

4. РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ

4.1. Принципы использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований инженерных сооружений

При строительстве вне области развития многолетнемерзлых пород обычно принимается, что вся нагрузка от сооружения передается через подошву фундамента на грунтовое основание, а грунты, соприкасающиеся с боковой поверхностью фундамента, только в отдельных случаях (сваи, глубокие фундаменты) принимают вертикальную нагрузку.

Иначе оценивается работа фундамента (его взаимодействие с грунтом) в районах глубокого сезонного промерзания и развития многолетнемерзлых грунтов. Здесь нагрузка передается на грунт через все поверхности соприкосновения с ним фундамента. Это связано с тем, что происходит смерзание поверхности фундамента с грунтом, в результате чего касательные и нормальные усилия передаются от грунта к фундаменту и от фундамента к грунту. Величина передаваемых усилий при этом ограничивается прочностью смерзания.

Направление усилий, которые возникают при взаимодействии фундамента с грунтом, может изменяться во времени и зависит от того, в каком слое (сезонном или многолетнем) располагается фундамент.

В пределах слоя сезонного промерзания (протаивания) касательные усилия, передаваемые грунтом фундаменту, направлены снизу вверх и развиваются в течение части года, в период промерзания этого слоя и его пучения.

В пределах слоя многолетнемерзлых пород в результате смерзания грунта с боковой поверхностью фундамента мерзлый грунт принимает от фундамента часть нагрузки не только через его подошву, но и по всей боковой поверхности. В то же время боковое смерзание нижней части фундамента с многолетнемерзлыми слоями породы в целом увеличивает сопротивление фундамента выпучиванию, которое возникает при промерзании грунтов слоя сезонного протаивания. В зависимости от совокупного действия нормальных и касательных сил, сил выпучивания (а также и трения) фундамент может находиться в устойчивом состоянии или перемещаться (выпучиваться, оседать). Неравномерное перемещение фундаментов вверх или вниз служит, как правило, основной причиной деформации зданий и сооружений. Закладывая фундаменты глубже глубины сезоннопромерзающего или сезоннопротаивающего слоя, можно добиться того, что влияние ежегодных процессов пучения и осадки грунтов распространяется только на часть его боковой поверхности. Фундаменты, заложенные целиком в слое сезонного промерзания-протаивания, испытывают влияние пучения и осадки не только через боковую поверхность, но и через подошву фундамента.

При проектировании и строительстве на многолетнемерзлых грунтах следует предусмотреть меры, обеспечивающие сохранности и сооружений и требуемые эксплуатационные качества. Это достигается выбором конструктивной оптимальной схемы сооружения, типа фундамента, методов улучшения строительных свойств грунтов основания и регулирования теплового взаимодействия сооружений с основаниями. Совокупность всех мероприятий (или части) принято называть способом обеспечения устойчивости инженерных сооружений.

В России эти способы разрабатывались в процессе строительства и Заполярье (в северных ландшафтно-климатических зонах) и затем были обобщены в нормативном документе «Строительные нормы и правила. Основания и фундаменты на многолетнемерзлых грунтах» (СНиП 2.02.04–88). В этом документе они объединяются в две большие группы, называемые принципами использования мерзлых грунтов в качестве оснований сооружений.

Принцип I – многолетнемерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего заданного периода эксплуатации сооружения; подошва фундамента опирается на многолетнемерзлые грунты. Способы обеспечения устойчивости сооружений могут создаваться путем:

- 1) сохранения мерзлого состояния грунтов основания (или понижения температуры многолетнемерзлых грунтов);
- 2) ограничения оттаивания многолетнемерзлых грунтов основания;
- 3) предварительного промораживания грунтов основания;
- 4) промораживания грунтов основания в процессе строительства и эксплуатации сооружений.

Принцип II – многолетнемерзлые грунты основания используются в оттаявшем состоянии (с допущением оттаивания их в процессе эксплуатации сооружений или с их оттаиванием на расчетную глубину до начала строительства); подошва фундамента расположена выше кровли многолетнемерзлых пород. Сюда относятся способы обеспечения устойчивости сооружений путем:

- 1) приспособления надфундаментной конструкции к неравномерным осадкам основания при оттаивании многолетнемерзлых пород в процессе эксплуатации (конструктивный метод);

2) предварительного оттаивания многолетнемерзлых грунтов под всем зданием:

- 3) предварительного локального оттаивания многолетнемерзлых грунтов (оттаивание производится только в местах передачи нагрузки на основание от зданий);

- 4) стабилизации начального положения верхней границы многолетнемерзлых грунтов.

Выбор принципа строительства на многолетнемерзлых грунтах и способа его обеспечения основывается, с одной стороны, на всестороннем изучении геокриологических условий территории с учетом их возможных

изменений при строительстве и эксплуатации сооружений, с другой – на учете конструктивных особенностей сооружений (размеров фундаментов, используемых строительных материалов, сроков службы сооружений), режимов эксплуатации (с тепловыделением или без него с применением мокрого или сухого процесса и т.д.).

При проектировании оснований и фундаментов сооружений, возводимых на многолетнемерзлых грунтах, следует выполнять теплотехнические расчеты основания и расчеты основания и фундаментов на силовые воздействия. В расчетах основания и фундаментов надлежит учитывать принцип использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания, тепловое и механическое взаимодействие сооружения и основания.

Основания и фундаменты следует рассчитывать по двум группам предельных состояний: *по первой* – по несущей способности, *по второй* – по деформациям (осадкам, прогибам и пр.), затрудняющим нормальную эксплуатацию конструкций сооружения или снижающим их долговечность. Элементы железобетонных конструкций следует рассчитывать также по трещиностойкости.

Расчет оснований следует производить:

а) при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I:
по несущей способности – для твердомерзлых грунтов;
по несущей способности и деформациям – для пластичномерзлых и сильнольдистых грунтов, а также подземных льдов;

б) при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II:
по несущей способности – в случаях, предусмотренных СНиП 2.02.01–83 [3];

по деформациям – во всех случаях, при этом для оснований, оттаивающих в процессе эксплуатации сооружения, расчет по деформациям надлежит производить из условия совместной работы основания и сооружения (фундаментов). Расчет оснований по деформациям следует производить на основные сочетания нагрузок и воздействий; расчет по несущей способности: на основные и особые сочетания нагрузок и воздействий [8].

