

Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Дальневосточный государственный
университет путей сообщения»

Кафедра «Мосты, тоннели и подземные сооружения»

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ СООРУЖЕНИЙ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Учебно-методическое пособие
для решения задач

Издание 2-е
дополненное и переработанное

Хабаровск
Издательство ДВГУПС
2015

УДК 624.15:624.131(075.8)
ББК Н581.252я73
О 751

Рецензент

Доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры «Мосты, тоннели и подземные сооружения»
Дальневосточного государственного университета путей сообщения
С.В. Квашук

1-е изд. Кудрявцев С.А., Вальцева Т.Ю., Михайлин Р.Г., Петерс А.А.
Основания и фундаменты сооружений на вечномёрзлых грунтах (2011)

Авторы:

С.А. Кудрявцев, Т.Ю. Вальцева, А.В. Кажарский,
Р.Г. Михайлин, А.А. Петерс

О 751 Основания и фундаменты сооружений на вечномёрзлых грунтах : учеб.-метод. пособие для решения задач / С.А. Кудрявцев, Т.Ю. Вальцева, А.В. Кажарский [и др.]. – 2-е изд. доп. и перераб. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2015. – 43 с. : ил.

Учебно-методическое пособие соответствует ФГОС ВО специальности 23.05.06 «Строительство железных дорог, мостов и транспортных тоннелей».

Приведены примеры решения задач по расчету оснований и фундаментов на вечномёрзлых грунтах.

Предназначено студентам 4-го курса очной формы обучения для самостоятельного решения задач по дисциплине «Основания и фундаменты сооружений на вечномёрзлых грунтах».

УДК 624.15:624.131(075.8)
ББК Н581.252я73

© ДВГУПС, 2011, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование фундаментов сооружения является сложной задачей. Если при конструировании надземных сооружений инженер сам выбирает их материал, формы и размеры, то при проектировании фундаментов он должен считаться с имеющимися грунтами на площадке строительства, учитывать их свойства и поведение под нагрузками в период всего срока эксплуатации сооружения.

Задача проектирования сводится к выбору несущего слоя грунта, глубины заложения и конструкции фундамента, определению размеров фундамента. При этом для получения наиболее экономичного решения вопрос рассматривают комплексно:

- выбирают наиболее рациональный тип фундамента исходя из грунтовых условий;
- определяют возможные деформации основания сооружения;
- назначают способ производства работ по возведению фундаментов, обеспечивающий необходимое сохранение естественного состояния грунтов.

Обычно намечается несколько вариантов фундаментов. Окончательное решение принимается путем сопоставления соответствующих технико-экономических показателей по вариантам.

В данном методическом пособии в краткой форме рассматриваются основные положения проектирования оснований и фундаментов на вечноммерзлых грунтах с примерами расчетов, а также особенности производства работ по возведению фундаментов.

Учебно-методическое пособие составлено на основе СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечноммерзлых грунтах» актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88 и других нормативных и научных материалов, учитывающих опыт проектирования и строительства зданий и сооружений в районах Восточной Сибири и Дальнего Востока, включая зону прохождения Байкало-Амурской железной дороги.

В учебном плане дисциплина «Основания и фундаменты сооружений на вечноммерзлых грунтах» является специальной. Изучаются состав, строение и состояние вечноммерзлых грунтов; физико-механические свойства вечноммерзлых грунтов основания; распределение напряжений в грунтовом массиве; расчет оснований по деформациям, несущей способности и устойчивости.

Целью преподавания дисциплины «Основания и фундаменты сооружений на вечноммерзлых грунтах» является подготовка высококвалифицированных специалистов с необходимым диапазоном знаний в области оценки строительных свойств вечноммерзлых грунтов, расчета и конструирования различных типов фундаментов зданий и сооружений

железнодорожного транспорта различного назначения, расчета грунтовых сооружений и их устойчивости, методов проектирования, строительства и надежной эксплуатации железнодорожных линий и фундаментов инженерных сооружений в условиях вечномерзлых грунтов на высоком технико-экономическом уровне с учетом особенностей свойств грунтов основания и с соблюдением современных требований к охране геологической среды.

В процессе изучения дисциплины студенты самостоятельно решают 14 задач, используя дополнительную литературу [1–12]. Вариант задания назначает преподаватель. Решение задач выполняется в тетради. После проверки решения преподавателем студент защищает работу.

Изучив дисциплину, студент **должен знать и уметь использовать**: терминологию дисциплины, основные физико-механические свойства вечномерзлых грунтов; математический аппарат механики мерзлых грунтов для определения напряженного состояния, оценки прочности и устойчивости основания сооружения, прогноза осадок сооружения и хода их во времени, а также **владеть**: методами определения классификационных показателей различных видов вечномерзлых грунтов; методами определения напряженного состояния, прочности и устойчивости основания сооружения на вечномерзлых грунтах.

1. РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Для обеспечения несущей способности основания должно выполняться следующее условие:

$$F \leq \frac{F_u}{\gamma_n}, \quad (1.1)$$

где F – расчетная нагрузка на основание, включая вес фундамента; F_u – несущая способность (сила предельного сопротивления) основания, кН; γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения, сопоставляем расчетную нагрузку на основание с несущей способностью основания при коэффициенте надежности $\gamma_n = 1,2$;

$$F_u = \gamma_t \cdot \gamma_c \left(R \cdot A + \sum_{i=1}^n R_{af,i} \cdot A_{af,i} \right), \quad (1.2)$$

где γ_t – температурный коэффициент, учитывающий изменение температуры грунтов основания в период строительства и эксплуатации сооружения, изменяющийся в пределах 0,8–1,1; γ_c – коэффициент условий работы основания, $\gamma_c = 1$; R – расчетное давление на мерзлый грунт под нижним концом сваи или под подошвой столбчатого фундамента, кПа, определяемое в зависимости от расчетной температуры грунта основания (прил. 1 табл. 2 или 3); A – площадь подошвы столбчатого фундамента или площадь опирания сваи на грунт, м², принимаемая для сплошных свай равной площади их поперечного сечения (или площади уширения); $R_{af,i}$ – расчетное сопротивление мерзлого грунта или грунтового раствора сдвигу по боковой поверхности смерзания фундамента в пределах i -го слоя грунта, кПа, определяемое по прил. 1 табл. 4; $A_{af,i}$ – площадь поверхности смерзания i -го слоя грунта с боковой поверхностью сваи, а для столбчатого фундамента – площадь поверхности смерзания грунта с нижней ступенью фундамента, м²; n – число выделенных при расчете слоев вечномерзлого грунта.

Значение температурного коэффициента и коэффициента условий работы принимаем равными $\gamma_t = 1,1$; $\gamma_c = 1$.

Минимальная глубина заложения фундаментов зависит от типа фундамента и глубины сезонного оттаивания, принимается по табл. 1.1.

Минимальная глубина заложения фундаментов

Фундамент	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

Задача № 1

Требуется определить несущую способность основания столбчатого одноступенчатого фундамента под наружную стену отапливаемого здания с вентилируемым подпольем на вечномерзлых грунтах.

Исходные данные для решения задачи приведены в прил. 1 табл. 1.

По данным изысканий площадка сложена супесями, температура мерзлого грунта на уровне подошвы фундамента составляет $T_m = -0,5$ °С, на уровне верхнего обреза башмака $T_m = -0,4$ °С.

При расчетной глубине сезонного оттаивания $d_{th} = 1,5$ м глубина заложения фундамента принята согласно табл. 1.1

$$d = d_{th} + 1 = 1,5 + 1 = 2,5 \text{ м.}$$

Размеры подошвы фундамента в плане приняты 120×120 см; высота башмака $h_b = 30$ см.

Проектом предусматривается обратная засыпка пазух котлована с уплотнением и промораживанием засыпанного грунта.

Расчетная нагрузка на основание, включая собственный вес фундамента и вес грунта на его уступах, $N_I = 700$ кН.

Вычисляем площадь подошвы фундамента и площадь боковых граней башмака:

$$A = 1,2 \cdot 1,2 = 1,44 \text{ м}^2,$$

$$A_{af} = h_b \cdot U = 0,3 \cdot 1,2 \cdot 4 = 1,44 \text{ м}^2.$$

Для определения расчетного давления на мерзлый грунт под подошвой столбчатого фундамента R и расчетного сопротивления мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания фундамента R_{af} необходимо определить расчетные значения температуры вечномерзлого грунта.

Значения расчетных сопротивлений мерзлого грунта сдвигу, согласно прил. 1 табл. 4, на уровне подошвы и верхнего обреза башмака соответственно: $R_{af} = 60$ кПа, $R_{af} = 50$ кПа.

Отсюда среднее значение расчетного сопротивления сдвигу мерзлого грунта по боковым граням башмака

$$R_{af} = \frac{60 + 50}{2} = 55 \text{ кПа}.$$

Расчетное давление на мерзлый грунт под подошвой фундамента согласно прил. 1 табл. 3, при $T_m = -0,5$ °С $R = 500$ кПа.

Несущая способность основания

$$F_u = 11 \cdot (500 \cdot 1,44 + 55 \cdot 1,44) = 879 \text{ кН}.$$

В соответствии с формулой (1.1):

$$700 \leq \frac{879}{1,2} = 732 \text{ кН}.$$

Таким образом, несущая способность основания на вечномерзлых грунтах обеспечена.

Задача № 2

Требуется определить несущую способность основания железобетонной сваи под наружную стену здания.

Исходные данные для решения задачи приведены в прил. 2.

Сечение сваи 30×30 см, длина 7 м.

Площадка сложена однородным вечномерзлым песчаным грунтом средней крупности. Расчетная глубина сезонного оттаивания грунта под наружной стеной $d_{th} = 2$ м. При высоте наземной части сваи 1 м глубина погружения сваи в вечномерзлый грунт

$$d = 7 - 2 - 1 = 4 \text{ м}.$$

Расчетная температура вечномерзлого грунта под краем здания на глубине нижнего конца сваи $T_z = -1,5$ °С, эквивалентная температура вечномерзлого грунта $T_e = -0,9$ °С, а площадь смерзания грунта с боковой поверхностью сваи

$$A_{af} = 0,3 \cdot 4 \cdot 4 = 4,8 \text{ м}^2.$$

Расчетное давление на мерзлый песок средней крупности под нижним концом сваи при температуре грунта $T = -1,5$ °С согласно прил. 1 табл. 2 $R = 2400$ кПа.

Расчетное сопротивление мерзлого песка сдвигу по поверхности смерзания при температуре грунта $T_e = -0,9$ °С, (прил. 1 табл. 4) $R_{af} = 120$ кПа.

Несущая способность основания сваи при температурном коэффициенте $\gamma_t = 1,1$ и коэффициенте условий работы $\gamma_c = 1$ для однородного грунта:

$$F = \gamma_t \cdot \gamma_c (R \cdot A + R_{af} \cdot A_{af}) = 1,1 \cdot 1 \cdot (2400 \cdot 0,09 + 120 \cdot 4,8) = 871 \text{ кН.}$$

Задача № 3

Требуется определить несущую способность основания железобетонной сваи-столба диаметром 0,8 м под опору моста.

Исходные данные для решения задачи № 3 приведены в прил. 3.

Грунты площадки представлены вечномерзлой супесью, подстилаемой с глубины 4 м крупнозернистым песчаным грунтом с льдистостью $i_l < 0,2$. Глубина погружения сваи столба $d = 8$ м при расчетной глубине сезонного оттаивания грунта $d_{th} = 2$ м, глубина погружения сваи в вечномерзлый грунт 6 м, из которых 2 м составляет супесь и 4 м – крупнозернистый песок. Так как в пределах глубины погружения сваи в вечномерзлый грунт находятся два слоя грунта, определяем расчетные температуры на глубине середины каждого слоя.

Расчетная температура на глубине 3 м от поверхности грунта, т. е. на глубине середины первого слоя вечномерзлой супеси $T = -0,5$ °С, на глубине 6 м от поверхности грунта, т. е. на глубине середины второго слоя вечномерзлого песчаного грунта $T = -1$ °С, а на уровне подошвы сваи $T_0 = -1,5$ °С.

