



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-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.1. Настоящие Рекомендации составлены в развитие главы СНиП II-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.

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, 1985), 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.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 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, трапециевидную, 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

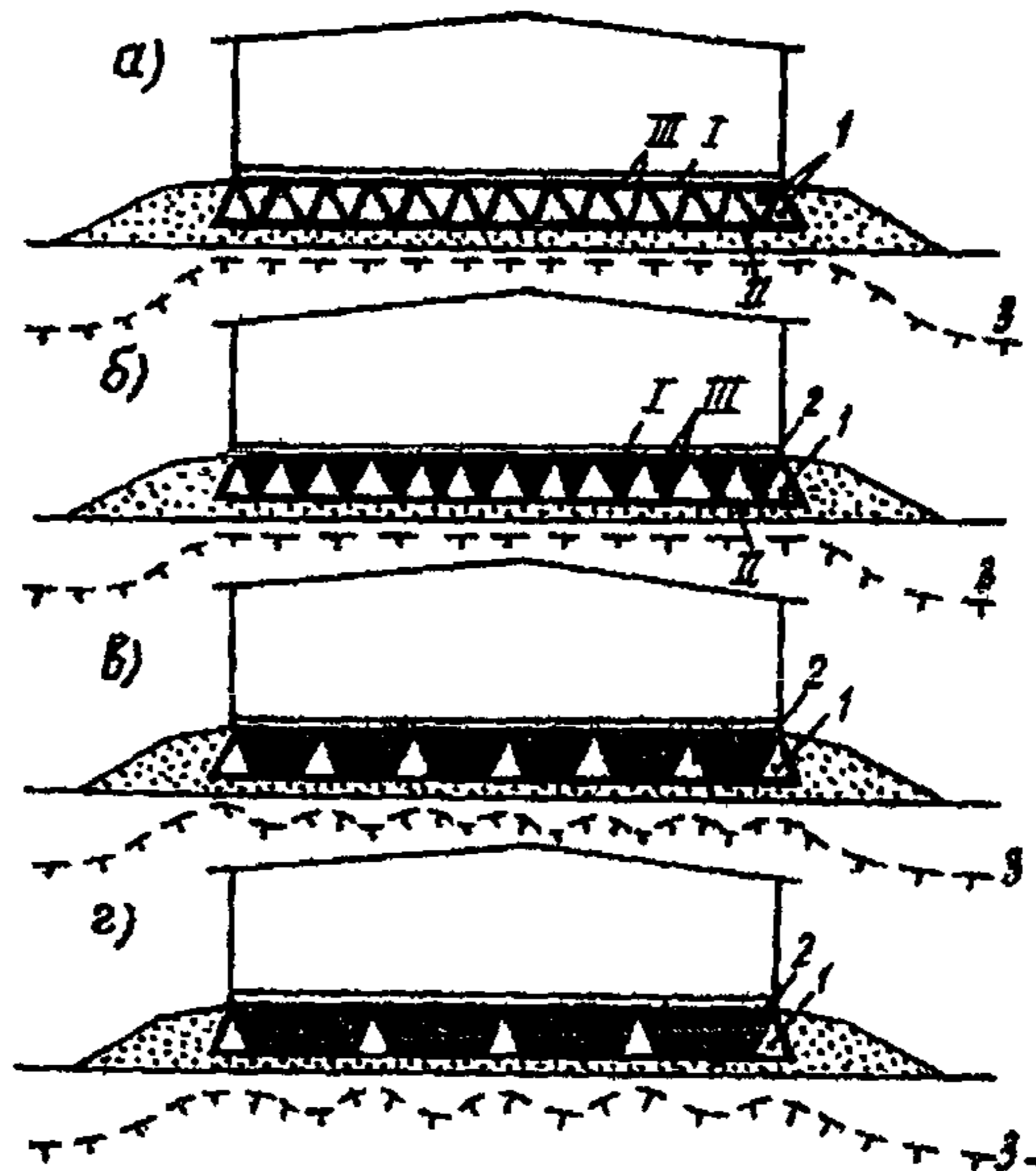


Рис. I. Схемы охлаждения грунтов оснований плитных фундаментов:
 а, б - общее охлаждение; в, г - местное охлаждение;
 I - верхний пояс; II - нижний пояс; III - наклонные элемен-
 ты;
 I - вентилируемые полости;
 2 - закрытые полости;
 3 - граница талой зоны

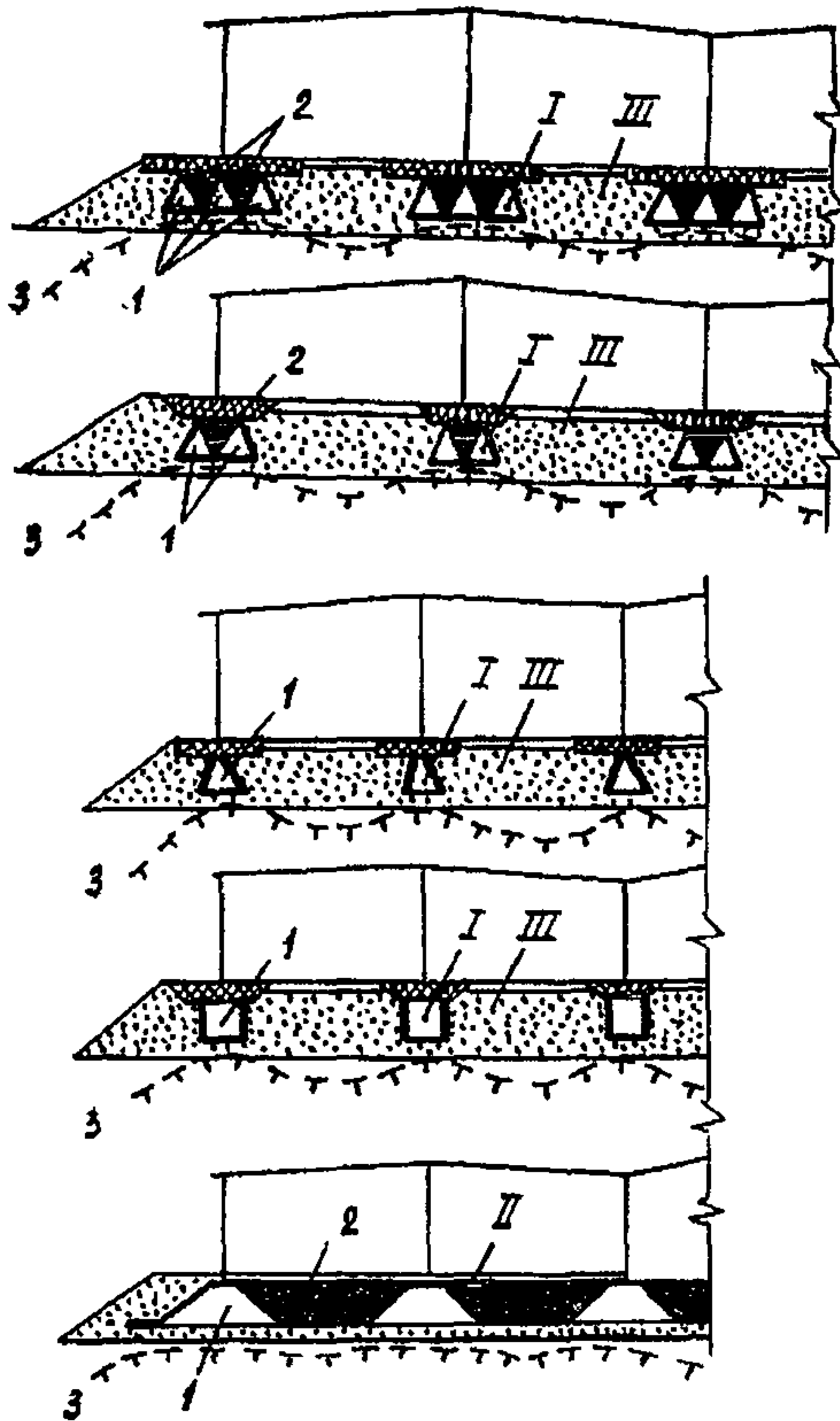


Рис. 2. Схемы охлаждения грунтов оснований ленточных и столбчатых фундаментов:
 I - вентилируемые полости; 2 - закрытые полости;
 3 - граница талой зоны