4.2. Расчет глубины заложения фундамента

Глубина заложения фундаментов, считая от уровня планировки (подсыпки или срезки), назначается с учетом требований СНиП 2.02.01–83 [3] и принятого принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания и должна приниматься с учетом:

1. назначения и конструктивных особенностей проектируемого сооружения, нагрузок и воздействий на его фундаменты;
2. глубины заложения фундаментов примыкающих сооружений, а также глубины прокладки инженерных коммуникаций;
3. существующего и проектируемого рельефа застраиваемой

территории;

4. инженерно-геологических условий площадки строительства (физико-механических свойств грунтов, характера напластований, наличия слоев, склонных к скольжению, карманов выветривания, карстовых полостей и пр.);

5. гидрогеологических условий площадки и возможных их изменений в процессе строительства и эксплуатации сооружения;

6. возможного размыва грунта у опор сооружений, возводимых в руслах рек (мостов, переходов трубопроводов и т. п.);

7. глубины сезонного промерзания.

Нормативная глубина сезонного промерзания грунта принимается равной средней из ежегодных максимальных глубин сезонного промерзания грунтов (по данным наблюдений за период не менее 10 лет) на открытой, оголенной от снега горизонтальной площадке при уровне подземных вод, расположенном ниже глубины сезонного промерзания грунтов.

Нормативную глубину сезонного промерзания грунта d_{fn} , м, при отсутствии данных многолетних наблюдений следует определять на основе теплотехнических расчетов. Для районов, где глубина промерзания не превышает 2,5 м, ее нормативное значение допускается определять по формуле:

$$d_{fn} = d_0 \sqrt{M_t}, \quad (4.1)$$

где M_t – безразмерный коэффициент, численно равный сумме абсолютных значений среднемесячных отрицательных температур за зиму в данном районе, принимаемых по СНиП по строительной климатологии и геофизике, а при отсутствии в них данных для конкретного пункта или района строительства – по результатам наблюдений гидрометеорологической станции, находящейся в аналогичных условиях с районом строительства;

d_0 – величина, принимаемая равной, м, для: суглинков и глин – 0,23; супесей, песков мелких и пылеватых – 0,28; песков гравелистых, крупных и средней крупности – 0,30; крупнообломочных грунтов – 0,34.

Значение d_0 для грунтов неоднородного сложения определяется как средневзвешенное в пределах глубины промерзания.

Нормативную глубину промерзания грунтов для конкретного региона строительства допускается принимать по схеме СНиПа «Строительная климатология и геофизика» (рис. 4.1), или ее уточняют в районных строительных организациях либо отделах архитектуры и землеустройства.

При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу I минимальную глубину заложения фундаментов d_{min} необходимо принимать по табл. 4.1 в зависимости от расчетной глубины сезонного оттаивания грунта d_{th} .

При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу II минимальную глубину заложения фундаментов d_{min} следует принимать в соответствии с требованиями СНиП 2.02.01–83 в зависимости от

расчетной глубины сезонного промерзания d_f , и уровня подземных вод d_w , м, который принимается с учетом образования под сооружением зоны оттаивания.

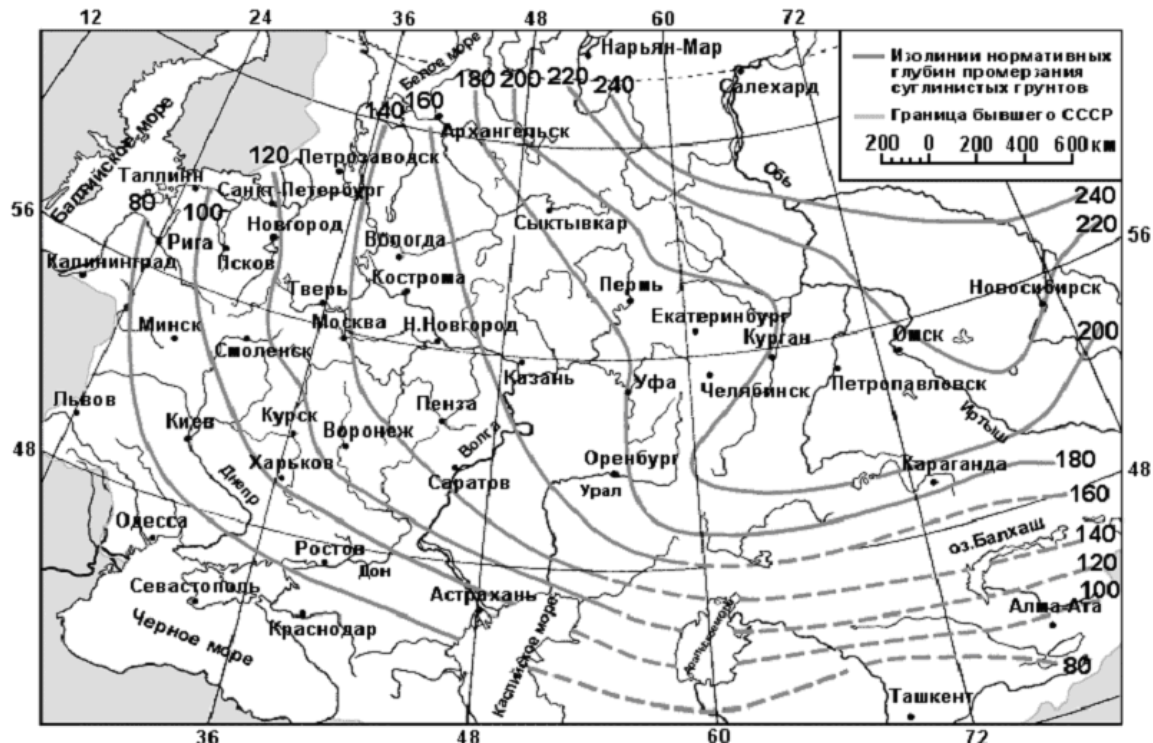


Рис. 4.1. Схема для определения нормативной глубины промерзания грунтов при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу I [8]

Фундаменты	Минимальная глубина заложения фундаментов d_{min} , м
Фундаменты всех типов, кроме свайных	$d_{th} + 1$
Свайные фундаменты зданий и сооружений	$d_{th} + 2$
Сваи опор мостов	$d_{th} + 4$
Фундаменты зданий и сооружений, возводимых на подсыпках	Не нормируется

В случаях, когда глубина заложения фундаментов не зависит от расчетной глубины промерзания d_f , соответствующие грунты, указанные в табл. 4.2, должны залегать до глубины не менее нормативной глубины промерзания d_{fn} .

Расчетная глубина сезонного оттаивания d_{th} и расчетная глубина сезонного промерзания грунта d_f определяются по формулам [8]:

$$d_{th} = k_h d_{th,n}; \tag{4.2}$$

$$d_f = k_h d_{f,n}, \tag{4.3}$$

где $d_{th,n}$ и $d_{f,n}$ – нормативные глубины соответственно сезонного оттаивания и сезонного промерзания грунта;

k'_h и k_h – коэффициенты теплового влияния сооружения, принимаемые по табл. 4.3 и 4.4.

