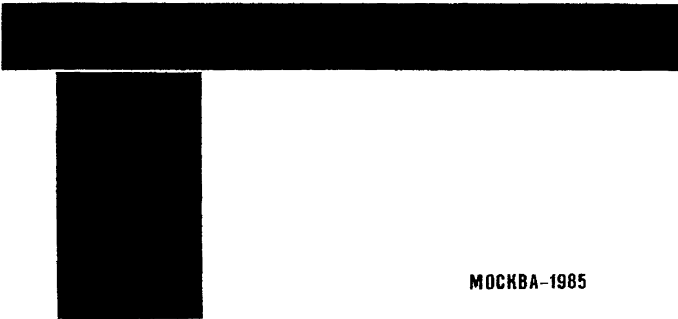




НИИОСП

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



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

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-369, 2-й Институтская, д.6, НИИ оснований и подземных сооружений им.Н.М.Герсеванова.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Рекомендации составлены в развитие главы СНиП П-18-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" и распространяются на проектирование оснований зданий и сооружений, возводимых на пространственных вентилируемых фундаментах в районах вечномерзлых грунтов.

1.2. 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.

1.3. Настоящие Рекомендации дополняют "Рекомендации по проектированию пространственных вентилируемых фундаментов на вечномерзлых грунтах" (М., НИИОСП, 1985), в которых приведены конструктивные решения пространственных фундаментов, способы и режимы их вентилирования, особенности проектирования, строительства и эксплуатации оснований с пространственными вентилируемыми фундаментами.

1.4. Пространственные фундаменты подразделяются на плитные, ленточные и столбчатые. Плитный фундамент (рис.1) 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 корычатых 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, трапециевидную, полукруглую и др. формы.

1.5. 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

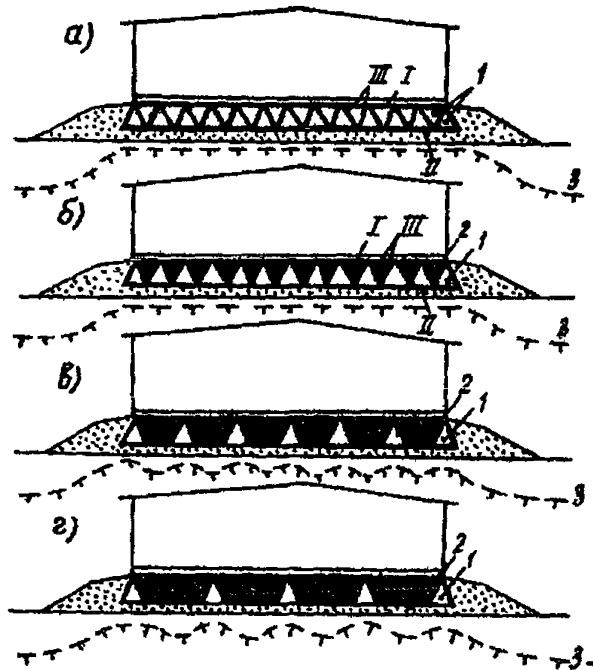


Рис. I. Схемы охлаждения грунтов оснований плитных фундаментов:
 а, б - общее охлаждение; в, г - местное охлаждение;
 I - верхний пояс; II - нижний пояс; III - наклонные элементы;
 I - вентилируемые полости;
 2 - закрытые полости;
 3 - граница талой зоны

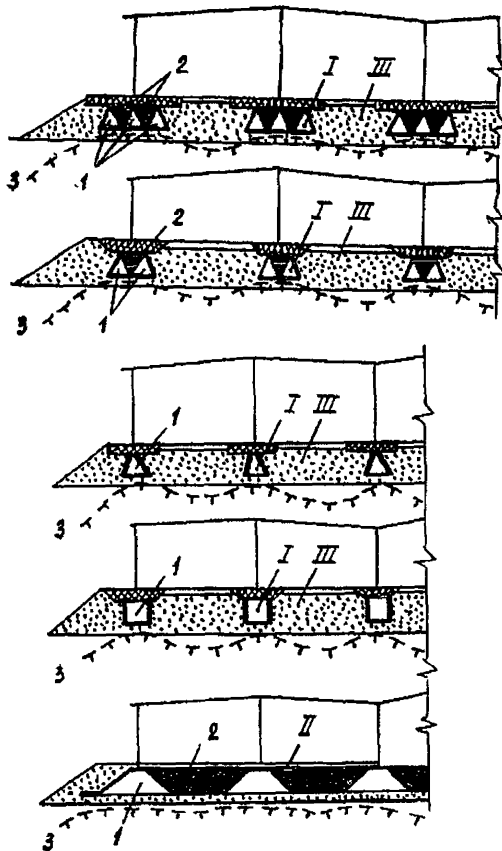


Рис. 2. Схемы охлаждения грунтов оснований ленточных и столбчатых фундаментов:
 I - вентиляруемые полости; 2 - закрытые полости;
 3 - граница талой зоны

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.

1.6. 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.3.12 СНиП II-18-76). При местном-наиболее интенсивное охлаждение грунта имеет место в зонах размещения вентилируемых полостей, а между ними формируются локальные зоны постоянно талого грунта.