Расчетное давление на мерзлый грунт под подошвой сваи согласно прил. 1 табл. 2 $R = 2400$ кПа. Площадь подошвы сваи

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,8^2}{4} = 0,5 \text{ м}^2.$$

Расчетное сопротивление сдвигу мерзлой супеси по боковой поверхности смерзания при температуре грунта $T_z = -0,5$ °С согласно прил. 1 табл. 4 $R_{af} = 60$ кПа, а мерзлого грунта при температуре $T_z = -1$ °С $R_{af} = 130$ кПа.

Площадь боковой поверхности смерзания слоя супеси с поверхностью сваи

$$A_{af} = \pi \cdot D \cdot h = 3,14 \cdot 0,8 \cdot 2 = 5,02 \text{ м}^2.$$

Площадь поверхности смерзания песчаного грунта с боковой поверхностью сваи

$$A_{af} = 3,14 \cdot 0,8 \cdot 4 = 10,04 \text{ м}^2.$$

Несущая способность сваи-столба при температурном коэффициенте $\gamma_t = 1,1$ и коэффициенте условий работы $\gamma_c = 1$

$$F = 1,1 \cdot 1 \cdot (2400 \cdot 0,5 + 60 \cdot 5,02 + 130 \cdot 10,04) = 3087 \text{ кН}.$$

2. РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ

Расчет устойчивости фундамента при действии сил морозного пучения грунтов основания производится в пучиноопасных грунтах в двух случаях: для начальной стадии строительства, когда заложенные фундаменты не нагружены или нагрузка невелика (1–2 этажа); для малоэтажных (1–2 этажа) зданий, когда деформация пучения может происходить и во время эксплуатации объекта (рис. 2.1).

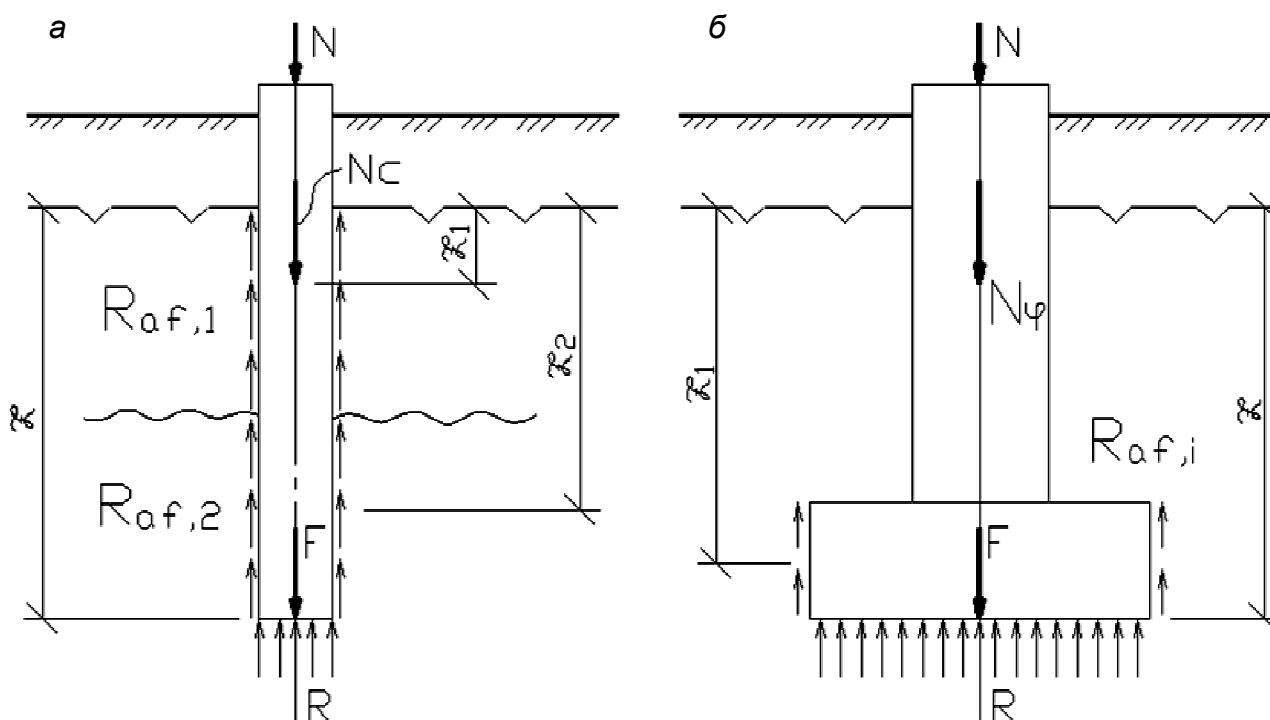


Рис. 2.1. Расчетные схемы для расчёта устойчивости фундаментов на воздействие касательных сил морозного пучения: а – сваи; б – отдельного столбчатого фундамента

В обоих случаях расчет производится на действие касательных сил пучения по формуле

$$\tau_{fh} \cdot A_{fh} - F \leq (\gamma_c / \gamma_n) F_r, \quad (2.1)$$

где τ_{fh} – расчетная удельная касательная сила пучения согласно табл. 2.1, кПа; A_{fh} – площадь боковой поверхности фундамента, находящейся в пределах промерзания грунта, м²; F – расчетная нагрузка на фундамент, принимаемая с коэффициентом 0,9 по наиболее невыгодному сочетанию нагрузок и воздействий, включая выдергивающие (ветровые, крановые и т. п.), кН; F_r – расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, принимаемое по указаниям [2], кН; γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0; γ_n – коэффициент надежности, зависящий от назначения сооружения, принимаемый равным 1.1.

Таблица 2.1

Расчетная удельная касательная сила пучения

Вид грунта	Значения τ_{fh} , кПа			
	при сливающейся вечной мерзлоте и глубине сезонного оттаивания, м			в условиях сезонного промерзания и несливающейся вечной мерзлоты
	1,0	2,0	3,0	
Супеси, пески мелкие и пылеватые	150	130	110	150
Суглинки	130	120	100	140
Глины, крупно-обломочные грунты с заполнителем глинистым, мелкопесчаным, пылеватым более 10 %	110	100	80	110

В формуле (2.1) расчетная нагрузка на фундамент определяется из выражения

$$F = 0,9 (N_o^n + N_\phi^n + N_{ГР}^n)_r, \quad (2.2)$$

где $N_o^n; N_\phi^n; N_{ГР}^n$ – нормативные значения нагрузок.

Расчетное значение силы F_r , кН, удерживающей фундамент от выпучивания, следует определять для вечномерзлых и сезоннопромерзающих–оттаивающих грунтов по формуле

$$F_r = u \sum f_1 h_1, \quad (2.3)$$

где u – периметр сечения поверхности сдвига, м, принимаемый равным: для столбчатых и свайных фундаментов без анкерной плиты – периметру сечения фундамента; для столбчатых фундаментов с анкерной плитой – периметру анкерной плиты; h_1 – толщина 1-го слоя талого грунта, расположенного ниже подошвы слоя сезонного промерзания; f_1 – рас-

четное сопротивление 1-го слоя талого грунта сдвигу по поверхности фундамента, кПа, принимаемое в соответствии с требованиями [2].

Значение расчетной удельной касательной силы пучения принимается по табл. 2.1.

Если условие (2.1) не выполняется, то в проекте должны быть предусмотрены мероприятия по защите фундаментов от выпучивания.

Задача № 4

Требуется проверить устойчивость железобетонной сваи сечением 30×30 см на действие касательных сил пучения при использовании вечномёрзлых грунтов по принципу I.

Исходные данные для решения задачи № 4 приведены в прил. 4.

Площадка сложена пылевато-глинистыми грунтами с показателем текучести $I_L > 0,5$. Расчетная глубина сезонного оттаивания грунта $d_{th} = 3$ м. Свая заглублена в грунт на 7 м. На сваю действует постоянная нагрузка 200 кН. Здание с холодным подпольем, свайный фундамент находится под серединой здания. Определяем площадь боковой поверхности смерзания грунта с поверхностью сваи в пределах расчетной глубины сезонного промерзания/оттаивания грунта:

$$A_{af} = 4 \cdot 0,3 \cdot 3 = 3,6 \text{ м}^2.$$

Значение расчетной удельной касательной силы пучения при глубине сезонного промерзания/оттаивания 3 м по табл. 2.1 $\tau_{fh} = 100$ кПа.

Расчетная эквивалентная температура грунта на глубине $Z_d = 7 - 3 = 4$ м составляет $T_e = -1,5$ °С.

Расчетное сопротивление мерзлого глинистого грунта сдвигу по поверхности смерзания определяется по прил. 1 табл. 4 при $T_e = -1,5$ °С и равно $R_{af} = 130$ кПа.

Расчетное значение силы, удерживающей сваю от выпучивания,

$$R_r = 4 \cdot 0,3 \cdot 130 \cdot 4 = 520 \text{ кПа.}$$

Проверяем устойчивость сваи при коэффициентах $\gamma_n = 1,1$ и $\gamma_c = 1$

$$100 \cdot 3,6 - 200 < \frac{1}{1,1} \cdot 520,$$

$$160 \text{ кН} < 472 \text{ кН.}$$

Устойчивость сваи на действие сил пучения обеспечивается.

Задача № 5

Требуется проверить устойчивость сваи-столба обсыпного устоя моста на действие касательных сил пучения.

Варианты исходных данных к задаче № 5 см. в прил. 5.

Диаметр сваи столба 80 см, длина 8 м. Слой сезонного оттаивания представлен мелким песчаным водонасыщенным грунтом, ниже залегают вечномерзлые сильнольдистые пески. Вечная мерзлота сливающегося типа. Постоянная нагрузка на столб с учетом его собственного веса $F_n = 200$ кН. Расчетная глубина оттаивания грунта $d_{th} = 3,7$ м, глубина заделки столба в вечномерзлый грунт $Z = 3,3$ м.

По табл. 2.1 значение расчетной удельной касательной силы пучения $\tau_{fh} = 110$ кПа. Площадь смерзания грунта с боковой поверхностью столба

$$A_{fh} = 3,14 \cdot 0,8 \cdot 3,7 = 9,3 \text{ м}^2.$$

Расчетная нагрузка на фундамент

$$F = 200 \cdot 0,9 = 180 \text{ кН.}$$

Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания,

$$F_r = 3,14 \cdot 0,8 \cdot 120 \cdot 3,3 = 1000 \text{ кН.}$$

Расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу $R_{af} = 120$ кПа.

Проверяем устойчивость столба на выпучивание при $\gamma_n = 1,1$ и $\gamma_c = 1$:

$$1,1 \cdot 110 \cdot 9,3 - 180 < \frac{1}{1,1} \cdot 1000,$$

$$840 \text{ кН} < 910 \text{ кН.}$$

Устойчивость сваи-столба обеспечена.

3. СЕЗОННОЕ ПРОМЕРЗАНИЕ ГРУНТОВ

В инженерной практике существует понятие индекса промерзания. Он вычисляется как сумма произведений абсолютных значений отрицательной температуры и времени:

$$F = \sum (|T_i| \cdot \Delta t_i), \quad (3.1)$$

где T_i – температура; t_i – время, выражается в градусочасах ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{ч}$) или градусосутках ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут}$).

Среднезимняя температура

$$T_w = \frac{\bar{F}}{t_w}, \quad (3.2)$$

где t_w – продолжительность зимы, т. е. средняя продолжительность периода с отрицательной температурой.

Коэффициент теплопроводности в мерзлом и талом состоянии грунта можно определить по [2, прил. Б табл. 8], либо с помощью эмпирических зависимостей:

- для пылевато-глинистых грунтов

$$\lambda_f = 0,00144 \cdot 10^{1,37\rho_d} + W_{tot} \cdot 1,23 \cdot 10^{0,5\rho_d}, \quad (3.3)$$

$$\lambda_{th} = [0,13 \lg(100W) - 0,029] \cdot 10^{0,62\rho_d}; \quad (3.4)$$

- для песков

$$\lambda_f = 0,011 \cdot 10^{0,81\rho_d} + W_{tot} \cdot 0,46 \cdot 10^{0,91\rho_d}, \quad (3.5)$$

$$\lambda_{th} = [0,1 \lg(100W) - 0,06] 10^{0,62\rho_d}, \quad (3.6)$$

где W_{tot} – суммарная влажность мерзлого грунта; W – влажность талого грунта.