Таблица 4.2

Глубина заложения фундаментов в зависимости от глубины расположения уровня подземных вод [8]

Грунты под подошвой фундамента	Глубина заложения фундаментов в зависимости от глубины расположения уровня подземных вод d_w , м, при	
	$d_w \leq d_f + 2$	$d_w > d_f + 2$
Скальные, крупнообломочные с песчаным заполнителем, пески гравелистые, крупные и средней крупности	Не зависит от d_f	Не зависит от d_f
Пески мелкие и пылеватые	Не менее d_f	Не зависит от d_f
Супеси с показателем текучести $I_L < 0$	Не менее d_f	Не зависит от d_f
Супеси с показателем текучести $I_L \geq 0$	Не менее d_f	Не зависит от d_f
Суглинки, глины, а также крупнообломочные грунты с пылевато-глинистым заполнителем при показателе текучести грунта $I_L \geq 0,25$	Не менее d_f	Не зависит от d_f
Суглинки, глины, а также крупнообломочные грунты с пылевато-глинистым заполнителем при показателе текучести грунта $I_L < 0,25$	Не менее d_f	Не менее $0,5 d_f$

Таблица 4.3

Коэффициенты теплового влияния сооружения [8]

Сооружения	k'_h	k_h
<i>Здания и сооружения без холодного подполья</i>	–	табл. 4.4
<i>Здания и сооружения с холодным подпольем:</i>		–
у наружных стен с отмостками, имеющими асфальтовое (и подобное) покрытие	1,2	–
у наружных стен с отмостками без асфальтовых покрытий	1,0	–
у внутренних опор	0,8	–
<i>Мосты:</i>		
промежуточные массивные опоры с фундаментами мелкого заложения или фундаментами из свай и свай-столбов с плитой, заглубленной в грунт при ширине опор по фасаду:		
от 2 до 4 м	1,3	1,2
4 м и более	1,5	1,3
промежуточные столбчатые и свайные опоры, рамностоечные опоры с фундаментами мелкого заложения	1,2	1,1
обсыпные устои	1,0	1,0

Таблица 4.4

Коэффициенты теплового влияния сооружения, принимаемые в зависимости от среднесуточной температуры в помещении [8]

Особенности сооружения	Коэффициент k_h при расчетной среднесуточной температуре воздуха в помещении, примыкающем к наружным фундаментам, °С (СНиП 2.02.01–83)				
	0	5	10	15	20 и более
Без подвала с полами,					

устраиваемыми: по грунту	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
на лагах по грунту	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6
по утепленному цокольному перекрытию	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
С подвалом или техническим подпольем	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4

При промежуточных значениях температуры воздуха коэффициент k_h принимается с округлением до меньшего значения, указанного в табл. 4.4.

4.3. Расчет нормативной глубины сезонного оттаивания

При отсутствии данных натурных наблюдений нормативную глубину сезонного оттаивания грунта $d_{th,n}$, м, допускается определять по формуле [8]:

$$d_{th,n} = \sqrt{\frac{2\lambda_{th}(T_{th,c} - T_{bf})t_{th,c}}{q_1} + \left(\frac{Q}{2q_1}\right)^2} - \frac{Q}{2q_1}, \quad (4.4)$$

где Q – параметр, определяющий отток тепла в мерзлый грунт, Вт·ч/м², ккал/м², Дж/м², рассчитывается по формуле [8]:

$$Q = \left(0,25 - \frac{t_{th,c}}{t_1}\right)(T_0 - T_{bf})k_m \sqrt{\lambda_f C_f t_{th,c}}; \quad (4.5)$$

q_1 – удельная теплота таяния многолетнемерзлого грунта, Вт·ч/м³, ккал/м³, Дж/м³, рассчитывается по формуле [8]:

$$q_1 = L_v + \left(\frac{t_{th,c}}{t_2} - 0,1\right)[C_{th}(T_{th,c} - T_{bf}) - C_f(T_0 - T_{bf})]; \quad (4.6)$$

T_{bf} – температура начала замерзания грунта, °С, (табл. 3.3);

$T_{th,c}$ – расчетная температура поверхности грунта в летний период, °С, определяемая по формуле $T_{th,c} = 1,4T_{th,m} + 2,4$ °С; здесь $T_{th,m}$ – средняя по многолетним данным температура воздуха за период положительных температур, °С, и $t_{th,m}$ – продолжительность этого периода, ч, принимаемые по СНиП 2.01.01–82;

$t_{th,c}$ – расчетная продолжительность летнего периода, ч, определяемая по формуле $t_{th,c} = 1,15t_{th,m} + 0,1t_1$;

t_1 – время, принимаемое равным $1,3 \cdot 10^7$ с (3600 ч). Если в расчетах размерность коэффициентов λ_{th} и λ_f берем в ккал/(м·ч·°С) или в Вт (м·°С) то время в часах;

t_2 – время, принимаемое равным $2,7 \cdot 10^7$ с (7500 ч);

λ_{th} и λ_f – теплопроводность соответственно талого и мерзлого грунта, Вт

/($\text{м} \cdot ^\circ\text{С}$), $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С})$;

C_{th} и C_f – объемная теплоемкость, соответственно талого и мерзлого грунта, $\text{Вт} \cdot \text{ч}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$, $\text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$;

k_m – коэффициент, принимаемый для песчаных грунтов равным 1,0, а для пылевато-глинистых – по табл. 4.5 в зависимости от значения теплоемкости C_f и средней температуры грунта $\bar{T}$, $^\circ\text{С}$, определяемой по формуле [8]:

$$\bar{T} = (T_0 - T_{bf}) (t_{th,c} / t_1 - 0,22); \quad (4.7)$$

Таблица 4.5

Коэффициенты k_m [8]

Температура $\bar{T}$ $^\circ\text{С}$	Значения коэффициента k_m при объемной теплоемкости C_f , $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$ [$\text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$]			
	$1,3 \cdot 10^6$ (300)	$1,7 \cdot 10^6$ (400)	$2,1 \cdot 10^6$ (500)	$2,5 \cdot 10^6$ (600)
–1	6,8	5,9	5,3	5,0
–2	5,2	4,5	4,0	3,7
–4	3,7	3,2	2,8	2,5
–6	3,0	2,6	2,3	2,1
–8	2,5	2,2	1,9	1,6
–10	1,8	1,6	1,4	1,2

L_v – удельная теплота таяния (замерзания) грунта, $\text{Вт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$, $\text{Дж}/\text{м}^3$, $\text{ккал}/\text{м}^3$, определяемая по формуле 3.13 при температуре грунта $-0,5\bar{T}$, $^\circ\text{С}$.