1.7. При применении фундаментов плитного типа возможны оба вида охлаждения грунтов основания - общее или местное. Общее охлаждение наблюдается при вентилировании всех полостей фундамента (рис.1а) или только полостей нижнего ряда (рис.1б). Местное - при вентилировании отдельных полостей нижнего ряда фундамента (рис.1в,г). Фундаменты ленточного и столбчатого типов, последний в сочетании со специальными вентилируемыми раицбалками, создают только местное охлаждение грунтов основания (рис. 2).

1.8. Настоящие Рекомендации распространяются на местное охлаждение грунтов оснований с помощью пространственных вентилируемых фундаментов при расстоянии между вентилируемыми полостями $B = 3 + 12$ 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-18-76). При этом, если верхний слой полостей фундамента не вентилируется, то его сопротивление теплопередаче, осредненное по площади, включается в суммарное сопротивление теплопередаче перекрытия над подпольем.

1.9. 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

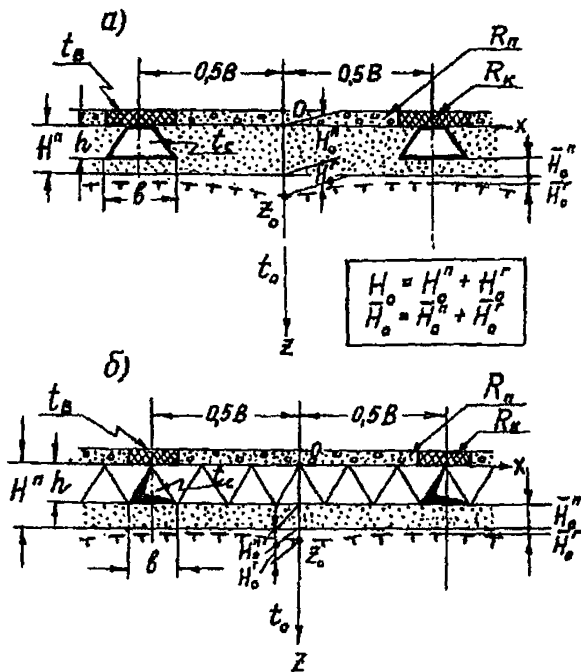


Рис. 3. Расчетная схема для теплотехнического расчета:
 а - ленточные и столбчатые фундаменты;
 б - плитный фундамент

работы фундаментов и сооружений.

I.10. 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.11. 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-18-76 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 дачения при промерзании грунтов под подошвой фундамента в соответствии со СНиП II-18-76 и СНиП 2,02,01-83 "Основания зданий и сооружений".

I.12. Допустимые глубины оттаивания грунта между вентилируемыми полостями ленточных и столбчатых фундаментов H_0 и под их подошвами \bar{H}_0 складываются из толщин оттаявших слоев подсыпки H_0'' (\bar{H}_0'') и подстилающего грунта H_0' (\bar{H}_0') (рис.3а) и определяются статическими расчетами соответственно полов и фундаментов. Допустимые глубины оттаивания грунта H_0 между вентилируемыми полостями плитных фундаментов и под их подошвами \bar{H}_0 складываются из толщин оттаявших слоев подсыпки H_0'' и подстилающего грунта H_0' (\bar{H}_0') (рис.3б) и определяются статическим расчетом фундамента.

I.13. Статический расчет плитных фундаментов проводится с учетом неравномерности оттаивания основания, характеризующейся разностью глубин оттаивания основания \bar{H}_0 и H_0 соответственно под подошвами вентилируемых полостей и между ними.

I.14. Статический расчет ленточных и столбчатых фундаментов производится с учетом расчетной температуры $t_n(z)$ и глубины оттаивания грунта под их подошвами \bar{H}_0 .

I.15. 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.

1.16. Теплотехническим расчетом определяются:

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

расчетные температуры и глубина оттаивания грунта по подошвой фундаментов.

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

2.1. Климатические характеристики задаются по СНиП 2.01.01-82 "Строительная климатология и геофизика", климатологическим справочникам или по данным многолетних наблюдений метеорологических станций и включают:

среднюю температуру наружного воздуха наиболее холодной пятидневки $t_{н}$, °C;

среднемесячные температуры наружного воздуха $t_{н}^{см}$, °C;

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-18-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" и включают наименования и состав грунтов, а также: температуру вечномерзлого грунта на глубине 10 м t_0 , °C, температуру начала замерзания грунтовой влаги $t_{н.з.}$, °C; коэффициенты теплопроводности грунта в талом λ_T и мерзлом λ_M состояниях, Вт/(м²·°C), объемную теплоемкость грунта в мерзлом состоянии C_M , кДж/(м³·°C), определяемые экспериментальным путем или по приложению I СНиП II-18-76 в зависимости от суммарной влажности грунта W_c , доли ед, и плотности скелета $\gamma_{ск}$, кН/м³.

