МИНИСТЕРСТВО РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ СП 25.13330.2012

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕТЫ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Актуализированная редакция

СНиП 2.02.04-88

Издание официальное



gost.e-ecolog.ru

Москва 2012

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила разработки – постановлением Правительства Российской Федерации от 19 ноября 2008 г. № 858 «О порядке разработки и утверждения сводов правил».

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛИ – Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова – институт ОАО «НИЦ «Стрительство» (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации (ТК 465) «Строительство»

3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом архитектуры, строительства и градостроительной политики

4 УТВЕРЖДЕН приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. № 622 и введен в действие с 1 января 2013 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). Пересмотр СП 25.13330.2010 «СНиП 2.02.04-88 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах»

Информация об изменениях к настоящему своду правил публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте разработчика (Минрегион России) в сети Интернет

© Минрегион России, 2011

Настоящий нормативный документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Минрегиона России

Содержание

1 Область применения ... 1
2 Нормативные ссылки ... 1
3 Определения ... 2
4 Общие положения ... 2
5 Характеристики многолетнемерзлых грунтов оснований ... 4
6 Основные положения проектирования оснований и фундаментов ... 6
6.1 Принципы использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания ... 6
6.2 Глубина заложения фундаментов ... 7
6.3 Устройство оснований и фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I ... 8
6.4 Устройство оснований и фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II ... 11
6.5 Требования к инженерной подготовке территории ... 13
7 Расчет оснований и фундаментов ... 15
7.1 Общие указания ... 15
7.2 Расчет оснований и фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I ... 16
7.3 Расчет оснований и фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II ... 24
7.4 Расчет оснований и фундаментов по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения ... 29
8 Особенности проектирования оснований и фундаментов на сильнольдистых многолетнемерзлых грунтах и подземных льдах ... 32
9 Особенности проектирования оснований и фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах ... 34
10 Особенности проектирования оснований и фундаментов на заторфованных многолетнемерзлых грунтах ... 36
11 Особенности проектирования оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах в сейсмических районах ... 36
12 Особенности проектирования оснований и фундаментов мостов и труб под насыпями ... 38
13 Особенности проектирования оснований и фундаментов нефтегазопроводов на многолетнемерзлых грунтах ... 42
14 Особенности проектирования оснований и фундаментов на склонах ... 43
15 Геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации сооружений на многолетнемерзлых грунтах ... 47
16 Экологические требования при проектировании и устройстве оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах ... 48
Приложение А (обязательное) Термины и определения ... 50
Приложение Б (рекомендуемое) Физические и теплофизические характеристики многолетнемерзлых грунтов ... 52
Приложение В (рекомендуемое) Расчетные значения прочностных характеристик мерзлых грунтов ... 60
Приложение Г (обязательное) Среднегодовая температура и глубина сезонного оттаивания и промерзания грунта ... 70
Приложение Д (обязательное) Расчет температурного режима вентилируемого подполья ... 76

Приложение Е (обязательное) Расчет оснований при строительстве по способу стабилизации верхней поверхности многолетнемерзлых грунтов 79
Приложение Ж (рекомендуемое) Расчет свайных фундаментов на действие горизонтальных нагрузок и воздействий 81
Приложение И (рекомендуемое) Расчет осадок оснований, сложенных сильнольдистыми грунтами и подземным льдом 83
Приложение К (рекомендуемое) Расчет глубины оттаивания грунтов под сооружениями 88
Приложение Л (рекомендуемое) Определение механических свойств и несущей способности оснований свай в многолетнемерзлых грунтах по результатам статического зондирования 94
Приложение М (обязательное) Контролируемые параметры при геотехническом мониторинге 98
Приложение Н (справочное) Расчет глубины оттаивания и промерзания в основании подземных и наземных магистральных трубопроводов на многолетнемерзлых грунтах 103
Приложение П (обязательное) Определение температурного коэффициента 108
Приложение Р (справочное) Основные буквенные обозначения величин 113
Библиография 117

Введение

Настоящий свод правил является актуализированной редакцией СНиП 2.02.04-88 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» Основанием для разработки нормативного документа является Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

Актуализация выполнена сотрудниками НИИОСП им. Н.М. Герсеванова – институтом ОАО «НИЦ «Строительство» (д-р техн. наук *В.П. Петрухин*, канд. техн. наук *О.А. Шулятьев, В.Е. Конаш* – руководители темы; доктора техн. наук *Б.В Бахолдин, Л.Р. Ставницер*; кандидаты техн. наук: *А.Г. Алексеев, С.Г. Безволев, Г.И. Бондаренко, И.И. Журавлев, О.Н. Исаев*), МГУ им. М.В. Ломоносова (д-р техн. наук *Л.Н. Хрусталев* и доктора геол.-минерал. наук *И.А. Комаров, Л.Т. Роман*) и ОАО «Фундаментпроект» (кандидаты техн. наук *В.И. Аксенов и Н.Б. Кутвицкая*).

СВОД ПРАВИЛ

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ НА ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Soil bases and foundations on permafrost soils

Дата введения 2013–01–01

1 Область применения

Настоящий свод правил распространяется на проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых на территории распространения вечномерзлых (многолетнемерзлых) грунтов.

Настоящий свод правил, кроме 4.1–5.7, не распространяется на проектирование оснований гидротехнических сооружений, земляного полотна автомобильных и железных дорог, аэродромных покрытий и фундаментов машин с динамическими нагрузками.

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил приведены ссылки на следующие нормативные документы:

СП 14.13330.2011	«СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах»
СП 20.13330.2011	«СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»
СП 22.13330.2011	«СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений»
СП 24.13330.2011	«СНиП 2.02.03-85 Свайные фундаменты»
СП 28.13330.2012	«СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии»
СП 35.13330.2011	«СНиП 2.05.03-84* Мосты и трубы»
СП 36.13330.2012	«СНиП 2.05.06-85* Магистральные трубопроводы»
СП 47.13330.2012	«СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения»
СП 50.13330.2012	«СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий»
СП 63.13330.2012	«СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»
СП 64.13330.2011	«СНиП II-25-80 Деревянные конструкции»
СП 116.13330.2012	«СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения»
СП 131.13330.2012	«СНиП 23-01-99 Строительная климатология»
ГОСТ Р 53582–2009	Грунты. Метод определения сопротивления сдвигу оттаивающих грунтов
ГОСТ Р 54257–2010	Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования
ГОСТ 5686–94	Грунты. Методы полевых испытаний сваями
ГОСТ 12248–96	Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости

Издание официальное

ГОСТ 19912–2001	Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием
ГОСТ 20276–99	Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости
ГОСТ 20522–96	Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний
ГОСТ 24586–90	Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости мерзлых грунтов
ГОСТ 24846–81	Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений
ГОСТ 24847–81	Грунты. Метод определения глубины сезонного промерзания
ГОСТ 25100–95	Грунты. Классификация
ГОСТ 25358–82	Грунты. Метод полевого определения температуры
ГОСТ 26262–84	Грунты. Метод полевого определения глубины сезонного оттаивания
ГОСТ 27217–87	Грунты. Метод полевого определения удельных касательных сил морозного пучения
ГОСТ 28622–90	Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости
ГОСТ 30416–96	Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения
ГОСТ 30672–99	Грунты. Полевые испытания. Общие положения

Примечание – При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим сводом правил следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

Определения основных терминов приведены в приложении А.

4 Общие положения

4.1 Основания и фундаменты зданий и сооружений[1], возводимых на территории распространения многолетнемерзлых грунтов, следует проектировать на основе результатов специальных инженерно-геологических изысканий, включающих специальные геокриологические и гидрогеологические изыскания с учетом конструктивных и технологических особенностей проектируемых сооружений, их теплового и механического взаимодействия с многолетнемерзлыми грунтами оснований и возможных изменений геокриологических условий в результате строительства и эксплуатации сооружений и освоения территории, устанавливаемых по данным инженерных изысканий и теплотехнических расчетов оснований.

[1] Далее вместо термина «здания и сооружения» используется термин «сооружения», в число которых входят также подземные сооружения.

4.2 Исходные данные для проектирования должны сообщаться в необходимом и достаточном объеме, регистрироваться и интерпретироваться специалистами, обладающими соответствующей квалификацией и опытом.

Проектирование должно выполняться квалифицированным персоналом, имеющим соответствующий опыт проектирования и строительства на многолетнемерзлых грунтах. При этом должны быть обеспечены координация и связь между ними и специалистами по инженерным изысканиям.

Используемые материалы и изделия должны удовлетворять требованиям проекта для северной строительно-климатической зоны.

Техническое обслуживание сооружения при эксплуатации и связанных с ним инженерных систем должно строго выполняться и обеспечить его безопасность и рабочее состояние на весь срок эксплуатации.

При проектировании оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах следует учитывать местные условия строительства, требования к охране окружающей среды, а также имеющийся опыт проектирования, строительства и эксплуатации сооружений в аналогичных условиях.

Выбор строительных площадок и проектных решений оснований и фундаментов следует производить на основании технико-экономического сравнения возможных вариантов с оценкой их по приведенным затратам с учетом надежности.

4.3 Инженерные изыскания для строительства на многолетнемерзлых грунтах надлежит проводить в соответствии с СП 47.13330 и другими нормативными документами по инженерным изысканиям и исследованиям грунтов для строительства. Требования к инженерным изысканиям на многолетнемерзлых грунтах приведены также в [3].

Проектирование оснований без достаточного инженерно-геологического обоснования не допускается.

4.4 При возведении нового объекта или реконструкции существующего сооружения на застроенной территории необходимо учитывать его воздействие на окружающую застройку с целью сохранения расчетного температурного режима многолетнемерзлых грунтов прилегающих территорий и предотвращения недопустимых деформаций существующих сооружений.

4.5 Соответствие состояния грунтов основания и фундаментов проектным требованиям при сдаче сооружения в эксплуатацию должно быть подтверждено результатами натурных наблюдений, выполненных в период строительства согласно регламенту геотехнического мониторинга.

4.6 При проектировании оснований и фундаментов уникальных зданий и сооружений или их реконструкции, а также сооружений I уровня ответственности, в том числе реконструируемых в условиях окружающей застройки, необходимо предусматривать научно-техническое сопровождение строительства.

Научно-техническое сопровождение представляет собой комплекс работ научно-аналитического, методического, информационного, экспертно-контрольного и организационного характера, осуществляемых в процессе изысканий, проектирования и строительства в целях обеспечения надежности сооружений с учетом применения нестандартных расчетных методов, конструктивных и технологических решений.

4.7 Состав работ по научно-техническому сопровождению инженерных изысканий, проектирования и строительства оснований и фундаментов должен определяться генеральным проектировщиком и согласовываться заказчиком строительства. В состав работ научно-технического сопровождения следует включать:

разработку рекомендаций к программе инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий;

оценку и анализ материалов инженерных изысканий;

разработку нестандартных методов расчета и анализа;

прогноз состояния оснований и фундаментов проектируемого объекта с учетом всех возможных видов воздействий;

прогноз влияния строительства на окружающую застройку, геологическую среду и экологическую обстановку;

разработку регламента геотехнического и экологического мониторинга;

разработку технологических регламентов на специальные виды работ;

выполнение опытно-исследовательских и конструкторских работ;

обобщение и анализ результатов всех видов геотехнического мониторинга, их сопоставление с результатами прогноза;

оперативную разработку рекомендаций или корректировку проектных решений на основании данных геотехнического мониторинга при выявлении отклонений от результатов прогноза.

5 Характеристики многолетнемерзлых грунтов оснований

5.1 Подразделение и наименование разновидностей многолетнемерзлых грунтов следует производить в соответствии с ГОСТ 25100 с учетом особенностей их физико-механических свойств как оснований сооружений.

5.2 По особенностям физико-механических свойств среди многолетнемерзлых грунтов должны выделяться сильнольдистые, засоленные и заторфованные грунты, использование которых в качестве оснований сооружений регламентируется дополнительными требованиями, предусмотренными разделами 8, 9 и 10, а также твердомерзлые, пластично-мерзлые и сыпучемерзлые грунты, выделяемые согласно 5.3.

5.3 Подразделение грунтов на твердомерзлые, пластично-мерзлые и сыпучемерзлые при проектировании оснований и фундаментов следует производить в зависимости от их состава, температуры и степени влажности в соответствии с ГОСТ 25100 с учетом сжимаемости под нагрузкой.

К твердомерзлым следует относить практически несжимаемые грунты с коэффициентом сжимаемости $m_f \leq 0{,}01$ МПа$^{-1}$, к пластично-мерзлым – грунты с коэффициентом сжимаемости $m_f > 0{,}01$ МПа$^{-1}$.

5.4 Необходимые для расчета оснований и фундаментов физические и деформационно-прочностные характеристики многолетнемерзлых грунтов надлежит определять на основании их непосредственных полевых или лабораторных испытаний.

5.5 В состав определяемых для расчета многолетнемерзлых оснований физических и механических характеристик грунтов помимо предусмотренных характеристик должны дополнительно входить:

а) физические и теплофизические характеристики мерзлых грунтов, определяемые в соответствии с приложением Б;

б) деформационные и прочностные характеристики грунтов для расчета мерзлых оснований по деформациям и несущей способности: коэффициент сжимаемости мерзлого грунта m_f (7.2.16), расчетное давление R и сопротивление мерзлого грунта или грунтового раствора сдвигу по поверхности смерзания R_{af} и R_{sh}, сопротивление сдвигу льда по поверхности смерзания с грунтом или грунтовым раствором R_{shi} (7.2.3);

в) деформационные характеристики грунтов для расчета оттаивающего основания по деформациям: коэффициенты оттаивания A_{th} и сжимаемости m_{th} оттаивающего грунта и его относительная осадка ξ_{th} (7.3.8);

г) прочностные характеристики для мерзлых грунтов и их контактов c_L и φ_L определяются по результатам длительных испытаний (ГОСТ 12248), c_{sh} и φ_{sh} – по результатам неконсолидированно-недренированного и консолидированно-недренированного среза оттаивающего грунта (ГОСТ Р 53582);

д) характеристики грунтов слоя сезонного промерзания–оттаивания для расчета оснований и фундаментов на воздействие сил морозного пучения грунтов (7.4.3 и 7.4.6): относительная деформация морозного пучения ε_{fh}, расчетная удельная касательная сила пучения τ_{fh} и удельное нормальное давление пучения грунта на подошву фундамента p_{fh}, а также характеристики мерзлых грунтов для расчета оснований на горизонтальные статические и сейсмические воздействия (11.5 и 11.6).

При необходимости следует определять и другие характеристики мерзлых грунтов, характеризующие особенности их состояния или взаимодействия с фундаментами (вид криогенной текстуры, коэффициент вязкости η, эквивалентное сцепление c_{eq}, скорость вязкопластического течения льда v_i, относительная деформация морозного пучения, нормальные и касательные силы морозного пучения, удельное отрицательное трение оттаивающего грунта на боковой поверхности f_n и т. п.).

5.6 Нормативные значения характеристик грунта следует устанавливать для выделенных при изысканиях инженерно-геологических элементов на основании статистической обработки результатов экспериментальных определений в соответствии с ГОСТ 20522 и СП 22.13330 с учетом предусмотренного проектом состояния и температуры грунтов основания.

5.7 Расчетные значения характеристик грунта определяются по формуле

$$\chi = \chi_n/\gamma_g, \qquad (5.1)$$

где χ и χ_n – соответственно расчетное и нормативное значения данной характеристики;

γ_g – коэффициент надежности по грунту, определяемый согласно указаниям 5.8.

5.8 Коэффициент надежности по грунту γ_g определяется в соответствии с ГОСТ 20522 с учетом вида (назначения) определяемой расчетной характеристики, состояния грунтов в основании сооружения и доверительной вероятности α.

При определении расчетных значений деформационных и прочностных характеристик грунтов, используемых в качестве основания в мерзлом состоянии (принцип I), коэффициент надежности по грунту γ_g устанавливается в соответствии с ГОСТ 20522 при доверительной вероятности α, принимаемой равной 0,85, а для оснований опор мостов и линий электропередачи – 0,9.

При определении расчетных значений деформационных и прочностных характеристик грунтов, используемых в качестве основания в оттаивающем или оттаянном состоянии (принцип II), коэффициент надежности по грунту γ_g следует устанавливать:

а) для расчета оттаивающих оснований по деформациям с учетом совместной работы сооружения (фундаментов) и деформируемого основания (7.3.5) – в соответствии с ГОСТ 20522 при доверительной вероятности α, принимаемой в соответствии с нормами проектирования конструкций сооружения, но не менее 0,95;

б) для расчета оттаивающих оснований по деформациям без учета совместной работы основания и сооружения (7.3.4), а также при предварительном оттаивании

грунтов (7.3.10) – при доверительной вероятности α, принимаемой согласно СП 22.13330.

При определении расчетных значений физических и теплофизических характеристик грунтов коэффициент надежности по грунту γ_g допускается принимать равным 1,0.