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 подошвы 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 рандбалками, 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

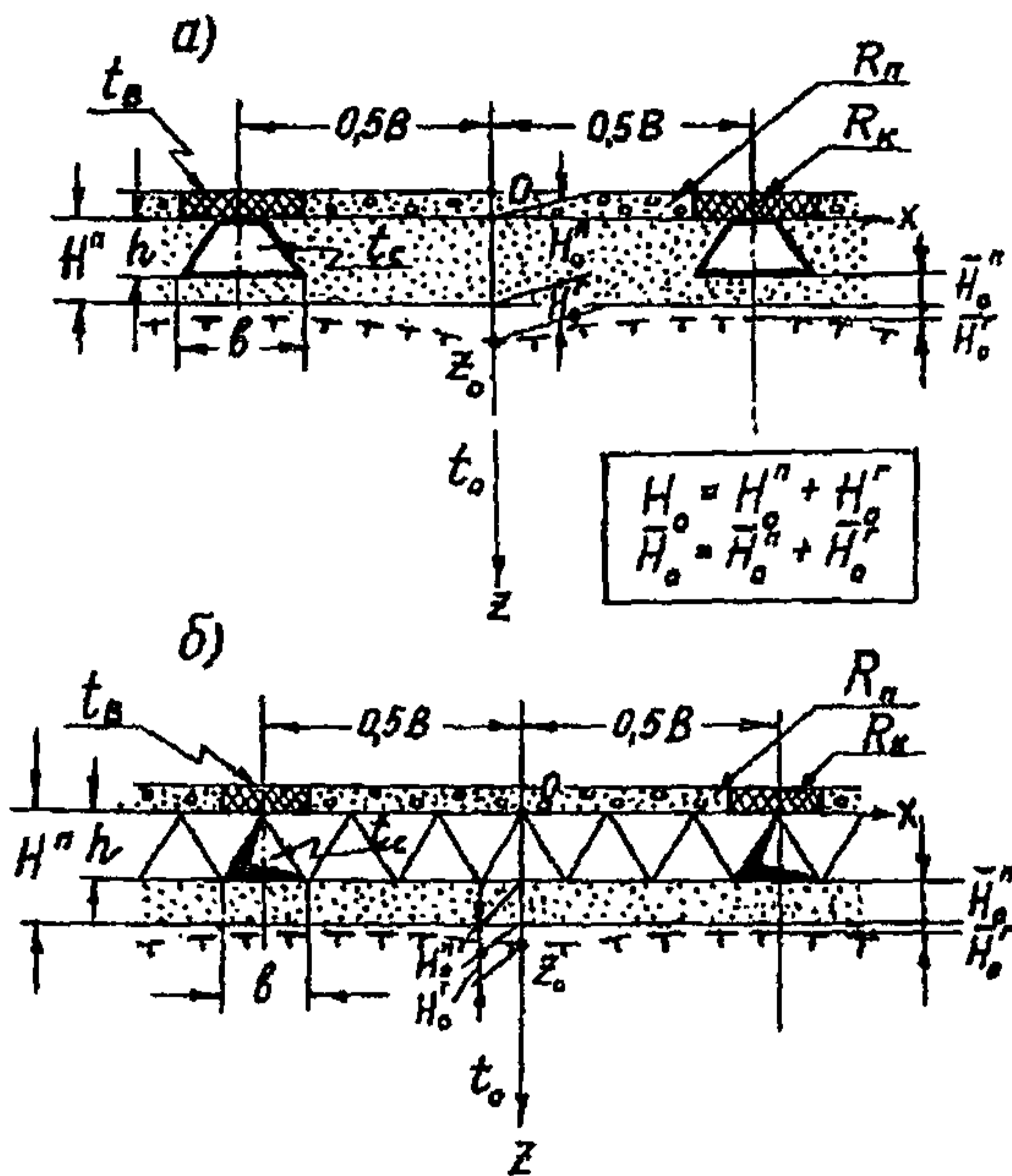


Рис. 3. Расчетная схема для теплотехнического расчета:
 а - ленточные и столбчатые фундаменты;
 б - плитный фундамент

работы фундаментов и сооружения.

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 подошвы 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 подошвы расчет фундаментов в соответствии со СНиП II-18-76 производится по несущей способности и деформациям оттаявшего слоя подошвы.

В случае оттаивания подстилающих естественных грунтов расчет фундаментов производится по несущей способности и деформациям оттаявших слоев подошвы и грунта, а также по устойчивости фундамента при действии сил морозного пучения 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 подошвы 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 подошвы 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 $t_m(z)$ 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 $t_{н}, ^\circ\text{C}$;

среднемесячные температуры наружного воздуха $t_{н}^{см}, ^\circ\text{C}$;

среднемесячные скорости ветра $V_{н}, \text{м/с}$.

2.2. Характеристики вечномерзлых грунтов площадки строительства определяются по результатам инженерных изысканий, лабораторных исследований и по СНиП П-18-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" и включают наименования и состав грунтов, а также: температуру вечномерзлого грунта на глубине 10 м $t_0, ^\circ\text{C}$, температуру начала замерзания грунтовой влаги $t_{н.з.}, ^\circ\text{C}$; коэффициенты теплопроводности грунта в талом $\lambda_{т}$ и мерзлом $\lambda_{м}$ состояниях, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, объемную теплоемкость грунта в мерзлом состоянии $C_{м}, \text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$, определяемые экспериментальным путем или по приложению I СНиП П-18-76 в зависимости от суммарной влажности грунта W_c , доли ед, и плотности скелета $\gamma_{ск}, \text{кН}/\text{м}^3$.

Характеристики подсыпки включают наименование и состав грунта, а также высоты подсыпки H'' и H_0'' соответственно между и под фундаментами, коэффициенты теплопроводности в талом $\lambda_{т}''$ и мерзлом $\lambda_{м}''$ состояниях, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, определяемые экспериментальным путем или по приложению I СНиП П-18-76 в зависимости от суммарной влажности грунта W_c'' , доли ед, и плотности его скелета $\gamma_{ск}''$, $\text{кН}/\text{м}^3$.

2.4. По наземной конструкции здания или сооружения задаются сопротивление теплопередаче конструкции пола первого этажа R_n , расположение в плане несущих фундаментов, а также длина L и ширина $Ш$ здания или сооружения, расчетная температура воздуха в помещении t_a , °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 b , м; шаг между вентилируемыми полостями B , м; коэффициент теплопроводности материала фундамента λ_c , Вт/(м²·°С).