Удельную теплоемкость грунта можно определить по [2, прил. Б], либо с помощью эмпирических зависимостей:

$$c_{vf} = \rho_d [c_s + c_w W_w + c_i (W_{tot} - W_w)]; \quad (3.7)$$

$$c_{vth} = \rho_d (c_s + c_w W_w), \quad (3.8)$$

где c_s , c_w , c_i – удельная теплоемкость соответственно твердых частиц, воды и льда, $c_s = 0,7$ кДж/(кг °С), $c_w = 4,2$ кДж/(кг °С), $c_i = 2,1$ кДж/(кг °С).

Согласно [2] для незасоленных грунтов допускается определять количество незамерзшей воды W_w как функции влажности на границе пластичности W_p

$$W_w = K_w W_p, \quad (3.9)$$

где K_w – коэффициент, принимаемый в зависимости от вида грунта, числа пластичности и температуры грунта по [2, прил. Б табл. 3].

Для превращения льда в воду или обратно при температуре 0 °С требуется соответственно подать или отвести определенное количество тепловой энергии. В теплотехнических расчетах часто используют теплоту фазовых переходов, отнесенную к единице объема:

$$q_v = L_0 (W_{tot} - W_w) \rho_d, \quad (3.10)$$

где $L_0 = 335$ кДж/кг – удельная теплота фазовых превращений; W_{tot} – суммарная влажность грунта; W_w – влажность за счет незамерзшей воды; ρ_d – плотность сухого грунта.

Глубина промерзания определяется по формуле

$$d_f = \sqrt{\frac{2\lambda_f \cdot F}{q_v}}. \quad (3.11)$$

Глубину промерзания также можно определить по модифицированной формуле Стефана

$$d_f = \beta \sqrt{\frac{2\lambda_f \cdot F \cdot n_f}{q_v}}, \quad (3.12)$$

где β – коэффициент, учитывающий нелинейное изменение температуры грунта по глубине, определяется по графику в зависимости от μ и α (рис. 3.1); n_f – коэффициент, показывающий отношение температуры поверхности к температуре воздуха, определяется по табл. 3.1; α – коэффициент теплоотдачи; μ – расчетный параметр,

$$\mu = \frac{C_{vf} \cdot |T_w| \cdot n_f}{q_v}, \quad (3.13)$$

где T_w – среднезимняя температура воздуха;

$$\alpha = \frac{T_m}{|T_w| \cdot n_f}, \quad (3.14)$$

где T_m – среднегодовая температура [4].

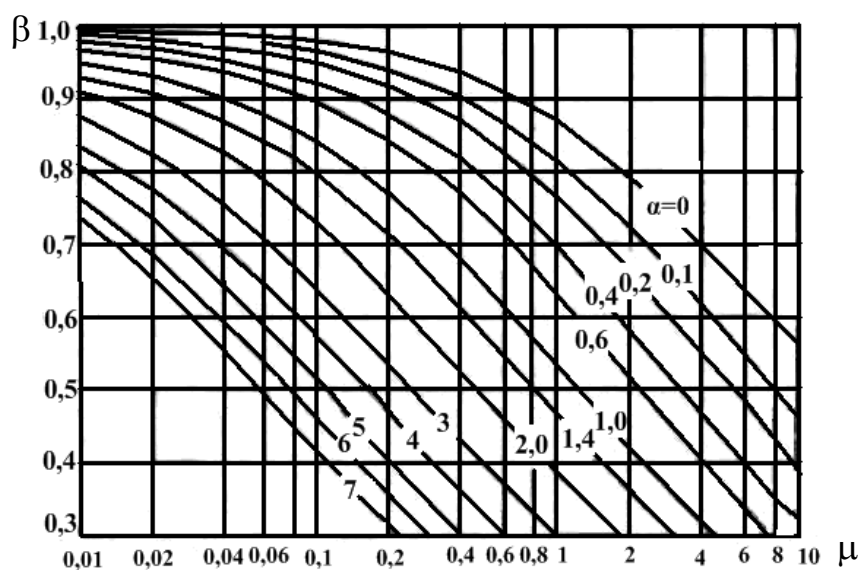


Рис. 3.1. График зависимости коэффициента β от параметров μ и α

Таблица 3.1

Значение коэффициента n_f

Состояние поверхности грунта	Значение коэффициента n_f
Асфальтобетонное покрытие	0,6
Деревья и кусты со слоем снега	0,3
Слой снега	0,5
Песок и гравий	0,8

Глубина промерзания с учетом предзимней температуры грунта определяется по формуле

$$d_f = \sqrt{\frac{2 \lambda_f \cdot F}{C_{vth} \cdot T_0 + q_v + 0,5 C_{vf} |T_w|}}, \quad (3.15)$$

где T_0 – предзимняя температура; F – индекс промерзания, °С·с.

Расчет глубины сезонного промерзания двухслойного массива грунта начинают с определения приведенной толщины верхнего слоя:

$$d_1 = \frac{d \cdot \lambda_2}{\lambda_1}, \quad (3.16)$$

где λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности верхнего и нижнего подстилающих слоев грунта соответственно, рассчитываемые как средние значения между λ_{th} и λ_f .

Затем определяют время промерзания верхнего слоя:

$$t_1 = \frac{d_1^2 \cdot q_{v1} \cdot t_w}{2 \lambda_1 \cdot \beta_1^2 \cdot F \cdot n_f}. \quad (3.17)$$

Определив долю индекса промерзания, приходящуюся на 2-й слой:

$$F'' = \frac{F \cdot n_f (t_w - t_1)}{t_w}, \quad (3.18)$$

находят глубину промерзания массива:

$$d_f = \sqrt{\frac{2 \lambda_2 \cdot F''}{q_{v2}} + d_1^2} + d - d_1. \quad (3.19)$$

Задача № 6

Среднемесячная температура для каждого населенного пункта, согласно заданию, берется из [4].

Исходные данные для решения задачи № 6 приведены в прил. 6.

Определим индекс промерзания, индекс оттаивания, среднезимнюю и среднегодовую температуру для г. Хабаровска (табл. 3.2, 3.3).

Таблица 3.2

Расчет индекса промерзания

Месяц	Количество дней	Средняя температура, °С	F_i , °С·сут
Ноябрь	30	-8,1	243
Декабрь	31	-18,5	573,5
Январь	31	-22,3	691,3
Февраль	28	-17,2	481,6
Март	31	-8,5	263,5
Итого	151		2252,9

$$F = 2252,9 \text{ °С} \cdot \text{сут} = 54069,6 \text{ °С} \cdot \text{ч}.$$

Находим среднезимнюю температуру воздуха

$$T_w = \frac{-2252,9}{151} = -15 \text{ °С}.$$

По аналогии с индексом промерзания F находим индекс оттаивания U . Он равен сумме произведений положительной температуры и времени.

Таблица 3.3

Расчет индекса оттаивания

Месяц	Количество дней	Средняя температура, °С	U_i , °С·сут
Апрель	30	3,1	93
Май	31	11,1	344,1
Июнь	30	17,4	522
Июль	31	21,1	654,1
Август	31	20,0	620
Сентябрь	30	13,9	417
Октябрь	31	4,7	145,7
Итого	214		2795,9

$$U = 2795,9 \text{ °С} \cdot \text{сут} = 67101,6 \text{ °С} \cdot \text{ч}.$$

Среднегодовую температуру определяем по формуле

$$T_m = \frac{U - F}{365}, \quad (3.20)$$

$$T_m = \frac{1693,9 - 2168,1}{365} = -1,3.$$

При сопоставлении индексов F и U можно оценить геофизиологические условия местности. Если $F > U$, то год от года идет нарастание

мерзлого слоя, в результате чего формируется толщина многолетне-мерзлого грунта.

При $F < U$ наблюдается лишь сезонное промерзание верхних горизонтов земной коры, так как за теплое время года весь промерзший зимой грунт успевает оттаять.

Задача № 7

Суглинок имеет следующие теплофизические характеристики (определяются по [2, прил. Б]):

- коэффициент теплопроводности мерзлого грунта $\lambda_f = 1,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$;
- коэффициент теплопроводности талого грунта $\lambda_{th} = 1,55 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{С})$;
- объемная теплоемкость мерзлого грунта $C_{vf} = 2,35 \cdot 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$;
- объемная теплоемкость талого грунта $C_{vth} = 3,15 \cdot 10^6 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$.

Исходные данные для решения задачи № 7 приведены в прил. 6.

Инженерно-геологические изыскания показали, что грунт имеет следующие характеристики: суммарную влажность 0,22, влажность за счет незамерзшей воды 0,09, плотность сухого грунта $1,7 \text{ г}/\text{см}^3 = 1700 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Определим глубину промерзания. Для этого определим теплоту фазовых переходов для грунта:

$$q_v = 335 (0,22 - 0,09) \cdot 1700 = 74035 \text{ кДж}/\text{м}^3 = 74 \cdot 10^6 \text{ кДж}/\text{м}^3 .$$

Глубина промерзания

$$d_f = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,7 \cdot 1,95 \cdot 10^8}{74 \cdot 10^6}} = 2,99 \text{ м}.$$

Глубину промерзания также можно определить по модифицированной формуле Стефана (3.12), для этого определим расчетный параметр μ по формуле (3.13):

$$\mu = \frac{2,35 \cdot 10^6 \cdot |-10,2| \cdot 0,5}{74,0 \cdot 10^6} = 0,16 .$$

и коэффициент теплоотдачи α по формуле (3.14):

$$\alpha = \frac{0,8}{|-10,2| \cdot 0,5} = 0,16 .$$

По графику (рис. 3.1) определяем $\beta = 0,94$.

Находим:

$$d_f = 0,94 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,7 \cdot 1,87 \cdot 10^8 \cdot 0,5}{74 \cdot 10^6}} = 1,95 \text{ м}.$$

При использовании средних значений

$$\lambda = \frac{1,7+1,55}{2} = 1,625 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$$

и

$$c = \frac{(3,15+2,35)\cdot 10^6}{2} = 2,75 \cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3\cdot\text{°C)}$$

получим $\mu = 0,19$; $\beta = 0,93$. Подставляем эти значения в предыдущую формулу

$$d_f = 0,93 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1,625 \cdot 1,95 \cdot 10^8 \cdot 0,5}{74 \cdot 10^6}} = 1,92 \text{ м.}$$

Предзимняя температура грунта $T_0 = 4 \text{ °C}$ (T_0 по заданию).

Глубина промерзания с учетом предзимней температуры грунта определяется по формуле (3.15):

$$d_f = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,7 \cdot 1,95 \cdot 10^8}{3,15 \cdot 10^6 \cdot 4 + 74 \cdot 10^6 + 0,5 \cdot 2,35 \cdot 10^6 \cdot 10,2}} = 2,59.$$

Задача № 8

Определить коэффициент теплопроводности в талом и мерзлом состоянии суглинка, плотностью $2,07 \text{ г/см}^3$, природной влажности $0,22$, суммарной влажности мерзлого грунта $0,26$.

Исходные данные для решения задачи № 8 даны в прил. 7.

Определим плотность сухого грунта $\rho_d = 2,07 / (1 + 0,22) = 1,7 \text{ г/см}^3$.

По формулам (3.3), (3.4) определим коэффициент теплопроводности в талом и мерзлом состоянии:

$$\lambda_f = 0,00144 \cdot 10^{1,37 \cdot 1,7} + 0,26 \cdot 1,23 \cdot 10^{0,5 \cdot 1,7} = 2,57 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)};$$

$$\lambda_{th} = [0,13 \lg(100 \cdot 0,22) - 0,029] \cdot 10^{0,62 \cdot 1,7} = 1,65 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}.$$

По [2] коэффициенты теплопроводности суглинка составляют

$$\lambda_f = 1,45 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C};$$

$$\lambda_{th} = 1,71 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}.$$

Задача № 9

Определить объемную удельную теплоемкость суглинка в мерзлом (температура -4 °C) и талом состояниях плотностью $2,07 \text{ г/см}^3$, природной влажности $0,22$, влажность на границе текучести $0,3$, влажность на границе раскатывания $0,19$.