5.9 Для расчета оснований сооружений II и III уровней ответственности, возводимых с сохранением мерзлого состояния грунтов, а также для выполнения предварительных расчетов оснований и привязки типовых проектов к местным условиям, расчетные значения прочностных характеристик мерзлых грунтов R, R_{af}, R_{sh} и R_{shi} допускается принимать по их физическим характеристикам, составу и температуре в соответствии с табличными данными, приведенными в приложении В; расчетные значения теплофизических характеристик грунтов в этих случаях допускается принимать по таблицам приложения Б.

Примечание – Здесь и далее уровень ответственности сооружений принят согласно ГОСТ Р 54257.

6 Основные положения проектирования оснований и фундаментов

6.1 Принципы использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания

6.1.1 При строительстве на многолетнемерзлых грунтах в зависимости от конструктивных и технологических особенностей зданий и сооружений, инженерно-геокриологических условий и возможности целенаправленного изменения свойств грунтов основания применяется один из следующих принципов использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания сооружений:

принцип I – многолетнемерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения;

принцип II – многолетнемерзлые грунты основания используются в оттаянном или оттаивающем состоянии (с их предварительным оттаиванием на расчетную глубину до начала возведения сооружения или с допущением их оттаивания в период эксплуатации сооружения).

6.1.2 Принцип I следует применять, если грунты основания можно сохранить в мерзлом состоянии при экономически целесообразных затратах на мероприятия, обеспечивающие сохранение такого состояния. На участках с твердомерзлыми грунтами, а также при повышенной сейсмичности района следует принимать, как правило, использование многолетнемерзлых грунтов по принципу I.

При строительстве на пластично-мерзлых грунтах следует, как правило, предусматривать мероприятия по понижению температуры грунтов (6.3.1– 6.3.4) до установленных расчетом значений, а также учитывать в расчетах оснований пластические деформации этих грунтов под нагрузкой согласно указаниям 7.2.15 – 7.2.17.

6.1.3 Принцип II следует применять при наличии в основании скальных или других малосжимаемых грунтов, деформация которых при оттаивании не превышают предельно допустимых значений для проектируемого сооружения, при несплошном распространении многолетнемерзлых грунтов, а также в тех случаях, когда по техническим и конструктивным особенностям сооружения и инженерно-

геокриологическим условиям участка при сохранении мерзлого состояния грунтов основания не обеспечивается требуемый уровень надежности строительства.

6.1.4 Выбор принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания сооружений, а также способов и средств, необходимых для обеспечения принятого в проекте температурного режима грунтов, следует производить на основании сравнительных технико-экономических расчетов.

6.1.5 В пределах застраиваемой территории (промышленный узел, поселок, городской микрорайон и т.д.) надлежит предусматривать, как правило, один принцип использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований. Это требование следует учитывать также при проектировании новых и реконструкции существующих зданий и сооружений на застроенной территории, размещении мобильных (временных) зданий и прокладке инженерно-технических сетей.

Применение разных принципов использования многолетнемерзлых грунтов в пределах застраиваемой территории допускается на обособленных по рельефу и другим природным условиям участках, а в необходимых случаях – на природно-необособленных участках, если предусмотрены и подтверждены расчетом специальные меры по обеспечению расчетного теплового режима грунтов в основании соседних зданий, возведенных (или возводимых) по принципу I (резервирование зон безопасности, устройство мерзлотных и противофильтрационных завес и т. п.).

6.1.6 Линейные сооружения допускается проектировать с применением на отдельных участках трассы разных принципов использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания. При этом следует предусматривать меры по приспособлению их конструкций к неравномерным деформациям основания в местах перехода от одного участка к другому, а при прокладке их в пределах застраиваемой территории следует соблюдать требования, предусмотренные 6.1.5.

6.2 Глубина заложения фундаментов

6.2.1 Глубина заложения фундаментов, считая от уровня планировки (подсыпки или срезки), назначается с учетом требований СП 22.13330 и принятого принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания сооружения и должна проверяться расчетом по устойчивости фундаментов на действие сил морозного пучения грунтов согласно указаниям 7.4.2 и 7.4.6.

6.2.2 При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу I минимальную глубину заложения фундаментов d_{min} рекомендуется принимать по таблице 6.1 в зависимости от расчетной глубины сезонного оттаивания грунта d_{th}, определяемой согласно приложению Г.

Таблица 6.1

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

6.2.3 При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу II минимальную глубину заложения фундаментов d_{min} следует принимать в соответствии с требованиями СП 22.13330 в зависимости от расчетной глубины

сезонного промерзания грунта d_f, определяемой согласно приложению Г, и уровня подземных вод, который принимается с учетом образования под сооружением зоны оттаивания грунта.

Допускается закладывать фундаменты в слое сезонного промерзания–оттаивания грунта, если это обосновано расчетом оснований и фундаментов (7.4.6).

6.3 Устройство оснований и фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I

6.3.1 При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований сооружений по принципу I для сохранения мерзлого состояния грунтов основания и обеспечения их расчетного теплового режима в проектах оснований и фундаментов необходимо предусматривать: устройство вентилируемых подполий или холодных первых этажей зданий (6.3.2), укладку в основании сооружения вентилируемых труб, каналов или применение вентилируемых фундаментов (6.3.3), установку сезоннодействующих охлаждающих устройств жидкостного или парожидкостного типов – СОУ (6.3.4), а также осуществление других мероприятий (теплозащитные экраны и др.) по устранению или уменьшению теплового воздействия сооружения на мерзлые грунты основания.

Выбор одного или сочетания нескольких мероприятий должен производиться на основании расчетов: прогнозного (на весь период эксплуатации) теплотехнического, устойчивости и несущей способности с учетом конструктивных и технологических особенностей сооружения, опыта местного строительства и экономической целесообразности.

6.3.2 Вентилируемые подполья с естественной или побудительной вентиляцией следует применять для сохранения мерзлого состояния грунтов в основаниях жилых и промышленных зданий и сооружений, в том числе сооружений с повышенными тепловыделениями. Требуемый тепловой режим вентилируемого подполья устанавливается теплотехническим расчетом согласно приложению Д.

Подполья в соответствии с теплотехническим расчетом и условиями снегозаносимости допускается устраивать открытыми, с вентилируемыми или закрытыми продухами в цоколе здания; при необходимости у продухов следует устраивать вытяжные или приточные трубы, располагая воздухозаборные отверстия выше наибольшего уровня снегового покрова. Закрытые подполья, а также холодные первые этажи зданий рекомендуется устраивать при ширине зданий до 15 м и среднегодовых температурах грунта ниже минус 2 °С.

Высота подполья должна приниматься по условиям обеспечения его вентилирования, но не менее 1,2 м от поверхности грунта в подполье до низа выступающих конструкций перекрытия; при размещении в подполье коммуникаций – по условиям свободного к ним доступа, но не менее 1,4 м. Под отдельными участками сооружения шириной до 6 м при отсутствии в них коммуникаций и фундаментов высоту подполья допускается уменьшать до 0,6 м.

Поверхность грунта в подполье должна быть спланирована с уклонами в сторону наружных отмосток или водосборов, обеспечивающих беспрепятственный отвод воды от сооружения, и иметь, как правило, твердое покрытие.

Инженерные тепловыделяющие коммуникации, размещаемые в вентилируемом подполье, должны быть теплоизолированы.

6.3.3 Вентилируемые трубы или каналы, а также вентилируемые фундаменты можно устраивать с естественной или побудительной вентиляцией и их следует

преимущественно применять для сохранения мерзлого состояния грунтов в основании сооружений с полами по грунту, при устройстве малозаглубленных или поверхностных фундаментов на подсыпках, а также мобильных зданий и зданий в комплектно-блочном исполнении.

Вентилируемые трубы, каналы и вентилируемые фундаменты следует укладывать выше уровня подземных вод, как правило, в пределах подсыпки из непучинистого грунта с уклонами в сторону объединительных коллекторов. Для уменьшения теплопритока в грунт и высоты подсыпки под полами сооружения следует предусматривать укладку тепло- и гидроизоляции.

Теплотехнический расчет оснований при использовании указанных систем охлаждения грунтов следует производить согласно указаниям 7.2.9.

6.3.4 Сезоннодействующие охлаждающие устройства следует применять для сохранения мерзлого состояния грунтов оснований, для повышения несущей способности опор линейных сооружений в пластично-мерзлых грунтах, а также для создания ледогрунтовых завес, восстановления нарушенного при эксплуатации сооружения теплового режима грунтов в его основании и в других целях.

6.3.5 Для сокращения сроков строительства и повышения расчетных нагрузок на фундаменты следует предусматривать предварительное (до возведения сооружения) охлаждение высокотемпературных и пластично-мерзлых грунтов (путем очистки поверхности от снега, с помощью СОУ и т. д.) при последующем поддержании расчетного температурного режима грунтов за счет постоянно действующих охлаждающих устройств.

6.3.6 На участках, где слой сезонного промерзания–оттаивания не сливается с многолетнемерзлым грунтом, необходимо предусматривать меры по стабилизации или поднятию верхней поверхности многолетнемерзлого грунта до расчетного уровня путем предварительного охлаждения и промораживания грунтов основания. Глубину заложения фундаментов при этом следует определять расчетом, но принимать не менее 2 м от верхней поверхности многолетнемерзлого грунта. Допускается закладывать фундаменты в пределах немерзлого слоя грунта, если это обосновано расчетом основания.

6.3.7 При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по принципу I могут применяться свайные, столбчатые и другие типы фундаментов, в том числе фундаменты на искусственных (насыпных и намывных) основаниях. Выбор типа фундамента и способа устройства основания устанавливается проектом в зависимости от инженерно-геокриологических условий строительства, конструктивных особенностей сооружения и технико-экономической целесообразности.

6.3.8 Конструкции фундаментов должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к материалу фундаментов по прочности в соответствии с требованиями СП 24.13330, СП 28.13330, СП 35.13330, а элементы фундаментов, находящиеся в пределах слоя сезонного промерзания и оттаивания грунта и выше – также требованиям по морозостойкости, водонепроницаемости и устойчивости к воздействию агрессивных сред в соответствии с требованиями СП 28.13330 и СП 35.13330. Металлические и деревянные конструкции фундаментов в слое сезонного промерзания и оттаивания грунта должны быть защищены от коррозии и гниения.

6.3.9 При устройстве свайных фундаментов в многолетнемерзлых грунтах допускается применять виды и конструкции свай, предусмотренные СП 24.13330, в том числе буронабивные, сваи-оболочки, а также составные (комбинированные) сваи из разных материалов.

6.3.10 В проекте свайных фундаментов должны быть указаны способы погружения свай, а также температурные условия, при которых разрешается загружение свай.

Полые сваи и сваи–оболочки, не требующие по расчету бетонного заполнения, допускается заполнять бетоном класса не ниже В7,5, а в пределах слоя сезонного промерзания–оттаивания и выше – бетоном класса не ниже В15 с соблюдением требований по предотвращению образования трещин, кроме опор мостов, при устройстве которых в зоне воздействия знакопеременных температур следует руководствоваться требованиями СП 24.13330.

При устройстве буронабивных свай в многолетнемерзлых грунтах, используемых в качестве оснований по принципу I, применение химических добавок для ускорения твердения бетона, уложенного в распор с мерзлым грунтом, как правило, не допускается.

6.3.11 По условиям применимости и способам погружения в многолетнемерзлый грунт сваи подразделяются на:

а) буроопускные – сваи сплошные и полые, свободно погружаемые в скважины, диаметр которых превышает (не менее чем на 5 см) размер их наибольшего поперечного сечения, с заполнением свободного пространства раствором цементно-песчаным, глинисто-песчаным, известково-песчаным или другого состава по проекту, принимаемым по условиям обеспечения заданной прочности смерзания сваи с грунтом; допускаются к применению в любых грунтах при средней температуре грунта по длине сваи минус 0,5 °С и ниже, полезную нагрузку на буроопускную сваю можно передавать только после полного замерзания раствора;

б) опускные – сваи сплошные и полые, свободно (или с пригрузом) погружаемые в оттаянный грунт в зоне диаметром до двух наибольших поперечных размеров сваи; допускаются к применению в твердомерзлых грунтах песчаных и глинистых, содержащих не более 15 % крупнообломочных включений при средней температуре грунта по длине сваи не выше минус 1,5 °С;

в) бурозабивные (забивные) – сваи сплошные и полые, рассчитанные на восприятие ударных нагрузок и погружаемые забивкой в лидерные скважины (без лидерных скважин), диаметр которых меньше наибольшего поперечного сечения сваи; допускаются к применению в пластично-мерзлых грунтах с содержанием крупнообломочных включений до 10 % на основании пробных погружений свай на данной площадке;

г) буробсадные – полые сваи и сваи-оболочки, погружаемые в грунт путем его разбуривания в забое через полость сваи с периодическим осаживанием погружаемой сваи; применяются при устройстве свайных фундаментов в сложных инженерно-геокриологических условиях и при наличии межмерзлотных подземных вод.

Допускается применять другие способы погружения свай в многолетнемерзлые грунты, если это не приводит к недопустимому повышению температуры грунтов основания, что должно быть подтверждено экспериментальными данными и теплотехническим расчетом.

6.3.12 Расстояние между осями свай следует принимать равным:

для буроопускных и буробсадных свай – не менее двух диаметров скважины при ее диаметре до 1 м включительно и не менее диаметра скважины плюс 1 м при ее диаметре 1 м и более;

для опускных, бурозабивных и забивных свай – не менее трех наибольших размеров поперечного сечения сваи.

Размещение свай в плане, их число, размеры и способы устройства ростверков назначаются в зависимости от конструкции здания, размещения технологического оборудования и нагрузок на фундаменты в соответствии с требованиями СП 24.13330 с учетом расчетной несущей способности свай, определяемой согласно 7.2.2, высоты холодного подполья (6.3.2) и температурно-влажностных воздействий; укладка ростверков по грунту или с зазором менее 0,15 м от поверхности грунта, а для устоев мостов – менее 0,5 м не допускается.

6.3.13 Столбчатые или плитные фундаменты, возводимые на естественном многолетнемерзлом основании, следует устраивать сборно-монолитными и монолитными. Глубина заложения фундаментов, их размеры и несущая способность устанавливаются расчетом согласно указаниям 7.2.2 – 7.2.4, с учетом требований 6.2.1 и 6.2.2.

Обратную засыпку котлованов под фундаменты следует производить, как правило, влажным талым (непучинистым при промерзании) грунтом. При льдистости грунтов основания $i_i > 0,2$ под подошвой фундаментов следует устраивать песчаную подушку толщиной не менее 0,2 м.

6.3.14 При проектировании сооружений на искусственных основаниях (насыпях или подсыпках) следует предусматривать устройство фундаментов мелкого заложения (столбчатые, ленточные, плитные, с вентилируемыми каналами и др.). Фундаменты следует закладывать в пределах высоты подсыпки, определяемой теплотехническим расчетом с учетом дополнительных мероприятий по сохранению мерзлого состояния грунтов оснований, предусмотренных 6.3.3 и 6.3.13.

Подсыпку следует устраивать из непучинистого песчаного или крупнообломочного грунта, укладываемого после промерзания сезонноттаивающего слоя; допускается для устройства подсыпок применять шлаки или другие отходы производства, если их осадки под нагрузками от сооружений не больше расчетных, и если они не подвержены морозному пучению и разрушению, растворению и размоканию.

При устройстве фундаментов на подсыпках основания и фундаменты следует рассчитывать по несущей способности и деформациям в соответствии с требованиями СП 22.13330 и с учетом результатов прогнозных теплотехнических расчетов.

6.4 Устройство оснований и фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II

6.4.1 При проектировании оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых с использованием многолетнемерзлых грунтов по принципу II, следует предусматривать мероприятия по уменьшению деформаций основания (6.4.2) или мероприятия по приспособлению конструкций сооружения к восприятию неравномерных деформаций основания (6.4.5), назначаемые по результатам расчета основания по деформациям.

Выбор одного из указанных мероприятий или их сочетания производится на основании технико-экономического расчета. При этом мероприятия по уменьшению деформаций основания следует предусматривать в любом случае, если расчетные осадки сооружения превышают значения, допустимые по архитектурным и технологическим требованиям, а для сооружений, возводимых по типовым проектам, – также установленные для них предельные значения деформаций по условиям прочности и устойчивости конструкций.

Мероприятия по приспособлению конструкций сооружения к неравномерным деформациям оттаивающего основания следует назначать по результатам расчета совместной работы основания и сооружения.

6.4.2 Для уменьшения деформаций основания в зависимости от конкретных условий строительства следует предусматривать:

предварительное (до возведения сооружения) искусственное оттаивание и уплотнение грунтов основания;

замену льдистых грунтов основания талым или непросадочным при оттаивании песчаным или крупнообломочным грунтом;

ограничение глубины оттаивания мерзлых грунтов основания, в том числе со стабилизацией верхней поверхности многолетнемерзлого грунта в процессе эксплуатации сооружения;

увеличение глубины заложения фундаментов, в том числе с прорезкой льдистых грунтов и опиранием фундаментов на скальные или другие малосжимаемые при оттаивании грунты.

