

Задание на 10.11.21: Изучаем материал лекции. Материалы лабораторной работы отправляем на мою почту. После проверки размещаем в личный кабинет. Работаем по расписанию, ссылка <http://disrm1.zabgu.ru/b/2xw-3r2-y4n>

6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СООРУЖЕНИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ

Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений в криолитозоне выполняются с учетом выполненных специальных инженерно-геологических изысканий с учетом конструктивных и технологических особенностей инженерных сооружений, теплового и механического взаимодействия их с грунтами оснований. Для обеспечения эффективной эксплуатации инженерных объектов необходимо знание возможных изменений геокриологических условий в результате строительства и технического прессинга на природную среду. Наряду с этим, при проектировании и строительстве сооружений в криолитозоне необходимо учитывать местные природные условия и имеющийся региональный опыт инженерного освоения криолитозоны [21, 39].

6.1. Проектирование оснований и фундаментов по Принципу I

В процессе использования грунтов криолитозоны в качестве оснований по Принципу I используются ряд известных методов, направленных на сохранение грунтов в твердомерзлом состоянии на весь расчетный период эксплуатации здания, или разрабатываются новые.

В настоящее время широко применяются методы, эффективность которых проверена многолетним их использованием при освоении криолитозоны в России и за рубежом. К таким методам относятся;

- устройство холодных подполий или холодных первых этажей;

- предпостроечное промораживание грунтов;
- использование охлаждающих труб и каналов;
- использование саморегулирующих охлаждающих устройств;
- метод ограничения площади оттаивания и заложения свайных фундаментов ниже расчетной зоны оттаивания

Устройство подполий является основным способом регулирования влияния теплового воздействия зданий на температурный режим оснований при их использовании по Принципу I. Подполье это часть здания, расположенная между перекрытием первого этажа и поверхностью грунтов под зданием, используемых в качестве основания.

В зависимости от характера вентилирования в проектах используют закрытые (непродветриваемые), открытые и с регулируемым проветриванием подполья.

Закрытые подполья проектируют для территорий криолитозоны с низкими значениями температур грунтов. Проектируемые здания, как правило, мало- или среднеэтажные с незначительными размерами по периметру. В этом случае интенсивность их тепловыделения в грунты основания существенно снижается, вследствие бокового их охлаждения, грунтами с низкой температурой. Применение подполий этого типа не нашло широкого распространения, вследствие низкой эффективности дополнительного охлаждения при строительстве многоэтажных зданий, занимающих большие площади и сооружений со значительным тепловыделением в грунт.

Открытые подполья обеспечивают свободный доступ под здания наружного воздуха в течение года. Главное их преимущество заключается в создании среднегодовых более низких температур воздуха, в сравнение с аналогичными температурами наружного воздуха. Кроме того, ветровой нагрузки в зимнее время достаточно, чтобы осуществлялся перенос снега под зданием, в противном случае их эффективность существенно снижается. Использование этих подполий зданий целесообразно в местностях, где

мощность снежного покрова в зимний период не превышает 0,10-0,15. Примером может служить центральное и южное Забайкалье. К недостаткам открытых подполий относится: при высоте менее 1,0 м накопление в них снега, в теплый период года поступление значительного количества тепла, в зимний период комфортность эксплуатации первых этажей резко снижается, доступность для накопления мусора и других отходов, влияющих на экологическую обстановку территории. Именно все эти недостатки были характерны для группы 240-квартирных пятиэтажных зданий в микрорайоне «Зенитка» в г. Чите. В результате практически все из них находятся на реконструкции, заключающейся в переводе их эксплуатации с Принципа I на Принцип II и переводу открытых подполий в подполья закрытого типа.

Подполья с регулируемым проветриванием наиболее широко и эффективно используются в промышленном и гражданском строительстве России. Для этого используются в цоколе зданий продухи, не ниже 0,25 м от поверхности отмостки. Они, преимущественно, имеют прямоугольную форму с размером 0,25-0,5 м по короткой стороне или квадратную форму - с этими же размерами.

