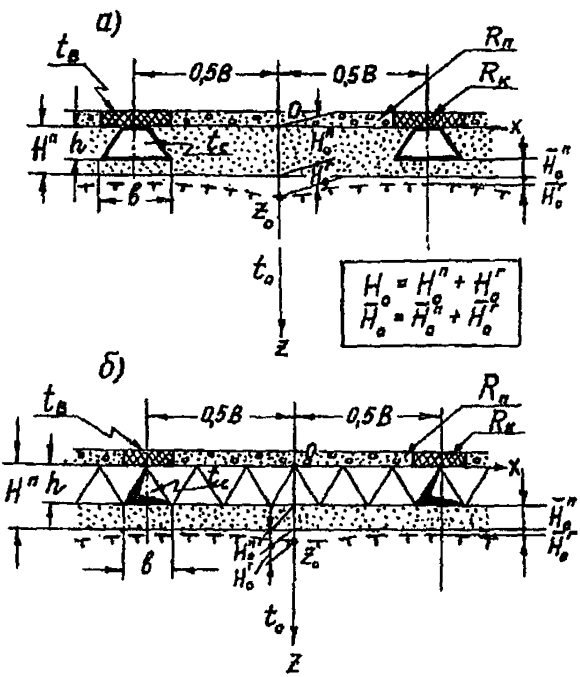


Рис. 3. Расчетная схема для теплотехнического расчета:
а – ленточные и столбчатые фундаменты;
б – плитный фундамент

работы фундаментов и сооружения.

I.I0. При теплотехническом расчете все типы пространственных фундаментов (плитный, ленточный и столбчатый) рассматриваются как системы горизонтальных вентилируемых полостей, разделенных грунтовыми или воздушными прослойками. Грунтовая прослойка из материала подсыпки располагается между рядами ленточных и столбчатых фундаментов, воздушная прослойка – между вентилируемыми полостями плитного фундамента.

I.II. Под подошвами пространственных вентилируемых фундаментов в летнее время формируется слой оттаявшего грунта, полностью или частично промерзающий в период зимнего вентилирования. В случае оттаивания только подсыпки расчет фундаментов в соответствии со СНиП II-I8-76 производится по несущей способности и деформациям оттаявшего слоя подсыпки.

В случае оттаивания подстилающих естественных грунтов расчет фундаментов производится по несущей способности и деформациям оттаявших слоев подсыпки и грунта, а также по устойчивости фундамента при действии сил морозного пучения при промерзании грунтов под подошвой фундамента в соответствии со СНиП II-I8-76 и СНиП 2.02.0I-83 "Основания зданий и сооружений".

I.I2. Допустимые глубины оттаивания грунта между вентилируемыми полостями ленточных и столбчатых фундаментов H_o и под их подошвами $\bar{H}_o$ складываются из толщин оттаявших слоев подсыпки H_o^n ($\bar{H}_o^n$) и подстилающего грунта H_o^r ($\bar{H}_o^r$) (рис.3а) и определяются статическими расчетами соответственно полов и фундаментов. Допустимые глубины оттаивания грунта H_o между вентилируемыми полостями плитных фундаментов и под их подошвами $\bar{H}_o$ складываются из толщин оттаявших слоев подсыпки H_o^n и подстилающего грунта H_o^r ($\bar{H}_o^r$) (рис.3б) и определяются статическим расчетом фундамента.

I.I3. Статический расчет плитных фундаментов проводится с учетом неравномерности оттаивания основания, характеризующейся разностью глубин оттаивания основания $\bar{H}_o$ и H_o соответственно под подошвами вентилируемых полостей и между ними.

I.I4. Статический расчет ленточных и столбчатых фундаментов производится с учетом расчетной температуры $t_m(z)$ и глубины оттаивания грунта под их подошвами $\bar{H}_o$.

I.I5. Расчет выполняется для ряда поперечных относительно осей вентилируемых полостей сечений оснований. Расчет температурного

поля под всем зданием или сооружением допускается производить для двух сечений: на входе и на выходе воздуха в вентилируемые полости фундамента, получая значения температур для промежуточных сечений линейной интерполяцией.

I.I6. Теплотехническим расчетом определяются:

параметры системы охлаждения, обеспечивающие заданное положение глубины оттаивания грунта между вентилируемыми полостями фундаментов;

расчетные температуры и глубина оттаивания грунта под подошвой фундаментов.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

2.I. Климатические характеристики задаются по СНиП 2.0I.0I-82 "Строительная климатология и геофизика", климатологическим справочникам или по данным многолетних наблюдений метеорологических станций и включают:

среднюю температуру наружного воздуха наиболее холодной пятидневки $t_н$, °С;

среднемесячные температуры наружного воздуха $t_н^{см}$, °С;

среднемесячные скорости ветра $V_н$, м/с.

2.2. Характеристики вечномерзлых грунтов площадки строительства определяются по результатам инженерных изысканий, лабораторных исследований и по СНиП II-I8-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" и включают наименования и состав грунтов, а также: температуру вечномерзлого грунта на глубине I0 м t_o, °С, температуру начала замерзания грунтовой влаги $t_{н.з.}$, °С; коэффициенты теплопроводности грунта в талом $\lambda_т$ и мерзлом $\lambda_м$ состояниях, Вт(м^2. °С), объемную теплоемкость грунта в мерзлом состоянии $C_м$, кДж/(м^3.°С), определяемые экспериментальным путем или по приложению I СНиП II-I8-76 в зависимости от суммарной влажности грунта W_c, доли ед, и плотности скелета $\gamma_{ск}$, кН/м^3.