6.4.3 Глубину предварительного оттаивания или замены льдистых грунтов основания на малосжимаемые при оттаивании грунты следует устанавливать по результатам расчета основания по деформациям согласно указаниям 7.3.10.

Контуры зоны оттаивания или замены грунтов основания в плане должны выходить за контуры сооружения не менее чем на половину глубины предварительного оттаивания грунта.

Допускается принимать меньшую площадь предварительного оттаивания или замены грунтов в плане, а также производить локальное предварительное оттаивание грунтов под фундаментами (вместо сплошного оттаивания под всей площадью сооружения), если это обосновано расчетом основания по деформациям и устойчивости.

Оттаивание грунтов оснований можно производить способами электрооттаивания, парооттаивания или за счет других источников тепла. При этом должны быть предусмотрены меры по обеспечению установленной проектом степени уплотнения оттаянного грунта.

6.4.4 Для ограничения глубины оттаивания грунтов в основании сооружения следует предусматривать устройство теплоизолирующих подсыпок и экранов, увеличение сопротивления теплопередаче полов первых этажей и другие мероприятия по уменьшению теплового влияния сооружения на грунты основания, а также стабилизацию верхней поверхности многолетнемерзлого грунта (в том числе при несливающемся сезоннопромерзающем слое) ниже глубины заложения подошвы фундаментов путем регулирования температуры воздуха в подпольях или технических этажах здания согласно приложению Е.

6.4.5 Приспособление конструкций сооружений к неравномерным деформациям основания должно обеспечиваться:

а) увеличением прочности и пространственной жесткости здания, достигаемой устройством поэтажных, связанных с перекрытиями железобетонных и армокирпичных поясов, усилением армирования конструкций, замоноличиванием сборных элементов перекрытия, усилением цокольно-фундаментной части, равномерным расположением сквозных поперечных стен, а также разрезкой протяженных зданий на отдельные отсеки длиной до полуторной ширины здания;

б) увеличением податливости и гибкости сооружения путем разрезки его конструкций деформационными швами, устройством шарнирных сопряжений

отдельных конструкций с учетом возможности их выравнивания и рихтовки технологического оборудования.

Допускается предусматривать комбинацию указанных мероприятий применительно к особенностям проектируемого сооружения. При этом, бескаркасные жилые и общественные здания следует, как правило, проектировать по жесткой конструктивной схеме; для промышленных сооружений могут применяться гибкие и комбинированные конструктивные схемы. Цокольно-фундаментную часть зданий в типовых проектах следует разрабатывать в нескольких вариантах, рассчитанных по прочности на разные пределы допустимых деформаций основания.

6.4.6 При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по принципу II следует, как правило, применять:

а) для сооружений с жесткой конструктивной схемой, возводимых на оттаивающих грунтах, – усиленные армопоясами ленточные фундаменты, в том числе в виде жестких перекрестных лент, воспринимающих и перераспределяющих усилия, вызванные неравномерной осадкой оттаивающего основания, а в необходимых случаях – плитные фундаменты; на предварительно оттаянных и уплотненных грунтах допускается применять столбчатые, ленточные и другие виды фундаментов на естественном основании, а также свайные фундаменты, если это обусловлено грунтовыми условиями;

б) для сооружений с гибкой конструктивной схемой – столбчатые и отдельно стоящие фундаменты под колонны, гибкие ленточные фундаменты, а в необходимых случаях также свайные фундаменты.

6.4.7 В случаях, когда в основании сооружений залегают скальные или другие малосжимаемые при оттаивании грунты, следует применять столбчатые фундаменты, свайные фундаменты из свай-стоек, в том числе из составных и буронабивных свай.

Сваи следует погружать, как правило, буроопускным способом в скважины, диаметр которых не менее чем на 15 см превышает наибольшие размеры поперечного сечения сваи, с заполнением свободного пространства цементно-песчаным или другим раствором по проекту. Заделку свай-стоек в скальные грунты надлежит производить в соответствии с требованиями СП 24.13330.

6.5 Требования к инженерной подготовке территории

6.5.1 В проекте оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах должны быть предусмотрены мероприятия по инженерной подготовке территории, обеспечивающие соблюдение расчетного гидрогеологического и теплового режима грунтов основания и предотвращение эрозии, развития термокарста и других физико-геологических процессов, приводящих к изменению проектного состояния грунтов в основании сооружений при их строительстве и эксплуатации, а также к недопустимым нарушениям природных условий окружающей среды. Разработку мероприятий надлежит проводить в соответствии с требованиями СП 116.13330. Требования к инженерно-экологическим изысканиям для строительства установлены в [1].

6.5.2 Инженерная подготовка отдельных строительных площадок должна быть увязана с общей инженерной подготовкой и вертикальной планировкой территории застройки в соответствии с генпланом и обеспечивать организованный отвод поверхностных, надмерзлотных и межмерзлотных вод и вод сезонноотаивающего слоя с начала строительства и в течение эксплуатационного периода.

Подъездные пути и насыпи для прохождения транспортных средств и работы строительной техники следует устраивать до начала работ по возведению фундаментов.

6.5.3 На территории с многолетнемерзлыми грунтами вертикальную планировку местности следует производить, как правило, подсыпкой. При применении в необходимых случаях срезок и выемок грунта должны быть приняты меры по защите вскрытых льдистых грунтов от протаивания, размыва и оползания склонов. Подсыпку можно выполнять сплошной по всей застраиваемой территории или под отдельные сооружения или их группы при условии обеспечения свободного стока поверхностных вод.

6.5.4 При использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I подсыпку следует выполнять, как правило, в зимний период после промерзания сезонно оттаявшего слоя грунта (не менее чем на 0,2 м), после предварительной очистки поверхности грунта от снега. Толщина и способ устройства подсыпок принимаются в зависимости от их назначения мерзлотно-грунтовых и гидрогеологических условий.

На участках с сильнольдистыми грунтами и подземными льдами следует устраивать сплошные по площади теплоизолирующие подсыпки или экраны, толщину которых необходимо устанавливать расчетом по условию предотвращения протаивания подстилающего льдистого грунта согласно указаниям 8.2 и исключения повышения природных температур многолетнемерзлых грунтов. Устройство подсыпок, используемых в качестве оснований сооружений, следует производить согласно указаниям 6.3.14.

При необходимости понижения природных температур сильнольдистых грунтов и подземных льдов в целях исключения процессов ползучести (приложение И) во время эксплуатационного периода, следует предусматривать активную термостабилизацию грунтов основания с помощью установки СОУ.

6.5.5 При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по принципу II вертикальную планировку допускается осуществлять подсыпками и выемками грунта. Подсыпки надлежит устраивать, как правило, по оттаянному грунту слоя сезонного промерзания–оттаивания. Выемки грунтов допускается выполнять на непросадочных при оттаивании грунтах или если предусмотрено предпостроечное оттаивание и уплотнение грунтов под сооружениями.

Уровень планировочных отметок, высоту подсыпок, глубины выемок грунтов, уклоны водоотводящей сети следует принимать с учетом расчетных осадок грунтов при оттаивании. В необходимых случаях (сильнольдистые, заторфованные или имеющие неравномерную льдистость грунты) следует осуществлять частичное оттаивание или замену грунтов верхнего льдистого слоя или устройство теплозащитных экранов согласно 6.4.4.

При высоком уровне подземных вод необходимо предусматривать меры по предотвращению обводнения заглубленных подвалов или технических этажей здания: поднятие уровня планировочных отметок, устройство дренажа, противофильтрационные завесы, в том числе льдогрунтовые и т. п. При проектировании противофильтрационных завес водный баланс подземных вод на застраиваемой территории должен быть сохранен.

6.5.6 В составе мероприятий по инженерной подготовке территории должны быть предусмотрены природоохранные мероприятия, направленные на восстановление нарушенных в процессе строительства природных условий, в соответствии с 16.4.

6.5.7 Для обеспечения устойчивости и эксплуатационной пригодности зданий и сооружений при прокладке наружных сетей систем водоснабжения, канализации, теплоснабжения следует предусматривать, как правило, тот же принцип использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований, который принят для зданий и

сооружений, размещаемых на данной территории застройки. Применение различных принципов допускается при условии прокладки сетей, как правило, в каналах на таком расстоянии от зданий и сооружений, при котором не произойдет изменения расчетных температур оснований зданий и сооружений, или при применении других мер, предусмотренных 6.1.5.

Вводы и выпуски инженерных сетей в зданиях или сооружениях и прокладку этих сетей в подпольях и технических этажах следует осуществлять по принципу использования многолетнемерзлых грунтов, принятому для данного здания или сооружения. Конструкция вводов и выпусков должна быть такой, чтобы при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу I исключалась возможность местного оттаивания грунтов или повышения (против установленной в проекте) их расчетной температуры, а при использовании грунтов в качестве основания по принципу II – ускоренного местного оттаивания и, как следствие, увеличенной неравномерности деформации основания фундаментов.

7 Расчет оснований и фундаментов

7.1 Общие указания

7.1.1 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.

7.1.2 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, а элементы железобетонных конструкций – и по трещиностойкости.

При расчете по предельным состояниям несущую способность основания и его ожидаемые деформации следует устанавливать с учетом температурного режима грунтов основания, а при принципе I – также с учетом продолжительности действия нагрузок и реологических свойств грунтов.

Фундаменты как элементы конструкций в зависимости от их материала следует рассчитывать в соответствии с требованиями СП 16.13330, СП 35.13330, СП 63.13330, СП 64.13330. Расчет указанных конструкций приведен также в [4] и [5].

7.1.3 Расчет оснований следует производить:

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

б) при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II: по несущей способности – в случаях, предусмотренных СП 22.13330; 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.

Расчет оснований по деформациям следует производить на основные сочетания нагрузок и воздействий; расчет по несущей способности – на основные и особые сочетания нагрузок и воздействий.

7.1.4 Нагрузки и воздействия, передаваемые на основания сооружением, следует устанавливать расчетом в соответствии с требованиями СП 20.13330 с учетом указаний СП 22.13330, СП 24.13330, а для оснований опор мостов и труб под насыпями – согласно СП 35.13330.

При использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I, если грунты основания находятся в твердомерзлом состоянии, а также в случаях, предусматриваемых СП 22.13330, нагрузки и воздействия на основание допускается назначать без учета их перераспределения надфундаментными конструкциями сооружения.

При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу II нагрузки на основание следует определять, как правило, с учетом совместной работы основания и сооружения.

7.1.5 Нагрузки и воздействия, которые по СП 20.13330 могут относиться как к длительным, так и к кратковременным, при расчете мерзлых оснований по несущей способности должны относиться к кратковременным, а при расчете оснований по деформациям – к длительным.

Воздействия, вызванные осадками грунтов при предусмотренном в проекте оттаивании их в процессе эксплуатации сооружения, следует относить к длительным; воздействия, связанные с возможным протаиванием и просадками грунтов при нарушениях эксплуатационного режима сооружения, – к особым.

7.2 Расчет оснований и фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I

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

$$F \le F_u/\gamma_n, \tag{7.1}$$

где F – расчетная нагрузка на основание;

F_u – несущая способность основания, определяемая расчетом (7.2.2), а для оснований свайных фундаментов – дополнительно и по данным полевых испытаний свай (7.2.11) и статического зондирования (приложение Л);

γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый в соответствии с требованиями СП 22.13330 в зависимости от вида и уровня ответственности сооружения, а для оснований опор мостов – согласно СП 35.13330 и указаниям 12.13.

7.2.2 Несущая способность основания F_u, кН, вертикально нагруженной висячей сваи или столбчатого фундамента определяется по формуле

$$F_u = \gamma_t \gamma_c (RA + \sum_{i=1}^{n} R_{af,i} A_{af,i}), \tag{7.2}$$

где γ_t – температурный коэффициент, учитывающий изменения температуры грунтов основания из-за случайных изменений температуры наружного воздуха, определяется по указаниям приложения П;

γ_c – коэффициент условий работы основания, принимаемый по указаниям 7.2.4;

R – расчетное сопротивление мерзлого грунта под нижним концом сваи или под подошвой столбчатого фундамента, кПа, определяется согласно указаниям 7.2.3;

A – площадь подошвы столбчатого фундамента или площадь опирания сваи на грунт, м^2, принимаемая для сплошных свай равной площади их поперечного сечения (или площади уширения), для полых свай, погруженных с открытым нижним концом, – площади поперечного сечения сваи брутто при заполнении ее полости цементно-песчаным раствором или грунтом на высоту не менее трех диаметров сваи;

$R_{af,i}$ – расчетное сопротивление мерзлого грунта или грунтового раствора сдвигу по боковой поверхности смерзания сваи или столбчатого фундамента в пределах (i-го слоя грунта, кПа, определяемое согласно указаниям 7.2.3;

$A_{af,i}$ – площадь поверхности смерзания i-го слоя грунта с боковой поверхностью сваи, а для столбчатого фундамента – площадь поверхности смерзания грунта с нижней ступенью фундамента, м^2;

n – число выделенных при расчете слоев многолетнемерзлого грунта.

Примечания

1 При расчете несущей способности основания столбчатого фундамента силы смерзания грунта, определяемые вторым слагаемым формулы (7.2), учитываются только при условии выполнения обратной засыпки пазух котлована влажным грунтом, что должно быть отмечено в проекте.

2 В случаях, когда слой сезонного промерзания – оттаивания не сливается с многолетнемерзлым грунтом, несущую способность свай в пределах немерзлого слоя грунта допускается учитывать по СП 24.13330. При этом должны быть предусмотрены меры по стабилизации верхней поверхности многолетнемерзлого грунта, а расчетные сопротивления таликовых грунтов (кроме крупнообломочных и песков со степенью влажности не превышающей 0,8) вдоль боковой поверхности свай, принимаемые по нормативным таблицам СП 24.13330, следует брать с понижающими коэффициентами: 0,8 – для глинистых грунтов, 0,9 – для песчаных водонасыщенных грунтов; для других грунтов понижающие коэффициенты определяют по опытным данным.

7.2.3 Расчетное давление на мерзлый грунт под подошвой фундамента R и расчетные сопротивления мерзлого грунта или грунтового раствора сдвигу по поверхности смерзания фундамента R_{af} устанавливаются по данным испытаний грунтов, проводимых в соответствии с ГОСТ 12248, с учетом коэффициента надежности по грунту γ_g, принимаемому согласно 5.8, и расчетных температур грунта основания T_m, T_z и T_e, определяемых теплотехническим расчетом по 7.2.7.

По результатам испытаний грунтов шариковым штампом или на одноосное сжатие расчетные значения R, кПа, вычисляются по формуле

$$R = 5{,}7c_n/\gamma_g + \gamma_I d, \qquad (7.3)$$

где c_n – нормативное значение предельно длительного сцепления, кПа, принимаемое равным: $c_n = c_{egn}$ при испытаниях грунтов шариковым штампом и $c_n = 0{,}5R_{cn}$ – при испытаниях на одноосное сжатие, где c_{egn} и R_{cn} – соответственно предельно длительное эквивалентное сцепление и сопротивление грунта одноосному сжатию;

γ_I – расчетное значение удельного веса грунта, кН/м^3;

d – глубина заложения фундамента, м;

γ_g – коэффициент надежности по грунту.

Нормативное значение c_n допускается принимать согласно указаниям рекомендуемого приложения Л.

В случаях, предусмотренных 5.9, расчетные значения R и R_{af} допускается принимать по таблицам приложения В.

При расчетах несущей способности оснований значения R следует принимать: для свайных фундаментов – при расчетной температуре грунта T_z на глубине z, равной глубине погружения сваи; для столбчатых фундаментов – при расчетной температуре грунта T_m на глубине заложения подошвы фундамента.

Расчетные сопротивления сдвигу $R_{af,i}$ следует принимать: для свайных фундаментов – при температуре грунта T_z на глубине середины i-го слоя грунта; для столбчатых фундаментов – при температуре грунта T_m на глубине, соответствующей середине нижней ступени фундамента.

При расчетах несущей способности основания висячей сваи, расположенной в однородных по составу многолетнемерзлых грунтах, по формуле (7.2) значения R_{af} принимается при средней (эквивалентной) температуре грунта T_e (7.2.7).

Для буроопускных свай расчетное сопротивление сдвигу необходимо принимать наименьшим из значений сдвига по поверхности смерзания сваи R_{af} и сдвига по грунту или буровому раствору R_{sh}; для буронабивных свай – по значению R_{sh}. При расчете несущей способности комбинированных свай (деревометаллических, сборно-монолитных и др.) значения R_{af} следует принимать с учетом неодинаковой прочности смерзания с грунтом их различных элементов в соответствии с указаниями приложения В.