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: среднезимней температуры на стенках вентилируемых полостей фундаментов t_c^{cs} , °С; расчетной температуры воздуха в помещении t_a , °С; сопротивления теплопередаче конструкции пола R_n , м²·°С/Вт; коэффициентов теплопроводности подсыпки λ_r , λ_m и подстилающего грунта λ_r , λ_m , Вт/(м·°С); формы и геометрических размеров вентилируемых полостей фундаментов (высоты h и ширины подошвы b , м); шага между вентилируемыми полостями B , м; высоты подсыпки H'' , м.

3.2. Наиболее существенное влияние на величину H_0 оказывает сопротивление теплопередаче конструкции пола R_n 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_0 сопротивления теплопередаче конструкции пола R_n^{TP} проводится по заданным расчетной температуре воздуха в помещении t_0 , средним за период вентиляции скорости ветра V_H^{CS} и температуре наружного воздуха t_H^{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 $t_H^{CS}(\tau)$. Для исключения возможности выпадания инея на стенках фундамента при попадании в фундамент теплого воздуха, его вентилирование производится при устойчивых отрицательных температурах наружного воздуха t_H^0 , исходя из условия $t_H^0 \leq -5^\circ\text{C}$.

3.6. Находятся средние за период зимнего вентилирования τ_3 скорость ветра V_H^{CS} и температура наружного воздуха t_H^{CS}

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

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

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_H^{CS} , 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_φ назначается в пределах 2 – 5 м/сек, окончательный выбор значения V_φ 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_3 , где $d_3 = 4F/P$ - 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 $t_c^{cs}(y)$ в зависимости от расстояния y от входа воздуха в фундамент по формуле:

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

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

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

$$\beta = \frac{\lambda_T'' t_v}{\lambda_n'' |t_n^{cs}|}; \quad (5)$$

$$\psi = \frac{\lambda_n'' \varphi}{\alpha_c P}. \quad (6)$$

Параметр φ находится по графикам рис.5 в зависимости от параметров B , $z_3 = \sqrt{F/\pi}$ и $h_3 = h_0 + \lambda_T'' R_k$, 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 трапецидальной формы принимается как для полостей полукруглой