Характеристики подсыпки включают наименование и состав грунта, а также высоты подсыпки $H^п$ и $H_o^п$ соответственно между и под фундаментами, коэффициенты теплопроводности в талом $\lambda_т^п$ и мерзлом $\lambda_м^п$ состояниях, Вт/(м^2. °С), определяемые экспериментальным путем или по приложению I СНиП II-I8-76 в зависимости от суммарной влажности грунта $W_c^п$, доли ед, и плотности его скелета $\gamma_{ск}^п$, кН/м^3.

2.4. По наземной конструкции здания или сооружения задаются сопротивление теплопередаче конструкции пола первого этажа $R_п$, расположение в плане несущих фундаментов, а также длина L и ширина W здания или сооружения, расчетная температура воздуха в помещении $t_в$, °С.

2.5. Для пространственных фундаментов конструктивно и по статическому расчету определяются тип фундамента и его следующие характеристики: высота h, м; суммарная толщина верхнего и нижнего поясов и наклонных элементов $\Sigma\delta$, м; ширина подошвы вентилируемой полости $в$, м; шаг между вентилируемыми полостями B, м; коэффициент теплопроводности материала фундамента λ_c, Вт/(м^2. °С).

Примечание. Принятые значения $R_п$ или B могут быть уточнены настоящим теплотехническим расчетом.

3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАННЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ

3.1. Глубина оттаивания грунта H_o зависит от:

среднезимней температуры на стенках вентилируемых полостей фундаментов $t_c^{сз}$, °С;

расчетной температуры воздуха в помещении $t_в$, °С;

сопротивления теплопередаче конструкции пола $R_п$, м^2.°С/Вт;

коэффициентов теплопроводности подсыпки $\lambda_т^п$, $\lambda_м^п$ и подстилающего грунта $\lambda_т$, $\lambda_м$, Вт/(м.°С);

формы и геометрических размеров вентилируемых полостей фундаментов (высоты h и ширины подошвы $в$, м);

шага между вентилируемыми полостями B, м;

высоты подсыпки $H^п$, м.

3.2. Наиболее существенное влияние на величину H_o оказывает сопротивление теплопередаче конструкции пола $R_п$ и шаг между вентилируемыми полостями фундаментов B.

3.3. Шаг B между вентилируемыми полостями ленточных и столбчатых фундаментов определяется расстоянием между их рядами. Если это расстояние больше 12 метров, следует предусмотреть установку промежуточных рядов вентилируемых каналов, воспринимающих только нагрузки, передаваемые через пол. В плитных фундаментах может предусматриваться вентилирование каждой второй, третьей и

и т.д. полостей нижнего ряда.

а) Расчет требуемого сопротивления теплопередаче конструкции пола

3.4. Расчет требуемого для обеспечения заданной глубины оттаивания грунта H_o сопротивления теплопередаче конструкции пола $R_п^{тр}$ проводится по заданным расчетной температуре воздуха в помещении $t_в$, средним за период вентилирования скорости ветра $V_н^{сз}$ и температуре наружного воздуха $t_н^{сз}$, форме и размерам вентилируемых полостей фундамента (высоте h и ширине подошвы b) и принятому шагу между вентилируемыми полостями фундаментов B.

Последовательность расчета

3.5. Назначается продолжительность периода зимнего вентилирования фундаментов $\tau_з$ в соответствии с годовым графиком изменения среднемесячных температур наружного воздуха $t_н^{см}(\tau)$. Для исключения возможности выпадания инея на стенках фундамента при попадании в фундамент теплого воздуха, его вентилирование производится при устойчивых отрицательных температурах наружного воздуха $t_н^{o}$, исходя из условия $t_н^{o} \leq -5^{o}C$.

3.6. Находятся средние за период зимнего вентилирования $\tau_з$ скорость ветра $V_н^{сз}$ и температура наружного воздуха $t_н^{сз}$

$$V_н^{сз} = \frac{1}{\tau_з} \sum_{i=1}^{\tau_з} V_н^{см}(\tau_i) ; \qquad (1)$$

$$t_н^{сз} = \frac{1}{\tau_з} \sum_{i=1}^{\tau_з} t_н^{см}(\tau_i) . \qquad (2)$$

3.7 Определяется скорость движения воздуха по вентилируемым полостям фундамента $V_ф$. Величина $V_ф$ зависит от вида применяемой вентиляции – естественной или принудительной. При естественном движении воздуха, происходящим под действием ветрового и теплового напоров, $V_ф$ устанавливается в зависимости от скорости ветра в районе строительства $V_н^{сз}$, ориентации здания или сооружения по странам света, размеров поперечных сечений вентилируемых полостей и др. по существующим методикам расчета вентиляции и аэрации зданий. При принудительном движении воздуха, осуществляемом с помощью вентиляционных установок, $V_ф$ назначается в пределах 2 – 5 м/сек, окончательный выбор значения $V_ф$ определя-

ется следующим: если в результате проведенного теплотехнического расчета установлено, что предварительно заданная скорость V_φ не обеспечивает требуемых температур грунтов основания, то ее необходимо увеличить и провести повторный теплотехнический расчет. Следует иметь в виду, что увеличение скорости движения воздуха по фундаменту может оказаться менее экономичным по сравнению с увеличением сопротивления теплопередаче перекрытия над фундаментом и уменьшением шага между вентилируемыми полостями.

3.8. Определяется коэффициент теплоотдачи (с учетом конвекции и излучения) стенок фундамента α_c в период его зимнего вентилирования по графикам рис.4 в зависимости от параметров V_φ и $d_э$, где $d_э = 4F/P$ – эквивалентный диаметр вентилируемой полости фундамента; F и P – соответственно площадь и периметр поперечного сечения вентилируемой полости фундамента.