Исходные данные для решения задачи № 9 даны в прил. 7.

$$I_P = W_L - W_P = 0,3 - 0,19 = 0,11.$$

Определим по [2, прил. Б табл. 3] значение коэффициента $K_w = 0,45$, а затем вычисляем содержание незамерзшей воды:

$$W_w = K_w W_p = 0,45 \cdot 0,19 = 0,086.$$

По формулам (3.7), (3.8) определим объемную удельную теплоемкость суглинка в мерзлом и талом состоянии:

$$c_{vf} = 1700[0,7 + 4,2 \cdot 0,086 + 2,1(0,22 - 0,086)] = 2368 \text{ кДж}/(\text{м}^3\text{°C});$$

$$c_{vth} = 1700(0,7 + 4,2 \cdot 0,22) = 2761 \text{ кДж}/(\text{м}^3\text{°C}).$$

По [2] теплоемкость составляет:

$$c_{vf} = 2350 \text{ кДж}/(\text{м}^3\text{°C});$$

$$c_{vth} = 3150 \text{ кДж}/(\text{м}^3\text{°C}).$$

Задача № 10

Требуется найти глубину промерзания двухслойного массива грунта. Верхний слой мощностью 1 м – суглинок, плотностью сухого грунта $1,7 \text{ г}/\text{см}^3$, суммарной влажностью 0,22, влажностью за счет незамерзшей воды 0,09. Его теплофизические свойства (см. [2] и задание прил. 8) $\lambda_f = 1,7 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$; $\lambda_{th} = 1,55 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$.

Нижний слой – песок плотностью сухого грунта $1,7 \text{ г}/\text{см}^3$, суммарной влажностью 0,1, влажностью за счет незамерзшей воды 0, со следующими характеристиками: $\lambda_f = 1,9 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$; $\lambda_{th} = 1,75 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$.

Исходные данные для решения задачи № 10 даны в прил. 8.

Находим теплоту фазовых переходов для каждого слоя грунта:

- суглинок

$$q_v = 335 (0,22 - 0,09) 1700 = 74,0 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{м}^3,$$

- песок:

$$q_v = 335 (0,10 - 0) 1700 = 57,0 \cdot 10^6 \text{ Дж}/\text{м}^3.$$

Находим среднее значение коэффициентов теплопроводности 1-го и 2-го слоев:

$$\lambda_1 = \frac{1,7+1,55}{2} = 1,625;$$

$$\frac{1,9+1,75}{2} = 1,825.$$

Приведенная толщина первого слоя определяется по формуле (3.16):

$$d_1 = \frac{1,0 \cdot 1,825}{1,625} = 1,12 \text{ м.}$$

Принимая значения коэффициентов $\beta = 0,94$; $n_f = 0,5$; продолжительности зимы $t_w = 151$ и индекса промерзания $F = 1,95 \cdot 10^8$ из задач № 6, 7 (прил. 6), определим время промерзания верхнего слоя:

$$t_1 = \frac{1,0^2 \cdot 74 \cdot 10^6 \cdot 151}{2 \cdot 1,625 \cdot 0,94^2 \cdot 1,95 \cdot 10^8 \cdot 0,5} = 39,9 \text{ суток.}$$

Доля индекса промерзания, приходящаяся на 2-й слой:

$$F'' = \frac{1,95 \cdot 10^8 \cdot 0,5 \cdot (151 - 39,9)}{151} = 0,71 \cdot 10^8 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{с.}$$

Глубина промерзания массива:

$$d_f = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,825 \cdot 0,71 \cdot 10^8}{57,0 \cdot 10^6} + 1,12^2 + 1 - 1,12} = 2,38 \text{ м.}$$

4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЕРЗАЮЩИХ ГРУНТОВ ПО СТЕПЕНИ МОРОЗНОЙ ПУЧИНООПАСНОСТИ

Перед наступлением зимнего периода полезно иметь ряд показателей, характеризующих состояние грунта, на основании которых можно прогнозировать степень его пучиноопасности. Оценка потенциальной возможности грунтов к пучению в случае их промерзания, т. е. выяснение степени их пучиноопасности является важной задачей для строительной практики. Довольно широко известна классификация грунтов по степени пучиноопасности, разработанная М.Ф. Киселевым. В этой простой классификации, вошедшей в СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» [3], разделение грунтов производится в зависимости от глубины залегания уровня подземных вод W_L и показателя текучести глинистых грунтов.

В действующих нормах в основу классификации пучиноопасных грунтов положена классификация В.О. Орлова, количественно связывающая показатели пучения с простейшими физическими характеристиками грунта.

Пучинистые свойства крупнообломочных грунтов и песков, содержащих пылевато-глинистые фракции, а также супеси с числом пластичности $I_p < 2$ определяются через показатель дисперсности D . Эти грунты относятся к непучинистым при $D < 1$, к пучинистым – при $D \geq 1$. Изменение показателя D в пределах от 1 до 5 ($1 < D < 5$) соответствует группе слабопучинистых грунтов. Значение показателя дисперсности D определяется по формуле

$$D = K/\bar{d}^2 \cdot e, \quad (4.1)$$

где K – коэффициент, равный $1,85 \cdot 10^{-4}$, см²; e – коэффициент пористости талого грунта; \bar{d} – средний диаметр частиц грунта, см, определяемый по формуле

$$\bar{d} = (p_1/d_1 + p_2/d_2 + \dots + p_i/d_i)^{-1}, \quad (4.2)$$

где p_i – содержание отдельных фракций грунта, доли ед.; d_i – средний диаметр агрегатов (частиц) отдельных фракций, см.

Диаметры отдельных классифицированных фракций определяются по их минимальным размерам, умноженным на коэффициент 1,4. За расчетный диаметр последней тонкой фракции принимается ее максимальный размер, деленный на коэффициент 1,4.

Классификация по степени пучинистости для глинистых грунтов составлена на основе оценки обобщенного критерия пучения R_f , значения которого для каждой из пяти групп морозоопасных грунтов изменяются в определенных пределах (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Классификация промерзающих глинистых грунтов по степени пучиноопасности

Наименование грунта	Наименование грунта по степени пучиноопасности				
	практически непучинистый $f \leq 0,01$	слабопучинистый $0,01 < f \leq 0,035$	среднепучинистый $0,035 < f \leq 0,07$	сильнопучинистый $0,07 < f \leq 0,12$	чрезмерно пучинистый $f > 0,12$
	Значение параметра $R_f \cdot 100$				
Супесь $2 < I_p \leq 7$	< 0,14	0,14–0,49	0,49–0,98	0,98–1,69	>1,69
Супесь пылеватая $2 < I_p \leq 7$	< 0,09	0,09–0,30	0,30–0,60	0,60–1,03	> 1,03
Суглинок $7 < I_p \leq 17$	< 0,10	0,10–0,35	0,35–0,71	0,71–1,22	> 1,22
Суглинок пылеватый $7 < I_p \leq 13$	< 0,08	0,08–0,27	0,27–0,54	0,54–0,93	> 0,93
Суглинок пылеватый $13 < I_p \leq 17$	< 0,07	0,07–0,23	0,23–0,46	0,46–0,79	> 0,79
Глина $I_p > 17$	< 0,12	0,12–0,43	0,43–0,86	0,86–1,47	> 1,47

Критерий R_f , функционально зависящий от гидротермических условий промерзания и вида грунта, определяется по формуле

$$R_f = 0,012 \cdot (W - 0,1) + W \cdot (W - W_{cr})^2 / (W_L \cdot W_P \cdot \sqrt{M_t}), \quad (4.3)$$

где W , W_P , W_L – влажность в слое сезонного промерзания грунта, соответствующая природной, на границах раскатывания и текучести, доли ед.; W_{cr} – расчетная критическая влажность, ниже значения которой в промерзающем глинистом грунте прекращается перераспределение влаги, вызывающей морозное пучение, доли ед., определяется по графику (рис. 4.1); M_t – безразмерный коэффициент, численно равный абсолютному значению среднезимней температуры воздуха для данного района строительства, определяется по [4].

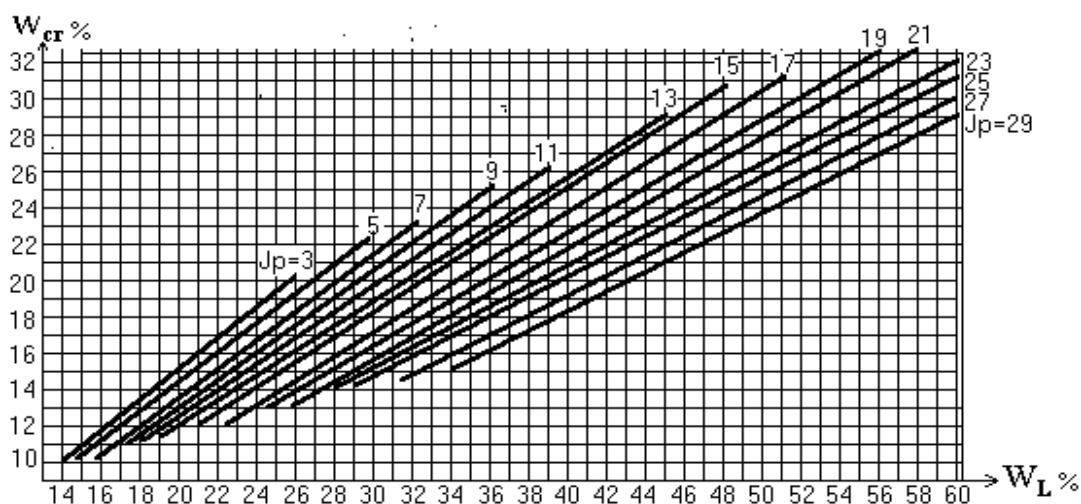


Рис. 4.1. Зависимость критической влажности от числа пластичности и влажности на границе текучести

На основании таблиц М.Ф. Киселева и В.О. Орлова в ДальНИИС Г.М. Сазоновым и В.И. Федоровым разработана более наглядная классификация песчаных и глинистых грунтов (табл. 4.2 и 4.3), увязывающая уровень подземной воды, типы грунтов, их показатель текучести и возможную величину пучения при различных глубинах (1,5.. 4,0 м) сезонного промерзания грунтов. Приведенными таблицами удобно пользоваться на предварительной стадии проектирования фундаментов в пучиноопасных грунтах.

Для борьбы с промерзанием применяют временную теплоизоляцию (слой опилок, шлака, керамзитового гравия). Требуемое термическое сопротивление слоя находят по формуле

$$R = \frac{d_f^2 - d_{fi}^2}{2 d_{fi} \lambda_f} - \frac{1}{\alpha_c}, \quad (4.4)$$

где d_{fi} – допустимая глубина промерзания грунта под теплоизоляцией, может приниматься как расстояние от пола подвала до подошвы фундамента, причем $d_{fi} = 0$, м; λ_f – коэффициент теплопроводности мерзлого грунта, Вт/(м·°С); α_c – коэффициент теплопередачи поверхности, $\alpha_c = 23$ Вт/(м·°С).

Таблица 4.2

Классификация промерзающих грунтов по степени пучинистости

Наименование грунта	Наименование грунта по степени пучинистости				
	практически непучинистый $f \leq 0,01$	слабопучинистый $0,01 < f \leq 0,035$	среднепучинистый $0,035 < f \leq 0,07$	сильнопучинистый $0,07 < f \leq 0,12$	чрезмерно пучинистый $f > 0,12$
	Показатель текучести глинистого грунта I_L				
	$I_L \leq 0$	$0 < I_L \leq 0,25$	$0,25 < I_L \leq 0,5$	$0,5 < I_L \leq 0,75$	$I_L > 0,75$
	Расстояние от уровня подземных вод до расчетной глубины промерзания грунта z , м				
Песок мелкий	$z > 0,5$	$z \leq 0,5$			
Песок пылеватый	$z > 1,0$	$0,5 < z \leq 1,0$	$z \geq 0,5$		
Супесь	$z > 1,5$	$1,0 < z \leq 1,5$	$0,5 < z \leq 1,0$	$0 < z \leq 0,5$	$z \leq 0$
Суглинок	$z > 2,5$	$1,5 < z \leq 2,5$	$1,0 < z \leq 1,5$	$0 < z \leq 1,0$	$z \leq 0$
Глины	$z > 3,0$	$2,0 < z \leq 3,0$	$1,5 < z \leq 2,0$	$0 < z \leq 1,5$	$z \leq 0$

Таблица 4.3

Возможная абсолютная величина пучения грунта при расчетной глубине промерзания

Наименование грунта по степени пучинистости	Глубина промерзания грунта d_f , м					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Чрезмерно пучинистый	$h_f > 16$	$h_f > 24$	$h_f > 30$	$h_f > 36$	$h_f > 42$	$h_f > 48$
Сильнопучинистый	$10,5 < h_f \leq 18,0$	$14,0 < h_f \leq 24,0$	$17,5 < h_f \leq 30,0$	$14,0 < h_f \leq 36,0$	$24,5 < h_f \leq 42,0$	$28,0 < h_f \leq 48,0$
Среднепучинистый	$5,25 < h_f \leq 10,5$	$7,0 < h_f \leq 14,0$	$8,75 < h_f \leq 17,5$	$7,0 < h_f \leq 14,0$	$12,25 < h_f \leq 24,5$	$14,0 < h_f \leq 28,0$
Слабопучинистый	$1,5 < h_f \leq 5,25$	$2,0 < h_f \leq 7,0$	$2,5 < h_f \leq 8,75$	$3,0 < h_f \leq 7,0$	$3,5 < h_f \leq 12,25$	$4,0 < h_f \leq 14,0$
Практически непучинистый	$h_f \leq 1,5$	$h_f \leq 2,0$	$h_f \leq 2,5$	$h_f \leq 3,0$	$h_f \leq 3,5$	$h_f \leq 4,0$

Зная термическое сопротивление слоя R , находят толщину слоя

$$\delta_i = R \cdot \lambda_i, \quad (4.5)$$

где λ_i – коэффициент теплопроводности изоляционного материала, принимается по табл. 4.4.