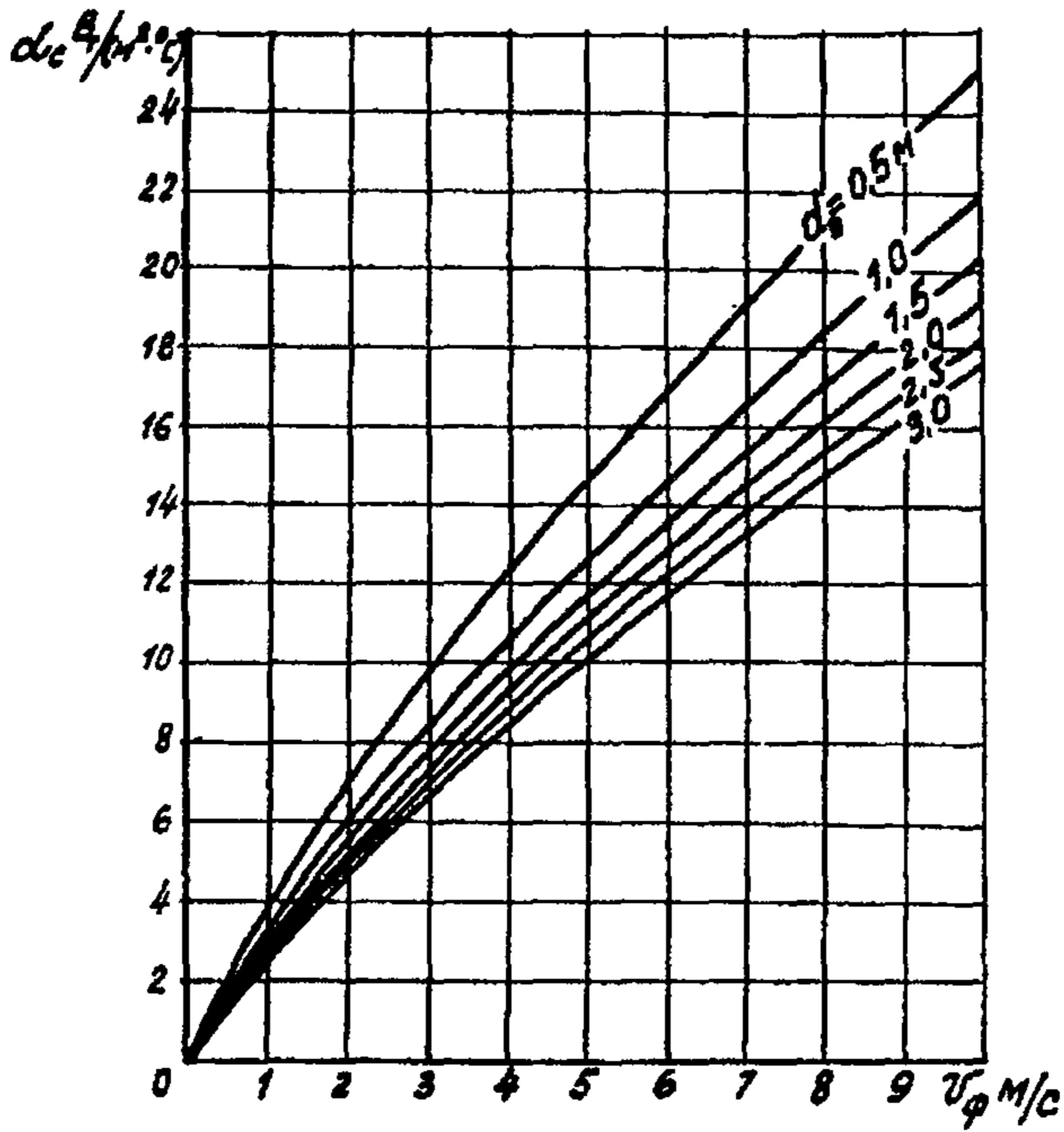


Рис.4. Графики для определения α_c

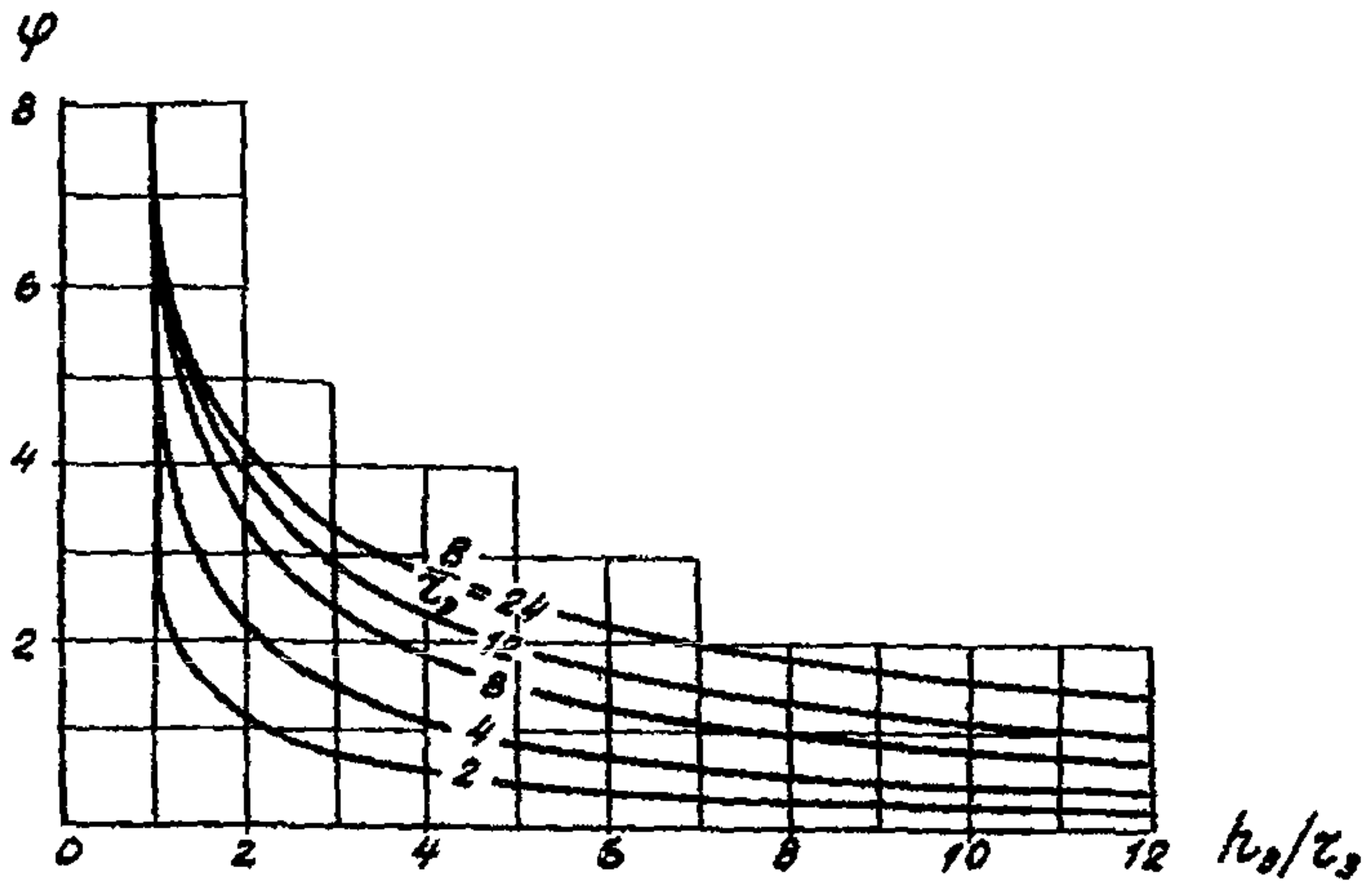


Рис. 5. Графики для определения параметра ψ

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 ($y \approx 0$), наименьшее $R_o^{TP}(L)$ - конечному участку ($y \approx L$), 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 ($t_H(L) - t_H^{cs}(L)$) 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:

$$\tau_A = \tau_r - \tau_3, \quad (7)$$

где τ_r - продолжительность года, равная 12 мес.

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

$$R_{\varphi}^{\wedge} = 0,4 + R_k + \sum \delta / \lambda_c. \quad (8)$$

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

$$t_c^{\wedge}(\tau) = 0,33 t_o - \ln(2,3 R_{\varphi}^{\wedge}) - 0,14 t_o \ln(t_H^{cs} / \tau_3 / (t_o \tau)), \quad (9)$$

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

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

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

3.14. Находится среднегодовая температура стенки фундамента:

$$t_c^{cr} = \frac{1}{\tau_r} (t_c^{cs} \tau_3 + t_c^{cs} \tau_A). \quad (11)$$

3.15. Вычисляется безразмерная температура U :

$$U = \frac{t_{н.з} - t_c^{cs}}{t_o \lambda_T / \lambda_M - t_c^{cs}}. \quad (12)$$

3.16. Определяется параметр \bar{z}_0 , м по следующим зависимостям:

для ленточных и столбчатых фундаментов -

$$\bar{z}_0 = H_0'' + H_0'' \lambda_T'' / \lambda_m'' , \quad (I3)$$

для плитных фундаментов -

$$\bar{z}_0 = H_0'' + \lambda_T'' (\sum \delta / \lambda_c + 0,4 + H_0'' / \lambda_T) . \quad (I4)$$

3.17. Определяется требуемое сопротивление теплопередаче конструкции пола:

$$R_n^{TP} = \frac{\sqrt{[C(\bar{z}_1 + 1)]^2 + \kappa} - \bar{z}_0}{\lambda_T''} , \quad (I5)$$

где

$$\kappa = \frac{0,18 \lambda t_0 z_1}{\varphi} , \quad \text{м}^2 ; \quad (I6)$$

$$\lambda = \frac{\lambda_T'' H_0'' + \lambda_T H_0''}{H_0'' + H_0'} , \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}) ; \quad (I7)$$

$$\varphi = \frac{\gamma_{ck}'' W_c'' H_0'' + \gamma_{ck} W_c H_0'}{H_0'' + H_0'} , \quad \text{кН}/\text{м}^3 ; \quad (I8)$$

$C = I$ для прямоугольной и трапецидальной формы полостей и
 $C = B$ для треугольной формы полостей; параметр \bar{z}_1 определяется в зависимости от формы поперечного сечения вентилируемых полостей фундаментов, шага между ними B и безразмерной температуры \mathcal{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