3.9. Вычисляется средняя за период зимнего вентилирования полости фундамента температура его стенки $t_c^{сз}(y)$ в зависимости от расстояния y от входа воздуха в фундамент по формуле:

$$t_c^{сз}(y) = t_н^{сз}[(1+\beta)\exp(-\alpha y) - \beta] + t_в/(2R_к\alpha_c), \qquad (3)$$

где $R_к$ – сопротивление теплопередаче перекрытия над вентилируемым фундаментом, м^2 . ^{0}С /Вт, требуемое значение которого $R_o^{тр} \le R_к$ определяется по СНиП II-3-79 "Строительная теплотехника" так же, как для перекрытия над открытым вентилируемым подпольем;

$$\alpha = \frac{\lambda_н^п \varphi}{565 V_\varphi F(1+\psi)}; \qquad (4)$$

$$\beta = \frac{\lambda_т^п t_в}{\lambda_н^п |t_н^{сз}|}; \qquad (5)$$

$$\psi = \frac{\lambda_н^п \varphi}{\alpha_c P}. \qquad (6)$$

Параметр φ находится по графикам рис.5 в зависимости от параметров β, $r_э = \sqrt{F/\pi}$ и $h_э = h_o + \lambda_т^п R_к$, где h_o равно $0{,}5h$; $0{,}67h$ и $0{,}6h$ для вентилируемых полостей соответственно с прямоугольной, треугольной и полукруглой формой поперечного сечения. Значение h_o для вентилируемых полостей трапецеидальной формы принимается как для полостей полукруглой

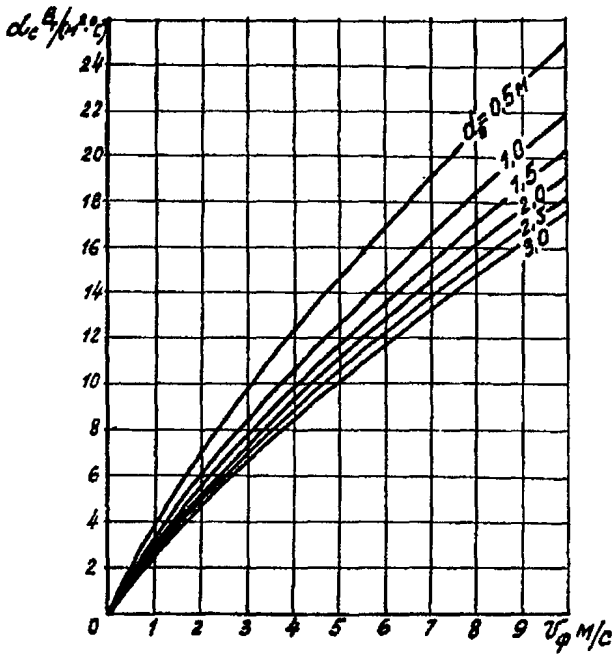


Рис.4. Графики для определения α_c

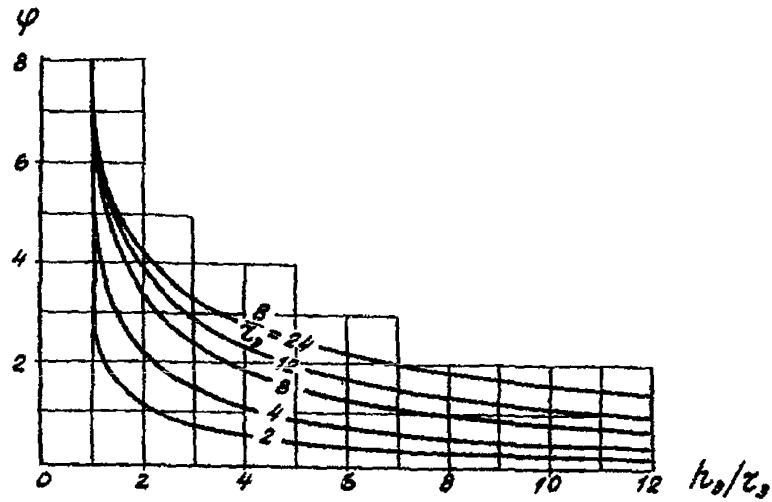


Рис. 5. Графики для определения параметра φ

формы с равным основанием.

Примечание. Значения $R_o^{тр}$, отвечающие требованиям СНиП II-3-79 и соответственно значения $R_к$ могут быть приняты линейно уменьшающимися по длине вентилируемой полости. Наибольшее $R_o^{тр}(0)$ значение $R_o^{тр}$ соответствует начальному участку ($y \approx 0$), наименьшее $R_o^{тр}$ (L) – конечному участку ($y \approx L$), при этом значение $R_o^{тр}$ (L) следует вычислять по формуле СНиП II-3-79 при расчетной зимней температуре наружного воздуха $t_н = t_н$ (L), определяемой по формуле (3) настоящих рекомендаций ($t_н(L) - t_н^{сз}(L)$) при $R_к = R_o^{тр}(0)$ и $t_н^{сз} = t_н$, где $t_н$ определяется по таблице 5 СНиП II-3-79.

3.10. Находится продолжительность летней консервации фундаментов:

$$z_л = z_г - z_з, \qquad (7)$$

где $z_г$ – продолжительность года, равная 12 мес.

3.11. Определяется сопротивление теплопередаче фундамента во время его летней консервации:

$$\hat{R}_ф = 0{,}4 + R_к + \Sigma\delta/\lambda_c. \qquad (8)$$

3.12. Вычисляются значения среднемесячных температур стенки фундамента в летний период:

$$\hat{t}_c(z) = 0{,}33\, t_в - \ln(2{,}3 \hat{R}_ф) - 0{,}14\, t_в \ln(|t_н^{сз}|/z_з/(t_в z)), \qquad (9)$$

где z – время, отсчитываемое от начала консервации фундаментов, мес.