Для свай (кроме бурозабивных), опираемых на песчано-щебеночную подушку высотой не менее трех диаметров скважины, при диаметре скважины не более полутора диаметров сваи, расчетное значение R допускается принимать для грунта подушки, а значение A – равным площади забоя скважины. При опирании свай на льдистые грунты с льдистостью $i \geq 0{,}2$ расчетные значения R следует принимать с понижающим коэффициентом $n_i = 1 - i_i$.

Для кратковременных нагрузок с временем действия t, равным или меньшим продолжительности перерывов между ними, расчетные значения R и R_{af} допускается принимать с повышающим коэффициентом n_t (кроме опор мостов) в соответствии с данными таблицы 7.1.

Таблица 7.1

Время действия нагрузки t, ч	0,1	0,25	0,5	1	2	8	24
Коэффициент n_t	1,7	1,5	1,35	1,25	1,2	1,1	1,05

7.2.4 Коэффициент условий работы основания γ_c принимается по таблице 7.2 в зависимости от вида и способов устройства фундаментов (кроме опор мостов).

Таблица 7.2

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
Бурообсадные, забивные и бурозабивные сваи при диаметре лидерных скважин менее 0,8 диаметра свай	1,0
Бурозабивные при большем диаметре лидерных скважин	0,9

Значения коэффициента γ_c, приведенные в таблице 7.2, допускается увеличивать пропорционально отношению полной нагрузки на фундамент к сумме постоянных и длительных временных нагрузок, но не более чем в 1,2 раза, если расчетные значения деформаций основания при этом не будут превышать предельно допустимых значений.

7.2.5 Передача на фундаменты проектных нагрузок допускается, как правило, при температуре грунтов в основании сооружения не выше установленных на эксплуатационный период расчетных значений. В необходимых случаях следует предусматривать мероприятия по предварительному (до загружения фундаментов) охлаждению пластично-мерзлых грунтов (6.3.5) до установленных расчетом значений температуры.

При соответствующем обосновании расчетом основания по деформациям допускается загружать фундаменты при температурах грунта выше расчетных, но не выше значений: $T = T_{bf} - 0{,}5$ °С – для песчаных и крупнообломочных грунтов и $T = T_{bf} - 1$ °С – для глинистых, где T_{bf} – температура начала замерзания грунта (Б.5). Несущая способность основания F_u в этом случае должна определяться при расчетных температурах грунта, устанавливаемых без учета теплового влияния сооружения по формуле (7.8), принимая коэффициент γ_t по расчету.

7.2.6 Расчетные температуры грунтов T_m, T_z и T_e определяются расчетом теплового взаимодействия сооружения с многолетнемерзлыми грунтами основания в периодически установившемся тепловом режиме с учетом переменных в годовом периоде условий теплообмена на поверхности, формы и размеров сооружения, глубины заложения и расположения фундаментов в плане, а также теплового режима сооружения и принятых способов и средств сохранения мерзлого состояния грунтов основания.

При расчетах многолетнемерзлых оснований по несущей способности и деформациям расчетные температуры грунтов T_m, T_z и T_e следует принимать равными:

T_m – максимальной в годовом периоде температуре грунта в установившемся эксплуатационном режиме на глубине заложения 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);

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

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

под серединой сооружения

$$T_{m,z,e} = (T_0' - T_{bf})\alpha_{m,z,e} + (T_0 - T_0')k_1 + T_{bf}, \qquad (7.4)$$

под краем сооружения

$$T_{m,z,e} = (T_0' - T_{bf})\alpha_{m,z,e} + (T_0 - T_0')(0{,}5\alpha_{m,z,e} + k_2) + T_{bf}, \qquad (7.5)$$

под углами сооружения

$$T_{m,z,e} = (T_0' - T_{bf})\alpha_{m,z,e} + (T_0 - T_0')(0,75\alpha_{m,z,e} + k_3) + T_{bf}, \quad (7.6)$$

для опор линий электропередачи, антенно-мачтовых сооружений и трубопроводов

$$T_{m,z,e} = (T_0 - T_{bf})\alpha_{m,z,e} k_{ts} + T_{bf}, \quad (7.7)$$

где T_0' – расчетная среднегодовая температура на верхней поверхности многолетнемерзлого грунта в основании сооружения, °С, определяемая согласно приложению Д;

T_{bf} – температура начала замерзания грунта, °С, определяемая согласно приложению Б;

T_0 – расчетная среднегодовая температура грунта, °С, определяемая согласно приложению Г;

α_m, α_z и α_e – коэффициенты сезонного изменения температуры грунтов основания, принимаемых по таблице 7.3 в зависимости от значения параметра $z\sqrt{c_f / \lambda_f}$, $с^{0,5}$ ($ч^{0,5}$),

где z – глубина от кровли многолетнемерзлого грунта, м;

C_f – объемная теплоемкость, Дж/ ($м^3$ · °С), определяемые согласно приложению Б;

λ_f – теплопроводность мерзлого грунта, Вт/($м^3$·°С), определяемые согласно приложению Б;

k_1, k_2 и k_3 – коэффициенты теплового влияния сооружения, принимаемые по таблице 7.4 в зависимости от отношений z/B и L/B, L и B – соответственно длина и ширина сооружения, м;

k_{ts} – коэффициент теплового влияния изменения поверхностных условий при возведении фундаментов линейных сооружений, принимаемый по таблице 7.5 в зависимости от вида и глубины заложения фундаментов z, м.

Таблица 7.3

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 (150)	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)	0,30 (0,40)	0,52 (0,67)	0,67 (0,85)	0,80 (0,95)	0,95 (1,01)	1,02 (1,03)	1,03 (1,03)	1,01 (1,01)	1,00 (1,00)
α_e	0 (0)	0,14 (0,21)	0,26 (0,38)	0,38 (0,51)	0,47 (0,61)	0,61 (0,68)	0,70 (0,74)	0,77 (0,78)	0,85 (0,85)	0,90 (0,88)

Таблица 7.4

Форма сооружения в плане	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	0,41 0,21	0,67 0,38	0,87 0,57	0,96 0,75	0,17 0,09	0,28 0,16	0,39 0,25	0,47 0,34	0,06 0,03	0,10 0,05	0,17 0,09	0,22 0,14
	2	0,33 0,17	0,56 0,31	0,80 0,50	0,93 0,68	0,15 0,08	0,26 0,14	0,37 0,23	0,45 0,32	0,04 0,02	0,08 0,04	0,14 0,08	0,20 0,12
	3	0,32 0,16	0,53 0,30	0,76 0,47	0,91 0,65	0,15 0,08	0,25 0,14	0,36 0,22	0,44 0,31	0,04 0,02	0,08 0,04	0,13 0,07	0,19 0,12
	≥ 5	0,29 0,14	0,50 0,27	0,71 0,44	0,84 0,62	0,15 0,07	0,25 0,14	0,35 0,22	0,42 0,30	0,03 0,02	0,07 0,04	0,12 0,07	0,18 0,11
Круглая	–	0,45 0,23	0,71 0,41	0,89 0,62	0,97 0,78	0,22 0,13	0,32 0,20	0,40 0,28	0,45 0,36	–	–	–	–

Примечания

1 В числителе указаны значения коэффициентов k для температур T_m и T_z, в знаменателе – для температуры T_e.

2 При $z/B = 0$ коэффициенты k_1, k_2 и k_3 следует принимать равными 0.

Таблица 7.5

Виды фундаментов	Коэффициент k_{ts} 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

7.2.8 Расчетные температуры многолетнемерзлых грунтов основания без учета теплового влияния сооружения определяются по формуле

$$T_{m,z,e} = (T_0 - T_{bf})\,\alpha_{m,z,e} + T_{bf}, \qquad (7.8)$$

где обозначения те же, что в формуле (7.4).

7.2.9 Расчетные температуры грунтов оснований фундаментов, охлаждаемых системой вентилируемых труб, каналов или полостей в фундаментах (6.3.3), следует определять из совместного теплотехнического расчета основания и системы охлаждения, исходя из условия

$$T_0' \le T_0, \qquad (7.9)$$

где T_0 – расчетная среднегодовая температура на верхней поверхности многолетнемерзлого грунта в основании сооружения, отвечающая проектному положению границы сезонного оттаивания грунтов, включая грунты подсыпки.

При равномерном расположении охлаждающих труб или каналов под всей площадью сооружения расчетные температуры грунтов в его основании T_m, T_z и T_e допускается определять как для сооружений с холодным подпольем (7.2.7) при среднем по площади сооружения значении температуры T_0.

Расчетные температуры грунтов оснований фундаментов, при использовании термостабилизации грунтов допускается рассчитывать численными методами с учетом изменения температур при эксплуатации сооружения.

7.2.10 Несущая способность основания одиночной сваи F_u по результатам полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой определяется по формуле

$$F_u = \gamma_t k \frac{F_{u,n}}{\gamma_g}, \quad (7.10)$$

где k – коэффициент, учитывающий различие в условиях работы опытной и проектируемых свай и определяемый по формуле

$$k = F_{u,p}/F_{u,t}, \quad (7.11)$$

$F_{u,p}$ и $F_{u,t}$ – значение несущей способности соответственно проектируемой и опытной свай, рассчитанные по формуле (7.2) по значениям R и R_{af}, принимаемым по таблицам приложения В: для проектируемой сваи – при расчетных температурах грунта, устанавливаемых согласно указаниям 7.2.3 и 7.2.6, а для опытной сваи – при температурах, измеренных при испытании;

$F_{u,n}$ – нормативное значение предельно длительного сопротивления основания опытной сваи статической нагрузке, определяемое по данным испытания сваи в соответствии с ГОСТ 5686 с учетом требований ГОСТ 20522;

γ_g – коэффициент надежности по грунту, принимаемый равным 1,1.

7.2.11 Количественную оценку характеристик механических свойств и несущей способности оснований свай в многолетнемерзлых грунтах по данным статического зондирования проводят на основе эмпирических или полуэмпирических зависимостей (таблиц), устанавливаемых в результате корреляционно-регрессионного анализа данных параллельных испытаний грунтов прямыми методами, согласно ГОСТ 12248 и ГОСТ 5686, и методом статического зондирования.

7.2.12 Несущую способность основания столбчатого фундамента, нагруженного внецентренно сжимающей нагрузкой, допускается определять в соответствии с требованиями СП 22.13330. При этом эксцентриситеты приложения равнодействующей всех нагрузок на уровне подошвы фундамента следует определять с учетом смерзания грунта с боковой поверхностью нижней ступени фундамента по формулам

$$e_a = (M_a - M_{af})/F; \quad (7.12)$$

$$e_b = (M_b - M_{af})/F, \quad (7.13)$$

где e_a и e_b – соответственно эксцентриситеты приложения равнодействующей всех нагрузок относительно осей прямоугольной подошвы фундамента со сторонами a и b, м;

M_a и M_b – моменты внешних сил от расчетных нагрузок относительно тех же осей, кН·м;

F – расчетная вертикальная нагрузка, кН, от сооружения на основание, включая вес фундамента и грунта, лежащего на его уступах;

M_{af} – часть момента внешних сил, кН·м, воспринимаемая касательными силами смерзания многолетнемерзлого грунта с боковыми поверхностями нижней ступени фундамента высотой h_p и вычисляемая по формуле

$$M_{af} = \gamma_t \gamma_c R_{af} h_p a b, \quad (7.14)$$

где γ_t и γ_c – обозначения те же, что в формуле (7.2);

R_{af} – расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу, кПа, принимаемое по 7.2.3.

При эксцентриситете нагрузки относительно одной оси фундамента (e_b = 0) допускается M_{af}, кН·м, определять по формуле

$$M_{af} = \gamma_t \gamma_c R_{af} h_p a(b + 0{,}5a), \quad (7.15)$$

где a – сторона подошвы фундамента, параллельная плоскости действия момента, м.

7.2.13 Расчет свайных фундаментов на действие горизонтальных нагрузок (сил и/или моментов) и воздействий (температурного расширения ростверка и пр.), следует производить с учетом инженерно-геокриологических условий из условия совместной работы свай и грунтового основания с использованием апробированных геотехнических программ. Расчетная схема должна отвечать требованиям 7.1.2 СП 24.13330. Методика расчета должна учитывать влияние продольной силы на изгиб, а также поперечных сил и деформаций на продольное сжатие ствола сваи.

Взаимодействие сваи с грунтом (по боковой поверхности и нижнему торцу) допускается учитывать с помощью нелинейных контактных элементов (контактной модели). При малых (упругих, линейных) деформациях жесткость контактного элемента должна соответствовать стандартным деформационным характеристикам грунта (модуль деформаций, коэффициент Пуассона). Прочность и пластические деформации грунта (контактных элементов у боковой поверхности сваи и под ее нижним торцом) следует рассчитывать с применением условия предельного равновесия Кулона–Мора. При расчете свайных групп характеристики контактных элементов следует определять с учетом взаимовлияния между сваями через грунт.

Для расчетов свайных фундаментов сооружений II уровня ответственности допускается применение линейных контактных элементов при условии проведения расчета по приложению Г СП 24.13330 с учетом инженерно-геокриологических условий согласно приложению Ж.

7.2.14 Расчет фундаментов, воспринимающих значительные горизонтальные усилия, следует производить на плоский сдвиг в соответствии с требованиями СП 22.13330.

7.2.15 Расчет оснований по второй группе предельных состояний (по деформациям) производится исходя из условия

$$s_f \le s_u, \quad (7.16)$$

где s_f – деформация пластично-мерзлого основания под нагрузкой от сооружения, определяемая согласно указаниям 7.2.16 и 7.2.17;

s_u – предельно допустимая деформация основания сооружения за расчетный срок его эксплуатации, определяется согласно СП 22.13330.

7.2.16 Осадки оснований фундаментов, возводимых на пластично-мерзлых грунтах, следует определять:

а) для столбчатых фундаментов – в соответствии с указаниями СП 22.13330, применяя расчетную схему в виде линейно-деформируемого полупространства или линейно-деформируемого слоя конечной толщины с учетом указаний 7.2.17;

б) для одиночных свайных фундаментов – по данным полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой, а для кустов или групп свай – согласно указаниям СП 24.13330 с использованием расчетных схем, основанных на модели грунта как линейно-деформируемой среды.

Расчетные деформационные характеристики пластично-мерзлых грунтов (коэффициент сжимаемости δ_f или модуль деформации E_f) следует принимать по данным компрессионных испытаний в соответствии с ГОСТ 24586 при расчетной температуре грунта, устанавливаемой по формуле (7.8).

7.2.17 Осадки оснований, сложенных сильнольдистыми грунтами и подземными льдами, а также в случаях загружения фундаментов при температуре грунтов основания выше расчетных значений, принятых для установившегося эксплуатационного режима (7.2.5), следует определять с учетом изменения деформационных характеристик грунтов в зависимости от температуры и времени, а также развития пластических деформаций льда, согласно указаниям 8.8 и приложения И.

7.3 Расчет оснований и фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II

7.3.1 Расчет оснований и фундаментов по первой группе предельных состояний (по несущей способности) надлежит производить в соответствии с требованиями СП 22.13330, для свайных фундаментов – в соответствии с требованиями СП 24.13330, с учетом указаний 7.3.15–7.3.17.

Примечание – Расчетные сопротивления оттаявших или оттаивающих грунтов вдоль боковой поверхности свай, принимаемые по СП 24.13330, следует брать с понижающими коэффициентами, принимаемыми согласно примечанию 2 (7.2.2).

7.3.2 Расчет оснований по второй группе предельных состояний (по деформациям) следует производить, как правило, с учетом совместной работы основания и сооружения. Расчет оснований по деформациям без учета совместной работы основания и сооружения допускается выполнять в случаях, предусмотренных СП 22.13330, а также для выбора принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований и необходимых мероприятий для уменьшения деформаций основания.

7.3.3 Расчеты оттаивающих оснований по деформациям необходимо производить в пределах расчетной глубины оттаивания грунтов в основании сооружения за заданный срок его эксплуатации t_u с учетом развития зоны оттаивания во времени.

Расчетную глубину оттаивания грунтов в основании сооружения следует определять на основании расчета теплового взаимодействия сооружения с многолетнемерзлым грунтом с учетом формы, размеров и теплового режима сооружения, температуры и теплофизических свойств грунтов основания.

Для простых по форме сооружений с равномерной по площади температурой, в том числе для заглубленных сооружений, расчетную глубину оттаивания грунтов в их основании H допускается определять по приложению К.

7.3.4 Расчет оснований по деформациям без учета совместной работы оттаивающего основания и сооружения надлежит производить исходя из условия

$$s \le s_u, \tag{7.17}$$

где s – осадка основания фундаментов (совместная деформация основания и сооружения при оттаивании грунтов в процессе эксплуатации сооружения под воздействием собственного веса грунта и дополнительной нагрузки от сооружения в пределах расчетной глубины оттаивания H);

s_u – предельное значение осадки основания фундамента (совместной деформации основания и сооружения), устанавливаемое согласно СП 22.13330, а для мостов – СП 35.13330.