Таблица 4.4

Коэффициент теплопроводности изоляционного материала

Наименование материала	λ , Вт/(м·°С)
Пенополистирол	0,05
Бетон	1,74...1,85
Железобетон	1,92...2,04
Сталь	58,0
Кладка из глиняного кирпича	0,70...0,81
Кладка из силикатного кирпича	0,70...0,81
Древесина хвойных пород	0,14...0,18
Опилки	0,07...0,11
Шлак	0,27...0,32
Гравий керамзитовый	0,17...0,20
Минераловатовые плиты	0,06...0,070
Снег	0,07...0,35
Асфальт	0,605...0,744
Асфальтовая стяжка	0,756
Асфальтобетон	1,05

В разд. 3 дано решение одномерной задачи промерзания грунта под слоем теплоизоляции, имеющей неограниченные размеры в плане. Решение двумерной задачи для слоя шириной b_i :

$$d_{fi} = d_f - \left(\frac{b_i}{d_f}\right) \left(d_f - \sqrt{d_f^2 + S_c^2} + S_c\right), \quad (4.6)$$

где S_c – толщина эквивалентного слоя грунта определяемая по формуле

$$S_c = \lambda_f \left(\frac{1}{\alpha_c} + \frac{\delta_i}{\lambda_i}\right), \quad (4.7)$$

где λ_f , λ_i – коэффициенты теплопроводности мерзлого грунта и теплоизоляционного материала; δ_i – толщина теплоизоляции; α_c – коэффициент теплоотдачи поверхности.

Задача № 11

Требуется определить степень морозной пучиноопасности песчаного грунта, если в результате анализа были получены следующие характеристики.

Гранулометрический состав:

Размер частиц, мм	> 10	10–5	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	< 0,1
Содержание, %	1	10	20	10	9	10	20	20

Удельный вес грунта $\gamma = 20,5 \text{ кН/м}^3$, удельный вес частиц грунта $\gamma_S = 26,55 \text{ кН/м}^3$, влажность $W = 0,18$.

Исходные данные для решения задачи № 11 приведены в прил. 9.

Находим средний диаметр частиц грунта по формуле (4.2):

$$\bar{d} = (1/10 + 10/5 + 20/2 + 10/1 + 9/0,5 + 10/0,25 + 20/0,1) / (1,4 + 20/0,1 \cdot 1,4)^{-1} = 0,0021 \text{ мм.}$$

Определяем плотность сухого грунта:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1+W} = \frac{\gamma/g}{1+W} = \frac{20,5/9,8}{1+0,18} = 1,77 \text{ г/см}^3.$$

Определяем коэффициент пористости:

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 = \frac{\gamma_S/g}{\rho_d} = \frac{26,55/9,8}{1,77} = 1,53.$$

Определяем показатель дисперсности по формуле (4.1):

$$D = 1,85 \cdot 10^{-4} / 0,0021^2 \cdot 1,53 = 64,2.$$

По показателю дисперсности $D = 64,2 > 1$ – грунт является пучинистым.

Задача № 12

Определить степень морозной пучиноопасности глинистого грунта, если в результате анализа были получены следующие характеристики: населенный пункт – г. Хабаровск; удельный вес грунта $\gamma = 20,0 \text{ кН/м}^3$; удельный вес частиц грунта $\gamma_S = 27,2 \text{ кН/м}^3$; влажность $W = 0,12$; влажность на границе текучести $W_L = 15 \%$; влажность на границе раскатывания $W_P = 10 \%$.

Исходные данные для решения задачи № 12 приведены в прил. 10.

Определяем тип глинистого грунта:

– по числу пластичности: $J_P = W_L - W_P = 15 - 10 = 5 \%$;

– по показателю текучести: $J_L = (100W - W_P) / (W_L - W_P) = 0,4$.

Тип глинистого грунта – супесь пластичная.

По числу пластичности J_p и влажности на границе текучести находим расчетную критическую влажность W_{cr} , которая определяется по графику (рис. 4.1), $W_{cr} = 10\%$.

Определяем безразмерный коэффициент M_t , численно равный абсолютному значению среднезимней температуры воздуха для данного района строительства, определяется по табл. 4.5 [4].

Таблица 4.5

Абсолютное значение среднезимней температуры воздуха

Месяц	Количество дней	Средняя температура, °С	Fi , °С·сут
Ноябрь	30	-8,1	243
Декабрь	31	-18,5	573,5
Январь	31	-22,3	691,3
Февраль	28	-17,2	481,6
Март	31	-8,5	263,5
Итого	151		2252,9

Находим среднезимнюю температуру воздуха:

$$T_w = \frac{-2252,9}{151} = -15 \text{ °С.}$$

Следовательно безразмерный коэффициент $M_t = 15$.

Находим критерий R_f по формуле (4.3).

$$R_f = 0,012 \cdot (0,12 - 0,1) + 0,12 \cdot (0,12 - 0,1)^2 / (0,15 \cdot 0,1 \cdot \sqrt{15}) = 0,00107.$$

По табл. 4.1 определяем степень пучиноопасности грунта – слабопучинистый грунт.

Задача № 13

Для защиты основания строящегося здания от промерзания решено использовать временную теплоизоляцию из керамзитового гравия. Коэффициент теплопроводности гравия $0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С})$, грунта в мерзлом состоянии $1,70 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С})$. Нормативная глубина сезонного промерзания $1,6 \text{ м}$, глубина заложения подошвы фундамента от пола подвала $0,5 \text{ м}$.

Исходные данные для решения задачи № 13 приведены в прил. 11.

Найдем требуемую толщину слоя керамзитового гравия.

Допустимую глубину промерзания грунта под теплоизоляцией прием равной глубине заложения подошвы фундамента $0,5 \text{ м}$. Найдем требуемое термическое сопротивление и толщину слоя керамзитового гравия по формуле (4.4)

$$R = (1,6^2 - 0,5^2) / (2 \cdot 0,5 \cdot 1,70) - 1/23 = 1,32 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°С}).$$

Требуемую толщину защитного слоя керамзитового гравия определим по формуле (4.5)

$$\delta_i = 1,32 \cdot 0,20 = 0,26 \text{ м.}$$

Задача № 14

Для защиты от промерзания пучинистого грунта, залегающего в основании проектируемого малоэтажного жилого дома в г. Хабаровске, решено применить горизонтальную теплоизоляцию из пенополистирола. Ширина изоляции 1 м, толщина слоя 10 см. Для обратной засыпки фундамента использован песок с коэффициентом теплопроводности в мерзлом состоянии 2,1 Вт/(м · °С). Здание – без подвала с полами, устраиваемыми на лагах по грунту.

Исходные данные для решения задачи № 14 приведены в прил. 11.

Определите, на какую глубину можно заложить подошву фундамента в соответствии с нормативными документами.

Определив по табл. 4.4 коэффициент теплопроводности пенополистирола $\lambda_i = 0,05$ Вт/(м · °С), найдем толщину эквивалентного слоя грунта

$$S_c = 2,1 \left(\frac{1}{23} + \frac{0,1}{0,05} \right) = 4,29 \text{ м.}$$

Глубина промерзания грунта для климатических условий Хабаровска с учетом теплового влияния здания [3, п. 5.5.4] составляет 1,61 м

$$d_{fi} = 1,61 - \left(\frac{1}{1,61} \right) \left(1,61 - \sqrt{1,61^2 + 4,29^2} + 4,29 \right) = 0,79 \text{ м.}$$

Глубину заложения подошвы фундамента следует принять из условия $d \geq d_{fi}$.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Какие грунты считаются мерзлыми и вечномерзлыми?
2. На какие категории подразделяются мерзлые грунты?
3. От чего главным образом зависит сопротивление сдвигу мерзлых грунтов?
4. Как влияет оттаивание мерзлых грунтов на их сжимаемость?
5. Какие существуют два принципа использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований и чем они различаются?
6. Когда рекомендуется использование I принципа строительства в условиях вечной мерзлоты?
7. Когда применяется II принцип использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований?
8. Можно ли рекомендовать использование двух принципов использования вечномерзлых грунтов в качестве оснований на одной застраиваемой территории?
9. Какие мероприятия применяются для грунтов при строительстве на них по I принципу?
10. В каких грунтах и как устраивается предпостроечное оттаивание при строительстве по II принципу?
11. Влияет ли принцип использования вечномерзлых грунтов на глубину заложения фундаментов?
12. По какому предельному состоянию рассчитываются основания, проектируемые по I принципу?
13. По какому предельному состоянию рассчитываются фундаменты на основаниях, проектируемых по II принципу?
14. Возможно ли возникновение сил отрицательного трения, действующего на фундаменты при оттаивании грунтов основания?
15. Следует ли проверять действие сил морозного пучения на недостроенные сооружения?
16. С чем связано морозное пучение грунта?
17. Какие два дополнительных усилия действуют на фундаменты при промерзании грунта рядом с ними?
18. Какой тип фундамента рекомендуется при строительстве по I принципу?
19. Как устраиваются свайные фундаменты в вечномерзлых грунтах?
20. Каким образом можно уменьшить влияние сил морозного пучения?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 25100-2011. Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация. – М. : Изд-во Стандартов, 2011.
2. СП 25.13330.2012. Свод правил. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. – М. : ФГУП ЦПП, 2012.
3. СП 22.13330.2011. Свод правил. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. – М. : ФГУП ЦПП, 2012.
4. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. – М. : ФГУП ЦПП, 2012.
5. СП 24.13330.2011. Свод правил. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. – М. : ФГУП ЦПП, 2012.
6. СП 20.13330.2011. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М. : ОАО «ЦПП», 2012.
7. Цытович, Н.А. Механика мерзлых грунтов / Н.А. Цытович. – М. : Высшая школа, 1973. – 448 с.
8. Далматов, Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты : учеб. для вузов / Б.И. Далматов. – 2-е изд. – Л. : Стройиздат, 1988. – 415 с.
9. Далматов, Б.И. Проектирование фундаментов зданий и промышленных сооружений : учеб. пособие для вузов / Б.И. Далматов, Н.Н. Морарескул, В.Г. Науменко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1986. – 239 с.
10. Рекомендации по проектированию и расчету малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах / НИИОСП. – М., 1985. – 60 с.
11. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на пучинистых грунтах / НИИОСП. – М. : Стройиздат, 1979. – 39 с.
12. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов / ПНИИИС. – М. : Стройиздат, 1986. – 72 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К ЗАДАЧЕ № 1