Характеристики подсыпки включают наименование и состав грунта, а также высоты подсыпки H^n и H_0^n соответственно между и под фундаментами, коэффициенты теплопроводности в талом λ_T^n и мерзлом λ_M^n состояниях, Вт/(м²·°C), определяемые экспериментальным путем или по приложению I СНиП II-18-76 в зависимости от суммарной влажности грунта W_c^n , доли ед, и плотности его скелета $\gamma_{ск}^n$, кН/м³.

2.4. По наземной конструкции здания или сооружения задается сопротивление теплопередаче конструкции пола первого этажа R_n , расположенные в плане несущих фундаментов, а также длина L и ширина W здания или сооружения, расчетная температура воздуха в помещении t_a , °C.

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 B , м; шаг между вентилируемыми полостями V , м; коэффициент теплопроводности материала фундамента λ_c , Вт/(м²·°C).

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

3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАННЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ

3.1. Глубина оттаивания грунта H_0 зависит от: средней температуры на стенках вентилируемых полостей фундаментов t_{cs} , °C; расчетной температуры воздуха в помещении t_a , °C; сопротивления теплопередаче конструкции пола R_n , м²·°C/Вт; коэффициентов теплопроводности подошвы λ_r , λ_n и подстилающего грунта λ_r , λ_n , Вт/(м·°C); формы и геометрических размеров вентилируемых полостей фундаментов (высоты h и ширины подошвы B , м); шага между вентилируемыми полостями V , м; высоты подошвы H'' , м.

3.2. Наиболее существенное влияние на величину H_0 оказывает сопротивление теплопередаче конструкции пола R_n и шаг между вентилируемыми полостями фундаментов V .

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_0 сопротивления теплопередаче конструкции пола $R_n^{тп}$ проводится по заданным расчетной температуре воздуха в помещении t_0 , средним за период вентилирования скорости ветра V_n^{cs} и температуре наружного воздуха t_n^{cs} , 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 τ_3 в соответствии с годовым графиком изменения среднемесячных температур наружного воздуха $t_n^{cs}(\tau)$. Для исключения возможности выпадания инея на стенках фундамента при попадании в фундамент теплого воздуха, его вентилирование производится при устойчивых отрицательных температурах наружного воздуха t_n^0 , исходя из условия $t_n^0 \leq -5^{\circ}\text{C}$.

3.6. Находятся средние за период зимнего вентилирования τ_3 скорость ветра V_n^{cs} и температура наружного воздуха t_n^{cs}

$$V_n^{cs} = \frac{1}{\tau_3} \sum_{i=1}^{\tau_3} V_n^{cs}(\tau_i); \quad (1)$$

$$t_n^{cs} = \frac{1}{\tau_3} \sum_{i=1}^{\tau_3} t_n^{cs}(\tau_i). \quad (2)$$

3.7. Определяется скорость движения воздуха по вентилируемым полостям фундамента V_{φ} . Величина V_{φ} зависит от вида применяемой вентиляции - естественной или принудительной. При естественном движении воздуха, происходящим под действием ветрового и теплового напоров, V_{φ} устанавливается в зависимости от скорости ветра в районе строительства V_n^{cs} , ориентации здания или сооружения по сторонам 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_{φ} назначается в пределах 2 - 5 м/сек, окончательный выбор значения V_{φ} определя-

ются 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_3 , где $d_3 = 4F/\rho$ - эквивалентный диаметр вентилируемой полости фундамента; F и ρ - соответственно площадь и периметр поперечного сечения вентилируемой полости фундамента.

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

$$t_c^{cs}(y) = t_n^{cs} [(1+\beta) \exp(-\alpha y) - \beta] + t_o / (2R_k \alpha_c), \quad (3)$$

где R_k - сопротивление теплопередаче перекрытия над вентилируемым фундаментом, $m^2 \cdot ^\circ C / \text{Вт}$, требуемое значение которого $R_o^{TP} < R_k$ определяется по СНиП П-3-79 "Строительная теплотехника" так же, как для перекрытия над открытым вентилируемым подпольем;

$$\alpha = \frac{\lambda_n^n \varphi}{565 V_{\varphi} F (1 + \psi)}; \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\lambda_T^n t_o}{\lambda_n^n t_n^{cs}}; \quad (5)$$

$$\psi = \frac{\lambda_n^n \varphi}{\alpha_c \rho}. \quad (6)$$

Параметр φ находится по графикам рис.5 в зависимости от параметров B , $t_3 = \sqrt{F/\pi}$ и $h_3 = h_0 + \lambda_T^n R_k$, где h_0 равно 0,5 h ; 0,67 h и 0,6 h для вентилируемых полостей соответственно с прямоугольной, треугольной и полукруглой формой поперечного сечения. Значение h_0 для вентилируемых полостей трапециевидальной формы принимается как для полостей полукруглой