T_0 – расчетная среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта, $^\circ\text{С}$; которая, устанавливается на основании прогнозных расчетов изменения температурного режима грунтов на застраиваемой территории. Допускается определять значение T_0 , $^\circ\text{С}$, по формуле [8]:

$$T_0 = \frac{1}{t_y} \left[(T_{f,m} - T_{bf}) t_{f,m} + z_v d_{th,n} \left(\frac{d_{th,n}}{2\lambda_f} + R_s \right) \right] + T_{bf}, \quad (4.8)$$

где t_y – продолжительность года, принимаемая равной $3,15 \cdot 10^7$ с (8760 ч);

$T_{f,m}$ и $t_{f,m}$ – средняя по многолетним данным температура воздуха в период отрицательных температур, $^\circ\text{С}$, и продолжительность этого периода, с (ч), принимаемые по СНиП 2.01.01–82;

R_s – термическое сопротивление снегового покрова, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С}/\text{ккал}$), определяемое по формуле [8]:

$$R_s = m_L \frac{(1 + 0,2)d_s}{0,0,02 + \rho_s},$$

здесь $m_L = 1,0$ $\text{т} \cdot ^\circ\text{С}/(\text{м}^2 \cdot \text{Вт})$ [$1,16$ $\text{т} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{С}/(\text{м}^2 \cdot \text{ккал})$] – коэффициент учета

размерностей;

d_s – средняя высота снегового покрова, м, принимаемая по метеоданным;

ρ_s – средняя плотность снегового покрова, т/м³, принимаемая по метеоданным.

Если при расчете по формуле 4.8 получается $T_o > T_{bf}$, то следует принимать $T_o = T_{on}$. Нормативное значение среднегодовой температуры многолетнемерзлого грунта T_{on} определяется по данным полевых измерений температуры грунтов в соответствии с ГОСТ 25358 на опытных площадках с естественными условиями. Допускается значение T_{on} принимать равным температуре грунта на глубине 10 м от поверхности.

4.4. Расчет нормативной глубины сезонного промерзания

Нормативная глубина сезонного промерзания грунта $d_{f,n}$, м, определяется по формуле [8]:

$$d_{f,n} = \sqrt{\frac{2\lambda_f(T_{bf} - T_{f,m})t_{f,m}}{q_2}}, \quad (4.9)$$

где q_2 – количество тепла, выделяемое при замерзании воды, Вт·ч/м³, ккал/м³, Дж/м³.

$$q_2 = L_v - 0,5C_f(T_{f,m} - T_{bf}), \quad (4.10)$$

здесь L_v – удельная теплота замерзания грунта, Вт·ч /м³, Дж/м³, ккал/м³, определяемая по формуле 3.13 при температуре грунта $\bar{T} = 0,5(T_{f,m} - T_{bf})$, °С.

Пример расчета глубины сезонного оттаивания грунтов. Необходимо определить глубину сезонного оттаивания грунтов для района г. Уренгой. Средняя летняя температура воздуха по данным многолетних наблюдений $T_{th,m} = 10,1^\circ\text{C}$. Продолжительность летнего периода – $t_{th,m} = 2920$ ч. Грунт представлен суглинком, суммарная влажность грунта $w_{tot} = 0,3$ д.е.; влажность за счет незамерзшей воды $w_w = 0,08$ д.е., плотность сухого грунта $\rho_d = 1400$ кг/м³. Коэффициент теплопроводности талого и мерзлого грунта равны $\lambda_{th} = 1,45$ Вт / (м·°С), $\lambda_f = 1,57$ Вт / (м·°С); соответственно объемная теплоемкость $C_{th} = 835$ Вт·ч/(м³·°С), $C_f = 603$ Вт·ч/(м³·°С). Среднегодовая температура грунта на глубине нулевых годовых амплитуд $T_o = -2^\circ\text{C}$, температура начала замерзания $T_{bf} = -0,2^\circ\text{C}$. Понижение уровня грунтовых вод на участке не предусмотрено.

По формуле $T_{th,c} = 1,4T_{th,m} + 2,4$ °С определяем расчетную температуру поверхности грунта в летний период:

$$T_{th,c} = 1,4 \cdot 10,1 + 2,4 = 16,5^\circ\text{C}.$$

Значение средней температуры грунта слоя сезонного промерзания за летний период определяется по формуле 4.7:

$$\bar{T} = (T_0 - T_{bf}) (t_{th,c} / t_1 - 0,22) = [-2 - (-0,2)] (\frac{3718}{3600} - 0,22) = -1,5^\circ\text{C}.$$

Предварительно определяется расчетная продолжительность летнего периода по формуле:

$$t_{th,c} = 1,15 t_{th,m} + 0,1 t_l = 1,15 \cdot 2920 + 0,1 \cdot 3600 = 3718 \text{ ч.}$$

При средней температуре и объемной теплоемкости мерзлого грунта, равной $603 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3\text{C})$, по табл. 4.5 значение коэффициента k_m равно 4,5.

Определяем теплоту таяния грунта (затраты тепла на фазовые переходы) по формуле 3.13:

$$L_v = L_0(w_{tot} - w_w)\rho_d = 93 \cdot (0,3 - 0,08) \cdot 1400 = 28644 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3.$$

По формуле 4.5 определяем значение Q :

$$Q = \left(0,25 - \frac{3718}{3600} \right) (-2 - (-0,2)) \cdot 4,5 \sqrt{1,57 \cdot 603 \cdot 3718} = 11895,6 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2 \quad \text{По}$$

формуле 4.6 определяем среднее значение q_1 :

$$q_1 = 28644 + \left(\frac{3718}{7500} - 0,1 \right) [835 \cdot (16,5 - (-0,2)) - 603 \cdot (-2 - (-0,2))] = 34591,8 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3.$$

Нормативная глубина сезонного оттаивания определяется по формуле 4.4:

$$d_{th,n} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,45 (16,5 - (-0,2)) \cdot 3718}{34591,8} + \left(\frac{11895,6}{2 \cdot 34591,8} \right)^2} - \frac{11895,6}{2 \cdot 34591,8} = 2,1 \text{ м}.$$

Пример расчета нормативной глубины промерзания грунтов.

Требуется определить нормативную глубину сезонного промерзания грунтов для района г. Москвы. По данным многолетних наблюдений, согласно СНиП 23-01-99, средняя температура воздуха за период отрицательных температур $T_{f,m} = -6,6^\circ\text{C}$. Продолжительность зимнего периода $t_{f,m} = 3500 \text{ ч}$. Грунт представлен песком, суммарная влажность грунта $w_{tot} = 0,07$, влажность за счет незамерзшей воды $w_w = 0$. Плотность сухого грунта $\rho_d = 1600 \text{ кг}/\text{м}^3$. Температура начала замерзания грунта $T_{bf} = 0^\circ\text{C}$. Коэффициент теплопроводности мерзлого грунта $\lambda_f = 1,62 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$; объемная теплоемкость $C_f = 489 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/(\text{м}^3\text{C})$.