Таблица 1

Варианты заданий к задаче № 1

№ варианта	Наименование грунта	Суммарная влажность, д. е.	Расчетная глубина сезонного оттаивания, м	Размеры подошвы фундамента в плане, см	Высота башмака, м	Сечение стойки, м	Расчетная нагрузка на основание, кН	Температура мерзлого грунта, °С		Коэффициент надежности
								на уровне подошвы фундамента	на уровне верхнего обреза башмака	
1	Крупнообломочный	0,2	1,1	100 × 100	0,25	0,25 × 0,25	700	-0,5	-0,4	1,1
2		0,3	1,2	110 × 110	0,3	0,3 × 0,3	1200	-0,5	-0,4	1,2
3		0,4	1,3	120 × 120	0,35	0,35 × 0,35	1200	-0,5	-0,4	1,3
4		0,5	1,4	130 × 130	0,4	0,4 × 0,4	1650	-0,5	-0,4	1,4
5	Пески мелкие	0,6	1,5	100 × 100	0,25	0,25 × 0,25	700	-0,5	-0,4	1,1
6		0,2	1,1	110 × 110	0,3	0,3 × 0,3	880	-0,5	-0,4	1,2
7		0,3	1,2	120 × 120	0,35	0,35 × 0,35	880	-0,5	-0,4	1,3
8		0,4	1,3	130 × 130	0,4	0,4 × 0,4	1000	-0,5	-0,4	1,4
9	Супеси	0,5	1,4	100 × 100	0,25	0,25 × 0,25	600	-0,5	-0,4	1,1
10		0,6	1,5	110 × 110	0,3	0,3 × 0,3	550	-0,5	-0,4	1,2
11		0,2	1,1	120 × 120	0,35	0,35 × 0,35	750	-0,5	-0,4	1,3
12		0,3	1,2	130 × 130	0,4	0,4 × 0,4	750	-0,5	-0,4	1,4
13	Суглинок	0,4	1,3	100 × 100	0,25	0,25 × 0,25	600	-0,5	-0,4	1,1
14		0,5	1,4	110 × 110	0,3	0,3 × 0,3	500	-0,5	-0,4	1,2
15		0,6	1,5	120 × 120	0,35	0,35 × 0,35	700	-0,5	-0,4	1,3
16		0,2	1,1	130 × 130	0,4	0,4 × 0,4	550	-0,5	-0,4	1,4
17	Пески средней крупности	0,3	1,2	100 × 100	0,25	0,25 × 0,25	1400	-1,0	-0,5	1,1
18		0,4	1,3	110 × 110	0,3	0,3 × 0,3	1250	-1,0	-0,5	1,2
19		0,5	1,4	120 × 120	0,35	0,35 × 0,35	1900	-1,0	-0,5	1,3
20		0,6	1,5	130 × 130	0,4	0,4 × 0,4	1750	-1,0	-0,5	1,4
21	Пески пылеватые	0,2	1,1	100 × 100	0,25	0,25 × 0,25	1100	-1,0	-0,5	1,1
22		0,3	1,2	110 × 110	0,3	0,3 × 0,3	1000	-1,0	-0,5	1,2
23		0,4	1,3	120 × 120	0,35	0,35 × 0,35	1400	-1,0	-0,5	1,3
24		0,5	1,4	130 × 130	0,4	0,4 × 0,4	1300	-1,0	-0,5	1,4

Продолжение прил. 1

Окончание табл. 1

№ варианта	Наименование грунта	Суммарная влажность, д. е.	Расчетная глубина сезонного оттаивания, м	Размеры подошвы фундамента в плане, см	Высота башмака, м	Сечение стойки, м	Расчетная нагрузка на основание, кН	Температура мерзлого грунта, °С		Коэффициент надежности
								на уровне подошвы фундамента	на уровне верхнего обреза башмака	
25	Супеси	0,6	1,5	100 × 100	0,25	0,25 × 0,25	850	-1,0	-0,5	1,1
26		0,2	1,1	110 × 110	0,3	0,3 × 0,3	850	-1,0	-0,5	1,2
27		0,3	1,2	120 × 120	0,35	0,35 × 0,35	1110	-1,0	-0,5	1,3
28		0,4	1,3	130 × 130	0,4	0,4 × 0,4	1010	-1,0	-0,5	1,4
29	Глины	0,5	1,4	100 × 100	0,25	0,25 × 0,25	500	-1,0	-0,5	1,1

Таблица 2

Расчетные давления на мерзлые грунты под нижним концом свай

Грунты	Глубина погружения свай, м	Расчетные давления R , кПа, при температуре грунта, °С											
		-0,3	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,5	-4,0	-6,0	-8,0	-10,0
При льдистости $i_i < 0,2$													
1. Крупнообломочные	При любой глубине	2500	3000	3500	4000	4300	4500	4800	5300	5800	6300	6800	7300
2. Пески крупные и средней крупности	При любой глубине	1500	1800	2100	2400	2500	2700	2800	3100	3400	3700	4600	5500
3. Пески мелкие и пылеватые	3–5	580	1300	1400	1500	1700	1900	1900	2000	2100	2600	3000	3500
	10	1000	1550	1650	1750	2000	2100	2200	2300	2500	3000	3500	4000
	15 и более	1100	1700	1800	1900	2200	2300	2400	2500	2700	3300	3800	4300
4. Супеси	3–5	750	850	1100	1200	1300	1400	1500	1700	1800	2300	2700	3000
	10	850	950	1250	1350	1450	1600	1700	1900	2000	2600	3000	3500
	15 и более	950	1050	1400	1500	1600	1800	1900	2100	2200	2900	3400	3900
5. Суглинки и глины	3–5	650	750	850	950	1100	1200	1300	1400	1500	1800	2300	2800
	10	800	850	950	1100	1250	1350	1450	1600	1700	2000	2600	3000
	15 и более	900	950	1100	1250	1400	1500	1600	1800	1900	2200	2900	3500

Окончание прил. 1

Окончание табл. 2

Грунты	Глубина погружения сваи, м	Расчетные давления R , кПа, при температуре грунта, °С											
		-0,3	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,5	-4,0	-6,0	-8,0	-10,0
При льдистости $0,2 < i_i < 0,4$													
6. Все виды грунтов, указанные в позиции 1-5	3–5	400	500	600	750	850	950	1000	1100	1150	1500	1600	1700
	10	450	550	700	800	900	1000	1050	1150	1500	1600	1700	1800
	15 и более	550	600	750	850	950	1050	1100	1300	1350	1700	1800	1900

Таблица 3

Расчетные давления на мерзлые грунты под подошвой столбчатого фундамента

Грунты	Расчетные давления R , кПа, при температуре грунта, °С												
	-0,3	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,5	-4,0	-6,0	-8,0	-10,0	
При льдистости грунтов $i_i < 0,2$													
1. Крупнообломочные, пески крупные и средней крупности	550	950	1250	1450	1600	1800	1950	2000	2200	2600	2950	3300	
2. Пески мелкие и пылеватые	450	700	900	1100	1300	1400	1600	1700	1800	2200	2550	2850	
3. Супеси	300	500	700	800	1050	1150	1300	1400	1500	1900	2250	2500	
4. Суглинки и глины	250	450	550	650	800	900	1000	1100	1200	1550	1900	2200	
При льдистости грунтов $i_i > 0,2$													
5. Все виды грунтов, указанные в позиции 1–4	200	300	400	500	600	700	750	850	950	1250	1550	1750	

Таблица 4

Расчетные сопротивления мерзлых грунтов и грунтовых растворов сдвигу на поверхности смерзания

Грунты	Расчетные сопротивления R_{af} , кПа, при температуре грунта, °С											
	-0,3	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5	-3,0	-3,5	-4,0	-6,0	-8,0	-10,0
Глинистые	40	60	100	130	150	180	200	230	250	300	340	380
Песчаные	50	80	130	160	200	230	260	290	330	380	440	500
Известково-песчаный раствор	60	90	160	200	230	260	280	300	350	400	460	520

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧЕ № 2

№ варианта	Наименование грунта	Сечение сваи, м	Длина сваи, м	Расчетная глубина сезонного оттаивания грунта, м	Высота наземной части сваи, м	Льдистость	Температура мерзлого грунта, °С	
							на глубине нижнего конца сваи	в середине слоя грунта
1	Крупнообломочный	0,2 × 0,2	7	1,7	1,0	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
2		0,25 × 0,25	8	2,0	0,9	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
3		0,3 × 0,3	9	1,9	1,1	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
4		0,35 × 0,35	7	2,1	0,8	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
5		0,4 × 0,4	8	2,3	0,9	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
6	Пески крупные	0,2 × 0,2	7	1,7	1,0	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
7		0,25 × 0,25	8	2,0	0,9	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
8		0,3 × 0,3	9	1,9	1,1	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
9		0,35 × 0,35	7	2,1	0,8	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
10		0,4 × 0,4	8	2,3	0,9	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
11	Пески пылеватые	0,2 × 0,2	7	1,7	1,0	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
12		0,25 × 0,25	8	2,0	0,9	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
13		0,3 × 0,3	9	1,9	1,1	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
14		0,35 × 0,35	7	2,1	0,8	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
15		0,4 × 0,4	8	2,3	0,9	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
16	Супеси	0,2 × 0,2	7	1,7	1,0	$i_i < 0,2$	-0,5	-0,4
17		0,25 × 0,25	8	2,0	0,9	$i_i < 0,2$	-1,0	-0,5
18		0,3 × 0,3	9	1,9	1,1	$i_i < 0,2$	-1,0	-0,5
19		0,35 × 0,35	7	2,1	0,8	$i_i < 0,2$	-1,0	-0,5
20		0,4 × 0,4	8	2,3	0,9	$i_i < 0,2$	-1,0	-0,5
21	Суглинки	0,2 × 0,2	7	1,7	1,0	$i_i < 0,2$	-1,0	-0,5
22		0,25 × 0,25	8	2,0	0,9	$i_i < 0,2$	-1,0	-0,5
23		0,3 × 0,3	9	1,9	1,1	$i_i < 0,2$	-1,0	-0,5
24		0,35 × 0,35	7	2,1	0,8	$i_i < 0,2$	-1,0	-0,5
25		0,4 × 0,4	8	2,3	0,9	$i_i < 0,2$	-1,0	-0,5
26	Пески средней крупности	0,2 × 0,2	7	1,7	1,0	$i_i > 0,2$	-1,0	-0,5
27		0,25 × 0,25	8	2,0	0,9	$i_i > 0,2$	-1,0	-0,5
28		0,3 × 0,3	9	1,9	1,1	$i_i > 0,2$	-1,0	-0,5
29		0,35 × 0,35	7	2,1	0,8	$i_i > 0,2$	-1,0	-0,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧЕ № 3

№ варианта	Диаметр сваи-столба, м	Наименование грунта 1-го слоя	Толщина 1-го слоя, м	Глубина погружения сваи, м	Глубина оттаивания, м	Наименование грунта 2-го слоя	Толщина 2-го слоя, м	Температура мерзлого грунта, °С.		
								на глубине нижнего конца сваи	в середине первого слоя грунта	в середине второго слоя грунта
1	0,5	Крупнообломочный	4	7	3	Песок крупный	3	-1,5	-0,4	-0,8
2	0,6		5	8	3		3	-1,5	-0,4	-0,8
3	0,7		6	9	4		3	-1,5	-0,4	-0,8
4	0,8		6	10	5		4	-1,5	-0,4	-0,8
5	0,9		7	11	5		4	-1,5	-0,4	-0,8
6	1,0		4	7	2		3	-1,5	-0,4	-0,8
7	0,5	Песок крупный	6	8	4	Песок мелкий	2	-1,8	-0,5	-1,0
8	0,6		5	9	3		4	-1,8	-0,5	-1,0
9	0,7		6	10	4		4	-1,8	-0,5	-1,0
10	0,8		7	11	4		4	-1,8	-0,5	-1,0
11	0,9		4	7	3		3	-1,8	-0,5	-1,0
12	1,0		5	8	3		3	-1,8	-0,5	-1,0
13	0,5	Песок мелкий	5	9	3	Супесь	4	-2,0	-0,6	-1,2
14	0,6		6	10	5		4	-2,0	-0,6	-1,2
15	0,7		7	11	5		4	-2,0	-0,6	-1,2
16	0,8		4	7	2		3	-2,0	-0,6	-1,2
17	0,9		6	8	4		2	-2,0	-0,6	-1,2
18	1,0		5	9	3		4	-2,0	-0,6	-1,2
19	0,5	Супесь	6	10	4	Суглинок	4	-2,2	-0,7	-1,4
20	0,6		7	11	4		4	-2,2	-0,7	-1,4
21	0,7		4	7	3		3	-2,2	-0,7	-1,4
22	0,8		5	8	3		3	-2,2	-0,7	-1,4
23	0,9		6	9	4		3	-2,2	-0,7	-1,4
24	1,0		6	10	5		4	-2,2	-0,7	-1,4
25	0,5	Суглинок	7	11	5	Крупнообломочный	4	-2,5	-0,8	-1,6
26	0,6		4	7	2		3	-2,5	-0,8	-1,6
27	0,7		6	8	4		2	-2,5	-0,8	-1,6
28	0,8		5	9	3		4	-2,5	-0,8	-1,6
29	0,9		6	10	4		4	-2,5	-0,8	-1,6