3.13. Определяется средняя за период летней консервации фундаментов температура стенки фундамента:

$$t_c^{сл} = \frac{1}{z_л} \sum_{i=1}^{z_л} \hat{t}_c(z_i). \qquad (10)$$

3.14. Находится среднегодовая температура стенки фундамента:

$$t_c^{сг} = \frac{1}{z_г}(t_c^{сз} z_з + t_c^{сл} z_л). \qquad (11)$$

3.15. Вычисляется безразмерная температура U :

$$U = \frac{t_{н.з} - t_c^{сз}}{t_в \lambda_т^п/\lambda_м^п - t_c^{сз}}. \qquad (12)$$

3.16. Определяется параметр z_0, м по следующим зависимостям:

для ленточных и столбчатых фундаментов –

$$z_0 = H_0'' + H_0' \lambda_T'' / \lambda_M'', \qquad (13)$$

для плитных фундаментов –

$$z_0 = H_0'' + \lambda_T'' (\Sigma \delta / \lambda_c + 0{,}4 + H_0' / \lambda_T). \qquad (14)$$

3.17. Определяется требуемое сопротивление теплопередаче конструкции пола:

$$R_n^{тр} = \frac{\sqrt{[C(z_1 + 1)]^2 + \kappa} - z_0}{\lambda_T''}, \qquad (15)$$

где

$$\kappa = \frac{0{,}18 \lambda t_0 z_1}{q}, \ м^2; \qquad (16)$$

$$\lambda = \frac{\lambda_T'' H_0'' + \lambda_T H_0'}{H_0'' + H_0'}, \ Вт/(м^2 \cdot {}^\circ C); \qquad (17)$$

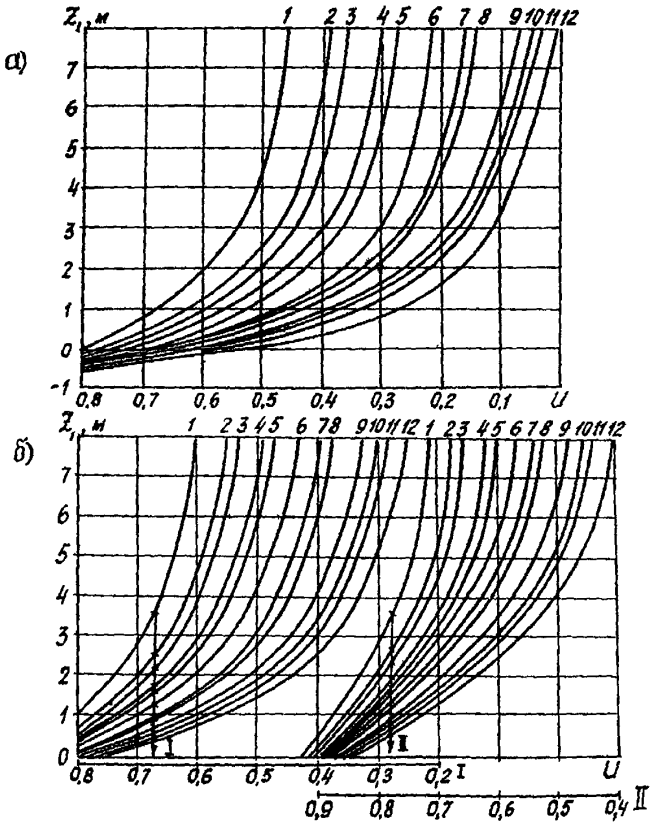
$$q = \frac{\gamma_{ск}'' W_c'' H_0'' + \gamma_{ск} W_c H_0'}{H_0'' + H_0'}, \ кН/м^3; \qquad (18)$$

$C = 1$ для прямоугольной и трапецеидальной формы полостей и $C = \beta$ для треугольной формы полостей; параметр z_1 определяется в зависимости от формы поперечного сечения вентилируемых полостей фундаментов, шага между ними B и безразмерной температуры U по графикам рис.6,7,8.

Примечание. Значения $R_n^{тр}$, обеспечивающие заданную величину H_0, могут быть приняты линейно уменьшающимися по длине вентилируемой полости соответственно значениям $t_c^{сз}$ на входе ($y = 0$) и на выходе ($y = L$) из нее.

б) Расчет требуемого шага между вентилируемыми полостями фундамента $B_{тр}$

3.18. При принятой величине сопротивления теплопередаче конструкции пола R_n заданная глубина оттаивания H_0 может быть обеспечена выбором соответствующего значения шага B между



№№ вар тов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
h, м	0,5	1,0	0,5	1,5	0,5	1	1,5	1	1,5	2	1,5	2
B, м	0,5	0,5	1,0	0,5	1,5	1	1	1,5	1,5	1,5	2	2

Рис. 6. Графики для определения Z_1 при прямоугольной форме поперечного сечения вентилируемых полостей фундаментов: а) В = 6 м; б) I – В = 9 м; II – В = 12 м

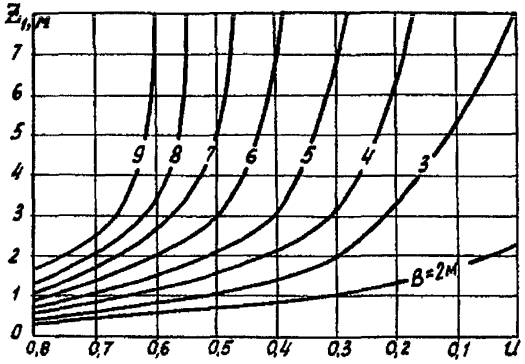


Рис. 7. Графики для определения χ_1 при треугольной форме вентилируемых полостей фундаментов