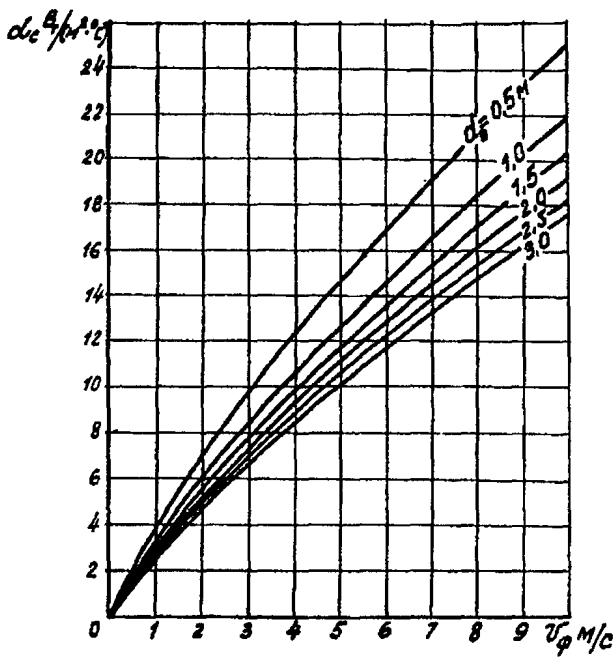


Рис.4. Графики для определения α_c

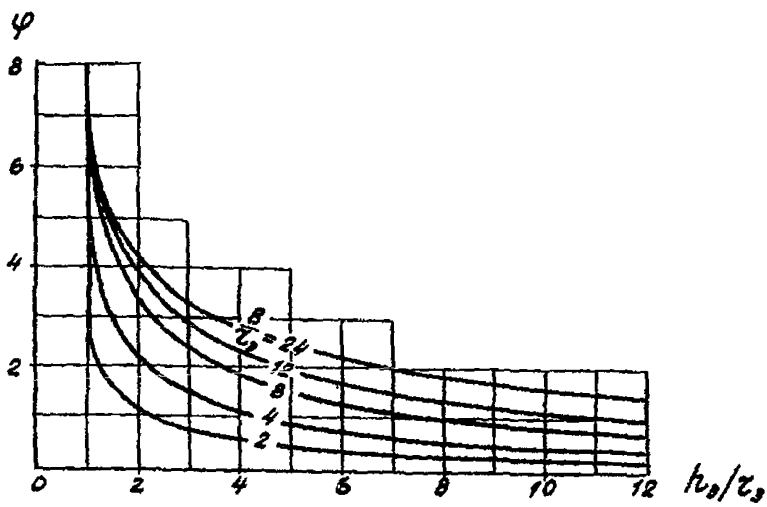


Рис. 5. Графики для определения параметра ψ

формы с равным основанием.

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

3.10. Находится продолжительность летней консервации фундаментов:

$$\tau_A = \tau_r - \tau_s, \quad (7)$$

где τ_r - продолжительность года, равная 12 мес.

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

$$R_\varphi^A = 0,4 + R_K + \sum \delta / \lambda_c. \quad (8)$$

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

$$t_c^A(\tau) = 0,33 t_B - \ln(2,3 R_\varphi^A) - 0,14 t_B \ln(1/t_H^{cs} / \tau_s / (t_B \tau)), \quad (9)$$

где τ - время, отсчитываемое от начала консервации фундаментов, мес.

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

$$t_c^{cs} = \frac{1}{\tau_A} \sum_{\tau_s}^{\tau_A} t_c^A(\tau_i). \quad (10)$$

3.14. Находится среднегодовая температура стенки фундамента:

$$t_c^{cr} = \frac{1}{\tau_r} (t_c^{cs} \tau_s + t_c^A \tau_A). \quad (11)$$

3.15. Вычисляется безразмерная температура U :

$$U = \frac{t_{H,2} - t_c^{cr}}{t_B \lambda_T / \lambda_H - t_c^{cs}}. \quad (12)$$

3.16. Определяется параметр Z_0 , м по следующим зависимостям:

для ленточных и столбчатых фундаментов -

$$Z_0 = H_0^n + H_0^n \lambda_T^n / \lambda_m^n, \quad (13)$$

для плитных фундаментов -

$$Z_0 = H_0^n + \lambda_T^n (\Sigma \delta / \lambda_c + q_T + H_0^n / \lambda_T). \quad (14)$$

3.17. Определяется требуемое сопротивление теплопередаче конструкции пола:

$$R_n^{TP} = \frac{\sqrt{[C(Z_0 + D)]^2 + K} - Z_0}{\lambda_T^n}, \quad (15)$$

где

$$K = \frac{0,18 \lambda_c t_0 z_0}{q}, \quad \text{м}^2; \quad (16)$$

$$\lambda = \frac{\lambda_T^n H_0^n + \lambda_T H_0^n}{H_0^n + H_0^n}, \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}); \quad (17)$$

$$q = \frac{\lambda_{ck}^n W_c H_0^n + \lambda_{ck} W_c H_0^n}{H_0^n + H_0^n}, \quad \text{кВт}/\text{м}^3; \quad (18)$$

$C = 1$ для прямоугольной и трапециевидальной формы полостей и $C = \beta$ для треугольной формы полостей; параметр Z_x 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^{TP} , обеспечивающие заданную величину H_0 , могут быть приняты линейно уменьшающимися по длине вентилируемой полости соответственно значениям t_c^{cs} на входе ($y = 0$) и на выходе ($y = L$) из нее.