По формуле 3.13 определяем удельную теплоту замерзания грунта (затраты тепла на фазовые переходы)

$$L_v = L_0(w_{tot} - w_w)\rho_d = 93 \cdot (0,07 - 0) \cdot 1600 = 10416 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3.$$

По формуле (4.10) определяем значение

$$q_2 = 10416,0 - 0,5 \cdot 489,0 (-6,6 - 0,0) = 12029,7 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3.$$

Нормативная глубина сезонного промерзания грунта $d_{f,n}$, м, определяется по формуле 4.9:

$$d_{f,n} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,62 (0 - (-6,6)) \cdot 3500}{12029,7}} = 2,5 \text{ м}.$$

4.5. Расчет оснований и фундаментов по несущей способности при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I

Расчет оснований фундаментов по первой группе предельных состояний (по несущей способности) производится исходя из условия:

$$F \leq F_u / \gamma_n \quad (4.11)$$

где F – расчетная нагрузка на основание;

F_u – несущая способность (сила предельного сопротивления) основания, определяемая расчетом;

γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый в соответствии с требованиями СНиП 2.02.01–83 в зависимости от вида и класса ответственности сооружения.

Несущая способность основания F_u , кН (кгс), висячей сваи или столбчатого фундамента определяется по формуле [8]:

$$F_u = \gamma_t \gamma_c \left(RA + \sum_{i=1}^n R_{af,i} A_{af,i} \right), \quad (4.12)$$

где γ_t – температурный коэффициент, учитывающий изменение температуры грунтов основания в период строительства и эксплуатации сооружения. Значения γ_t допускается принимать равными:

а) $\gamma_t = 1,1$, если расчетная среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов T_0 соответствует твердомерзлому состоянию грунта и не выше расчетной среднегодовой температуры на верхней поверхности многолетнемерзлого грунта T'_0 , устанавливающейся в основании сооружения в процессе его эксплуатации;

б) $\gamma_t = 1,0$, если расчетная среднегодовая температура многолетнемерзлых грунтов T_0 соответствует пластичномерзлому состоянию грунта и выше значения температуры T'_0 , устанавливающейся в процессе эксплуатации сооружения.

γ_c – коэффициент условий работы основания (табл. 4.6);

Таблица 4.6

Коэффициенты условий работы основания [8]

Виды фундаментов и способы их устройства	Коэффициент γ_c
--	------------------------

Столбчатые и другие виды фундаментов на естественном основании	1,0
То же на подсыпках	0,9
Буроопускные сваи с применением грунтовых растворов, превышающих по прочности смерзания вмещающие грунты	1,1
То же при равномерной прочности грунтовых растворов и вмещающего грунта	1,0
Опускные и буронабивные сваи	1,0
Бурозабивные сваи при диаметре лидерных скважин менее 0,8 диаметра свай	1,0
То же при большем диаметре лидерных скважин	0,9

R – расчетное давление на мерзлый грунт под нижним концом сваи или под подошвой столбчатого фундамента (табл. 4.7), кПа (кгс/см²);

Таблица 4.7

Расчетное давление на мерзлый грунт под нижним концом сваи или под подошвой столбчатого фундамента [8]

Грунты	Глубина погружения свай, м	Расчетные давления R , кПа (кгс/см ²), при температуре грунта, °С											
		−0,3	−0,5	−1	−1,5	−2	−2,5	−3	−3,5	−4	−6	−8	−10
При льдистости $i_i < 0,2$:													
1. Крупно-обломочные	При любой глубине	2500 (25,0)	3000 (30,0)	3500 (35,0)	4000 (40,0)	4300 (43,0)	4500 (45,0)	4800 (48,0)	5300 (53,0)	5800 (58,0)	6300 (63,0)	6800 (68,0)	7300 (73,0)
2. Пески крупной и средней крупности	То же	1500 (15,0)	1800 (18,0)	2100 (21,0)	2400 (24,0)	2500 (25,0)	2700 (27,0)	2800 (28,0)	3100 (31,0)	3400 (34,0)	3700 (37,0)	4600 (46,0)	5500 (55,0)
3. Пески мелкие и пылеватые	3–5	850 (8,5)	1300 (13,0)	1400 (14,0)	1500 (15,0)	1700 (17,0)	1900 (19,0)	1900 (19,0)	2000 (20,0)	2100 (21,0)	2600 (26,0)	3000 (30,0)	3500 (35,0)
	10	1000 (10,0)	1550 (15,5)	1650 (16,5)	1750 (17,5)	2000 (20,0)	2100 (21,0)	2200 (22,0)	2300 (23,0)	2500 (25,0)	3000 (30,0)	3500 (35,0)	4000 (40,0)
	15 и более	1100 (11,0)	1700 (17,0)	1800 (18,0)	1900 (19,0)	2200 (22,0)	2300 (23,0)	2400 (24,0)	2500 (25,0)	2700 (27,0)	3300 (33,0)	3800 (38,0)	4300 (43,0)
4. Супеси	3–5	750 (7,5)	850 (8,5)	1100 (11,0)	1200 (12,0)	1300 (13,0)	1400 (14,0)	1500 (15,0)	1700 (17,0)	1800 (18,0)	2300 (23,0)	2700 (27,0)	3000 (30,0)
	10	850 (8,5)	950 (9,5)	1250 (12,5)	1350 (13,5)	1450 (14,5)	1600 (16,0)	1700 (17,0)	1900 (19,0)	2000 (20,0)	2600 (26,0)	3000 (30,0)	3500 (35,0)
	15 и более	950 (9,5)	1050 (10,5)	1400 (14,0)	1500 (15,0)	1600 (16,0)	1800 (18,0)	1900 (19,0)	2100 (21,0)	2200 (22,0)	2900 (29,0)	3400 (34,0)	3900 (39,0)
5. Суглинки и глины	3–5	650 (6,5)	750 (7,5)	850 (8,5)	950 (9,5)	1100 (11,0)	1200 (12,0)	1300 (13,0)	1400 (14,0)	1500 (15,0)	1800 (18,0)	2300 (23,0)	2800 (28,0)
	10	800 (8,0)	850 (8,5)	950 (9,5)	1100 (11,0)	1250 (12,5)	1350 (13,5)	1450 (14,5)	1600 (16,0)	1700 (17,0)	2000 (20,0)	2600 (26,0)	3000 (30,0)
	15 и более	900 (9,0)	950 (9,5)	1100 (11,0)	1250 (12,5)	1400 (14,0)	1500 (15,0)	1600 (16,0)	1800 (18,0)	1900 (19,0)	2200 (22,0)	2900 (29,0)	3500 (35,0)
При льдистости грунтов $0,2 \leq i_i \leq 0,4$													
6. Все виды грунтов, указанные в	3–5	400 (4,0)	500 (5,0)	600 (6,0)	750 (7,5)	850 (8,5)	950 (9,5)	1000 (10,0)	1100 (11,0)	1150 (11,5)	1500 (15,0)	1600 (16,0)	1700 (17,0)

фундамента z_d , отсчитываемой от верхней поверхности многолетнемерзлого грунта;

T_e – максимальной в годовом периоде средней по глубине заложения фундамента z_d температуре многолетнемерзлого грунта в установившемся эксплуатационном режиме (эквивалентная температура грунта) (рис. 4.2);

T_z – температура многолетнемерзлого грунта на данной глубине z от его верхней поверхности, принимаемой на момент установления температуры T_e .