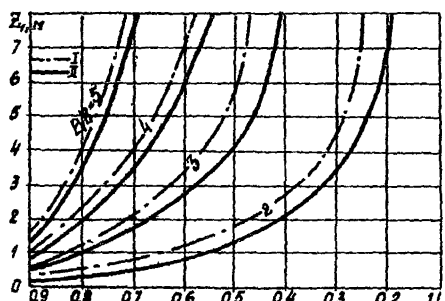


Рис. 8. Графики для определения z_1 при трапецеидальной форме поперечного сечения вентилируемых полостей; I – фундаменты-оболочки; II – ленточные фундаменты

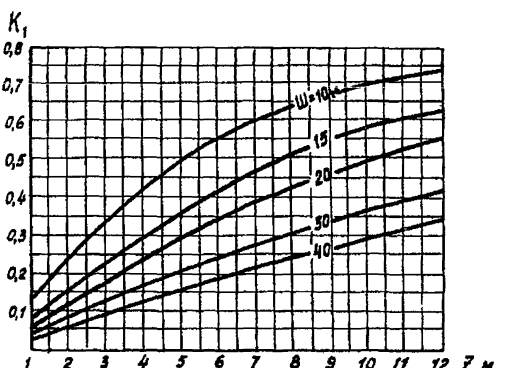


Рис. 9. Графики для определения коэффициента K_1

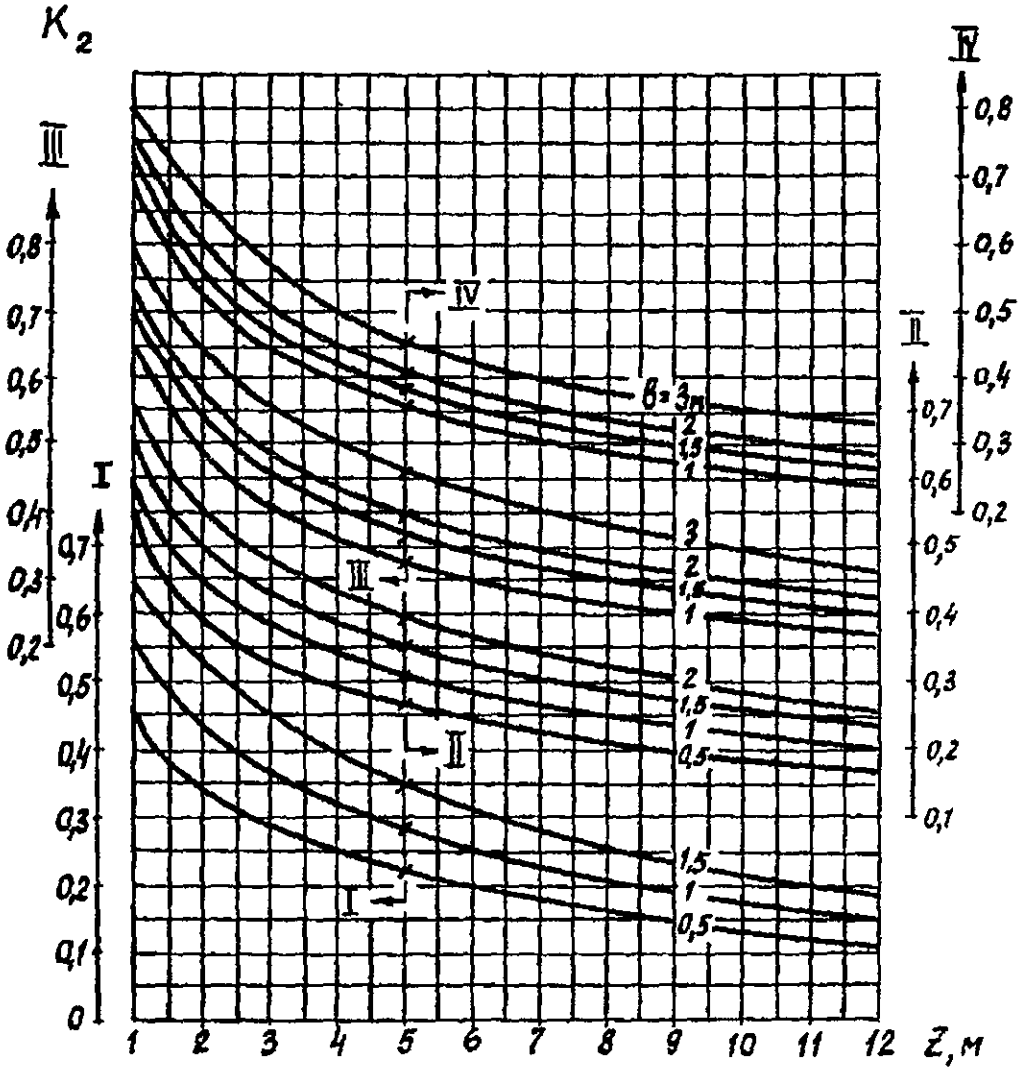


Рис. 10. Графики для определения коэффициента K_2 :
I – B = 3 м; II – B = 6 м; III – B = 9 м; IV – B = 12 м