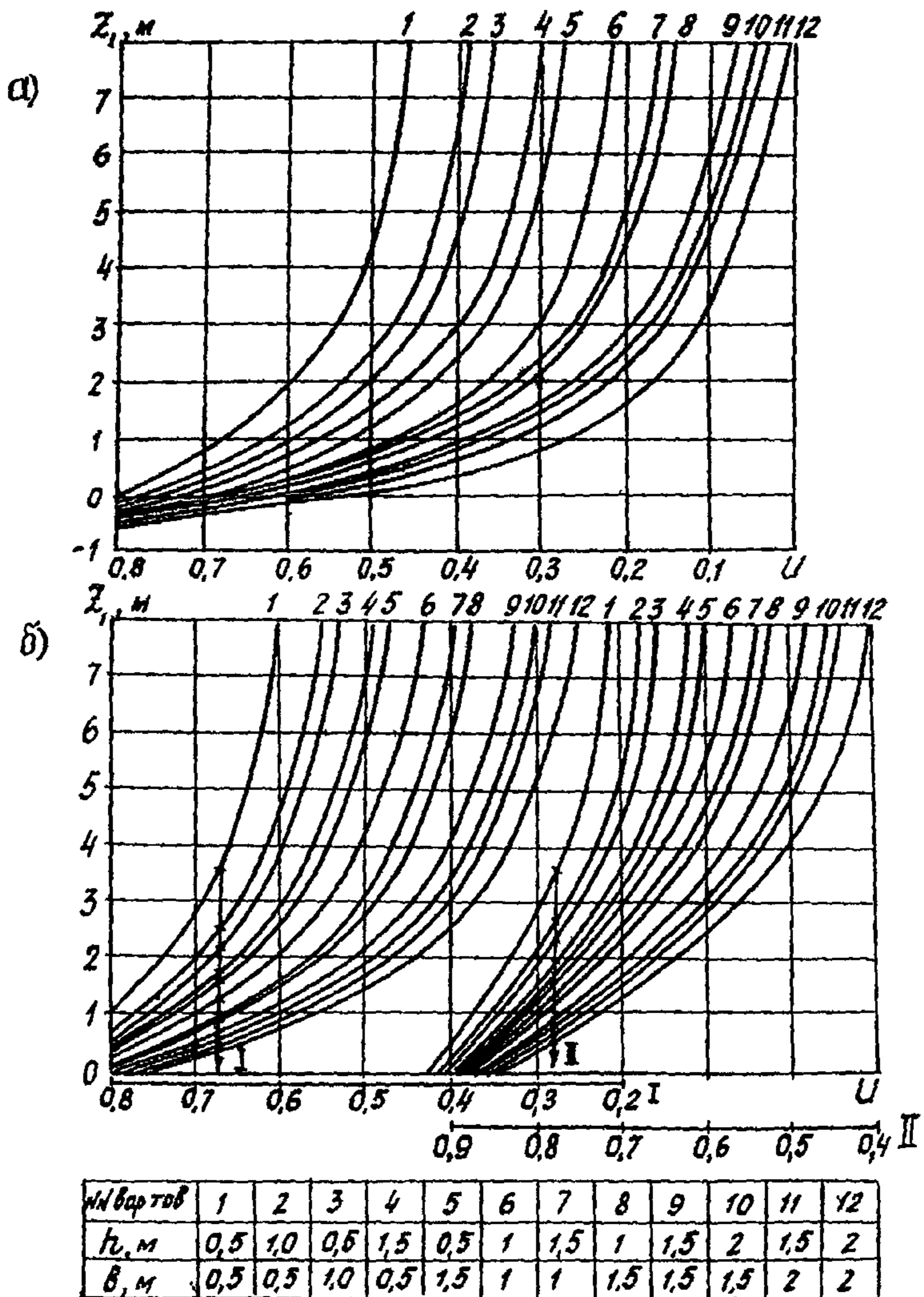


Рис. 6. Графики для определения Z_1 при прямоугольной форме поперечного сечения вентилируемых полостей фундаментов:
 а) $B = 6 м$; б) I - $B = 9 м$; II - $B = 12 м$

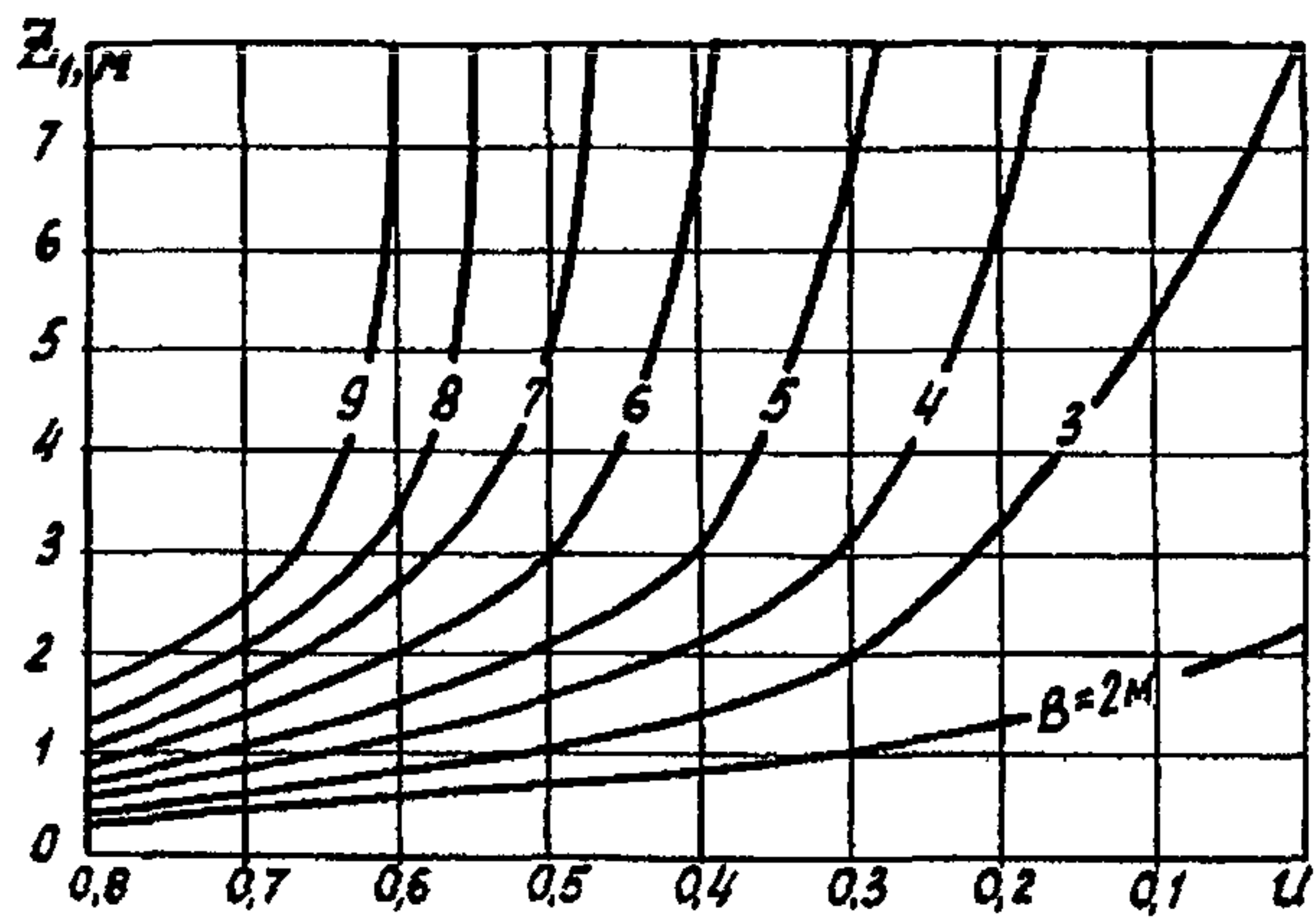


Рис. 7. Графики для определения χ , при треугольной форме вентилируемых полостей фундаментов