Высота подполий определяется конструктивными особенностями зданий, но минимальной их высотой должны быть для жилых и общественных зданий шириной:

- до 15 м при отсутствии трубопроводов – 0,5 м;
- более 20 м, а также для зданий с повышенным тепловыделением (котельные, бани и др.) – 1,0 м;
- более 20 м а также для зданий с повышенным тепловыделением и наличием трубопроводов – 1,2 м;

Для того чтобы предотвратить затекание воды в подполье, а также формирование в нем застойного воздуха поверхность грунта в подполье должна быть выше уровня отмостки здания.

В настоящее время известны технологии проектирования зданий с проветриваемым подпольем Ю.Я. Вели, Ю.М. Манова, Н.А. Цытовича, Л.Н.

Хрусталева и др., но в качестве эталона в нормативной литературе рекомендуется применять метод Г.В. Порхаева [28, 30, 39].

Температурный режим вентилируемого подполья характеризуется среднегодовой температурой воздуха в подполье $T_{c,a}$, устанавливаемой расчетом в зависимости от предусмотренного проектом значения среднегодовой температуры многолетнемерзлого грунта на его верхней поверхности T_0' , теплового режима и режима вентилирования подполья. Значение $T_{c,a}$, обеспечивающее значение T_0' предусмотренное проектом вычисляется по формуле

$$T_{c,a} = k_0 \cdot T_0', \quad (6.1)$$

где k_0 – коэффициент, принимаемый по таблице 6.1 в зависимости от значений $t_{f,n}$ и λ_f / λ_{th} (здесь соответственно продолжительность периода с отрицательной среднесуточной температурой воздуха, суток, принимаемый по [38] и отношение теплопроводности мерзлого к коэффициенту талого грунта).

Таблица 6.1

Значение коэффициента k_0

λ_f / λ_{th}	Значение коэффициента k_0 при $t_{f,n}$, сут				
	200	225	250	275	300
1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
1.1	0.87	0.96	0.98	0.99	1.0
1.2	0.78	0.93	0.97	0.99	1.0
1.3	0.72	0.90	0.96	0.99	1.0

Значение T_0' определяется расчетом по условию обеспечения требуемых значений расчетной температуры в основании сооружения с

учетом мерзлотно-грунтовых и климатических условий участка строительства. Допускается принимать значение T_0' по таблице 6. 2.

Установленное расчетом значение $T_{c,a}$ при естественном вентилировании подполья за счет ветрового напора обеспечивается подбором модуля его вентилирования M , вычисляемого из соотношения:

$$M = \frac{A_v}{A_b}, \quad (6.2)$$

где A_v - общая площадь продухов для подполий с продухами; для открытых подполий - площадь, равная произведению периметра здания на расстояние от поверхности грунта или отмостки до низа ростверка свайного фундамента или фундаментных балок, м²; A_b - площадь здания в плане по наружному контуру м². (при отношении высоты подполья h_c к ширине здания B менее 0.02 следует применять принудительное механическое вентилирование)

Таблица 6.2

Значения $T_0' - T_{bf}, ^\circ C$ для фундаментов

Значения $T_0 - T_{bf}, ^\circ C$	Ширина здания $B, м$	Значения $T_0' - T_{bf}, ^\circ C$ для фундаментов				
		столбчатых			свайных	
		при глубине заложения в мерзлый фунт, считая от подошвы слоя сезонного оттаивания, м				
		1	3	5	7	10
-0,5	12	-10	-3,5	-5	-3	-2,5
	24	-8	-2,5	-3,5	-2,5	-2
-1	12	-10	-3	-4	-2,5	-1,5
	24	-8	-2,5	-3,5	-2	-1,5
-2	12	-9	-2	-3	-1,5	-1
	24	-7	-2	-3	-2	-1
-5	12	-6,5	-1	-1	-1	-1
	24	-6	-1	-2	-1	-1

-8	12	-3	-1	-1	-1	-1
	24	-4	-1	-1	-1	-1

Примечание. Глубина заложения фундамента z отсчитывается от уровня верхней границы криолитозоны; при среднегодовой температуре наружного воздуха T_{out} выше табличных значений T'_0 в расчетах принимать $T'_0 = T_{out}$