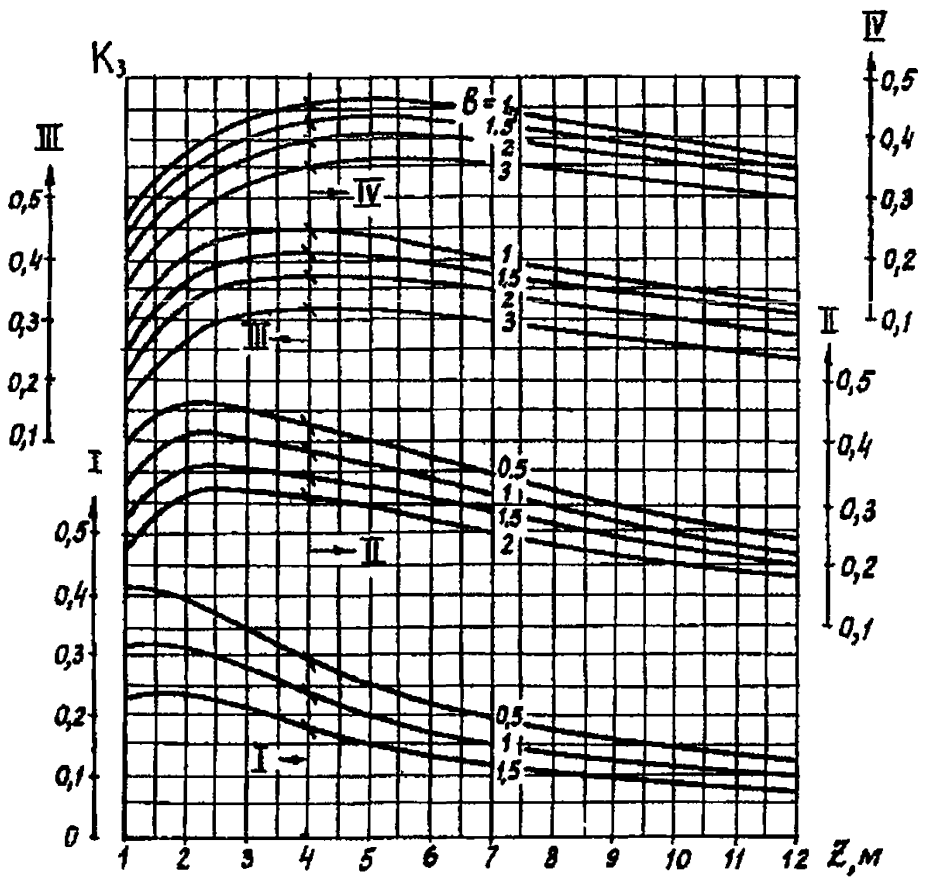


Рис. II. Графики для определения коэффициента K_3 :

I – B = 3 м; II – B = 6 м; III – B = 9 м;

IУ – B = I2 м

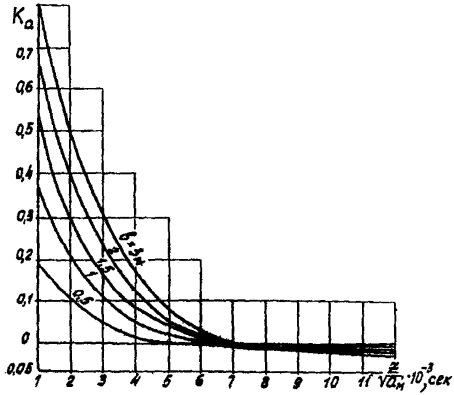


Рис. 12. Графики для определения значения коэффициента K_a

вентилируемыми полостями фундаментов. Расчет требуемого значения шага $B_{тр}$ производится при $y = L$ в той же последовательности, что и параметра $R_п^{тр}$ (пп.3.5÷3.I6), далее по формуле (I9) при заданном значении $R_п$ вычисляется параметр z_1, по которому определяется значение $B = B_{тр}$ с использованием графиков рис.6,7,8

$$z_1 = \frac{\sqrt{(R_п \lambda_т^п + z_0)^2 - K}}{c} - 1 . \qquad (I9)$$

в) Определение расчетных температур и глубины оттаивания грунта основания

3.I9. Расчетные температуры грунта на глубине z от подошвы фундамента $t_м(z)$ определяются по следующей формуле:

$$t_м(z) = K_1 t_0 + K_2 t_c^{ср} + K_3 t_0^{ср} + K_α A_c , \qquad (20)$$

где $A_c = \hat{t_c}(z_л) - t_c^{ср}$;

$\hat{t_c}(z_л)$ – вычисляется по формуле (9) при $z = z_л$;

$$t_0^{ср} = U_0 (t_в \lambda_т^п / \lambda_м^п - t_c^{ср}) + t_c^{ср} ; \qquad (2I)$$

U_0 – безразмерная температура, определяемая по графикам рис.6,7, 8 в зависимости от формы и размеров поперечного сечения вентилируемых полостей при $z_1 = h + R_п \lambda_т^п$;

$K_1, K_2, K_3, K_α$ – коэффициенты, определяемые по графикам рис.9,I0, II,I2.

3.20. Расчетная глубина оттаивания грунта под подошвой фундамента H_0 определяется по графику зависимости $t_м = t_м(z)$ при $t_м(z) = t_{мз}$.

4. ПРИМЕР ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОСНОВАНИЯ

Требуется запроектировать основание промышленного здания, имеющего в плане размеры 24 х 48 м и строящегося на пространственном вентилируемом фундаменте на подсыпке.

Исходные данные для расчета.

Средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки $t_н = -48^{\circ}C$, среднемесячные скорости ветра и температуры наружного воздуха приведены в табл.I.

Таблица I

Значения среднемесячных скоростей ветра и температур наружного воздуха

Месяц	I	II	III	IУ	У	УI	УII	УIII	IX	X	XI	XII
$V_н^{см}$, м/с	5,0	4,7	4,6	5,2	5,I	5,0	4,3	4,5	4,8	5,9	5,0	5,0
$t_н^{см}$, °С	-26,2	-23,8	-I8,6	-I2,4	-3,6	8,0	I3,2	I0,I	4,I	-5,2	-I3,8	-24,3