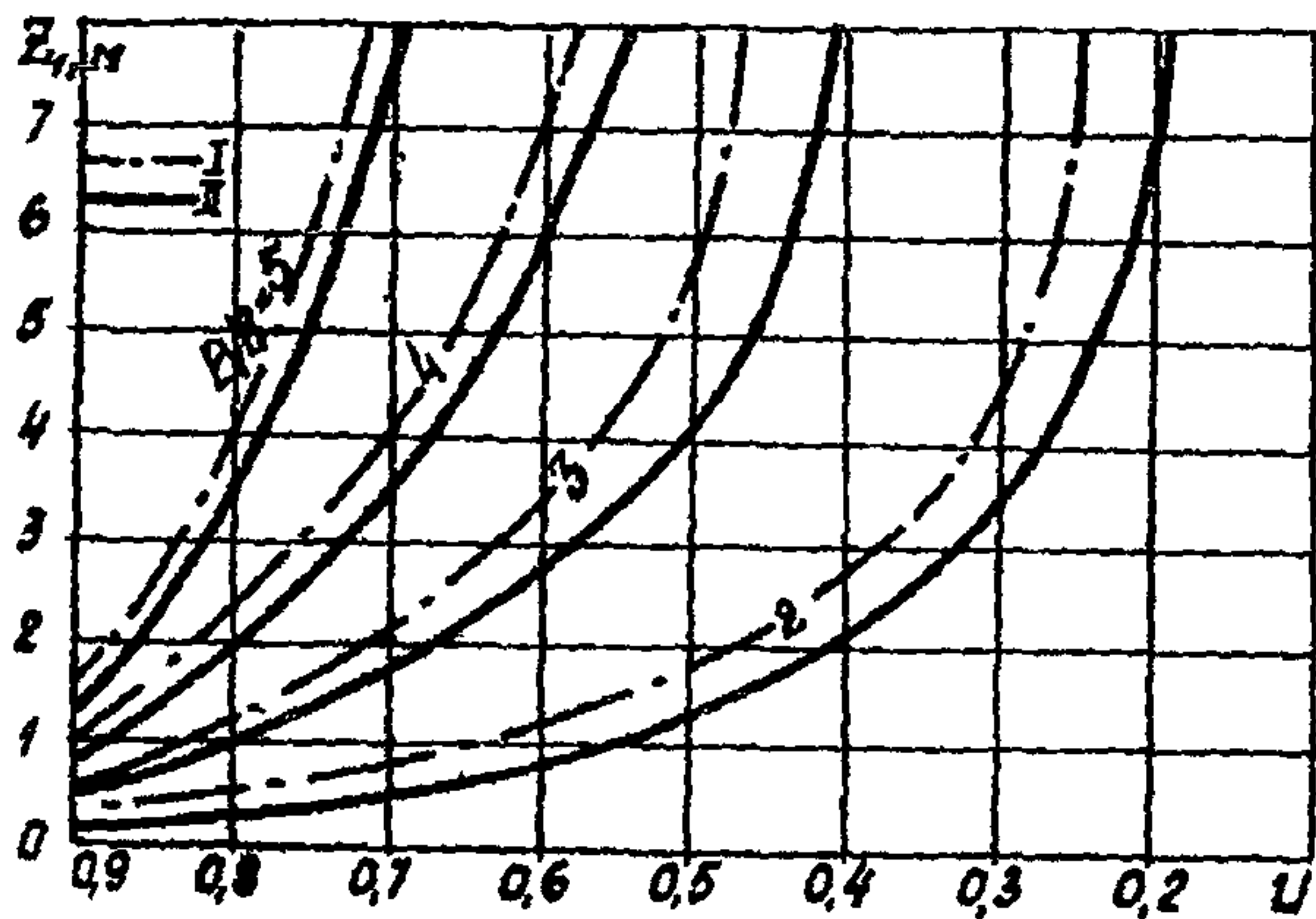


Рис. 8. Графики для определения Z_1 при трапецидальной форме поперечного сечения вентилируемых полостей; I - фундаменты-оболочки; II - ленточные фундаменты