7.3.5 Расчет оснований и фундаментов по деформациям с учетом совместной работы основания и сооружения следует производить исходя из условия

$$F_f \le \frac{F_{fd}}{\gamma_c \gamma_n}, \tag{7.18}$$

где F_f – расчетные усилия, возникающие в элементах конструкций сооружения при неравномерных осадках оттаивающего основания;

F_{fd} – предельные значения сопротивления элементов конструкции сооружения, рассчитываемые по нормам проектирования соответствующих конструкций;

γ_c – коэффициент условий работы системы «основание–сооружение», принимаемый равным 1,25;

γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый равным 1,2, 0,95 и 0,9 соответственно для сооружений I, II и III уровней ответственности.

Расчет усилий в элементах фундаментных конструкций и реактивных давлений грунтов следует выполнять, как правило, численными методами на основании уравнений строительной механики с учетом зависимостей реактивных давлений от неравномерных осадок основания. При этом оттаивающее основание допускается рассматривать как линейно-деформируемый слой конечной толщины. Допускается применять другие расчетные схемы, в том числе с использованием вероятностных методов расчета, учитывающих статистическую неоднородность основания. При расчете оснований и фундаментов по деформациям среднее давление на основание под подошвой фундамента от основного сочетания нагрузок не должно превышать расчетного давления на основание R, определяемого в соответствии со СП 22.13330 по расчетным характеристикам оттаивающих грунтов.

7.3.6 Осадку оттаивающего в процессе эксплуатации сооружения основания следует определять по формуле

$$s = s_{th} + s_p, \tag{7.19}$$

где s_{th} – составляющая осадки основания, обусловленная действием собственного веса оттаивающего грунта, определяемая по указаниям 7.3.7;

s_p – составляющая осадки основания, обусловленная дополнительным давлением на грунт от действия веса сооружения, определяемая по указаниям 7.3.9.

7.3.7 Составляющую осадки основания s_{th}, м, надлежит определять по формуле

$$s_{th} = \sum_{i=1}^{n} (A_{th,i} + m_{th,i}\sigma_{zg,i})h_i, \tag{7.20}$$

где n – число выделенных при расчете слоев грунта;

$A_{th,i}$ и $m_{th,i}$ – коэффициент оттаивания, доли единицы, и коэффициент сжимаемости, кПа$^{-1}$, i-го слоя оттаивающего грунта, принимаемые по экспериментальным данным согласно указаниям 7.3.8;

$\sigma_{zg,i}$ – вертикальное напряжение от собственного веса грунта в середине i-го слоя грунта, кПа, определяемое расчетом для глубины z_i от уровня планировочных отметок с учетом взвешивающего действия воды;

h_i – толщина i-го слоя оттаивающего грунта, м.

Примечание – Взвешивающее действие воды при определении s_{th} следует учитывать для водопроницаемых грунтов, залегающих ниже расчетного уровня подземных вод, но выше водоупора.

7.3.8 Коэффициенты оттаивания A_{th} и сжимаемости оттаивающего грунта δ_{th} надлежит устанавливать, как правило, по результатам полевых испытаний мерзлых грунтов горячим штампом по методике ГОСТ 20276. Если значения A_{th} и m_{th} получены по данным лабораторных испытаний грунтов, то их расчетные значения при определении осадок оттаивающего основания следует умножать на поправочный коэффициент $k_i = 1 + \Delta i_i$, где Δi_i разность между суммарной льдистостью i-го слоя грунта и льдистостью испытанного образца, взятого из этого слоя. Допускается вводить поправки за неполное смыкание макропор и набухание оттаивающего грунта, если это подтверждено экспериментальными данными.

7.3.9 Составляющую осадки основания s_p, м, при расчетной схеме в виде линейно-деформируемого слоя конечной толщины следует определять по формуле

$$s_p = p_0 b k_h \sum_{i=1}^{n} m_{th,i} k_{\mu,i} (k_i - k_{i-1}), \qquad (7.21)$$

где p_0 – дополнительное вертикальное давление на основание под подошвой фундамента, кПа;

b – ширина подошвы фундамента, м;

k_h – безразмерный коэффициент, определяемый по таблице 7.6 в зависимости от отношения z/b, где z – расстояние от подошвы фундамента до нижней границы зоны оттаивания или кровли непросадочного при оттаивании грунта, м;

$m_{th,i}$ – коэффициент сжимаемости i-го слоя грунта, кПа$^{-1}$;

$k_{\mu,i}$ – коэффициент, определяемый по таблице 7.6 в зависимости от отношения z/b, где z – расстояние от подошвы фундамента до середины i-го слоя грунта, м;

k_i и k_{i-1} – коэффициенты, определяемые по таблице 7.7 в зависимости от отношений a/b, z_i/b и z_{i-1}/b, где z_i и z_{i-1} – расстояние от подошвы фундамента соответственно до подошвы и кровли i-го слоя грунта, м.

Примечание – Расчет развития осадок оттаивающего основания во времени следует производить по скорости протаивания грунтов под сооружением, определяемой теплотехническим расчетом.

Таблица 7.6

z/b	k_h	Коэффициент $k_{\mu,i}$ для грунтов			
		крупнообломочных	песчаных и супесей	суглинков	глин
0 – 0,25	1,35	1,35	1,35	1,36	1,55
0,25 – 0,5	1,25	1,33	1,35	1,42	1,79
0,5 – 1,5	1,15	1,31	1,35	1,45	1,96
1,5 – 3,5	1,10	1,29	1,35	1,52	2,15
3,5 – 5,0	1,05	1,29	1,35	1,53	2,22
5,0	1,00	1,28	1,35	1,54	2,28

Таблица 7.7

z/b	Коэффициент k при a/b						
	1	1,4	1,8	2,4	3,2	5	10
0	0	0	0	0	0	0	0
0,2	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,104
0,4	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,208
0,6	0,299	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,311
0,8	0,380	0,394	0,397	0,397	0,397	0,397	0,412
1,0	0,446	0,472	0,482	0,486	0,486	0,486	0,511
1,2	0,449	0,538	0,556	0,565	0,567	0,567	0,605
1,4	0,542	0,592	0,618	0,635	0,640	0,640	0,687
1,6	0,577	0,637	0,671	0,696	0,707	0,709	0,763
1,8	0,606	0,676	0,717	0,750	0,768	0,772	0,831
2,0	0,630	0,708	0,756	0,796	0,820	0,830	0,892
2,5	0,676	0,769	0,832	0,889	0,928	0,952	1,020
3,0	0,708	0,814	0,887	0,958	1,011	1,056	1,138
3,5	0,732	0,846	0,927	1,016	1,123	1,131	1,230
4,0	0,751	0,872	0,960	1,051	1,128	1,205	1,316
6,0	0,794	0,933	1,037	1,151	1,257	1,384	1,550
10,0	0,830	0,983	1,100	1,236	1,365	1,547	1,696
16,0	0,850	1,011	1,137	1,284	1,430	1,645	2,095
20,0	0,857	1,021	1,149	1,300	1,451	1,679	2,236

7.3.10 Осадку основания s при предварительном оттаивании или замене льдистых грунтов до глубины $h_{b,th}$ для уменьшения деформаций основания (6.4.2), а также в случаях, когда слой сезонного промерзания–оттаивания не сливается с многолетнемерзлым грунтом, следует определять по формуле

$$s = s_{p,th} + s_{ad}, \tag{7.22}$$

где $s_{p,th}$ – осадка уплотнения предварительно оттаянного, замененного или естественного немерзлого слоя грунта толщиной $h_{b,th}$ под воздействием веса сооружения, определяемая в соответствии со СП 22.13330;

s_{ad} – дополнительная осадка основания при оттаивании многолетнемерзлых грунтов в процессе эксплуатации сооружения, определяемая по формуле (7.20) для интервала глубин $d_{th} - h_{b,th}$, где d_{th} – расчетная глубина оттаивания грунта, считая от уровня планировки под зданием, устанавливаемая теплотехническим расчетом по приложению К.

Глубину предварительного оттаивания или замены грунтов основания $h_{b,th}$ следует устанавливать исходя из условия

$$s_{p,th} + s_{ad} \le s_u, \tag{7.23}$$

где s_u – предельно допустимая для данного сооружения осадка основания, принимаемая по 7.3.4.

7.3.11 Крен фундамента i на оттаивающем основании, вызванный внецентренными нагрузками, неравномерным оттаиванием и неоднородностью

грунтов, а также влиянием близко расположенных фундаментов, следует определять по формуле

$$i = (s_a - s_b)/b, \tag{7.24}$$

где s_a и s_b – осадка краев фундамента;

b – размер фундамента в направлении крена.

7.3.12 Расчет гибких ленточных фундаментов на оттаивающих в процессе эксплуатации сооружения грунтах надлежит производить с учетом переменной по длине фундамента осадки основания, обусловленной неравномерным оттаиванием грунтов под сооружением. При определении реактивных давлений оттаивающего грунта на подошву фундамента допускается рассматривать оттаивающий грунт как линейно-деформируемое основание, характеризуемое переменным по длине фундамента коэффициентом постели.

7.3.13 Осадку s свайных фундаментов из висячих свай, погруженных в предварительно оттаянные грунты, в том числе при их локальном оттаивании (6.4.3), следует определять как для условного фундамента, границы которого принимаются согласно СП 24.13330. При этом следует учитывать возможность проявления отрицательных (негативных) сил трения по периметру условного фундамента или по поверхности отдельных свай (7.3.16), а также воздействие горизонтальных усилий на фундаменты в периферийных частях зоны оттаивания.

7.3.14 Расчет свай-стоек по несущей способности при опирании их на скальные или другие малосжимаемые при оттаивании грунты следует производить исходя из условия

$$F \le \frac{F_u}{\gamma_k} - \gamma_p F_{neg}, \tag{7.25}$$

где F – расчетная нагрузка на сваю, кН;

F_u – несущая способность основания одиночной сваи, кН, определяемая по указаниям 7.3.15;

γ_k – коэффициент надежности, принимаемый в соответствии с указаниями СП 24.13330 в зависимости от вида сооружения, конструкции фундаментов и принятого способа определения несущей способности свай;

γ_p – коэффициент условий работы грунта по боковой поверхности свай в пределах зоны оттаивания, определяемый по опытным данным с учетом способов погружения свай; в запас надежности допускается принимать: γ_p = 1,1 – для забивных и бурозабивных; γ_p = 1 для буронабивных и буроопускных свай с цементно-песчаным заполнителем пазух и γ_p = 0,9 – для буроопускных свай с пылевато-глинистым заполнителем пазух;

F_{neg} – отрицательная (негативная) сила трения, кН, определяемая по указаниям 7.3.16.

7.3.15 Несущую способность основания сваи-стойки F_u, кН, следует определять по формулам для защемленных свай-стоек, заделанных в невыветрелый скальный (без слабых прослоек) грунт не менее чем на 0,5 м

$$F_u = (R_{c,n} A/\gamma_g)(1+0{,}4\, l_d/d_r); \tag{7.26}$$

для незащемленных свай-стоек

$$F_u = \frac{R_{c,n} A}{\gamma_g}, \qquad (7.27)$$

где $R_{c,n}$ – нормативное значение временного сопротивления грунта под нижним концом сваи одноосному сжатию в оттаявшем водонасыщенном состоянии, кПа;

A – площадь опирания сваи на грунт, м^2, принимаемая для незащемленных свай-стоек сплошного сечения или полых, нижний конец которых заполнен в пределах высоты трех диаметров бетоном, равной площади поперечного сечения брутто; для защемленных свай-стоек – площади поперечного сечения нижней части (забоя) скважины;

γ_g – коэффициент надежности по грунту, принимаемый: для незащемленных свай-стоек равным 1,0, для защемленных – 1,4;

l_d и d_r – соответственно глубина заделки сваи в скальный грунт и наибольшее поперечное сечение заделанной части сваи, м.

Значение фактора заглубления $1+0{,}4\,\frac{l_d}{d_r}$ принимается не более 3.

Для окончательных расчетов оснований сооружений, а также оснований, сложенных выветрелыми, размягчаемыми, со слабыми прослойками скальными грунтами, несущую способность сваи-стойки F_u следует принимать по результатам испытаний свай статической нагрузкой.

7.3.16 Отрицательная (негативная) сила трения оттаивающего грунта по боковой поверхности сваи

$$F_{neg} = u_p \sum_{i=1}^{n} f_{n,i} h_i, \qquad (7.28)$$

где u_p – периметр поперечного сечения сваи, м;

$f_{n,i}$ – отрицательное трение i-го слоя оттаивающего грунта по боковой поверхности сваи, кПа, определяемое по опытным данным; допускается принимать расчетные значения $f_{n,i}$ по СП 24.13330 ;

h_i – толщина i-го слоя оттаивающего грунта.

7.3.17. Расчет конструкций свайных фундаментов следует выполнять в соответствии с указаниями СП 24.13330 с учетом инженерно-геокриологических условий. Расчет свай по прочности и деформациям материала может выполнятся по рекомендациям приложения Ж, с учетом отрицательных (негативных) сил трения оттаивающего грунта по боковой поверхности сваи F_{neg}, определяемых по 7.3.16 и усилий в сваях от горизонтальных нагрузок и воздействий, определенных согласно 7.2.13.

7.4 Расчет оснований и фундаментов по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения

7.4.1 Расчет оснований и фундаментов по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения грунтов следует производить как для условий эксплуатации сооружения, так и для условий периода строительства, если до передачи на фундаменты проектных нагрузок возможно промерзание грунтов слоя сезонного оттаивания (промерзания), при несливающейся мерзлоте – талого слоя со стороны

многолетнемерзлых грунтов. При необходимости в проекте должны быть предусмотрены мероприятия по предотвращению выпучивания фундаментов в период строительства.

7.4.2 Устойчивость фундаментов на действие касательных сил морозного пучения грунтов надлежит проверять по ГОСТ 27217 или условию

$$\tau_{fh} A_{fh} - F \le \frac{\gamma_c}{\gamma_n} F_r, \qquad (7.29)$$

где τ_{fh} – расчетная удельная касательная сила пучения, кПа, принимаемая согласно указаниям 7.4.3;

A_{fh} – площадь боковой поверхности смерзания фундамента в пределах расчетной глубины сезонного промерзания–оттаивания грунта, м^2;

F – расчетная нагрузка на фундамент, кН, принимаемая с коэффициентом 0,9 по наиболее невыгодному сочетанию нагрузок и воздействий, включая выдергивающие (ветровые, крановые и т. п.);

F_r – расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН, принимаемое по указаниям 7.4.4;

γ_c – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0;

γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый равным 1,1, а для фундаментов опор мостов – 1,3.

7.4.3 Расчетную удельную касательную силу морозного пучения τ_{fh}, кПа, следует определять, как правило, опытным путем. Для сооружений II и III уровней ответственности значения τ_{fh} допускается принимать по таблице 7.8 в зависимости от состава, влажности и глубины сезонного промерзания и оттаивания грунтов d_{fh}.

Таблица 7.8

Грунты и степень водонасыщения	Значения τ_{fh}, кПа, при глубине сезонного промерзания – оттаивания d_{fh}, м		
	1,0	2,0	3,0
Глинистые при показателе текучести $I_L > 0,5$, пески мелкие и пылеватые при степени влажности $S_r > 0,95$	130	110	90
Глинистые при $0,25 < I_L \le 0,5$, пески мелкие и пылеватые при $0,8 < S_r \le 0,95$, крупнообломочные с заполнителем (глинистым, мелкопесчаным и пылеватым) свыше 30 %	100	90	70
Глинистые при $I_L \le 0,25$, пески мелкие и пылеватые при $0,6 < S_r \le 0,8$, а также крупнообломочные с заполнителем (глинистым, мелкопесчаным и пылеватым) от 10 до 30 %	80	70	50

Примечания

1 Приведенные в таблице значения τ_{fh} относятся к поверхности бетонного фундамента. Для фундаментов из других материалов табличные значения τ_{fh} должны умножаться на коэффициент γ_{af}, значения которого даны в приложении В.

2 Для поверхностей фундаментов, покрытых специальными составами, уменьшающими силы смерзания, а также при применении других противопучинных мероприятий, значение τ_{fh} следует принимать на основании опытных данных.

7.4.4 Расчетное значение силы F_r, кН, удерживающей фундаменты от выпучивания, следует определять по формулам:
при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I

$$F_r = u\sum_{i=1}^{n} R_{af,i}h_i\,; \tag{7.30}$$

при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II

$$F_r = u\sum_{i=1}^{n} f_i h_i\,, \tag{7.31}$$

где u – периметр сечения поверхности сдвига, м, принимаемый равным: для свайных и столбчатых фундаментов без анкерной плиты – периметру сечения фундамента; для столбчатых фундаментов с анкерной плитой – периметру анкерной плиты;

$R_{af,i}$ – расчетное сопротивление i-го слоя многолетнемерзлого грунта сдвигу по поверхности смерзания, кПа, принимаемое по испытаниям и таблицам приложения В;

h_i – толщина i-го слоя мерзлого или талого грунта, расположенного ниже подошвы слоя сезонного промерзания–оттаивания, м;

f_i – расчетное сопротивление i-го слоя талого грунта сдвигу по поверхности фундамента, кПа, принимаемое в соответствии с требованиями СП 24.13330, с учетом примечания к 7.3.1.