Подсыпка устраивается из песчаного грунта, имеющего суммарную влажность $W_c^п$ =0,I и плотность скелета $\gamma_{ск}^п$ = I6 кН/м^3, коэффициенты теплопроводности грунта подсыпки в талом и мерзлом состоянии при этом равны $\lambda_т^п$ = I,45 Вт/(м · °С), $\lambda_м^п$ = I,62 Вт/(м · °С).
Грунт основания – песок с температурой $t_о$ = -0,5°С, $t_{н.з}$ = 0°С, суммарной влажностью W_c =0,2 и плотностью скелета $\gamma_{ск}$ = I5 кН/м^3, коэффициенты теплопроводности грунта основания в талом и мерзлом состоянии равны $\lambda_т$ = 2,I5 Вт/(м. °С), $\lambda_м$ = 2,38 Вт/(м · °С), объемная теплоемкость грунта в мерзлом состоянии
$C_м$ = 2I40 кДж/(м^3 · °С), при этом коэффициент температуропроводности грунта

$$a_м = \frac{\lambda_м}{C_м} = \frac{2,38}{2I40 \cdot I000} = I,I \cdot I0^{-6}\ м^2/с.$$

Ширина здания $Ш$ = 24 м, длина L = 48 м, расчетная температура воздуха в здании $t_в$ = I8°С. Фундамент – пространственный вентилируемый плитного типа из сборного железобетона со следующими характеристиками: высота h = I,5 м, ширина подошвы вентилируемой полости b = I,5 м, суммарная толщина стенок $\Sigma\delta$ = 0,3 м, коэффициент теплопроводности железобетона $\lambda_с$ = 2,03 Вт/(м · °С), толщина подсыпки под подошвой фундамента $H_о^п$ = 0,5 м, допустимая глубина оттаивания грунта основания $H_о^г$ = 0,9 м, вентилируется каждая третья полость фундамента (В = 4,5 м).

Согласно графику, построенному по данным таблицы I, период зимнего вентилирования при условии $t_н^б$ = -5°С установлен с 20.X по 20. У, при этом его продолжительность $\tau_з$ = 7 месяцев.

По формулам (I) и (2) находим средние за период вентилирования скорость ветра и температуру наружного воздуха:

$$V_н^{сз} = \frac{I}{7}\sum_{I}^{7} V_н^{см} = 5,I\ м/с; \quad t_н^{сз} = \frac{I}{7}\sum_{I}^{7} t_н^{см} = -I8,6°С.$$

Предварительно, до выполнения соответствующего вентиляционного расчета, примем скорость движения воздуха по полостям фундамента при их естественном вентилировании равной

$$V_{\varphi} = 1{,}25 \text{ м/сек} < V_{н}^{св}.$$

Вычисляем эквивалентный диаметр вентилируемой полости при $F = 0{,}5 b \cdot h = 0{,}5 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}5 = 1{,}125$ м^2 и $P = 2\sqrt{h^2 + (0{,}5b)^2} + b = 2\sqrt{1{,}5^2 + (0{,}5 \cdot 1{,}5)^2} + 1{,}5 = 4{,}86$ м;

$d_э = 4F/P = (4 \cdot 1{,}125) / 4{,}86 = 0{,}93$ м.

По графикам рис.4 при $V_{\varphi} = 1{,}25$ м/с и $d_э = 0{,}93$ м находим коэффициент теплоотдачи стенок фундамента $\alpha_c = 4{,}25$ Вт/(м$^2 \cdot$ °С).

По формуле (1) СНиП II-3-79 определяем требуемое сопротивление теплопередаче перекрытия над вентилируемым фундаментом при $\Delta t'' = 2{,}5$°С; $n = 1$ и $\alpha_в = 8{,}7$ Вт/(м$^2 \cdot$ °С):

$$R_o^{тр} = \frac{1 \cdot (18 + 48)}{2{,}5 \cdot 8{,}7} = 3{,}03 \text{ м}^2 \cdot °С / Вт.$$

Принимаем максимальное (при $y = 0$) значение сопротивления теплопередаче перекрытия $R_к = 3{,}2$ м$^2 \cdot$ °С /Вт.

Вычисляем параметры $r_э$ и $h_э$:

$r_э = \sqrt{F/\pi} = \sqrt{1{,}125/3{,}14} = 0{,}6$ м;

$h_э = h_o + \lambda_т'' R_к = 0{,}67 \cdot 1{,}5 + 1{,}45 \cdot 3{,}2 = 5{,}65$ м.

По графикам рис.5 при $B/r_э = 4{,}5/0{,}6 = 7{,}5$ и $h_э/r_э = 5{,}65/0{,}6 = 9{,}4$ находим параметр $\varphi = 0{,}8$.

По формулам (4) – (6) вычисляем параметры ψ, β и α:

$$\psi = \frac{1{,}62 \cdot 0{,}8}{4{,}25 \cdot 4{,}86} = 0{,}063; \qquad \beta = \frac{1{,}45 \cdot 18}{1{,}62 \cdot |-18{,}6|} = 0{,}87;$$

$$\alpha = \frac{1{,}62 \cdot 0{,}8}{565 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}125\,(1 + 0{,}063)} = 0{,}00128.$$

По формуле (3) вычисляем значение средней за время $\tau_з$ температуры стенки вентилируемого фундамента для двух расчетных сечений $y = 0$ и $y = 48$ м:

$t_c^{св}(0) = -18{,}6\,[(1 + 0{,}87)\,exp\,(-\alpha \cdot 0) - 0{,}87] + 18/(2 \cdot 3{,}2 \times$ $\times 4{,}25) = -17{,}9$°С;

$t_c^{св}(48) = -18{,}6\,[(1 + 0{,}87)\,exp\,(-0{,}00128 \cdot 48) - 0{,}87] +$ $+ 18/(2 \cdot 3{,}2 \cdot 4{,}25) = -15{,}9$°С.

Так как перепад температуры стенки фундамента по его длине составляет всего два градуса, то будем считать температурное состояние грунта основания однородным вдоль вентилируемой полости фундамента и все последующие расчеты выполняем для расчетного сечения $y = 48$ м.

По формуле (7) определяем продолжительность летней консервации фундаментов: $\tau_л = 12 - 7 = 5$ мес.