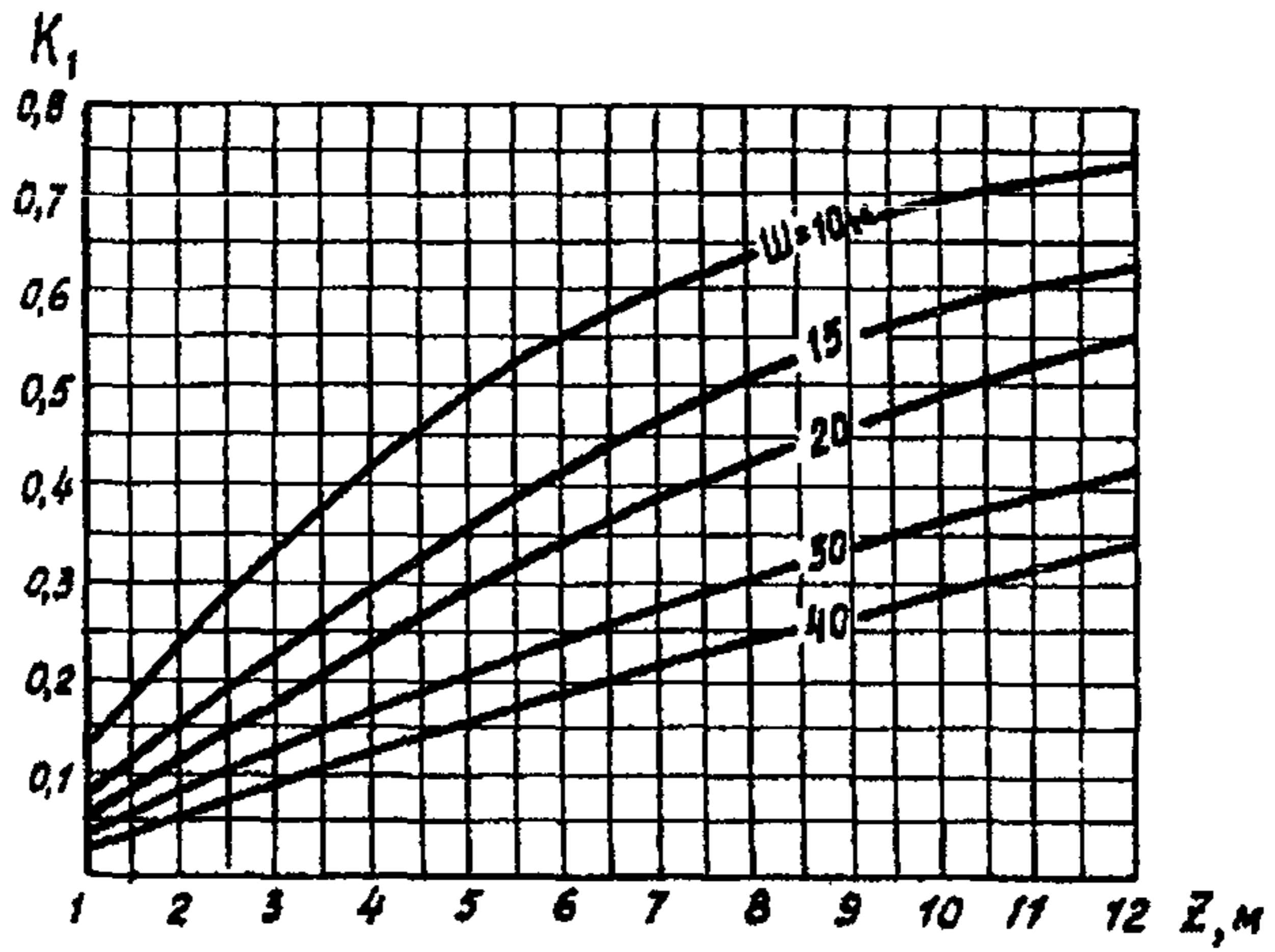


Рис. 9. Графики для определения коэффициента K_1

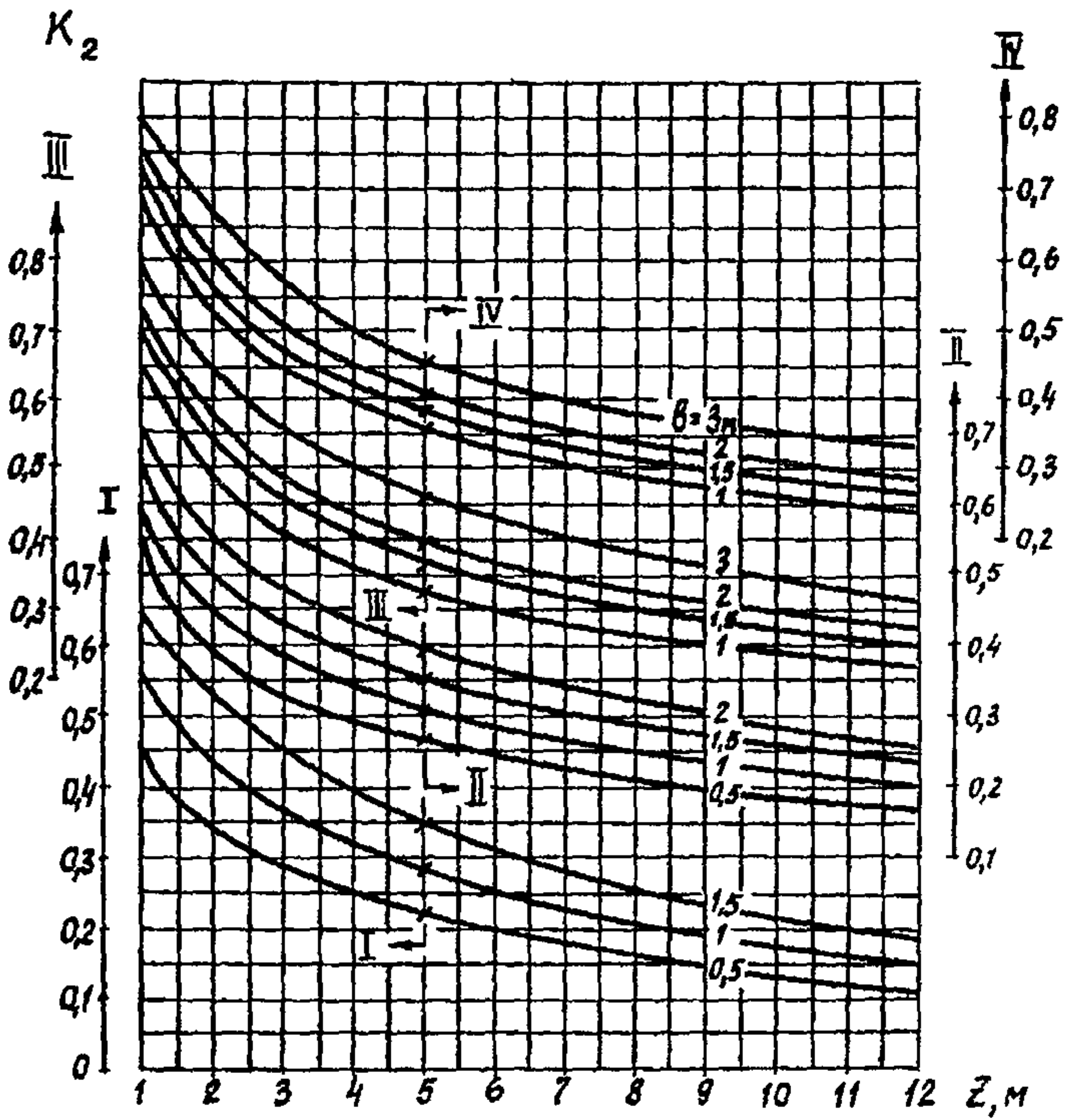


Рис. 10. Графики для определения коэффициента K_2 :
 I - $V = 3$ м; II - $V = 6$ м; III - $V = 9$ м; IV - $V = 12$ м

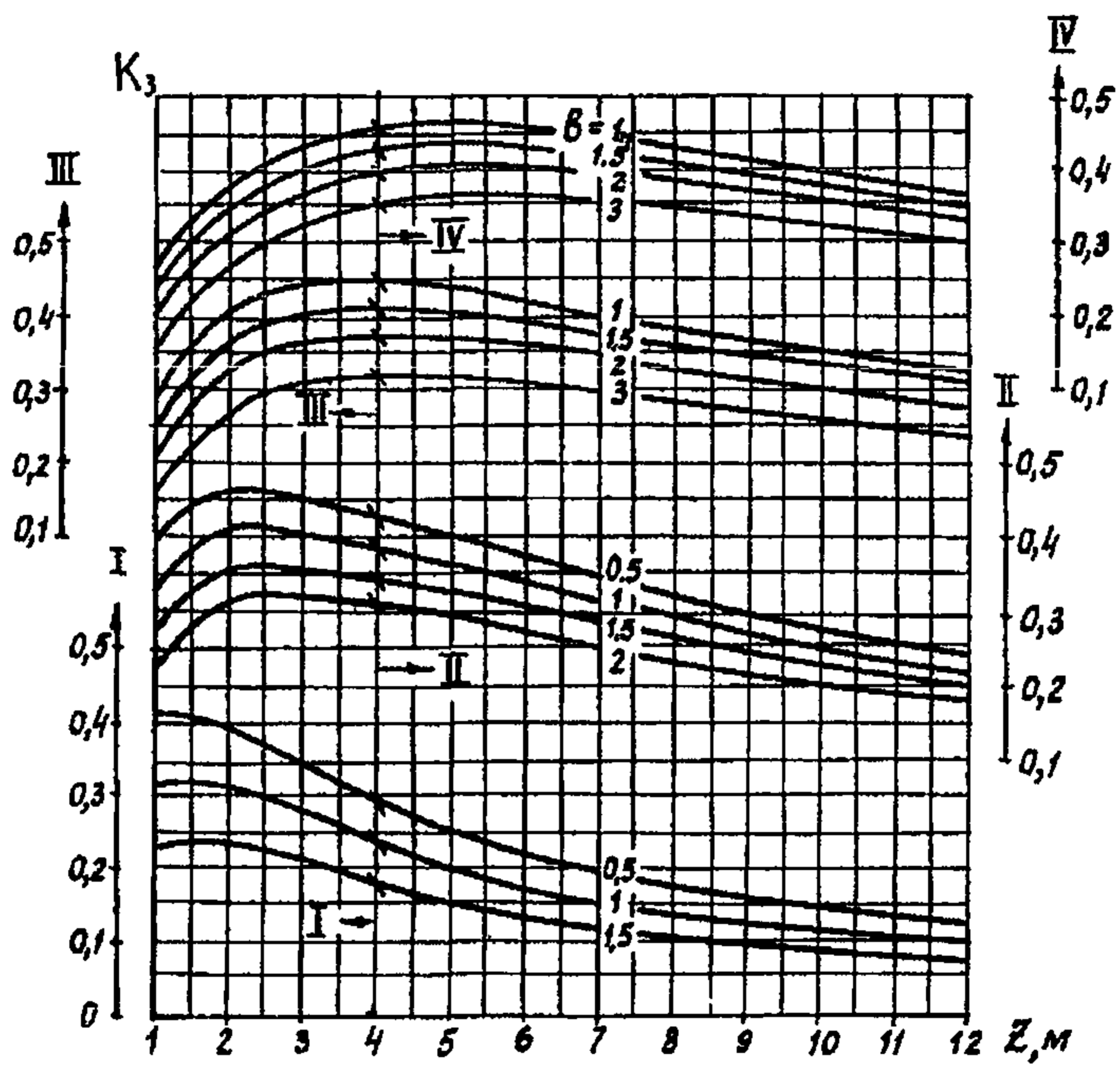


Рис. II. Графики для определения коэффициента K_3 :