Для оснований свайных, столбчатых и других видов фундаментов сооружений с холодным (вентилируемым) подпольем, опор

трубопроводов, линий электропередач, антенно-мачтовых сооружений, кроме оснований опор мостов, расчетные температуры грунтов T_m , T_z и T_e допускается определять по формулам для оснований сооружений с холодным подпольем [8]:

под серединой сооружения

$$T_{m,z,e} = (T'_0 - T_{bf})\alpha_{m,z,e} + (T_0 - T'_0)k_1 + T_{bf}; \quad (4.14)$$

под краем сооружения

$$T_{m,z,e} = (T'_0 - T_{bf})\alpha_{m,z,e} + (T_0 - T'_0)(0,5\alpha_{m,z,e} + k_2) + T_{bf}; \quad (4.15)$$

под углами сооружения

$$T_{m,z,e} = (T'_0 - T_{bf})\alpha_{m,z,e} + (T_0 - T'_0)(0,75\alpha_{m,z,e} + k_3) + T_{bf}, \quad (4.16)$$

где T'_0 – расчетная среднегодовая температура на верхней поверхности многолетнемерзлого грунта в основании сооружения, °C; определяется расчетом по условию обеспечения требуемых значений расчетной температуры грунтов в основании сооружения с учетом мерзлотно-грунтовых и климатических условий участка строительства. Допускается принимать значение $T'_0 - T_{bf}$ по табл. 4.9 в зависимости от среднегодовой

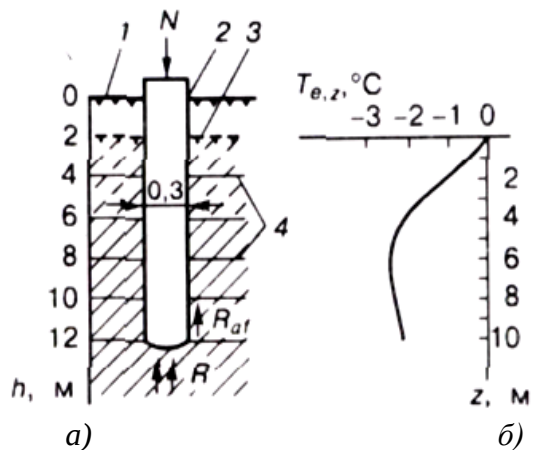


Рис. 4.2. Схема для расчета несущей способности основания висячей сваи (а) и график распределения расчетной температуры грунтов T_e по глубине заложения сваи в мерзлом грунте (б): 1 – дневная поверхность; 2 – сваи; 3 – верхняя граница многолетнемерзлых грунтов; 4 – границы выделенных для расчета слоев грунта

температуры грунта, T_0 , и температуры начала замерзания грунта T_{bf} , °С; с учетом ширины сооружения B и глубины заложения фундаментов z . Значение T'_0 находится как разница между табличным значением (табл. 4.9) и T_{bf} .

Таблица 4.9

Расчетная среднегодовая температура $T'_0 - T_{bf}$ на верхней поверхности многолетнемерзлого грунта в основании сооружения [8]

Значения $T_0 - T_{bf}$, °С	Ширина сооружения B , м	Значения $T'_0 - T_{bf}$ °С, для фундаментов				
		столбчатых при глубине заложения z , м			свайных при глубине заложения z , м	
		1	2	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

α_m , α_z , α_e – коэффициенты сезонного изменения температуры грунтов основания, принимаемых по табл. 4.10 в зависимости от значения параметра $z\sqrt{c_f/\lambda_f}$, $с^{0,5}$ ($ч^{0,5}$), где z – глубина от поверхности многолетнемерзлого грунта, м; C_f – объемная теплоемкость, Дж/(м³·°С) и λ_f – теплопроводность мерзлого грунта, Вт/(м³·°С), α_m – для расчета столбчатого фундамента, α_z и α_e для свайного;

k_1 , k_2 и k_3 – коэффициенты теплового влияния сооружения, принимаемые по табл. 4.11 в зависимости от отношений z/B и L/B , L и B – соответственно длина и ширина сооружения, м. Глубина заложения фундаментов z отсчитывается от уровня верхней поверхности многолетнемерзлого грунта.

k_{ts} – коэффициент теплового влияния изменения поверхностных условий при возведении фундаментов линейных сооружений, принимаемый по табл. 4.12 в зависимости от вида и глубины заложения фундаментов z , м.

Таблица 4.10

Коэффициенты сезонного изменения температуры грунтов основания [8]

Коэффициенты	Значения $z\sqrt{c_f/\lambda_f}$, $с^{0,5}$ ($ч^{0,5}$)									
	0 (0)	1000 (25)	2000 (50)	3000 (75)	4000 (100)	6000 (125)	8000 (175)	10000 (175)	15000 (250)	20000 (300)
α_m	0 (0)	0,28 (0,38)	0,47 (0,61)	0,61 (0,76)	0,71 (0,85)	0,85 (0,91)	0,92 (0,94)	0,96 (0,96)	0,99 (0,99)	1,00 (1,00)
α_z	0	0,30	0,52	0,67	0,80	0,95	1,02	1,03	1,01	1,00

	(0)	(0,40)	(0,67)	(0,85)	(0,95)	(1,01)	(1,03)	(1,03)	(1,01)	(1,00)
α_e	0	0,14	0,26	0,38	0,47	0,61	0,70	0,77	0,85	0,90
	(0)	(0,21)	(0,38)	(0,51)	(0,61)	(0,68)	(0,74)	(0,78)	(0,85)	(0,88)

Таблица 4.11

Коэффициенты теплового влияния сооружения [8]