7.4.5 Заанкеренный столбчатый фундамент должен быть проверен на отрыв силами морозного пучения стойки фундамента от анкерной плиты. Усиление F_{fh}, кН, разрывающее заанкеренный фундамент, определяется по формуле

$$F_{fh} = \tau_{fh}A_{fh} - F, \tag{7.32}$$

где A_{fh} – площадь боковой поверхности стойки фундамента, находящейся в пределах слоя сезонного промерзания – оттаивания грунта, м^2.

7.4.6 Поверхностные, малозаглубленные фундаменты и свайные ростверки, закладываемые в слое сезонного промерзания – оттаивания грунтов, следует рассчитывать по устойчивости на действие нормальных сил морозного пучения и по деформациям.

Устойчивость фундаментов на действие нормальных сил морозного пучения проверяется по формуле

$$p_{fh}A_f \le \frac{\gamma_c}{\gamma_n}F\,, \tag{7.33}$$

где p_{fh} – удельное нормальное давление пучения грунта на подошву фундамента и ростверка, кПа, устанавливаемое по опытным данным;

A_f – площадь подошвы фундамента и ростверка, м^2.

Остальные обозначения те же, что в формуле (7.29).

Расчет по деформациям следует производить с учетом совместной работы сооружения и неравномерно выпучиваемого основания. Пучинистость грунта следует определять по ГОСТ 28622. При этом, возникающие в результате неравномерных поднятий и опусканий фундаментов дополнительные усилия в конструкциях

сооружения не должны превышать предельно допустимых значений, а крены и прогибы не препятствовать нормальной эксплуатации сооружения.

8 Особенности проектирования оснований и фундаментов на сильнольдистых многолетнемерзлых грунтах и подземных льдах

8.1 При проектировании оснований и фундаментов на сильнольдистых многолетнемерзлых грунтах и подземных льдах следует предусматривать использование таких грунтов в качестве основания, как правило, по принципу I. В случаях необходимости использования сильнольдистых грунтов по принципу II должны обязательно предусматриваться мероприятия по их предварительному оттаиванию или замене льдистых грунтов на непросадочные на расчетную глубину согласно 6.1.6 и 7.3.10.

8.2 Для предотвращения деформаций поверхности планировки у сооружений и развития термокарста вследствие оттаивания подземных льдов или сильнольдистых грунтов, залегающих на небольшой глубине от поверхности, необходимо предусматривать устройство теплоизоляционной подсыпки и (или) теплозащитных экранов в пределах всей застраиваемой площадки. Толщина подсыпки h_s, а также параметры теплозащитных экранов определяются прогнозным теплотехническим расчетом из условия сохранения природного температурного состояния грунтов и положения верхней поверхности многолетнемерзлого грунта или ее повышения. Для сплошных подсыпок значение h_s, м, допускается определять по формуле

$$h_s = d_{ths,n}\left(1{,}2 - \frac{d'_{th}}{d_{th,n}}\right), \qquad (8.1)$$

где $d_{th,n}$ и $d_{ths,n}$ – нормативные глубины сезонного оттаивания соответственно природного грунта и грунта подсыпки, м, определяемые согласно приложению Г;

d'_{th} – допустимая глубина сезонного оттаивания природного грунта под подсыпкой, м.

Требования к материалу подсыпок, способам их укладки и уплотнения устанавливаются в проекте с учетом местных условий и 6.3.14 и 7.5.4.

8.3 Основания фундаментов, закладываемых в пределах толщины подсыпки, следует рассчитывать по несущей способности и деформациям в соответствии с требованиями СП 22.13330. При отсутствии мероприятий по укреплению откоса подсыпки, расстояние от цоколя сооружения до бровки подсыпки должно быть не менее 3 м, а крутизна откосов подсыпки не более 1:1,5 для крупнообломочных грунтов, 1:1,75 – для песков и 1:2 – для прочих материалов.

Если столбчатые или ленточные фундаменты устанавливаются на многолетнемерзлые грунты, содержащие подземные льды, между их подошвой и слоем подземного льда должна быть прослойка природного грунта, искусственно уложенная с уплотнением грунтовая подушка и (или) несущий теплозащитный экран. Толщину прослойки (подушки) следует принимать исходя из расчета основания по деформации, но не менее четверти ширины подошвы фундамента. Параметры теплозащитного экрана определяются теплотехническим расчетом с учетом теплопередачи от здания к грунту основания по фундаменту.

8.4 При устройстве свайных фундаментов на участках с сильнольдистыми грунтами и подземными льдами следует применять буроопускные сваи с заливкой известково-песчаных или цементно-песчаных растворов с расстоянием в осях не менее двух диаметров скважины. Сваи не должны опираться на прослои льда, а под их торцом следует устраивать уплотненную грунтовую подушку толщиной не менее диаметра сваи. Оттаивание грунта вокруг сваи и под ее нижним торцом не допускаются.

8.5 Расчет оснований по несущей способности следует проводить с учетом изменения температур в течение эксплуатации:

для столбчатых фундаментов на сильнольдистых грунтах и подземных льдах – по 8.7;

для свайных фундаментов в сильнольдистых грунтах – по 8.9, а в подземных льдах – по данным полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой.

8.6 Расчет оснований по деформациям следует производить:

для столбчатых фундаментов на сильнольдистых грунтах и подземных льдах – по указаниям 8.8;

для свайных фундаментов в сильнольдистых грунтах и подземных льдах – по данным полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой.

8.7 Силу предельного сопротивления (несущую способность) основания столбчатого фундамента на сильнольдистых грунтах и подземных льдах следует определять по 7.2.2, при этом значения R и R_{af} допускается принимать по таблицам В.2 и В.3.

8.8 Осадку основания столбчатого фундамента на сильнольдистых грунтах и подземных льдах s следует определять по формуле

$$s = s_p + s_t, \tag{8.2}$$

где s_p – осадка, обусловленная уплотнением основания под нагрузкой, определяемая по И.1;

s_t – осадка, обусловленная пластично-вязким течением грунта за заданный срок эксплуатации сооружения, определяемая по формуле

$$s_t = t_u v, \tag{8.3}$$

здесь t_u – заданный срок эксплуатации здания (сооружения), год;

v – скорость осадки, м/год, определяемая исходя из модели линейно- или нелинейновязкого полупространства; допускается определять по приложению И.

8.9 Несущую способность основания свайного фундамента F_u в сильнольдистых грунтах следует определять, как правило, по данным полевых испытаний свай. Допускается определять несущую способность сваи расчетом в соответствии с 7.2.2 и 7.2.3 по наименьшему значению F_u, полученному по условиям ее сопротивления сдвигу по грунтовому раствору и сдвигу грунтового раствора по контакту с льдистым грунтом. В последнем случае значение F_u, кН, следует рассчитывать по формуле

$$F_u = \gamma_t \gamma_c \left\{ R A_w + \sum_{j=1}^{n} \left[\left(1 - i_{i,j}\right) R_{sh,j} + i_{i,j} R_{sh,i,j} \right] A_{sh,j} \right\}, \tag{8.4}$$

где γ_t и γ_c – обозначения те же, что и в формуле (7.2);

R – расчетное сопротивление сильнольдистого грунта или льда под нижним концом сваи, кПа, определяемое для сильнольдистых грунтов

интерполяцией между значениями R по таблицам В.1 и В.7, а для льдов – по таблице В.7;

A_w – площадь поперечного сечения скважины, м^2;

$i_{i,j}$ – льдистость за счет ледяных включений j-го слоя грунта;

$R_{sh,j}$; $R_{sh,i,j}$ – расчетные сопротивления сдвигу грунтового раствора по многолетнемерзлому грунту и грунтового раствора по льду для середины j-го слоя, кПа, принимаемые соответственно по таблицам В.4 и В.7;

$A_{sh,j}$ – площадь поверхности сдвига в j-м слое, определяемая в зависимости от диаметра скважины, м^2.

Если прочность смерзания грунтового раствора с поверхностью сваи $R_{af} < R_{sh}$, то расчет несущей способности сваи F_u по формуле (8.4) следует производить при значениях $R_{sh} = R_{af}$, принимая площадь поверхности сдвига в j-м слое грунта $A_{sh,j}$ равной площади поверхности сваи в этом слое.

Примечание – В случаях, когда под торцом сваи предусматривается устройство грунтовой подушки, то значение R в формуле (8.4) принимается для грунта подушки. При этом предельная нагрузка на торец сваи определяется по формуле (8.4), как для сваи, диаметр которой равен диаметру скважины, а длина – толщине подушки.

9 Особенности проектирования оснований и фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах

9.1 Для проектирования фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах материалы изысканий должны содержать данные об условиях залегания засоленных грунтов, степени их засоленности, а также о химическом составе водно-растворимых солей.

Засоленные многолетнемерзлые грунты могут использоваться в качестве основания сооружений как по принципу I, так и по принципу II. При этом должно учитываться повышенное коррозийное воздействие засоленных грунтов на материал фундаментов.

Примечание – Пылеватые грунты морского побережья Севера с преобладанием солей натрий-калиевого состава должны относиться к засоленным при содержании в них растворимых солей от 0,05 % и выше.

9.2 Основания и фундаменты на засоленных многолетнемерзлых грунтах при использовании таких грунтов в качестве основания по принципу I следует проектировать согласно 6.3.1–6.3.14 с учетом следующих особенностей:

а) температура начала замерзания засоленных грунтов T_{bf} ниже температуры замерзания аналогичных видов незасоленных грунтов и ее следует устанавливать опытным путем с учетом указаний приложения Б;

б) переход засоленных грунтов из пластично-мерзлого в твердомерзлое состояние происходит при более низких температурах, чем аналогичных незасоленных грунтов, и должен приниматься по данным опытного определения коэффициента их сжимаемости δ_f с учетом указаний 5.3;

в) засоленные мерзлые грунты отличаются пониженной прочностью и малыми значениями сопротивлений сдвигу по поверхности смерзания с фундаментом;

г) на участках с засоленными грунтами может быть несколько засоленных горизонтов с разной степенью засоленности, а также могут встречаться отдельные слои или линзы насыщенных сильно минерализованными водами грунтов, находящихся в немерзлом состоянии при отрицательной температуре (криопеги), вскрытие которых

скважинами при погружении свай приводит к повышенному засолению грунтов по всей длине сваи.

9.3 При строительстве на засоленных грунтах следует применять фундаменты, обеспечивающие наиболее полное использование сопротивление мерзлых грунтов нормальному давлению (плитные, столбчатые и ленточные фундаменты, сваи с уширенной пятой и др.). При буроопускном способе погружения свай скважины должны быть диаметром не менее чем на 10 см большим поперечного сечения сваи и заполняться, как правило, известково-песчаным или цементно-песчаным раствором. Под нижним концом сваи следует устраивать уплотненную подушку из щебня.

9.4 Несущую способность оснований столбчатых и свайных фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах при использовании их по принципу I следует определять согласно 7.2.2–7.2.3. При этом расчетные значения сопротивления грунтов нормальному давлению и сдвигу по поверхности смерзания R и R_{af} надлежит принимать, как правило, по опытным данным. Для сооружений III уровня ответственности, а также при привязке типовых проектов к местным условиям, значения R и R_{af} допускается принимать по таблицам В.5 и В.6.

9.5 При расчетах несущей способности оснований буроопускных свай засоленность грунтового раствора и сопротивления сдвигу по поверхности сваи R_{af} следует принимать по засоленности и значениям R_{af} прилегающего природного грунта. Если несущая способность буроопускных свай определена по результатам полевых испытаний, то расчетную несущую способность таких свай следует принимать с понижающим коэффициентом, учитывающим изменение температурного состояния и степени засоленности грунтового раствора в процессе эксплуатации сооружения, устанавливаемым по опыту местного строительства или по данным специальных исследований.

Примечание – Для опускных и буроопускных свай расчетные значения R_{af} допускается принимать при средневзвешенном значении засоленности грунтов по длине сваи.

9.6 Расчет оснований и фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах по деформациям следует производить согласно 7.2.15, 7.2.16, как на пластично-мерзлых грунтах.

9.7 При расчетных деформациях оснований, сложенных мерзлыми засоленными грунтами, больше предельных или недостаточной несущей способности основания следует предусматривать частичную или полную замену засоленных грунтов на незасоленные, дополнительное понижение температуры грунтов, прорезку засоленных слоев грунта глубокими фундаментами, устройство фундаментов на подсыпках, распределяющих нагрузки на мерзлые грунты оснований, и другие мероприятия, а в необходимых случаях осуществлять строительство с использованием засоленных многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по принципу II.

9.8 Основания и фундаменты на засоленных многолетнемерзлых грунтах при использовании их в качестве оснований сооружений по принципу II следует проектировать в соответствии с 6.4.1–6.4.7 и требованиями СП 22.13330, СП 24.13330 и СП 28.13330.

10 Особенности проектирования оснований и фундаментов на заторфованных многолетнемерзлых грунтах

10.1 Основания и фундаменты на заторфованных многолетнемерзлых грунтах и торфах, а также на грунтах с примесью органических остатков надлежит проектировать в соответствии с указаниями раздела 7 и требованиями СП 22.13330 с учетом их большой сжимаемости под нагрузкой, проявлением пластических деформаций в широком диапазоне отрицательных температур, пониженной прочностью смерзания с фундаментами, низкой теплопроводностью и замедленной стабилизацией осадок при оттаивании.

10.2 При использовании заторфованных грунтов в качестве оснований по принципу I следует применять плитные, столбчатые и свайные фундаменты, а также малозаглубленные и поверхностные фундаменты на подсыпках. Сваи следует погружать, как правило, буроопускным способом в скважины диаметром на 10 см большим поперечного сечения сваи с заполнением пазух цементно-песчаным раствором или другим раствором по проекту; опирание свай на прослои торфа не допускается. Под подошвой плитных и столбчатых фундаментов следует устраивать песчаную подушку толщиной не менее: для плитных фундаментов – 0,3 м, для столбчатых – половины ширины подошвы фундамента. При небольшой толщине покровного торфяного слоя следует предусматривать его удаление.

10.3. Расчет несущей способности оснований столбчатых и свайных фундаментов на заторфованных грунтах при их использовании по принципу I производится согласно 7.2.2–7.2.3. При этом расчетные значения сопротивления этих грунтов нормальному давлению и сдвигу по поверхности смерзания с фундаментом R и R_{af} следует принимать, как правило, по опытным данным. Для сооружений III уровня ответственности, а также для предварительных расчетов оснований значения R и R_{af} допускается принимать по таблице В.8.

Основания фундаментов, возводимых на подсыпках, следует рассчитывать по несущей способности грунтов подсыпки с проверкой силы предельного сопротивления основания на уровне поверхности природных заторфованных грунтов с учетом расчетной глубины сезонного оттаивания. Если расчетная глубина оттаивания больше толщины подсыпки, то основание должно быть также рассчитано по деформациям.

10.4 Расчет оснований, сложенных биогенными грунтами, по деформациям надлежит производить: столбчатых – по 7.2.15, 7.2.16; свайных – по результатам полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой.

10.5 Основания и фундаменты на заторфованных грунтах при использовании таких грунтов в качестве оснований по принципу II необходимо проектировать в соответствии с 6.4.1–6.4.5 и требованиями СП 22.13330 и СП 24.13330.

11 Особенности проектирования оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах в сейсмических районах

11.1 Основания и фундаменты сооружений, возводимых на многолетнемерзлых грунтах на площадках с расчетной сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов следует проектировать с учетом требований СП 14.13330, СП 22.13330, СП 24.13330, СП 35.13330 и требований настоящих норм.

11.2 Для сейсмических районов с расчетной сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов следует предусматривать использование многолетнемерзлых грунтов в качестве основания, как правило, по принципу I. При невозможности использования грунтов в качестве основания по принципу I допускается использование их по принципу II при условии опирания фундаментов на скальные или другие малосжимаемые при оттаивании грунты или на предварительно оттаянные и уплотненные грунты.

11.3 В сейсмических районах следует применять те же виды свай, что и в несейсмических районах, кроме свай без поперечного армирования. Глубина погружения свай в грунт (исключая сваи-стойки) должна быть не менее 4 м.

11.4 Расчет оснований и фундаментов по несущей способности на вертикальную нагрузку с учетом сейсмических воздействий следует производить согласно 7.2.1, при этом силу предельного сопротивления основания надлежит определять с учетом 11.5, 11.6, а коэффициент надежности γ_n принимать:

при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу I – по 7.2.1;

при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу II – для фундаментов на естественном основании – $\gamma_n = 1{,}5$, а для свайных – по требованиям СП 24.13330.