I - $B = 3$ м; II - $B = 6$ м; III - $B = 9$ м;
 IV - $B = 12$ м

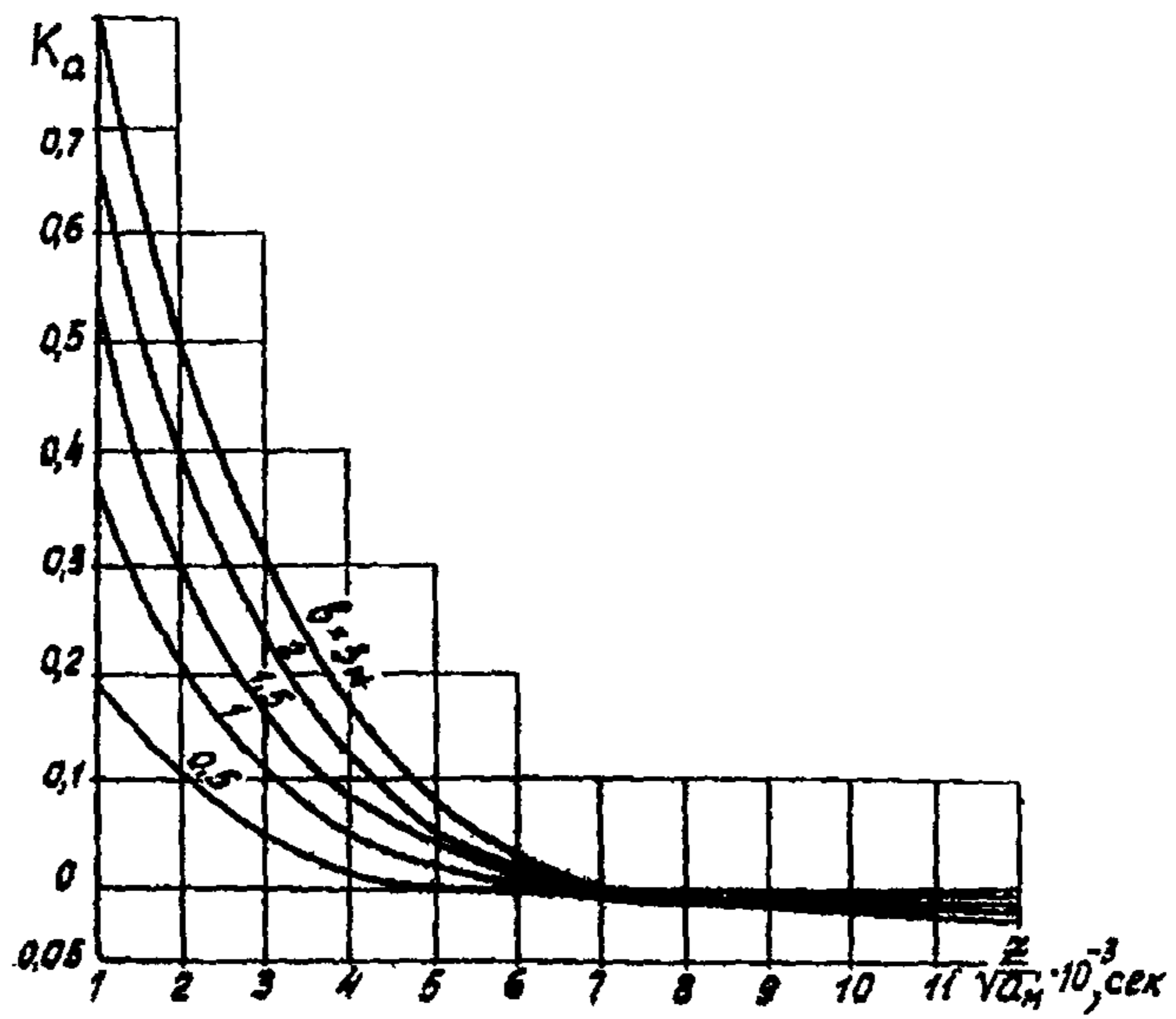


Рис. 12. Графики для определения значения коэффициента K_α

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

$$z_1 = \frac{\sqrt{(R_n \lambda_T^n + z_0)^2 - K}}{C} - 1. \quad (19)$$

в) Определение расчетных температур и глубины оттаивания грунта основания

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

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

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

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

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

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 $t_M = t_M(z)$ при $t_M(z) = t_{нз}$.

4. ПРИМЕР ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ОСНОВАНИЯ

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

Исходные данные для расчета.

Средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки $t_M = -48^\circ\text{C}$, 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	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$V_H^{CM}, \text{ м/с}$	5,0	4,7	4,6	5,2	5,1	5,0	4,3	4,5	4,8	5,9	5,0	5,0
$t_H^{CM}, ^\circ\text{C}$	-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 $t_0 = -0,5^\circ\text{C}$, $t_{н.з} = 0^\circ\text{C}$, 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 $W = 24 \text{ м}$, 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 $b = 1,5 \text{ м}$, 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 $t_H^0 = -5^\circ\text{C}$ установлен с 20.X по 20.V, при этом его продолжительность $\tau_z = 7$ месяцев.

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

$$V_H^{CS} = \frac{1}{7} \sum_1^7 V_H^{CM} = 5,1 \text{ м/с}; \quad t_H^{CS} = \frac{1}{7} \sum_1^7 t_H^{CM} = -18,6^\circ\text{C}.$$

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

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

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

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

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

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

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

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

Вычисляем параметры χ_{φ} и h_{φ} :

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

$$h_{\varphi} = h_o + \lambda_T R_k = 0,67 \cdot 1,5 + 1,45 \cdot 3,2 = 5,65 \text{ м}.$$

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

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

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

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

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

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

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

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 фундаментов: $\tau_A = 12 - 7 = 5 \text{ мес.}$

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

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

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

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

Таблица 2

Результаты расчета температур $t_c^{\wedge}(\tau)$

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

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

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

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 $\theta = 4,5$ м определяем параметр $Z_1 = 1,8$ и далее по формулам (16) - (18) - параметры

$$\lambda, \varphi \text{ и } \kappa$$

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

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

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

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

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

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

Определяем расчетные температуры грунта по формуле (20), вычислив предварительно значения параметров A_c , z_1 , u и t_0^{cr} :

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

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

По графикам рис.7 находим при $b = 4,5 \text{ м}$ и $z_1 = 5,1 \text{ м}$ значение $u = u_0 = 0,28$.

По формуле (21) определяем параметр t_0^{cr} :

$$t_0^{cr} = 0,28 \cdot (18 \cdot 1,45/1,62 - (-8,6)) - 8,6 = -1,68 \text{°С}.$$

По графикам рис.9-12 определяем коэффициенты K_1 , K_2 , K_3 и K_a , и далее по формуле (20) - расчетные температуры грунта $t_m(z)$, 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 $t_m(z)$

$z, \text{ м}$	K_1	K_2	K_3	K_a	$t_m(z), \text{°С}$
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	0,38	0,27	0,18	-0,01	-2,95

Согласно данным табл.3, расчетная глубина оттаивания грунта под подошвой вентилируемой полости фундамента при $t_n(x) = t_{н.з} = 0^{\circ}\text{C}$ будет равна $\bar{H}_0 = 1,2$ м, при этом толщина оттаявшего подстилающего грунта $\bar{H}_0'' = \bar{H}_0 - 0,5 \text{ м} = 1,2 - 0,5 = 0,7$ м. Неравномерность оттаивания основания составит $\Delta H_0 = H_0'' - \bar{H}_0'' = 0,9 - 0,7 = 0,2$ м.