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

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

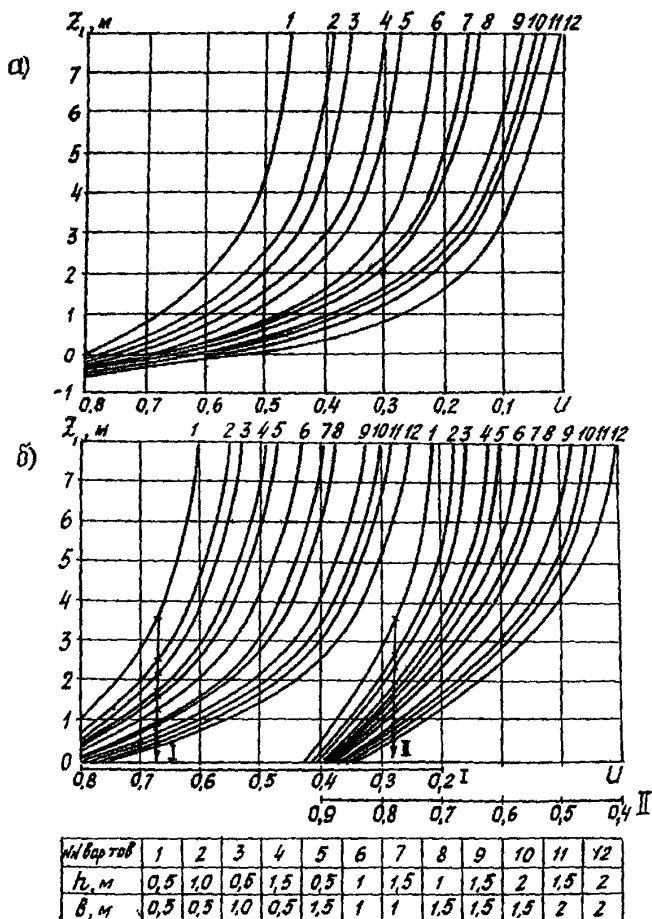


Рис. 6. Графики для определения χ_z при прямоугольной форме поперечного сечения вентилируемых полостей фундаментов:
 а) $B = 6 \text{ м}$; б) I - $B = 9 \text{ м}$; II - $B = 12 \text{ м}$

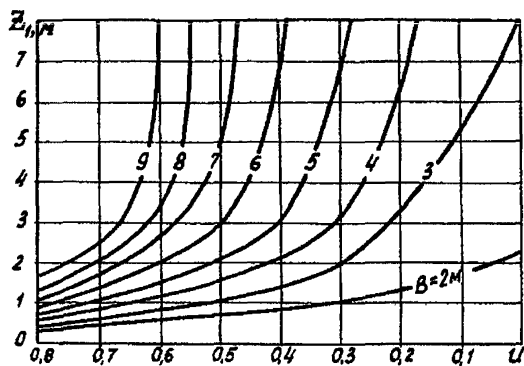


Рис. 7. Графики для определения χ , при треугольной форме вентилируемых полостей фундаментов

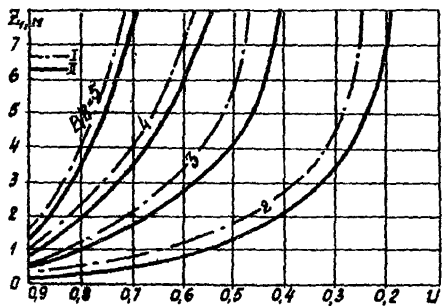


Рис. 8. Графики для определения $Z_{v,IV}$ при трапецидальной форме поперечного сечения вентилируемых полостей; I - фундаменты-оболочки; II - ленточные фундаменты