По формуле (8) определяем сопротивление теплопередаче фундамента во время его летней консервации:

$$R_\varphi^\wedge = 0,4 + 3,2 + \frac{0,3}{2,03} = 3,75 \ \text{м}^2 \cdot {}^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

По формуле (9) вычисляем значения среднемесячных температур стенки фундамента в летний период:

$t_c^\wedge(\tau) = 0,33 \cdot 18 - \ln(2,3 \cdot 3,75) - 0,14 \cdot 18 \ln(|-15,9| \times 7/18\tau) = 3,79 - 2,52 \cdot (6,183/\tau)$, результаты вычислений приведены в табл.2.

Таблица 2

Результаты расчета температуры $t_c^\wedge(\tau)$

τ, мес	1	2	3	4	5
$t_c^\wedge(\tau)$, °С	-0,8	0,95	1,97	2,69	3,25

По формуле (10) определяется средняя за время $\tau_л$ температура стенки фундамента:

$$t_c^{\tau\wedge} = \frac{1}{5} \sum_1^5 t_c^\wedge \ (\tau) = 1,61^\circ\text{C}.$$

По формуле (11) находим среднегодовую температуру стенки фундамента:

$$t_c^\sigma = \frac{1}{12} (-15,9 \cdot 7 + 1,61 \cdot 5) = -8,6^\circ\text{C}.$$

По формуле (12) определяем безразмерную температуру u:

$$u = \frac{0 - (-15,9)}{18 \cdot 1,45 / 1,62 - (-15,9)} = 0,5.$$

По формуле (14) вычисляем параметр z_0:

$$z_0 = 0,5 + 1,45 \left(\frac{0,3}{2,03} + 0,4 + \frac{0,9}{2,15} \right) = 1,9 \ \text{м}.$$

По графику рис.7 при $u = 0,5$ и $\beta = 4,5$ м определяем параметр $z_1 = 1,8$ и далее по формулам (16) – (18) – параметры λ, φ и κ

$$\lambda = \frac{1{,}45 \cdot 0{,}5 + 2{,}15 \cdot 0{,}9}{0{,}5 + 0{,}9} = 1{,}9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot {}^\circ\text{С)};$$

$$q = \frac{16 \cdot 0{,}1 \cdot 0{,}5 + 15 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}9}{0{,}5 + 0{,}9} = 2{,}5 \text{ кН/м}^3;$$

$$\kappa = \frac{0{,}18 \cdot 1{,}9 \cdot 18 \cdot 5}{2{,}5} = 12{,}31 \text{ м}^2.$$

По формуле (15) вычисляем требуемое сопротивление теплопередаче конструкции пола над невентилируемыми полостями фундаментов, принимая $c = b = 1{,}5$ м

$$R_n^{тр} = \frac{\sqrt{1{,}5^2 (1{,}8 + 1)^2 + 12{,}31} - 1{,}9}{1{,}45} = 2{,}46 \text{ м}^2 \cdot {}^\circ\text{С /Вт}.$$

Сопротивление теплопередаче конструкции пола над невентилируемыми полостями фундаментов принимаем равным $R_n = 2{,}5$ м$^2 \cdot {}^\circ$С /Вт.

Определяем расчетные температуры грунта по формуле (20), вычислив предварительно значения параметров A_c, z_1, u и t_o^{cr}:

$A_c = t_c^{\wedge}(5) - t_c^{cr} = 3{,}25 + 8{,}6 = 11{,}85^\circ$С;

$z_1 = 1{,}5 + 2{,}5 \cdot 1{,}45 = 5{,}1$ м.

По графикам рис.7 находим при $B = 4{,}5$ м и $z_1 = 5{,}1$ м значение $u = u_o = 0{,}28$.

По формуле (21) определяем параметр t_o^{cr}:

$t_o^{cr} = 0{,}28 \cdot (18 \cdot 1{,}45/1{,}62 - (-8{,}6)) - 8{,}6 = -1{,}68^\circ$С.

По графикам рис. 9-12 определяем коэффициенты K_1, K_2, K_3 и K_a, и далее по формуле (20) – расчетные температуры грунта $t_M(z)$, результаты вычислений представлены в табл.3 в зависимости от глубины z (считая от подошвы фундамента).

Таблица 3

Значения коэффициентов K_1, K_2, K_3, K_a и расчетных температур грунта $t_M(z)$

z, м	K_1	K_2	K_3	K_a	$t_M(z)$, °С
1	0,06	0,65	0,25	0,54	0,36
2	0,11	0,52	0,29	0,32	-1,22
4	0,21	0,39	0,26	0,10	-2,71
6	0,30	0,32	0,22	0,02	-3,03
8	8,38	0,27	0,18	-0,01	-2,95

Согласно данным табл.3, расчетная глубина оттаивания грунта под подошвой вентилируемой полости фундамента при $t_н(z) = t_{н.з} = 0^{\circ}C$ будет равна H_o = I,2 м, при этом толщина оттаявшего подстилающего грунта $H_o^г = H_o - 0,5$ м = I,2 – 0,5 = 0,7 м. Неравномерность оттаивания основания составит $\Delta H_o = H_o - H_o^г = 0,9 - 0,7 = 0,2$ м.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 3
2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА 9
3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАННЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ I0
а) Расчет требуемого сопротивления теплопередаче конструкции пола II
б) Расчет требуемого шага между вентилируемыми полостями фундамента I6
в) Определение расчетных температур и глубины оттаивания грунта основания 24
4. ПРИМЕР ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОСНОВАНИЯ 24

Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений им.Н.М.Герсеванова

Рекомендации по теплотехническому расчету вечномерзлых оснований пространственных вентилируемых фундаментов

Отдел патентных исследований и научно-технической информации
Зав.отделом Б.И.Кулачкин
Редактор Г.Н.Кузнецова

gost.e-ecolog.ru