11.5 Несущую способность вертикально нагруженной висячей сваи F_u, а также столбчатого фундамента при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу I, с учетом сейсмических воздействий следует определять согласно 7.2.2; при этом расчетное сопротивление грунта или грунтового раствора сдвигу по поверхности смерзания с фундаментом R_{af} и расчетное давление мерзлого грунта под нижним концом сваи или подошвой столбчатого фундамента R надлежит умножать на коэффициент условий работы основания γ_{eq}, принимаемый по таблице 11.1.

Таблица 11.1

Расчетная сейсмичность в баллах	Коэффициент условий работы γ_{eq} для грунтов		
	твердомерзлых	пластично-мерзлых	сыпучемерзлых
7	1,0	0,9	0,95
8	1,0	0,8	0,9
9	1,0	0,7	0,8
Примечание – При опирании свай-стоек на скальные или несжимаемые крупноблочные грунты значение коэффициента γ_{ed} принимается равным 1,0.			

Для свай в пластично-мерзлых грунтах значение R_{af} следует принимать равным нулю в пределах от верхней границы многолетнемерзлых грунтов до расчетной глубины h_d, м, определяемой по формуле

$$h_d = \frac{3}{\alpha_\varepsilon}, \qquad (11.1)$$

где α_ε – коэффициент деформации системы «свая–грунт», определяемый по результатам испытаний в соответствии с 11.6.

11.6 Расчет свай по прочности материала на совместное действие расчетных усилий (продольной силы, изгибающего момента и поперечной силы) при использовании многолетнемерзлых оснований по принципу I следует производить в

зависимости от расчетных значений сейсмических нагрузок в соответствии с требованиями СП 24.13330 с учетом 7.2.13. При этом для свай в пластично-мерзлых грунтах коэффициент деформации системы «свая–грунт» α_ε м$^{-1}$, следует определять по результатам испытаний свай статической горизонтальной нагрузкой по формуле

$$\alpha_\varepsilon = 1{,}34\sqrt{\frac{F_h}{u_0 E_b I}}, \qquad (11.2)$$

где F_h – горизонтальная нагрузка, кН, принимаемая равной $0{,}7F_{h,u}$;

здесь $F_{h,u}$ – горизонтальная предельная нагрузка, кН, в уровне поверхности грунта, при которой перемещение испытуемой сваи начинает возрастать без увеличения нагрузки;

u_0 – горизонтальное перемещение сваи в уровне поверхности грунта, м, определяемое по графику зависимости горизонтальных перемещений от нагрузки при условной стабилизации перемещений, если расчет ведется на статические нагрузки, и без условной стабилизации перемещений, если расчет ведется на сейсмические воздействия;

E_b – модуль упругости материала свай, кПа;

I – момент инерции сечения сваи, м^4.

11.7 Проверку основания столбчатого фундамента на горизонтальную и внецентренно сжимающую нагрузки с учетом сейсмических воздействий при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу I следует производить на опрокидывание и сдвиг по подошве фундамента с учетом 7.2.12.

При действии сейсмических нагрузок, создающих моменты сил в обоих направлениях подошвы фундамента, расчет основания надлежит производить раздельно на действие сил и моментов в каждом направлении независимо друг от друга.

11.8 Расчет оснований и фундаментов с учетом сейсмических воздействий при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II необходимо производить в соответствии с СП 22.13330, СП 24.13330 и 7.3.1–7.3.15 по расчету оттаивающих оснований. При этом отрицательные (негативные) силы трения, вызванные осадкой оттаивающих грунтов, в расчетах оснований на сейсмические воздействия не учитываются, если оттаивающее основание сложено песчаными и крупнообломочными грунтами, осадки которых завершаются в процессе их оттаивания.

12 Особенности проектирования оснований и фундаментов мостов и труб под насыпями

12.1 Основания и фундаменты мостов и труб под насыпями (труб), возводимых на территориях распространения многолетнемерзлых грунтов, следует проектировать с учетом дополнительных требований, содержащихся в настоящем разделе. Требования по проектированию приведены в [4].

12.2 В проектах фундаментов мостов и труб необходимо дополнительно (по сравнению с фундаментами зданий) учитывать влияние следующих факторов:

воздействие на сооружения, кроме вертикальных, значительных горизонтальных сил от временных подвижных нагрузок, давлений грунта и льда;

уменьшение несущей способности оснований вследствие размывов дна водотока или отепляющего воздействия воды на многолетнемерзлые грунты;

возрастание сил морозного пучения грунтов из-за повышенной их влажности вблизи водотоков и уменьшение этих сил при увеличении толщины снегового покрова;

нарушение устойчивости береговых склонов вследствие проявления оползневых процессов;

появление наледи в пределах сооружений.

12.3 Нагрузки и воздействия на фундаменты мостов и труб следует принимать в соответствии с требованиями СП 35.13330.

12.4 В основаниях фундаментов мостов многолетнемерзлые грунты следует использовать преимущественно по принципу I, если на уровне низа свайных элементов (свай-столбов, свай-оболочек) в течение всего периода эксплуатации сооружений грунты будут находиться в твердомерзлом состоянии. Допускается использовать по принципу I пластично-мерзлые грунты, включая засоленные, при условии, что в течение всего периода эксплуатации сооружений будет обеспечена их отрицательная температура, требуемая по расчету несущей способности оснований.

Возможность использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по принципу II для фундаментов мелкого заложения и свайных должна определяться исходя из общих требований 6.1.3, 6.1.4 и 6.1.6.

12.5 Прогноз изменений температурного режима многолетнемерзлых грунтов, используемых в качестве оснований по принципу I, осуществление в случае необходимости специальных мероприятий по обеспечению мерзлого состояния грунтов и контроль их температуры в течение всего периода эксплуатации сооружений следует выполнять численными методами и (или) по указаниям ведомственных строительных норм.

12.6 СОУ и теплозащитные экраны необходимо применять в случаях практической невозможности или недостаточной эффективности других решений для поддержания на весь период эксплуатации сооружений температуры грунтов, требуемой по расчету несущей способности оснований. Число СОУ следует принимать по расчету с повышающим коэффициентом 1,4.

12.7 Фундаменты мостов при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по принципам I и II следует проектировать, как правило, свайными с ростверком, расположенным над поверхностью грунта или воды. При этом надлежит предусматривать меры, исключающие возможность повреждения свай ледоходом, карчеходом или другими неблагоприятными воздействиями.

Фундаменты мелкого заложения (на естественном основании) допускается проектировать для мостов, возводимых, как правило, на используемых по принципу II многолетнемерзлых грунтах, если после полного оттаивания таких грунтов осадки и крены опор не будут превышать предельно допустимых значений по условиям нормальной эксплуатации сооружений.

Для труб следует предусматривать преимущественно фундаменты мелкого заложения независимо от вида грунтов и принципа их использования в качестве основания при условии, что суммарное значение осадки используемых по принципу II грунтов может быть компенсировано строительным подъемом лотка труб.

12.8 Многолетнемерзлые грунты в основании фундаментов малого моста или трубы и прилегающих участков насыпи, как правило, следует использовать по одному принципу, не допуская опирания их частично на мерзлые и частично на немерзлые или оттаивающие грунты.

12.9 В грунтах, подверженных морозному пучению, независимо от принятого принципа их использования в качестве основания подошву фундаментов мелкого

заложения для мостов и труб следует заглублять не менее чем на величину, указанную в таблице 5.3 СП 22.13330 при расположении уровня подземных вод на глубине $d_w \le d_f + 2$ м, а подошву расположенного в грунте ростверка свайных фундаментов – не менее чем на 0,25 м ниже расчетной глубины сезонного промерзания–оттаивания грунтов.

Если по требованиям глубина заложения фундаментов должна быть не менее расчетной глубины промерзания грунта, все фундаменты, за исключением фундаментов или грунтовых подушек для средних звеньев одноочковых труб отверстием до 2 м следует заглублять не менее чем на 0,25 м ниже расчетной глубины промерзания грунта. При этом за расчетную глубину промерзания принимается ее нормативное значение.

Фундаменты или грунтовые подушки средних звеньев одноочковых труб отверстием до 2 м допускается закладывать без учета глубины промерзания грунта.

В случаях, когда глубина заложения фундаментов не зависит от расчетной глубины промерзания грунта, соответствующие грунты, указанные в таблице 5.3 СП 22.13330, должны залегать не менее чем на 1 м ниже нормативной глубины промерзания грунта.

Подошву высокого ростверка свайных фундаментов мостов следует располагать с зазором от поверхности грунта не менее 0,5 м в устоях и 1 м – в промежуточных опорах.

Примечание – Глубину заложения фундаментов и грунтовых подушек под средние звенья труб диаметром 2 м и более следует назначать с учетом уменьшения глубины промерзания грунта в направлении к оси насыпи.

12.10 В неподверженных морозному пучению грунтах подошву ростверка свайных фундаментов или фундаментов мелкого заложения мостов и труб допускается располагать в пределах слоя сезонного промерзания–оттаивания при условии, что нижняя граница толщи таких грунтов залегает не менее чем на 1 м ниже расчетной глубины промерзания и, кроме того, в пределах зоны промерзания отсутствует вероятность образования линзы льда, в том числе и от напорных подземных вод.

12.11 Подошву фундаментов мелкого заложения и нижние концы свай не допускается опирать непосредственно на подземные льды, сильнольдистые грунты, а также на используемые по принципу II заторфованные многолетнемерзлые грунты.

12.12 Расчеты оснований фундаментов мостов и труб следует производить:

а) при использовании твердомерзлых грунтов по принципу I – по несущей способности;

б) при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II, а глинистых пластично-мерзлых и по принципу I – по несущей способности и по деформациям.

Допускается не определять осадки оснований фундаментов мостов:

а) всех систем и пролетов при опирании фундаментов на многолетнемерзлые грунты, используемые по принципу I, за исключением пластично-мерзлых глинистых грунтов;

б) внешне статически определимых систем железнодорожных мостов с пролетами до 55 м и автодорожных с пролетами до 105 м при опирании фундаментов на используемые по принципу II скальные и другие малосжимаемые при оттаивании грунты.

Расчеты оснований труб следует производить, как правило, по несущей способности. На сильносжимаемых при оттаивании грунтах, используемых по

принципу II, основания труб следует рассчитывать по несущей способности и по деформациям, включая определение их осадки.

12.13 Расчет основания свай для фундаментов опор мостов по несущей способности многолетнемерзлых грунтов, используемых по принципу I, следует производить согласно 7.2.1 и 7.2.2. При этом значение γ_n в формуле (7.1) следует принимать равным 1,4 независимо от числа свай в фундаменте и от положения подошвы ростверка по отношению к поверхности грунта. Значения коэффициентов γ_c и γ_t в формуле (7.2) допускается принимать равным 1,0.

Для кратковременной части нагрузок расчетные значения R и R_{af} исходя 7.2.3 допускается принимать с повышающим коэффициентом n_t, равным: для свайных фундаментов железнодорожных мостов 1,35 – при одновременном действии постоянных и временных вертикальных нагрузок; 1,5 – при действии постоянных и временных совместно с временными горизонтальными нагрузками (включая сейсмические нагрузки); для свайных фундаментов автодорожных мостов – соответственно 1,5 и 1,75.

Для железнодорожных мостов на станционных и подъездных путях, городских, а также других мостов, на которых возможны систематические остановки на неопределенное время поездов или автотранспорта, значение коэффициента γ_c в формуле (7.2) следует принимать равным 1,0.

12.14 Расчет оснований свайных фундаментов по несущей способности многолетнемерзлых грунтов, используемых по принципу II, следует производить в соответствии с требованиями СП 24.13330. При этом расчетное сопротивление оттаивающих грунтов под торцом свай следует принимать по СП 24.13330, как для буровых свай.

Расчет по несущей способности оснований фундаментов мелкого заложения на многолетнемерзлых грунтах, используемых по принципу II, надлежит производить по СП 35.13330.

12.15 Фундаменты береговых, переходных и промежуточных опор мостов на крутых склонах, а также фундаменты устоев при высоких насыпях в случаях расположения под несущим слоем пласта немерзлого или оттаивающего (в период эксплуатации моста) глинистого грунта или прослойки насыщенного водой песка, подстилаемого глинистым грунтом, необходимо рассчитывать по устойчивости против глубокого сдвига (смещения фундамента совместно с грунтом) по круглоцилиндрической или другой более опасной поверхности скольжения. Для указанных условий надлежит также проверять возможность появления местных оползневых сдвигов на ранее устойчивых склонах вследствие дополнительного их нагружения весом насыпи и опоры, нарушения устойчивости пластов грунта в процессе производства работ или изменения режима (уровня и скорости течения) подземных и поверхностных вод.

12.16 Фундаменты мостов, возводимых на многолетнемерзлых грунтах, используемых в качестве оснований по принципу II, следует рассчитывать для условий полного оттаивания грунтов основания независимо от их состояния (мерзлое или талое) в период строительства. Расчет по прочности и трещиностойкости свайных элементов следует производить на усилия в расчетных сечениях, возникающие как для мерзлого, так и оттаявшего состояния грунтов основания.

12.17 Свайные фундаменты надлежит рассчитывать на совместное действие вертикальных и горизонтальных сил и моментов, принимая перемещения фундаментов пропорциональными действующим усилиям. Независимо от принципа использования

грунтов в качестве основания, не следует учитывать сопротивление грунтов перемещениям заглубленного в грунт ростверка фундаментов. В расчетах, включающих определение свободной длины свай, оттаявшие и пластично-мерзлые грунты допускается рассматривать как линейно-деформируемую среду, характеризуемую коэффициентом постели, принимаемым как для немерзлых грунтов.

При использовании грунтов в качестве основания по принципу I в расчете допускается принимать, что каждый свайный элемент жестко заделан в твердомерзлом грунте на глубине d, считая от уровня, соответствующего расчетной (максимальной) температуре, при которой данный грунт переходит в твердомерзлое состояние; здесь d – диаметр или больший размер поперечного сечения элемента в направлении действия внешних нагрузок.

12.18 В сейсмических районах фундаменты мостов допускается проектировать на любых грунтах, используемых в качестве основания по принципу I. Если грунты используются по принципу II, то следует предусматривать опирание подошвы фундаментов или нижних концов свай преимущественно на скальные или другие малосжимаемые при оттаивании грунты. При учете сейсмических нагрузок расчет свайных фундаментов следует производить согласно 11.4–11.8.

13 Особенности проектирования оснований и фундаментов нефтегазопроводов на многолетнемерзлых грунтах

13.1 Основания и фундаменты магистральных газо- и нефтепроводов (далее магистральные трубопроводы) следует проектировать в соответствии с указаниями раздела 7 с учетом дополнительных требований, содержащихся в настоящем разделе, а также в СП 36.13330.

13.2 В техническом задании на проектирование оснований и фундаментов магистральных трубопроводов дополнительно должны содержаться сведения о пределах изменения температуры транспортируемого по трубопроводу продукта.

13.3 При проектировании оснований и фундаментов магистральных трубопроводов следует учитывать:

магистральные трубопроводы, в соответствии с ГОСТ Р 54257, имеют I уровень ответственности;

транспортируемый по трубопроводу продукт может иметь как положительную, так и отрицательную температуру, что существенно влияет на тепловое и механическое взаимодействие трубопровода и мерзлых грунтов;

в качестве оснований магистральных трубопроводов не рекомендуется рассматривать участки с подземными льдами, наледями и буграми пучения, проявлениями термокарста, термоэрозии, солифлюкции, морозобойного растрескивания;

опасность прямого теплового и гидравлического воздействий транспортируемых нефти и нефтепродуктов на мерзлые грунты при авариях на магистральных трубопроводах.

Примечание – Трубопроводы делят на: горячие участки (температура продукта в течение всего года положительная), теплые участки (температура продукта в течение года может быть и положительной и отрицательной, но среднегодовая температура выше 0 °С) и холодные участки (среднегодовая температура продукта ниже 0 °С). К первым относятся нефтепроводы на всем протяжении и газопроводы на небольшом протяжении после компрессорных станций, ко вторым и третьим – только газопроводы.

13.4 Прокладка трубопроводов в районах многолетнемерзлых грунтов может выполняться подземным (преимущественно в траншеях), наземным (по поверхности земли с обваловыванием или без него) или надземным (на опорах) способами. Следует избегать частого чередования различных способов прокладки на сравнительно коротких расстояниях.

13.5 Для уменьшения зоны оттаивания мерзлого грунта следует применять автоматически действующие охлаждающие установки (с жидкостным или парожидкостным хладоносителем) и теплоизолирующие экраны. Теплоизоляционные экраны для наземной прокладки следует выполнять плоскими, для подземной – цилиндрическими.