Модуль вентилирования M , необходимый для обеспечения расчетной температуры воздуха в подполье $T_{c,a}$ при его естественном вентилировании вычисляется по формуле

$$M = k_c \frac{T_{in} - T_{c,a} - (T_{c,a} - T_{out})\chi + \xi}{0,77R_0 C_v k_a V_a (T_{c,a} - T_{out})} \cdot \sqrt{1 + \sum_1^n \chi_i}, \quad (6.3)$$

где k_c - коэффициент, принимаемый в зависимости от расстояния между зданиями a и их высоты h равным: 1,0 при $a \geq 5h$; 1,2 при $a = 4h$; 1,5 при $a \leq 3h$; T_{in} - расчетная температура воздуха в помещении, °С; T_{out} - среднегодовая температура наружного воздуха, °С; R_0 - сопротивление теплопередаче перекрытия на подпольем, м²·°С/Вт; C_v - объемная теплоемкость воздуха, принимаемая равной 1300 Дж/(м³·°С); k_a - обобщенные аэродинамический коэффициент, учитывающий давление ветра и

гидравлического сопротивления, равный: для сооружений прямоугольной формы – 0,37; п-образной формы – 0,3; т-образной формы – 0,33 и L-образной формы – 0,29; V_a – средняя годовая скорость ветра м/с, (м/ч); χ – безразмерный параметр: для открытых подполий равный 0; для подполий с продухами определяется по формуле:

$$\chi = \frac{A_z}{A_b} \cdot \frac{R_0}{R_z}, \quad (6.4)$$

Здесь A_z – площадь цоколя для подполий с продухами, м²; R_z – сопротивление теплопередаче цоколя, м²·°С/Вт; ξ – параметр, учитывающий влияние расположенных в подполье коммуникаций на его тепловой режим, °С, определяемый по формуле:

$$\xi = \frac{R_0}{A_b t_y} \sum_{j=1}^{j=n} \frac{l_{pj}}{R_{pj}} (T_{pj} - T_{c,a}) t_{p,j}, \quad (6.5)$$

здесь n – число трубопроводов; l_{pj} – длина j -го трубопровода, м; T_{pj} – температура теплоносителя в j -ом трубопроводе °С; t_{pj} – время работы j -го трубопровода в течение года, сут; t_y – продолжительность года, равная 365 сут; R_{pj} – сопротивление теплопередаче теплоизоляции j -го трубопровода, м² · °С/Вт; χ – коэффициент потери напора на отдельных участках подполья, принимаемый равным на участке подполья: вход с сужением потока – 0,50, жалюзийная решетка – 2,0, поворот потока на 90° – 1,32, вход с расширением потока – 0,64.

Для строительства сооружений по Принципу I основание не отвечающее критерием его выбора может быть подготовлено и с использованием методов изменения условий теплообмена. Одним из таких

методов является регулярная уборка снега на площадке строительства в зимний период.

Длительность эти мероприятий должна контролироваться в термометрических пунктах, глубина которых должна на 15-20% превышать глубину нулевых амплитуд температур (H_m). Это позволит определить время охлаждения естественного основания, в течение которого температура пластичномерзлых грунтов t_0 на глубине H_m перейдет в область значений (ниже -3°C), характерных для твердомерзлых грунтов. Наряду с прямым контролем динамики охлаждения основания возможно применение и расчетного метода предложенного Г.Н. Максимовым. Им предложена эмпирические формулы (6.5, 6.6), позволяющие вычислить мощность зоны охлаждения в первый год проведения мелиоративных работ:

$$H_{mi} = \sqrt{\frac{2\lambda_m \cdot |2 + t_3| \tau_3}{q_2}}, \quad (6.5)$$

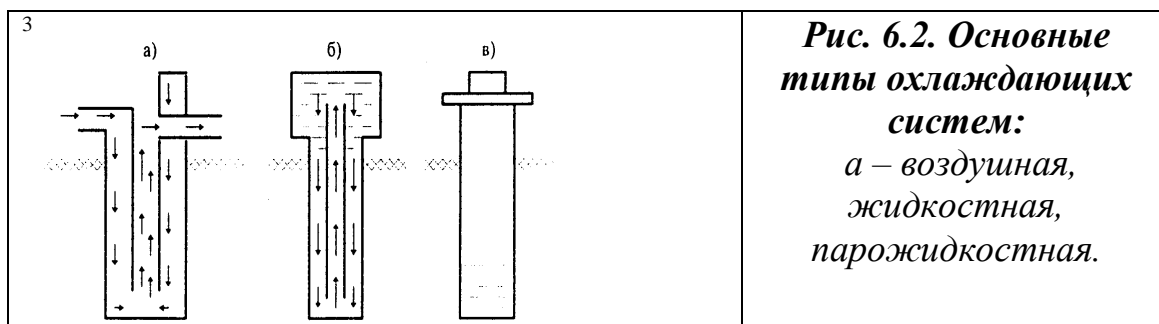
$$\text{где } q_2 = 33,52 \cdot 10^4 (W_w - W_{wt}) \rho_f + 0,5 C_f |t_0 + (2 + t_3)|, \quad (6.6)$$

здесь W_w , W_{wt} - соответственно содержание незамерзшей воды при естественной температуре грунта и при температуре перехода грунта в твердомерзлое состояние, д.ед.; t_3 и τ_3 - средняя температура воздуха, $^\circ\text{C}$ в течение холодного периода и продолжительность периода со среднесуточными отрицательными температурами, ч (по данным [40]); ρ_f , λ_f , и C_f - соответственно плотность грунта естественного сложения, $\text{кг}/\text{м}^3$, коэффициент теплопроводности, $\text{кДж}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot^\circ\text{C})$ и объемная теплоемкость, $\text{кДж}/(\text{м}^3\cdot^\circ\text{C})$ мерзлого грунта (последние два показателя можно принимать по таблице, предложенной в [37]) В случае, если мощность охлажденного грунта в первый сезон не достигнет расчетных значений, то охлаждение за второй сезон оценивается по формуле (6.7):

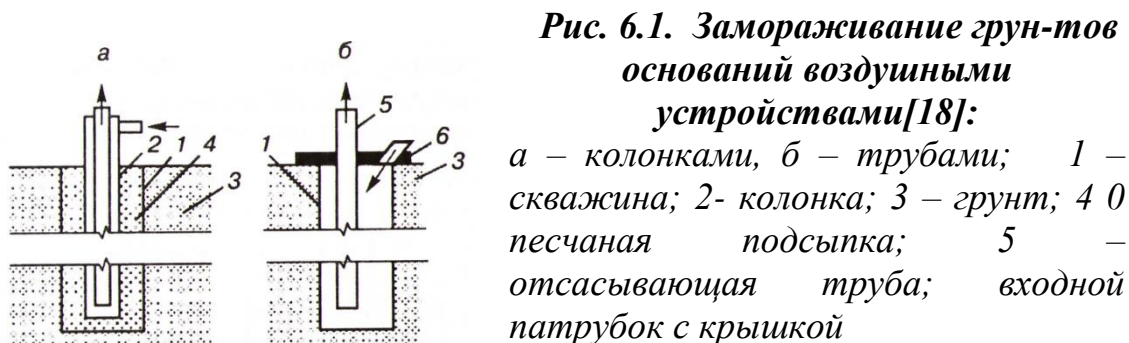
$$H_{mi} = \sqrt{H_{mi-1}^2 + \frac{2\lambda_m \cdot |2 + t_3| (\tau_3 - \tau_\xi)}{q_2}}, \quad (6.7)$$

где H_{mi-1} - мощность зоны охлаждения основания за предыдущий зимний период, м; τ_ξ - время охлаждения сезоннотатаивающего слоя, ч.

Естественное охлаждение грунтов основания может быть эффективным только в арктических районах с мощным снежным покровом, препятствующим охлаждению толщ горных пород криолитозоны. В других областях ее распространения процесс естественного охлаждения грунтов длительный и малоэффективный. В связи с этим используют искусственное охлаждение грунтов с применением охлаждающих систем (рис. 6.2).