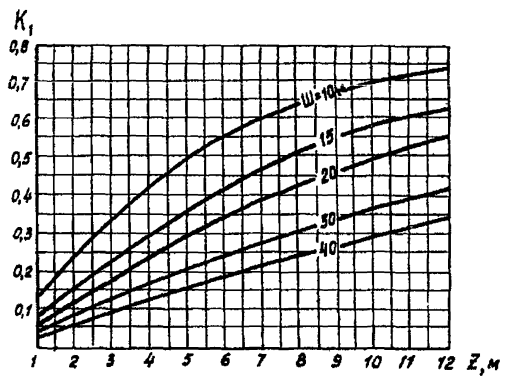


Рис. 9. Графики для определения коэффициента K_1

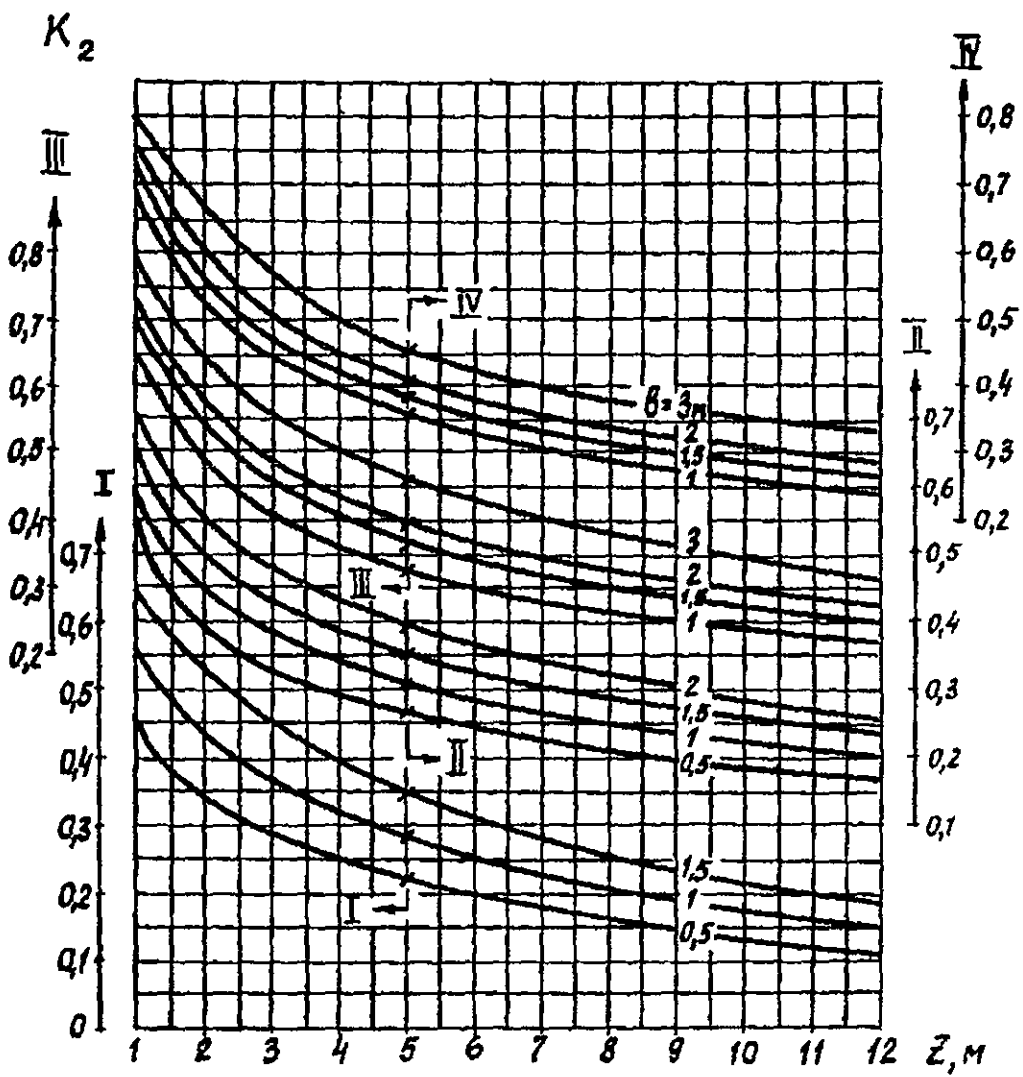


Рис. 10. Графики для определения коэффициента K_2 :
 I - $V = 3$ м; II - $V = 6$ м; III - $V = 9$ м; IV - $V = 12$ м