Форма здания в плане	$\frac{L}{B}$	Коэффициенты k для определения T_m, T_z, T_e											
		k_1 при z/B				k_2 при z/B				k_3 при z/B			
		0,25	0,5	1,0	2,0	0,25	0,5	1,0	2,0	0,25	0,5	1,0	2,0
Прямоугольная	1	<u>0,41</u> 0,21	<u>0,67</u> 0,38	<u>0,87</u> 0,57	<u>0,96</u> 0,75	<u>0,17</u> 0,09	<u>0,28</u> 0,16	<u>0,39</u> 0,25	<u>0,47</u> 0,34	<u>0,06</u> 0,03	<u>0,10</u> 0,05	<u>0,17</u> 0,09	<u>0,22</u> 0,14
	2	<u>0,33</u> 0,17	<u>0,56</u> 0,31	<u>0,80</u> 0,50	<u>0,93</u> 0,68	<u>0,15</u> 0,08	<u>0,26</u> 0,14	<u>0,37</u> 0,23	<u>0,45</u> 0,32	<u>0,04</u> 0,02	<u>0,08</u> 0,04	<u>0,14</u> 0,08	<u>0,20</u> 0,12
	3	<u>0,32</u> 0,16	<u>0,53</u> 0,30	<u>0,76</u> 0,47	<u>0,91</u> 0,65	<u>0,15</u> 0,08	<u>0,25</u> 0,14	<u>0,36</u> 0,22	<u>0,44</u> 0,31	<u>0,04</u> 0,02	<u>0,08</u> 0,04	<u>0,13</u> 0,07	<u>0,19</u> 0,12
	≥ 5	<u>0,29</u> 0,14	<u>0,50</u> 0,27	<u>0,71</u> 0,44	<u>0,84</u> 0,62	<u>0,15</u> 0,07	<u>0,25</u> 0,14	<u>0,35</u> 0,22	<u>0,42</u> 0,30	<u>0,03</u> 0,02	<u>0,07</u> 0,04	<u>0,12</u> 0,07	<u>0,18</u> 0,11
Круглая	—	<u>0,45</u> 0,23	<u>0,71</u> 0,41	<u>0,89</u> 0,62	<u>0,97</u> 0,78	<u>0,22</u> 0,13	<u>0,32</u> 0,20	<u>0,40</u> 0,28	<u>0,45</u> 0,36	—	—	—	—
Примечания: В числителе указаны значения коэффициентов k для температур T_m и T_z , в знаменателе – для T_e . При $z/B = 0$ коэффициенты k_1, k_2 и k_3 равны 0.													

Таблица 4.12

Коэффициент теплового влияния изменения поверхностных условий при возведении фундаментов линейных сооружений [8]

Виды фундаментов	Коэффициент k_{fs} при z , м		
	до 2	от 2 до 6	св. 6
Массивные и свайные с ростверком, заглубленным в грунт	0,7	0,9	1,0
Свайные с высоким ростверком и сборные под опоры рамно-стоечного типа	0,9	1,0	1,0

Пример расчета основания свайного фундамента по несущей способности при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I. Необходимо определить несущую способность основания под вертикально нагруженной висячей сваей сечением 0,3х0,3 м. Ширина здания $B = 12$ м, длина $L = 150$ м. Глубина погружения сваи в мерзлый грунт – 7 м. Расчетная нагрузка – 1800 кН. Грунт – мерзлый суглинок, $T_0 = -1,2$ °С, коэффициент теплопроводности талого и мерзлого грунта равны $\lambda_{th} = 1,33$ Вт/(м·°С), $\lambda_f = 1,51$ Вт/(м·°С); соответственно объемная теплоемкость $C_{th} = 777$ Вт·ч/(м³·°С), $C_f = 592$ Вт·ч/(м³·°С). Среднегодовая температура грунта на глубине нулевых годовых амплитуд $T_0 = -1,2$ °С, температура начала замерзания $T_{bf} = -0,2$ °С. Принять $\gamma_n = 1,1$.

В начале расчетов определяется параметр $z = 7\sqrt{(592/1,51)} = 138,6$ тогда по табл. 4.10 $\alpha_z = 1,1$ и $\alpha_e = 0,73$

Определяем параметр $z/B = 7/12 = 0,58$ и по табл. 4.11 получаем коэффициенты теплового влияния здания на эквивалентную температуру

$k_1=0,31$, $k_2=0,18$, и на температуру под торцом сваи $k_1=0,56$, $k_2=0,33$.

По формуле (4.14) вычисляется эквивалентная температура и температура грунта под концом сваи:

$$T_e=(-2,5+0,2)\cdot 0,73+(-1,2+2,5)\cdot 0,31-0,2=-2,15\text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$T_z=(-2,5+0,2)\cdot 1,10+(-1,2+2,5)\cdot 0,53-0,2=-2,00\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

По расчетным температурам находим расчетное давление на мерзлый грунт (табл. 4.7), расчетное сопротивление грунта по поверхности смерзания (табл. 4.9): $R=11,6\cdot 10^5$ Па, $R_{af}=1,34\cdot 10^5$ Па.

$$F_u=1\cdot 1\cdot (11,6\cdot 10^5\cdot 0,09+1,68\cdot 10^5\cdot 8,4)=15,25\cdot 10^5\text{ Н},$$

$$18\cdot 10^5\text{ Н} \geq 15,25\cdot 10^5/1,1=13,81\cdot 10^5\text{ Н}.$$

Вывод: условие не выполнено и следует увеличить длину сваи до тех пор, пока условие (4.11) не будет соблюдено.

Лабораторная работа № 4.1. Расчет глубины промерзания (оттаивания) грунта

Цель работы: Познакомиться с расчетами глубины промерзания (оттаивания) грунта и научиться задавать минимальную глубину заложения фундамента в мерзлых грунтах.

Задание: Используя результаты лабораторной работы № 3.3, определите нормативную и расчетную глубину сезонного оттаивания грунта, соответственно $d_{th,n}$ и d_{th} , а также минимальную глубину заложения свайного фундамента у наружных стен здания с холодным подпольем и отмостками с асфальтовым покрытием при использовании грунтов по I принципу.

Рассчитайте нормативную и расчетную глубину сезонного промерзания грунта, соответственно d_{fn} и d_f , и минимальную глубину заложения столбчатого фундамента здания с подвалом при среднесуточной температуре воздуха в подвале 8°C , если грунт используется по II принципу.

В случае многослойного разреза оценку глубины заложения фундамента нужно провести путем условной замены многослойного разреза однослойным. Для определения d_{th} могут быть использованы максимальные значения λ_{th} , λ_f , C_f , w_w и минимальные w_{tot} , C_{th} , $\rho_{d,f}$, T_{bf} грунтов находящихся в зоне сезонного оттаивания. При расчете d_f необходимо использовать максимальное значение T_{bf} , тогда как остальные параметры берутся как в первом случае.