Для ускорения процесса производится нагнетание холодного воздуха в скважины, или в замораживающие колонки специальных воздушных установок, опущенных в эти скважины (рис. 6.1).



Глубина охлаждения и замораживания достигает 17—20 м, а теплосъем 130—140 Вт с одного квадратного метра поверхности замораживающей

колонки. Недостатком способа являются: затраты на электроэнергию и обслуживающий персонал, необходимость часто удалять из замораживающих колонок иней и ледяные пробки.

По простоте эксплуатации и экономичности первенство держат саморегулирующиеся сезоннодействующие охлаждающие установки (СОУ) — термосифоны. Конструкции термосифонов были разработаны в 1960-х годах в России С.И. Гапеевым и в США Е.А. Лонгом (рис. 6.3).

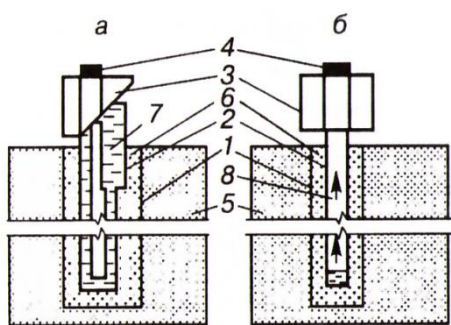


Рис. 6.3. Охлаждение, замораживание грунтов с использованием СОУ[18]: а) жидкостными, б) парожидкостными; 1 – испаритель; 2 – скважина; 3 – конденсатор; 4 – запорная арматура; 5 – грунт; 6 – песчаная засыпка; 7 – жидкостный хладагент; 8 – парожидкостные хладагент

В простейшем случае СОУ представляют собой герметичные трубы, заполненные хладагентом: аммиаком, хладоном-12, пропаном (парожидкостные термосифоны Лонга, теплосъем $80\text{—}115 \text{ Вт/м}^2$) или керосином, хладоном - 30, этиленгликолем (жидкостные термосифоны Гапеева, теплосъем $40\text{—}60 \text{ Вт/м}^2$).

Принцип работы парожидкостных термосифонов основан на процессах испарения—конденсации хладагента под действием разности температур в подземной и надземной частях термосифона. Термосифон работает зимой, когда температура подземной части (испарителя) будет выше температуры надземной части (конденсатора). В это время хладагент, находящийся в виде жидкости у дна термосифона, испаряется и в виде пара поступает в верхнюю часть, где конденсируется и тонкой пленкой по стенке термосифона стекает вниз. Далее цикл продолжается. Процесс испарения происходит с отбором тепла из грунта, а процесс конденсации с выделением этого тепла в атмосферу. Таким образом осуществляется процесс

теплопередачи из грунта в атмосферу. Летом, когда температура воздуха становится выше температуры грунта, конденсация не происходит и термосифон перестает работать (запирается). Принцип работы жидкостного термосифона основан на конвекции хладоагента, обусловленной инверсией его плотностей в надземной и подземной частях СОУ. Зимой более холодный, а, следовательно, и более плотный хладоагент, с надземной части, опускается вниз, а более теплый и менее плотный, находящийся в подземной части, поднимается вверх. Большой эффективностью (теплосъем до 250-500 Вт/м², глубина промораживания неограниченна, работа ведется круглый год) отличается замораживание с помощью холодильных машин, однако оно более дорогостоящее, поэтому чаще всего применяется при проходке глубоких шахтных стволов, туннелей и др.[18]

Расчет оснований и фундаментов при использовании грунтов криолитозоны по Принципу I выполняется по двум группам предельных состояний: по несущей способности - для твердомерзлых грунтов и по несущей способности и деформациям – для сильно льдистых грунтов, а также подземных льдов [37, 47].