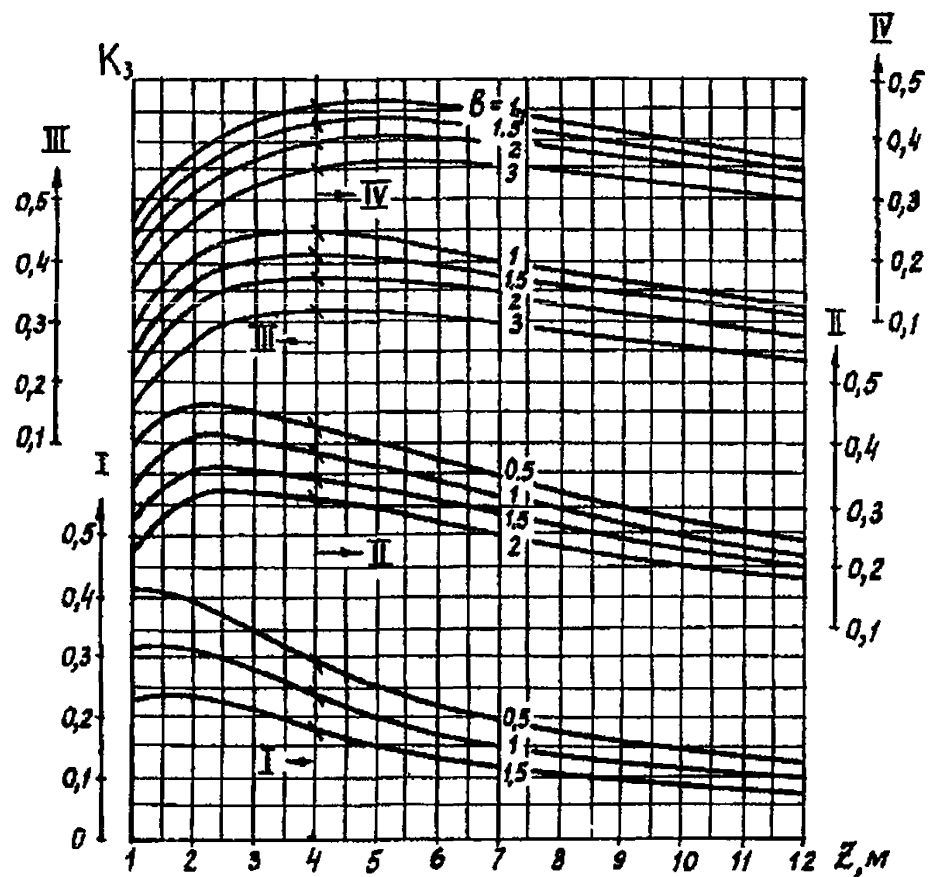


Рис. II. Графики для определения коэффициента K_3 :
 I - $B = 3$ м; II - $B = 6$ м; III - $B = 9$ м;
 IV - $B = 12$ м

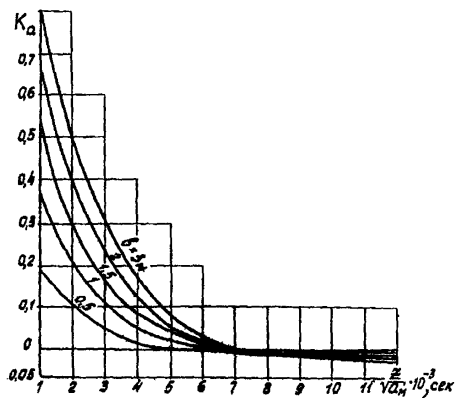


Рис. 12. Графики для определения значения коэффициента K_a

вентилируемыми полостями фундаментов. Расчет требуемого значения шага B_{TP} производится при $y = L$ в той же последовательности, что и параметра R_n^{TP} (ш.3.5+3.16), далее по формуле (19) при заданном значении R_n вычисляется параметр z_1 , по которому определяется значение $\beta = B_{TP}$ с использованием графиков рис.6,7,8

$$z_1 = \frac{\sqrt{(R_n \lambda_T^n + z_0)^2 - K}}{c} - f. \quad (19)$$

в) Определение расчетных температуры и глубины оттаивания грунта основания

3.19. Расчетные температуры грунта на глубине z от подошвы фундамента $t_N(z)$ определяются по следующей формуле:

$$t_N(z) = K_1 t_0 + K_2 t_c^{cr} + K_3 t_0^{cr} + K_4 A_c, \quad (20)$$

где $A_c = t_c^{\wedge}(z_{\wedge}) - t_c^{cr}$;

$t_c^{\wedge}(z_{\wedge})$ - вычисляется по формуле (9) при $z = z_{\wedge}$;

$$t_0^{cr} = u_0 (t_B \lambda_T^n / \lambda_n^n - t_c^{cr}) + t_c^{cr}; \quad (21)$$

u_0 - безразмерная температура, определяемая по графикам рис.6,7, 8 в зависимости от формы и размеров поперечного сечения вентиляруемых полостей при $z_1 = h + R_n \lambda_T^n$;

K_1, K_2, K_3, K_4 - коэффициенты, определяемые по графикам рис.9,10, 11,12.

3.20. Расчетная глубина оттаивания грунта под подошвой фундамента H_0 определяется по графику зависимости $t_N = t_N(z)$ при $t_N(z) = t_{N3}$.

4. ПРИМЕР ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОСНОВАНИЯ

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

Исходные данные для расчета.

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

Таблица I

Значения среднемесячных скоростей ветра и температур
наружного воздуха

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$V_{н}^{ср}, м/с$	5,0	4,7	4,6	5,2	5,1	5,0	4,3	4,5	4,8	5,9	5,0	5,0
$t_{н}^{ср}, ^\circ C$	-26,2	-23,8	-18,6	-12,4	-3,6	8,0	13,2	10,1	4,1	-5,2	-19,8	-24,3

Подсыпка устраивается из песчаного грунта, имеющего суммарную влажность $W_c'' = 0,1$ и плотность скелета $\gamma_{ск}'' = 16 \text{ кН/м}^3$, коэффициенты теплопроводности грунта подсыпки в талом и мерзлом состоянии при этом равны $\lambda_T'' = 1,45 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$, $\lambda_M'' = 1,62 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$.

Грунт основания - песок с температурой $t_o = -0,5^\circ\text{C}$, $t_{н.з} = 0^\circ\text{C}$, суммарной влажностью $W_c = 0,2$ и плотностью скелета $\gamma_{ск} = 15 \text{ кН/м}^3$, коэффициенты теплопроводности грунта основания в талом и мерзлом состоянии равны $\lambda_T = 2,15 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$, $\lambda_M = 2,38 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$, объемная теплоемкость грунта в мерзлом состоянии

$C_M = 2140 \text{ кДж/(м}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$, при этом коэффициент температуропроводности грунта

$$a_M = \frac{\lambda_M}{C_M} = \frac{2,38}{2140 \cdot 1000} = 1,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Ширина здания $Ш = 24 \text{ м}$, длина $L = 48 \text{ м}$, расчетная температура воздуха в здании $t_B = 18^\circ\text{C}$. Фундамент - пространственный вентилируемый плитного типа из сборного железобетона со следующими характеристиками: высота $h = 1,5 \text{ м}$, ширина подошвы вентилируемой полости $\delta = 1,5 \text{ м}$, суммарная толщина стенок $\sum \delta = 0,3 \text{ м}$, коэффициент теплопроводности железобетона $\lambda_c = 2,03 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ\text{C)}$, толщина подсыпки под подошвой фундамента $H_0'' = 0,5 \text{ м}$, допустимая глубина оттаивания грунта основания $H_0'' \leq 0,9 \text{ м}$, вентилируется каждая третья полость фундамента ($B = 4,5 \text{ м}$).