Результаты расчетов привести в виде таблицы.

Исходные данные:

1. Результаты лабораторной работы № 3.3.
2. Допускается принимать $T_o = T_{on}$.
3. Температурные условия участка работ приведены в табл. 4.13.
4. Расчетная среднесуточная температура воздуха в помещении, примыкающем к наружным фундаментам 15°C .

Таблица 4.13

Температурные условия участка

Параметр	Номер грунта					Примечание
	1, 4–7	2	3, 11–13	8, 9, 14, 15	10	
$T_{th,c}$	15,0	14,6	12,4	14,8	13,0	°C
$T_{f,m}$	–20	–25	–24	–22	–23	
$t_{th,c}$	3450	4250	4200	3600	3600	в часах
$t_{f,m}$	6010	4510	4560	5160	5260	
T_{on}	–4,0	–2,0	–1,5	–2,0	–3,0	°C

Ход работы:

1. Определяем по формуле 3.13 теплоту таяния (замерзания) грунта L_v , Вт·ч/м³, где ρ_d берется в кг/м³.
2. Рассчитываем количество удельной теплоты поглощаемой при плавлении льда содержащегося в грунте, q_1 , Вт·ч/м³ по формуле 4.6.
3. Тепло расходуемое на летний обогрев многолетнемерзлых грунтов, Q , Вт·ч/м³, определяем по формуле 4.5, предварительно определив коэффициент k_m по табл. 4.5 в зависимости от значения теплоемкости C_f и средней температуры грунта $\bar{T}$, °C, определяемой по формуле 4.7. Обратите внимание на размерность C_f в табл. 4.5.
4. Нормативную глубину сезонного оттаивания грунта, $d_{th,n}$, м, определяем по формуле 4.4.
5. Определяем расчетную глубину сезонного оттаивания d_{th} , м, по формуле 4.2, где k'_h и k_h – коэффициенты теплового влияния сооружения, принимаемые по табл. 4.3.
6. По табл. 4.1 определяем минимальную глубину заложения фундамента d_{min} .
7. Определяем нормативную глубину сезонного промерзания грунта $d_{f,n}$ по формуле 4.9, предварительно определив q_2 по формуле 4.10.
8. По формуле 4.3 определяем d_f , где k_h принимается по табл. 4.3 и 4.4.

Лабораторная работа № 4.2. Определение несущей способности сложенного многолетнемерзлыми грунтами основания свайного фундамента

Цель работы: Научиться определять несущую способность основания, сложенного многолетнемерзлыми грунтами.

Задание: Определить несущую способность основания свайного фундамента под серединой, краем и под углами здания с холодным подпольем. Дать ответ о возможности строительства в данных условиях здания с заданной расчетной нагрузкой (табл. 4.14).

Исходные данные:

1. Длина буронабивной сваи квадратного сечения – 6 м, площадь сечения сваи 0,35х0,35 м. Длина и ширина здания, соответственно L и B , равны 20 м.

2. Принять $\gamma_t = 1,0$, $\gamma_n = 1,1$,
3. Разрез на участке строительства представлен переслаивающимися грунтами, характеристики и мощности которых даны в табл. 3.5.

Таблица 4.14

Расчетная нагрузка

№ варианта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расчетная нагрузка на опору в кН	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Примечание: 1 паскаль (Па) $\equiv 1 \text{ Н/м}^2 \equiv 1 \text{ Дж/м}^3 \equiv 1 \text{ кг/(м} \cdot \text{с}^2\text{))}$										

Ход работы:

1. Нарисовать схему расположения сваи в многослойном разрезе для своего варианта по аналогии с рис. 4.1.
2. Расчетное давление R на мерзлый грунт определяется по табл. 4.7 при температуре T_z на глубине равной глубине погружения сваи в многолетнемерзлый грунт. Для расчета T_z определяем коэффициент α_z табл. 4.10 по значению параметра $z\sqrt{c_f/\lambda_f}$, где z – глубина от поверхности многолетнемерзлого грунта до конца сваи, м.
3. По формулам 4.14, 4.15 и 4.16 определяем T_z под серединой, краем и углами здания, определив k_1 , k_2 и k_3 – коэффициенты теплового влияния сооружения, принимаемые по табл. 4.11 в зависимости от отношений z/B и L/B , L и B – соответственно длина и ширина сооружения, здесь z – глубина заложения фундамента, м. По табл. 4.9. определяем $T'_0 - T_{bf}$.
4. Расчетное сопротивление мерзлого грунта по боковой поверхности смерзания, $R_{af,i}$ в пределах каждого i -го слоя грунта, определяется по таблице 4.8 при эквивалентной температуре T_e на глубине от поверхности многолетнемерзлого грунта до середины i -го слоя грунта. Для расчета T_e определяем коэффициент α_e по табл. 4.10 по значению параметра $z\sqrt{c_f/\lambda_f}$, где z – глубина от поверхности многолетнемерзлого грунта до точки в которой определяется температура, м (т. е. – z_{e1} , z_{e2} , z_{e3} рис. 4.1).
5. По формулам 4.14, 4.15 и 4.16 определяем T_e под серединой, краем и под углами здания.
6. Определяем площадь опоры сваи на грунт, A , м².
7. Определяем площадь поверхности смерзания каждого i -го слоя многолетнемерзлого грунта с боковой поверхностью сваи, A_{af} .
8. Определяем несущую способность свайного основания F_u по формуле

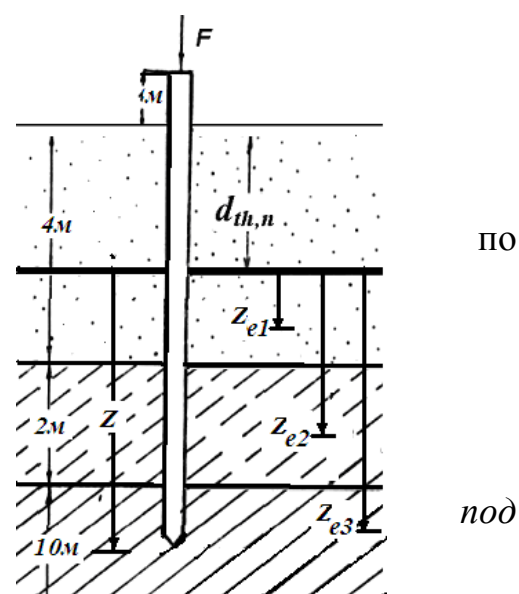


Рис. 4.1. Схема расположения сваи в многослойном разрезе

4.12.

9. Сравниваем результат с заданной расчетной нагрузкой (табл. 4.14) и по условию 4.11 делаем вывод о возможности строительства здания в данных условиях.