Расчет оснований и фундаментов по первой группе предельных состояний (по несущей способности) осуществляется с использованием формулы (6.8):

$$N \leq \frac{\Phi}{K_n}, \quad (6.8)$$

Где N - расчетная нагрузка на основание в наиболее невыгодной комбинации включая вес фундамента и вес грунта, лежащего на уступах фундамента; Φ - несущая способность основания; K_n - Численное значение коэффициента надежности, устанавливаемое проектной организацией, но не менее 1,2 для всех видов фундаментов, кроме свай для мостов с высоким ростверком [37, 42].

Несущая способность фундамента в криолитозоне определяется значением сопротивления сдвигу части фундамента, замороженного в грунт криолитозоны и сопротивлению многолетнемерзлых грунтов нормальному давлению на подошве фундамента. Для всех видов фундаментов несущая способность (Φ) вычисляется по формуле (6.9):

$$\Phi = m \left(RF + \sum_{i=1}^n R_{cm}^i \cdot F_{cm}^i \right), \quad (6.9)$$

где m - коэффициент условий работы, равный 1,2 при $t_0 \leq -2^\circ C$ (равно или ниже) и 1,1 при $t_0 > -2^\circ C$ (выше) [37]; R - сопротивление многолетнемерзлых грунтов нормальному давлению (расчетное давление), МПа; F - площадь поперечного сечения сваи у нижнего конца или площадь башмака столбчатого фундамента, cm^2 ; R_{cm} - сопротивление многолетнемерзлых грунтов сдвигу в i -том слое, МПа; F_{cm} - площадь поверхности смерзания с многолетнемерзлым грунтом, cm^2 .

Сопротивление R при экспериментальных исследованиях определяется учетом температуры t_z на глубине заложения сваи в мерзлый грунт, а R_{cm} при эквивалентной температуре t_ϑ , равной среднеинтегральному значению распределения температур в слое многолетнемерзлых пород мощностью h_m (рис. 6.4).

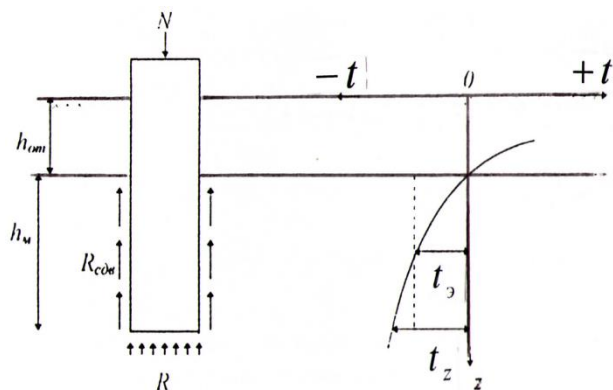
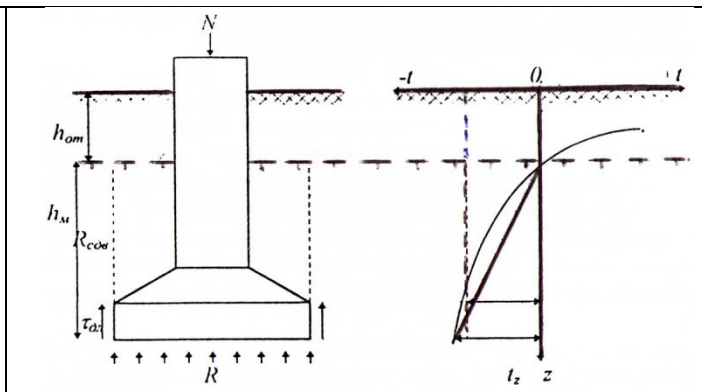


Рис. 6.4. Схема экспериментального определения нормативных значений сопротивлений (R и $R_{см}$) для свайных фундаментов в зависимости от расчетных температур.

При отсутствии результатов опытных полевых испытаний фундаментов нормативные значения R и $R_{см}$ вычисляются по существующим эмпирическим зависимостям или по табличным данным в зависимости от состава грунтов, льдистости и расчетных температурах. Расчетными температурами называют температуры соответствующие минимальной несущей способности здания [36, 38, 39]. При расчете несущей способности столбчатого фундамента R устанавливается при t_z , а $R_{см}$ - при t_m (температура на глубине заложения верхней поверхности башмака). Значение t_m определяется в точке пересечения прямой линии, проведенной от координаты с температурой на кровле криолитозоны до подошвы башмака с проекцией глубины его заложения. Затем с точки их пересечения восстанавливается линия, перпендикулярно к оси температур, в точке пересечения с которой будет искомое значение t_m (рис. 6.3).