Согласно графику, построенному по данным таблицы I, период зимнего вентилирования при условии $t_{н}^b = -5^\circ\text{C}$ установлен с 20.X по 20.V, при этом его продолжительность $\mathcal{Z}_3 = 7$ месяцев.

По формулам (1) и (2) находим средние за период вентилирования скорость ветра и температуру наружного воздуха:

$$V_{н}^{ср} = \frac{1}{7} \sum_{j=1}^7 V_{н}^{срj} = 5,1 \text{ м/с}; \quad t_{н}^{ср} = \frac{1}{7} \sum_{j=1}^7 t_{н}^{срj} = -18,6^\circ\text{C}.$$

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

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

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

$$d_3 = 4F/\rho = (4 \cdot 1,125) / 4,86 = 0,93 \text{ м}.$$

По графикам рис. 4 при $V_{\varphi} = 1,25 \text{ м/с}$ и $d_3 = 0,93 \text{ м}$ находим коэффициент теплоотдачи стенок фундамента $\alpha_c = 4,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

По формуле (1) СНиП П-3-79 определяем требуемое сопротивление теплопередачи перекрытия над вентилируемым фундаментом при $\Delta t'' = 2,5^\circ\text{C}; n = 1$ и $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$:

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

Принимаем максимальное (при $y = 0$) значение сопротивления теплопередаче перекрытия $R_K = 3,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$.

Вычисляем параметры χ_3 и h_3 :

$$\chi_3 = \sqrt{F/\alpha} = \sqrt{1,125/3,14} = 0,6 \text{ м};$$

$$h_3 = h_o + \lambda_T^* R_K = 0,67 \cdot 1,5 + 1,45 \cdot 3,2 = 5,65 \text{ м}.$$

По графикам рис. 5 при $B/\chi_3 = 4,5/0,6 = 7,5$ и $h_3/\chi_3 = 5,65/0,6 = 9,4$ находим параметр $\psi = 0,8$.

По формулам (4) - (6) вычисляем параметры ψ , β и a :

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

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

По формуле (3) вычисляем значение средней за время χ_3 температуры стенки вентилируемого фундамента для двух расчетных сечений $y = 0$ и $y = 48 \text{ м}$:

$$t_c^{ca}(0) = -18,6 [(1 + 0,87) \exp(-a \cdot 0) - 0,87] + 18/(2 \cdot 3,2 \times 4,25) = -17,9^\circ\text{C};$$

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

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

$$y = 48 \text{ м.}$$

По формуле (7) определяем продолжительность летней консервации фундамента: $\tau_A = 12 - 7 = 5 \text{ мес.}$

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

$$R_p^A = 0,4 + 3,2 + \frac{0,3}{2,03} = 3,75 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт.}$$

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

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

Таблица 2

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

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

По формуле (10) определяется средняя за время τ_A температура стенки фундамента:

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

По формуле (11) находим среднегодовую температуру стенки фундамента:

$$t_c^0 = \frac{1}{12} (-15,9 \cdot 7 + 1,61 \cdot 5) = -8,6 \text{ °C.}$$

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

$$\lambda, \rho \text{ и } \kappa$$

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

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

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

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

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

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

Определяем расчетные температуры грунта по формуле (20), вычислив предварительно значения параметров A_c , x_1 , u и t_o^{cr} :

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

$$x_1 = 1,5 + 2,5 \cdot 1,45 = 5,1 \text{ м}.$$

По графикам рис.7 находим при $B = 4,5 \text{ м}$ и $x_1 = 5,1 \text{ м}$ значение $u = u_0 = 0,28$.

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

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

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

Таблица 3

Значения коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 , K_a и расчетных температур грунта $t_n(x)$

$x, \text{ м}$	K_1	K_2	K_3	K_a	$t_n(x), \text{°С}$
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 $t_n(z) = t_{н.з} = 0^{\circ}\text{C}$ будет равна $H_o = 1,2$ м, при этом толщина оттаявшего подстилающего грунта $H_o'' = H_o - 0,5 \text{ м} = 1,2 - 0,5 = 0,7$ м. Неравномерность оттаивания основания составит $\Delta H_o = H_o'' - H_o' = 0,9 - 0,7 = 0,2$ м.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА	9
3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАДАННЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ	10
а) Расчет требуемого сопротивления теплопередаче конструкции пола	11
б) Расчет требуемого шага между вентилируемыми полостями фундамента	16
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