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧЕ № 4

№ варианта	Сечение сваи, м	Наименование грунта	Расчетная глубина сезонного оттаивания грунта, м	Глубина погружения сваи, м	Расчетная постоянная нагрузка, кН	Глубина сезонного промерзания–оттаивания, м	Температура грунта в середине слоя, °С
1	0,2	Пылевато-глинистый при $I_L > 0,5$	1,0	5	50	1	-1,5
2	0,25	Пылевато-глинистый при $0,25 < I_L < 0,5$	1,5	6	40	1	-1,5
3	0,3	Пылевато-глинистый при $I_L > 0,5$	2,0	7	70	1,5	-1,5
4	0,35	Пески мелкие при $Sr > 0,95$	2,5	8	150	2,0	-1,5
5	0,4	Пески мелкие при $0,8 < Sr < 0,95$	3,0	9	160	2,5	-1,5
6	0,2	Пески мелкие при $0,6 < Sr < 0,8$	3,5	10	90	3,0	-1,5
7	0,25	Крупнообломочные с заполнителем от 30 %	1,0	4	40	1	-1,8
8	0,3	Крупнообломочные с заполнителем от 10 до 30 %	1,5	5	50	1	-1,8
9	0,35	Пылевато-глинистый при $I_L > 0,5$	2,0	6	120	1,5	-1,8
10	0,4	Пылевато-глинистый при $0,25 < I_L < 0,5$	2,5	7	150	2,0	-1,8
11	0,2	Пылевато-глинистый при $I_L > 0,5$	3,0	8	60	2,5	-1,8
12	0,25	Пески пылеватые при $Sr > 0,95$	3,5	9	80	3,0	-1,8
13	0,3	Пески пылеватые при $0,8 < Sr < 0,95$	1,0	10	60	1	-2,0
14	0,35	Пески пылеватые при $0,6 < Sr < 0,8$	1,5	4	60	1	-2,0
15	0,4	Крупнообломочные с заполнителем от 30%	2,0	5	90	1,5	-2,0
16	0,2	Крупнообломочные с заполнителем от 10 до 30%	2,5	6	60	2,0	-2,0
17	0,25	Пылевато-глинистый при $I_L > 0,5$	3,0	7	160	2,5	-2,0
18	0,3	Пылевато-глинистый при $0,25 < I_L < 0,5$	3,5	8	120	3,0	-2,0
19	0,35	Пылевато-глинистый при $I_L > 0,5$	1,0	9	55	1	-2,2
20	0,4	Пески мелкие при $Sr > 0,95$	1,5	10	105	1	-2,2
21	0,2	Пески мелкие при $0,8 < Sr < 0,95$	2,0	4	88	1,5	-2,2
22	0,25	Пески мелкие при $0,6 < Sr < 0,8$	2,5	5	64	2,0	-2,2
23	0,3	Крупнообломочные с заполнителем от 30 %	3,0	6	64	2,5	-2,2
24	0,35	Крупнообломочные с заполнителем от 10 до 30 %	3,5	7	55	3,0	-2,2
25	0,4	Пылевато-глинистый при $I_L > 0,5$	1,0	8	60	1	-2,5
26	0,2	Пылевато-глинистый при $0,25 < I_L < 0,5$	1,5	9	50	1	-2,5
27	0,25	Пылевато-глинистый при $I_L > 0,5$	2,0	10	50	1,5	-2,5
28	0,3	Пески пылеватые при $Sr > 0,95$	2,5	4	50	2	-2,5
29	0,35	Пески пылеватые при $0,8 < Sr < 0,95$	3,0	5	50	2,5	-2,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧЕ № 5

№ варианта	Диаметр сваи-столба, м	Длина сваи, м	Наименование грунта	Тип вечной мерзлоты	Расчетная постоянная нагрузка, кН	Расчетная глубина оттаивания, м	Глубина заделки в вечномерзлый грунт, м	Расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу
1	0,7	7	Супесь	Неслив.	150	1,0	2,5	100
2	0,8	10	Супесь	Неслив.	300	1,5	1,6	180
3	1,2	12	Пески мелкие	Неслив.	160	2,0	2,5	100
4	0,8	10	Пески мелкие	Неслив.	200	2,5	3,2	120
5	1,0	7	Супесь	Неслив.	80	3,0	1,5	120
6	0,8	8	Суглинок	Неслив.	80	1,0	2,0	80
7	1,2	9	Суглинок	Неслив.	110	2,0	2,5	110
8	1,2	10	Суглинок	Неслив.	100	3,0	3,5	80
9	0,8	8	Глина	Неслив.	120	1,0	2,4	110
10	1,0	9	Глина	Неслив.	110	1,5	2,0	130
11	1,4	12	Глина	Неслив.	90	2,0	2,4	100
12	1,2	9	Глина	Неслив.	130	3,0	2,8	110
13	0,8	10	Пески мелкие	Слив.	150	1,0	2,3	130
14	0,9	9	Супесь	Слив.	120	1,5	2,1	80
15	1,0	10	Супесь	Слив.	150	2,0	2,9	120
16	1,0	10	Супесь	Слив.	150	2,5	2,9	120
17	1,1	12	Супесь	Слив.	120	3,0	2,9	100
18	0,8	10	Суглинок	Слив.	100	1,0	1,9	80
19	0,7	7	Суглинок	Слив.	120	1,5	2,1	100
20	1,1	10	Суглинок	Слив.	100	2,0	2,4	90
21	1,3	12	Суглинок	Слив.	120	2,5	2,6	100
22	1,3	12	Суглинок	Слив.	120	3,0	2,1	90
23	1,0	8	Суглинок	Слив.	110	3,0	2,1	80
24	1,1	9	Глина	Слив.	100	1,0	2,6	90
25	1,2	14	Глина	Слив.	130	1,5	3,2	150
26	1,2	12	Глина	Слив.	120	2,0	2,1	90
27	0,8	9	Глина	Слив.	110	2,0	2,3	80
28	0,7	8	Глина	Слив.	120	2,0	2,5	90
29	1,3	15	Глина	Слив.	130	1,0	3,4	110

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧАМ № 6, 7

№ варианта	Населенный пункт	Наименование грунта	Плотность сухого грунта	Суммарная влажность	Влажность за счет незамерзшей воды	Описание поверхности	Предзимняя температура грунта, °С
1	Аян	Суглинок	1,2	0,4	0,11	Деревья и кусты со слоем снега	4
2	Бикин	Суглинок	1,4	0,35	0,1	Слой снега	5
3	Бира	Суглинок	1,6	0,3	0,12	Песок и гравий	4
4	Биробиджан	Суглинок	1,8	0,2	0,07	Асфальтобетонное покрытие	5
5	Вяземский	Суглинок	1,8	0,2	0,06	Деревья и кусты со слоем снега	4
6	Комсомольск-на-Амуре	Суглинок	2	0,1	0,02	Слой снега	5
7	Николаевск-на-Амуре	Супесь	1,4	0,35	0,17	Песок и гравий	4
8	Облучье	Супесь	1,6	0,3	0,13	Асфальтобетонное покрытие	5
9	Охотск	Супесь	1,8	0,2	0,08	Деревья и кусты со слоем снега	4
10	Советская Гавань	Супесь	2	0,1	0,03	Слой снега	5
11	Троицкое	Песок	1,4	0,25	0,12	Песок и гравий	4
12	Средний Ургал	Песок	1,6	0,25	0,14	Асфальтобетонное покрытие	5
13	Хабаровск	Песок	1,8	0,2	0,07	Деревья и кусты со слоем снега	4
14	Чумикан	Песок	2	0,1	0,02	Слой снега	5
15	Чита	Суглинок	1,4	0,3	0,15	Песок и гравий	4
16	Якутск	Суглинок	1,4	0,25	0,12	Асфальтобетонное покрытие	5
17	Петропавловск-Камчатский	Суглинок	1,4	0,2	0,11	Деревья и кусты со слоем снега	4
18	Омск	Суглинок	1,4	0,15	0,05	Слой снега	5
19	Владивосток	Супесь	1,4	0,3	0,13	Песок и гравий	4
20	Дальнереченск	Супесь	1,4	0,25	0,11	Асфальтобетон	5
21	Лесозаводск	Супесь	1,4	0,2	0,11	Деревья и кусты со слоем снега	4
22	Находка	Супесь	1,4	0,15	0,06	Слой снега	5
23	Партизанск	Песок	1,4	0,2	0,1	Песок и гравий	4
24	Посьет	Песок	1,4	0,15	0,06	Асфальтобетонное покрытие	5
25	Раздольное	Глины	1,6	0,25	0,12	Деревья и кусты со слоем снега	4
26	Спасск-Дальний	Глины	1,6	0,2	0,07	Слой снега	5
27	Уссурийск	Глины	1,6	0,15	0,04	Песок и гравий	4

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧАМ № 8, 9

№ варианта	Наименование грунта	Плотность грунта	Природная влажность	Влажность на границе раскатывания	Влажность на границе текучести	Суммарная влажность мерзлого грунта	Значение коэффициента K_w
1	Песок	2,01	0,30	0,14	0,80	0,80	0,00
2	Супесь	2,06	0,22	0,19	0,42	0,48	0,46
3	Супесь	1,99	0,19	0,21	0,54	0,62	0,31
4	Суглинок	1,77	0,20	0,27	0,47	0,57	0,45
5	Глины	1,91	0,17	0,11	0,47	0,57	0,57
6	Песок	2,07	0,16	0,17	0,30	0,30	0,00
7	Суглинок	1,90	0,22	0,21	0,30	0,36	0,42
8	Песок	1,78	0,25	0,13	0,38	0,38	0,00
9	Супесь	1,70	0,28	0,17	0,79	0,85	0,37
10	Суглинок	2,01	0,20	0,10	0,57	0,62	0,62
11	Суглинок	1,76	0,14	0,10	0,49	0,53	0,80
12	Суглинок	1,92	0,22	0,22	0,73	0,79	0,61
13	Суглинок	1,71	0,26	0,11	0,53	0,59	0,69
14	Супесь	1,75	0,15	0,10	0,54	0,58	0,34
15	Суглинок	2,10	0,24	0,25	0,30	0,40	0,48
16	Суглинок	1,92	0,28	0,12	0,49	0,49	0,60
17	Песок	2,07	0,12	0,28	0,60	0,60	0,00
18	Песок	1,96	0,29	0,18	0,44	0,44	0,00
19	Суглинок	2,06	0,17	0,22	0,67	0,76	0,77
20	Супесь	1,96	0,21	0,28	0,32	0,38	0,39
21	Песок	1,70	0,12	0,11	0,45	0,45	0,00
22	Супесь	1,97	0,15	0,24	0,39	0,46	0,45
23	Глины	1,86	0,13	0,17	0,51	0,61	0,33
24	Суглинок	1,99	0,23	0,14	0,76	0,83	0,73
25	Супесь	1,86	0,21	0,18	0,39	0,47	0,49
26	Глины	1,87	0,21	0,26	0,45	0,55	0,60
27	Супесь	1,67	0,27	0,14	0,36	0,47	0,42