Расчетные температуры t_m , $t_э$ и t_z вычисляются по эмпирическим формулам под серединой и под краем здания с охлаждающими устройствами (формулы 6.10, 6.11) с ограниченной зоной оттаивания (формулы 6.12, 6.13) и для мостов, линий электропередач, антенно-мачтовых сооружений и наземных трубопроводов (формула 6.14).

Рис. 6.5. Схема определения нормативных сопротивлений для столбчатых фундаментов с учетом значений расчетных температур



$$t_{М,э,я}^c = (t_0' - t_w)\alpha + (t_0 - t_0')k_c + t_w \quad (6.10)$$

$$t_{М,э,я}^k = (t_0' + t_0 - 2t_w)0,5\alpha + (t_0 - t_0')0,5k_k + t_w \quad (6.11)$$

$$t_{М,э,я}^c = (t_0 - t_w)k_c + t_w \quad (6.12)$$

$$t_{М,э,я}^k = (t_0' - t_w)0,5\alpha + (t_0 - t_w)0,5k_k + t_w \quad (6.13)$$

$$t_{М,э,з} = (t_0 - t_w)k_t + t_w \quad (6.14)$$

где t_0' - среднегодовая температура мерзлого грунта на подошве слоя сезонного оттаивания под зданием, °С; t_0 - температура многолетнемерзлого грунта, °С (на глубине 10 м, принимаемая за среднегодовую и определяется в результате инженерных изысканий с учетом прогноза ее изменения при застройке территории); t_w - температура начала замерзания-оттаивания грунтов основания, °С; α - коэффициент сезонного изменения температур и k_c, k_k, k_t - коэффициенты теплового влияния здания и сооружения (определяются по табл. 6.3 и 6.4).

Таблица 6.3

Значение коэффициентов сезонного изменения температур ($K_{снт}$) и теплового влияния здания ($K_{ТВЗ}$)

$z \sqrt{\frac{C_f}{\lambda_f}}, \text{ч}^{0,5}$	a_m	a_z	a_3	$\frac{z}{b_{30}}$	k_{ct}	k_{kt}	k_{c3}	k_{k3}
K_{cum}				K_{m63}				
0	0,000	0,00	0,00	0,05	0,06	0,04	0,06	0,03
25	0,400	0,50	0,30	0,10	0,13	0,06	0,07	0,04
50	0,650	0,80	0,45	0,15	0,18	0,09	0,08	0,05
75	0,750	0,95	0,55	0,20	0,24	0,12	0,13	0,06
100	0,850	1,05	0,60	0,30	0,34	0,19	0,18	0,09
125	0,900	1,10	0,70	0,50	0,50	0,30	0,28	0,16
150	0,950	1,10	0,75	1,00	0,70	0,50	0,44	0,28
175	0,950	1,10	0,80	2,00	0,85	0,70	0,62	0,44
200	0,980	1,10	0,81	Примечание. Для вычисления t_m и t_z принимается $k_{ct} = k_c$ и $k_{kt} = k_t$; для вычисления t_3 : $k_{c3} = k_c$ и $k_{k3} = k_k$;				
250	0,990	1,10	0,83					
300	0,997	1,10	0,86					
350	0,999	1,10	0,88					

Примечание для поиска K_{cum} : для вычисления t_m принимается $\alpha_m = \alpha$; для вычисления t_z - $\alpha_z = \alpha$; для вычисления t_3 - $\alpha_3 = \alpha$, z - расстояние от подошвы слоя сезонного оттаивания до уровня, на котором определяется температура, м; C_f - среднее значение коэффициентов объемной теплоемкости в интервале глубин от 0 до z , Дж/(м³ · °С)10⁶; λ_f - среднее значение коэффициента теплопроводности мерзлого грунта в интервале глубин от 0 до z , Вт/(м · °С).