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧЕ № 10

№ варианта	1-й слой грунта					2-й слой грунта			
	Наименование грунта	Мощность грунта	Плотность сухого грунта, м	Суммарная влажность грунта, г/см ³	Влажность грунта за счет незамерзшей воды, д. е.	Наименование грунта	Плотность сухого грунта, г/см ³	Суммарная влажность грунта, д. е.	Влажность грунта за счет незамерзшей воды, д. е.
1	Супесь	0,8	1,4	0,35	0,17	Суглинок	1,2	0,4	0,21
2	Суглинок	0,9	1,6	0,3	0,14	Супесь	1,4	0,3	0,14
3	Супесь	1,0	1,4	0,25	0,11	Песок	1,6	0,25	0,11
4	Суглинок	1,1	1,6	0,2	0,08	Супесь	1,4	0,2	0,08
5	Супесь	1,2	1,4	0,2	0,08	Песок	1,6	0,2	0,08
6	Суглинок	0,8	1,6	0,15	0,04	Супесь	1,4	0,15	0,04
7	Супесь	0,9	1,4	0,15	0,04	Песок	1,6	0,15	0,04
8	Суглинок	1,0	1,8	0,2	0,08	Супесь	1,6	0,3	0,14
9	Супесь	1,1	1,6	0,25	0,11	Суглинок	1,8	0,2	0,08
10	Песок	1,2	1,8	0,2	0,08	Супесь	1,6	0,25	0,11
11	Супесь	0,8	1,6	0,2	0,08	Суглинок	1,8	0,15	0,04
12	Песок	0,9	1,8	0,15	0,04	Супесь	1,6	0,2	0,08
13	Супесь	1,0	1,6	0,15	0,04	Суглинок	1,2	0,4	0,21
14	Песок	1,1	1,8	0,15	0,04	Супесь	1,6	0,15	0,04
15	Супесь	1,2	1,8	0,2	0,08	Суглинок	1,4	0,35	0,17
16	Песок	0,8	1,4	0,25	0,11	Супесь	1,8	0,2	0,08
17	Супесь	0,9	1,8	0,15	0,04	Суглинок	1,4	0,3	0,14
18	Песок	1,0	1,4	0,2	0,08	Супесь	1,8	0,15	0,04
19	Песок	1,1	1,4	0,25	0,11	Суглинок	1,6	0,2	0,08
20	Суглинок	1,2	1,4	0,25	0,11	Песок	1,6	0,2	0,08
21	Песок	0,8	1,4	0,2	0,08	Суглинок	1,6	0,15	0,04
22	Суглинок	0,9	1,4	0,2	0,08	Песок	1,6	0,15	0,04
23	Песок	1,0	1,4	0,15	0,04	Суглинок	1,2	0,4	0,21
24	Суглинок	1,1	1,4	0,15	0,04	Песок	1,6	0,25	0,11
25	Песок	1,2	1,6	0,25	0,11	Суглинок	1,8	0,2	0,08
26	Суглинок	0,8	1,6	0,3	0,14	Песок	1,8	0,2	0,08
27	Песок	0,9	1,6	0,25	0,11	Суглинок	1,4	0,35	0,17

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧЕ № 11

Определение степени морозоопасности песчаных грунтов

№ варианта	Размер частиц, мм								Удельный вес, кН/м ³	Удельный вес частиц грунта, кН/м ³	Влажность, доли единиц
	> 10	10–5	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	< 0,1			
1	1	13	17	10	8	11	19	21	20,3	26,7	0,17
2	–	3	20	12	24	9	18	14	20,0	26,6	0,20
3	–	1	15	14	17	8	29	16	19,5	26,6	0,20
4	–	–	5	10	15	19	39	12	19,4	26,7	0,25
5	–	–	6	9	10	12	34	29	20,4	26,5	0,17
6	–	–	7	10	12	15	28	28	19,9	26,6	0,19
7	–	–	10	10	13	13	27	27	19,6	26,6	0,23
8	–	5	16	13	19	11	21	15	19,3	26,7	0,23
9	–	6	17	12	18	11	20	16	20,2	26,5	0,16
10	–	2	9	10	12	18	33	16	19,8	26,6	0,18
11	–	1	12	11	14	15	30	17	19,6	26,6	0,22
12	–	1	13	13	15	11	30	17	19,2	26,7	0,23
13	–	1	6	7	10	18	38	20	20,2	26,5	0,16
14	–	1	7	8	14	16	37	17	19,8	26,6	0,18
15	–	–	4	7	10	12	37	30	19,6	26,6	0,22
16	–	–	5	10	11	11	33	30	19,2	26,7	0,23
17	–	–	6	11	10	17	28	28	20,2	26,5	0,16
18	1	10	15	8	10	11	26	19	20,5	26,5	0,18
19	1	11	16	10	11	12	27	12	20,0	26,6	0,20
20	1	11	18	10	10	12	23	15	19,5	26,6	0,20
21	1	10	20	10	9	10	20	20	19,4	26,7	0,25
22	–	4	15	13	20	10	21	17	20,4	26,5	0,17
23	–	4	17	10	24	9	21	15	19,9	26,6	0,19
24	–	3	18	11	25	9	19	15	19,6	26,6	0,23
25	–	3	20	12	24	9	18	14	19,3	26,7	0,23
26	–	2	9	10	12	18	33	16	20,2	26,5	0,16
27	–	2	11	11	14	14	31	17	19,8	26,6	0,18
28	–	1	13	13	15	11	30	17	19,6	26,6	0,22
29	–	1	15	14	17	8	29	16	19,2	26,7	0,23
30	–	1	6	7	10	18	38	20	20,2	26,5	0,16

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧЕ № 12

Определение степени морозоопасности глинистых грунтов

№ варианта	Населенный пункт	Удельный вес, кН/м ³	Удельный вес частиц грунта, кН/м ³	Влажность, доли единиц	Влажность на границе текучести, %	Влажность на границе раскатывания, %
1	Аян	20,0	27,2	0,12	15	10
2	Бикин	18,9	27,0	0,12	15	11
3	Бира	18,3	26,9	0,13	16	12
4	Биробиджан	20,0	27,2	0,13	17	13
5	Вяземский	19,1	27,1	0,13	18	13
6	Комсомольск-на-Амуре	18,1	26,7	0,13	20	14
7	Николаевск-на-Амуре	17,2	26,6	0,14	22	15
8	Облучье	19,7	27,3	0,16	30	16
9	Охотск	19,1	27,2	0,18	30	18
10	Советская Гавань	18,4	27,1	0,19	30	18
11	Троицкое	18,1	27,0	0,20	31	19
12	Средний ургал	18,9	26,9	0,20	35	18
13	Хабаровск	20,0	27,3	0,21	35	19
14	Чумикан	19,2	27,2	0,22	36	20
15	Чита	18,5	27,1	0,24	37	21
16	Якутск	17,8	26,9	0,23	37	22
17	Петропавловск-Камчатский	18,6	27,4	0,25	50	23
18	Омск	18,0	27,1	0,26	55	24
19	Владивосток	16,9	27,3	0,24	60	23
20	Дальнереченск	18,7	27,5	0,29	70	27
21	Лесозаводск	17,7	27,2	0,30	80	29
22	Находка	20,0	27,2	0,12	15	10
23	Партизанск	18,9	27,0	0,12	15	11
24	Посьет	18,3	26,9	0,13	16	12
25	Раздольное	20,0	27,2	0,13	17	13
26	Спасск-Дальний	19,1	27,1	0,13	18	13
27	Уссурийск	18,1	26,7	0,13	20	14
28	Охотск	17,2	26,6	0,14	22	15
29	Советская Гавань	19,7	27,3	0,16	30	16
30	Троицкое	19,1	27,2	0,18	30	18

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К ЗАДАЧАМ № 13, 14

№ варианта	Наименование теплоизоляционного материала	Глубина сезонного промерзания, м	Глубина заложения подошвы фундамента от пола подвала	Наименование грунта	Плотность грунта	Суммарная влажность мерзлого грунта	Природная влажность	Толщина утеплителя, м
1	Пенополистирол	2,39	0,8	Суглинок	2,05	0,39	0,31	0,15
2	Опилки	1,95	1,2	Супесь	1,82	0,38	0,2	0,25
3	Шлак	2,28	0,8	Глина	2,02	0,36	0,29	0,1
4	Гравий керамзитовый	2,06	0,7	Суглинок	2	0,31	0,13	0,2
5	Минераловатовые плиты	1,92	0,9	Супесь	1,83	0,42	0,3	0,3
6	Пенополистирол	2,24	0,5	Глина	1,91	0,42	0,15	0,15
7	Опилки	2,15	0,7	Суглинок	1,99	0,45	0,25	0,25
8	Шлак	2,47	0,6	Супесь	1,87	0,2	0,13	0,1
9	Гравий керамзитовый	1,83	0,9	Глина	1,9	0,44	0,3	0,2
10	Минераловатовые плиты	2,49	1,3	Суглинок	2,04	0,24	0,17	0,3
11	Пенополистирол	2,14	1,4	Супесь	1,91	0,59	0,32	0,15
12	Опилки	1,71	1,2	Глина	1,98	0,4	0,12	0,25
13	Шлак	1,81	1,4	Суглинок	2	0,37	0,12	0,1
14	Гравий керамзитовый	2,05	1,3	Супесь	2,04	0,56	0,29	0,2
15	Минераловатовые плиты	2,46	1,5	Глина	1,85	0,53	0,29	0,3
16	Пенополистирол	2,06	0,7	Суглинок	1,89	0,41	0,23	0,15
17	Опилки	1,83	0,9	Супесь	1,88	0,37	0,17	0,25
18	Шлак	1,99	0,7	Глина	1,82	0,48	0,17	0,1
19	Гравий керамзитовый	2,24	0,5	Суглинок	1,83	0,44	0,15	0,2
20	Минераловатовые плиты	2,17	1,2	Супесь	1,87	0,44	0,17	0,3
21	Пенополистирол	2,46	0,7	Глина	1,96	0,61	0,3	0,15
22	Опилки	2,29	0,5	Суглинок	1,82	0,22	0,15	0,25
23	Шлак	2,4	1	Супесь	1,91	0,47	0,21	0,1
24	Гравий керамзитовый	2,36	0,7	Глина	2,02	0,34	0,26	0,2
25	Минераловатовые плиты	1,99	1,5	Суглинок	1,97	0,45	0,15	0,3
26	Пенополистирол	2,21	0,7	Супесь	1,96	0,55	0,26	0,15
27	Опилки	2,44	1	Глина	2,09	0,49	0,3	0,25
28	Шлак	1,73	0,9	Суглинок	1,78	0,41	0,27	0,1
29	Гравий керамзитовый	1,9	0,5	Супесь	2,08	0,36	0,13	0,2
30	Минераловатовые плиты	1,78	1	Глина	2,09	0,33	0,26	0,3

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ.....	5
2. РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ.....	9
3. СЕЗОННОЕ ПРОМЕРЗАНИЕ ГРУНТОВ	12
4. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЕРЗАЮЩИХ ГРУНТОВ ПО СТЕПЕНИ МОРОЗНОЙ ПУЧИНООПАСНОСТИ.....	20
ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ	28
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	29
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Исходные данные к задаче № 1	30
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Варианты заданий к задаче № 2	33
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Варианты заданий к задаче № 3	34
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Варианты заданий к задаче № 4	35
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Варианты заданий к задаче № 5	36
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Варианты заданий к задачам № 6, 7.....	37
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Варианты заданий к задачам № 8, 9.....	38
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Варианты заданий к задаче № 10	39
ПРИЛОЖЕНИЕ 9. Варианты заданий к задаче № 11	40
ПРИЛОЖЕНИЕ 10. Варианты заданий к задаче № 12	41
ПРИЛОЖЕНИЕ 11. Варианты заданий к задачам № 13, 14.....	42

Учебное издание

Кудрявцев Сергей Анатольевич
Вальцева Татьяна Юрьевна
Кажарский Алексей Витальевич
Михайлин Роман Геннадьевич
Петерс Анастасия Александровна

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ СООРУЖЕНИЙ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Учебно-методическое пособие для решения задач

Издание 2-е дополненное и переработанное

Редактор *Н.В. Смышляева*
Технический редактор *И.А. Нильмаер*

План 2015 г. Поз. 4.26. Подписано в печать 22.06.2015 г. Формат 60×84¹/₁₆.
Гарнитура «Arial». Уч.-изд. л. 2,8. Усл. печ. л. 2,5. Зак. 150. Тираж 10 экз. Цена 700 руб.

Издательство ДВГУПС
680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47.

Кафедра «Мосты, тоннели и подземные сооружения»

**ОСНОВАНИЯ
И ФУНДАМЕНТЫ СООРУЖЕНИЙ
НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ**

Учебно-методическое пособие
для решения задач

Хабаровск
2015