13.6 При проектировании оснований и фундаментов трубопроводов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов следует выполнять следующие расчеты:

расчет остывания транспортируемого по трубопроводу продукта с целью установления температуры по длине трубопровода, а также выявления его горячих, теплых и холодных участков (см. примечание к 13.3);

расчет глубины оттаивания и промерзания грунта в основании подземных и наземных трубопроводов;

расчеты по I и II группам предельных состояний с учетом процессов, происходящих в окружающем массиве грунта в результате устройства трубопровода (просадка и термокарст при оттаивании, пучение при промораживании).

13.7 Глубину оттаивания (промораживания) грунта следует определять численными методами, с учетом проектного срока эксплуатации трубопровода. Глубину оттаивания многолетнемерзлых грунтов под центром горячих и теплых подземных трубопроводов, а также глубину промерзания грунта под центром холодных трубопроводов, расположенных на участках с многолетнемерзлыми грунтами не сливающегося типа, допускается рассчитывать согласно указаниям приложения Н.

13.8 Расчетные нагрузки, воздействия и их сочетания при проектировании оснований и фундаментов магистральных трубопроводов в районах многолетнемерзлых грунтов следует принимать в соответствии с требованиями СП 20.13330 и СП 36.13330.

13.9 Для совместного расчета системы «основание (вмещающий массив) – трубопровод» могут использоваться аналитические или численные (метод конечных элементов, метод конечных разностей и др.) методы. При использовании численных методов расчетная модель «основание – трубопровод» должна адекватно отражать конструктивные особенности трубопровода, характеристики многолетнемерзлых грунтов и схемы их взаимодействия.

14 Особенности проектирования оснований и фундаментов на склонах

14.1 Проектирование оснований и фундаментов на склонах (откосах) в районах распространения многолетнемерзлых грунтов следует выполнять по первой группе предельных состояний в соответствии с указаниями СП 22.13330, с учетом снижения прочности мерзлых грунтов при увеличении температуры и длительности воздействия нагрузки, а также влияния геокриологических условий.

14.2 При проектировании оснований и фундаментов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов на склонах и присклоновой территории следует рассматривать термодинамическое равновесие системы «сооружение–основание–

склон» с учетом нормативных документов по инженерно-геологическим изысканиям для строительства (СП 47.13330), а также следующих факторов:

крутизна, высота, протяженность, ширина и экспозиция склона;

проявление глубинных и солифлюкционных оползаний и нарушение растительного покрова, наледеобразование, бугры пучения, термокарст, термоэрозия;

мощность слоя и характер распространения многолетнемерзлых грунтов (сплошное, прерывистое, островное), наличие жильного и пластового льда, таликов, криопэгов;

температура мерзлого грунта во времени по глубине и простиранию склона (изотермы) на стадии строительства, эксплуатации и ликвидации объектов;

особенности природных криогенных форм рельефа (каменные глетчеры, курумы и др.), а также формирования техногенных форм (отвалы, карьеры, котлованы, выемки, насыпи и др.);

геокриологические условия (текстура, влажность, льдистость физико–механические свойства мерзлых и оттаивающих грунтов), а также характер напластования пород;

наличие сооружений на склонах, имеющиеся деформации сооружений, а также мероприятия по противооползневой защите;

интенсивность и характер техногенной нагрузки, особенности теплового и силового воздействия на склон проектируемых сооружений по продолжительности, охвату территории, количественным значениям температуры, конструктивным особенностям сооружений.

Требования к инженерно-геологическим изысканиям приведены в [3].

14.3 Расчеты устойчивости склонов (откосов) и сооружений на них в районах распространения многолетнемерзлых грунтов, в отличие от талых грунтов, следует осуществлять с учетом температурного состояния грунтового массива. В зависимости от температурного состояния грунтового массива следует рассматривать два основных типа криогенных оползней: 1 – мерзлые; 2 – оттаивающие. Кроме того, существуют различные типы смешанных криогенных оползней.

14.4 Прогноз устойчивости склонов и сооружений на них необходимо осуществлять на основании выполнения прогнозных теплотехнических расчетов, схематизации природных условий и определения поверхностей скольжения в мерзлых породах, а также возможности возникновения и развития солифлюкции.

14.5 Расчет местной и общей устойчивости системы «сооружение–основание–склон», должен производиться методами, удовлетворяющими условиям равновесия в предельном состоянии, с использованием программ, разработанных на основе общепринятых методов расчета устойчивости. Допускается применять другие методы расчета, результаты которых проверены опытом проектирования, строительства и эксплуатации. Расчеты выполняются на основное и особое сочетание нагрузок.

14.6 Поверхность скольжения в массиве мерзлых однородных грунтов, в основном, определяется положением изотермы наиболее высокой отрицательной температуры грунта, а в массиве неоднородных грунтов – наименьшими предельно-длительными значениями сопротивления сдвигу мерзлого грунта. Поверхность скольжения оттаивающего грунта (на солифлюкционных склонах и откосах) следует за границей оттаивания, которая практически параллельна поверхности склона, мощность оползающего слоя равна глубине оттаивания, определяется при геокриологических изысканиях и уточняется теплотехническим расчетом.

В теплое время года в некоторых случаях одновременно могут развиваться солифлюкция и глубинный оползень мерзлого грунта, что следует учитывать в расчетах по несущей способности оснований и при назначении противооползневых мероприятий.

14.7 Сила предельного сопротивления основания, сложенного дисперсными грунтами должна определяться, исходя из условия, что соотношение между нормальными и касательными напряжениями по всем поверхностям скольжения, соответствующее предельному состоянию основания, подчиняется зависимости

$$\tau = \sigma \mathrm{tg}\varphi + c, \qquad (14.1)$$

где φ и c – расчетные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления. Для мерзлых грунтов определяются предельно-длительные значения угла внутреннего трения φ_L и удельного сцепления c_L при проведении испытаний на срез мерзлого грунта (ГОСТ 12248), для оттаивающих грунтов φ_{sh} и c_{sh} при проведении испытаний на неконсолидированный быстрый срез оттаивающего грунта по мерзлому слою в соответствии с ГОСТ 20276, ГОСТ 12248 и ГОСТ Р 53582.

14.8 Расчетные значения φ и c определяются по опытным данным. Для сооружений III уровня ответственности и предварительных расчетов устойчивости оснований допускается расчетные значения φ_L, c_L, φ_{sh} и c_{sh} принимать по таблицам В.13 и В.14.

Коэффициент надежности γ_n по ответственности сооружений принимается равным 1,2; 0,95 и 0,9 соответственно для сооружений I, II и III уровней ответственности (ГОСТ Р 54257).

Коэффициент условий работы γ_c принимается равным:

для мерзлых дисперсных грунтов 1,0;

для оттаивающих ..... 0,85.

14.9 При строительстве на склонах, сложенных многолетнемерзлыми грунтами, следует применять преимущественно принцип I использования многолетнемерзлых грунтов, при условии, что в течение всего периода эксплуатации будет обеспечена отрицательная температура, требуемая по расчету устойчивости склона и несущей способности оснований. Принцип II использования многолетнемерзлых грунтов допускается при строительстве на склонах, с учетом 6.1.3, 6.1.4 и 6.1.6.

14.10 При использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I следует выполнять прогноз температурного режима и, в случае необходимости, специальные мероприятия по обеспечению проектной температуры мерзлого грунта и обеспечивать контроль температуры в течение всего периода эксплуатации. Для сохранения и понижения температуры мерзлых грунтов следует применять следующие мероприятия: агролесомелиорация, устройство теплозащитных экранов, водоотвод и др.

14.11 Многолетнемерзлые грунты на склонах и присклоновой территории, как правило, следует использовать по одному принципу. При строительстве на склонах рекомендуется максимальное сохранение и даже улучшение экологической обстановки за счет применения проектных, организационно–технологических решений и мероприятий по предотвращению оползания и нарушения экологического равновесия, обусловленного опасными криогенными процессами (термокарст, пучение, наледеобразование).

14.12 На склонах скальных и полускальных пород расчеты устойчивости и проектирования фундаментов допускается выполнять в соответствии с требованиями СП 22.13330. Инженерная подготовка территории должна осуществляться согласно 6.5.

14.13 В качестве фундаментов сооружений на склонах в районах распространения многолетнемерзлых грунтов рекомендуется применять отдельно стоящие столбчатые фундаменты, сваи и ряды свай, прорезающие поверхность скольжения. Места расположения свай на склоне, количество, конструкция, размеры и расстояние между ними определяются на основании расчетов местной и общей устойчивости склонов и с учетом оползневого давления мерзлого грунта на сваи и нагрузок от сооружения.

14.14 В качестве инженерных сооружений, противодействующих оползанию мерзлых и оттаивающих грунтов, следует применять традиционные сооружения: контрфорсы, контрбанкеты, подпорные стены, ряды свай (СП 116.13330), расположение которых на склоне и между собой обосновывается расчетами из условия недопущения течения мерзлого и оттаивающего грунта между ними и не препятствующие фильтрации воды по склону. Места расположения и количество удерживающих сооружений на склоне обосновываются расчетами местной и общей устойчивости склона.

14.15 На склонах СОУ применяются в случаях практической невозможности или недостаточной эффективности других мероприятий для стабилизации склона и обеспечения на весь период эксплуатации температуры грунта, необходимой по расчету несущей способности основания.

14.16 Для солифлюкционных склонов в качестве оснований линейных сооружений (линий электропередачи, трубопроводов, эстакад) следует применять обтекаемые фундаменты в виде отдельных свай, рядов свай, работающих в условиях обтекания их оттаивающим грунтом при соблюдении принципа оптимального сохранения природных условий на склонах (обеспечение фильтрации воды, сохранение растительности). Количество, размеры, глубина заделки свай в мерзлый грунт определяются расчетом с учетом оползневого давления оттаивающего грунта, горизонтальных нагрузок от сооружения, температуры и прочностных свойств мерзлого грунта.

14.17 Работы на склонах должны выполняться в зимний период. Выполнение работ в теплое время года допускается только после выполнения работ по стабилизации склона и обязательного проведения теплотехнического прогноза и расчетов общей и местной устойчивости склонов и сооружений на них.

14.18 Мероприятия по инженерной защите и охране окружающей среды следует проектировать комплексно с учетом геокриологических условий и прогноза их изменения в процессе строительства (с учетом поэтапности) и эксплуатации объектов. Осуществление мероприятий инженерной защиты не должно приводить к активизации опасных криогенных процессов на склонах и примыкающих территориях. Техническая эффективность и надежность сооружений и мероприятий инженерной защиты должны подтверждаться расчетами, а в обоснованных случаях – моделированием (натурным, физическим, математическим).

14.19 Для стабилизации склонов наряду с инженерными сооружениями следует применять мероприятия по снижению температуры мерзлых грунтов и уменьшению глубины сезонного оттаивания (агролесомелиорация, устройство теплозащитных экранов, водоотвод), упрочнение грунта (замена и армирование) с учетом настоящего документа. На склонах должен быть организован беспрепятственный сток

поверхностных вод, исключено застаивание вод на бессточных участках, и попадание на склон вод с присклоновой территории.

14.20 В процессе строительства, эксплуатации и ликвидации сооружений на склонах и присклоновой территории выполняется мониторинг устойчивости склонов и сооружений по проекту, разработанному с учетом раздела 15, позволяющему контролировать поверхностные и глубинные перемещения грунта. На объектах I и II степени ответственности необходимо организовать стационарные наблюдения за оползневыми процессами с установкой контрольно-измерительной аппаратуры в скважинах в нескольких стзорах по простиранию склона и выполнением наблюдений за осадками и смещениями по глубине.

15 Геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации сооружений на многолетнемерзлых грунтах

15.1 Геотехнический мониторинг (далее мониторинг) на многолетнемерзлых грунтах – комплекс работ, основанный на натурных наблюдениях за состоянием грунтов основания (температурный режим), гидрогеологическим режимом, перемещением конструкций фундаментов вновь возводимого, реконструируемого и эксплуатируемого сооружения.

15.2 В районах распространения многолетнемерзлых грунтов мониторинг необходимо проводить для всех видов зданий и сооружений, в том числе подземных инженерных коммуникаций.

15.3 Мониторинг осуществляется в соответствии с проектом, который разрабатывается в процессе проектирования.

При разработке проекта мониторинга определяются состав, объемы, периодичность, сроки и методы работ, схемы установки наблюдательных скважин, геодезических марок и реперов, датчиков и приборов, которые назначаются применительно к рассматриваемому объекту строительства (реконструкции) с учетом его специфики, включающей: результаты инженерных изысканий на площадке строительства, принцип использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований фундаментов, особенностей проектируемого или реконструируемого сооружения и сооружений окружающей застройки и т.п.

15.4 В проекте мониторинга следует учитывать факторы, оказывающие влияние на вновь возводимое (реконструируемое) сооружение, его основание, окружающий грунтовый массив и окружающую застройку в процессе строительства и эксплуатации, в том числе возможность проявления опасных геокриологических процессов (криогенное пучение, термокарст, оползневые процессы, оседание поверхности при оттаивании и др.), а также тепловые воздействия от строительных работ.

15.5 Для осуществления мониторинга в период строительства сооружений оборудуются контрольные термометрические и гидрогеологические скважины, на фундаментах сооружений устанавливаются постоянные геодезические марки, по которым выполняются измерения температуры грунта, уровень подземных вод, их состав и температура, нивелирование фундаментов, в том числе погруженных свай, измеряются отметки подкрановых путей мостовых кранов, водоотводных лотков в технических этажах и подпольях зданий, а также тротуаров у сооружений. Места установки термометрических и гидрогеологических скважин, геодезических марок указаны в таблице М.1, периодичность проведения замеров приведена в таблице М.2. Кроме того, контролируется плотность грунтов, уложенных в насыпях, при замене

грунтов в выемках и при намыве территории. Термометрические скважины оборудуются в соответствии с ГОСТ 25358. Требования к оборудованию гидрогеологических скважин приведены в [3]. Устройство нивелирных марок и геодезические измерения проводятся в соответствии с ГОСТ 24846.

15.6 В период эксплуатации сооружения мониторинг осуществляется в целях обеспечения проектного режима грунтов основания и состояния фундаментов сооружения. В состав мониторинга входят следующие виды работ:

текущий и контрольный осмотр состояния технических этажей, подполий зданий и расположенных в них коммуникаций и других устройств;

наблюдения за состоянием бетона фундаментов;

наблюдения за температурой грунта в основании сооружений;

наблюдения за температурой воздуха в подполье;

наблюдения за осадками фундаментов;

наблюдения за гидрогеологическим режимом основания.

Периодичность проведения замеров указана в таблице М.2.

15.7 Продолжительность мониторинга зависит от принципа строительства и составляет для сооружений, построенных по:

I принципу – в течение всего периода эксплуатации сооружения;

II принципу: а) с использованием предварительного оттаивания грунтов – в течение 5 лет;

б) с допущением оттаивания в период эксплуатации – в течение 10 лет.

Примечание – Продолжительность мониторинга может быть сокращена при стабилизации изменений контролируемых параметров или увеличена при отсутствии стабилизации изменений контролируемых параметров.

15.8 В процессе мониторинга необходимо обеспечить своевременность информирования заинтересованных сторон о выявленных отклонениях контролируемых параметров (в том числе тенденции их изменений, превышающие ожидаемые) от проектных значений и результатов тепло- и геотехнического прогноза.

16 Экологические требования при проектировании и устройстве оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах

16.1 В проекте оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие предотвращение, минимизацию или ликвидацию вредных и нежелательных экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий.

16.2 Экологические требования, учитываемые при проектировании и строительстве, основываются на результатах инженерно-экологических изысканий, в которых дается оценка состояния окружающей среды и прогноз воздействия на нее объекта строительства. Правила инженерно-экологических и инженерно-геодезических изысканий для строительства содержатся в [1] и [2].

16.3 Прогноз воздействия на природные условия осуществляется на весь период строительства и эксплуатации зданий и сооружений и должен устанавливать:

возможность изменения теплового режима многолетнемерзлых грунтов района строительства и прилегающих территорий вследствие нарушений условий теплообмена в результате строительства и температурного воздействия в процессе эксплуатации;

изменения гидрогеологических условий строительной площадки в результате производства земляных работ, включая пути разгрузки поверхностных и надмерзлотных вод по водоотводным каналам;

степень активизации опасных криогенных процессов, в том числе: осадки и пучение грунтов, термокарст, солифлюкция, термоэрозия и др.;

возможность возникновения склоновых процессов и заболачивания территории.

16.4 С учетом результатов инженерно-геологических изысканий выбираются проектные решения и разрабатываются мероприятия по рекультивации и восстановлению почвенно-растительного слоя, засыпке выемок, траншей и карьеров, выполаживанию и одернованию склонов и откосов, а также по предупреждению эрозии, термокарста и процессов размыва грунта.

16.5 Основные мероприятия по охране окружающей среды при возведении оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах разрабатываются на стадии технико-экономического обоснования.

16.6 Проектная документация на устройство оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах на стадии проекта должна включать отдельный раздел «Охрана окружающей среды».

16.7 Приступать к производству работ по устройству оснований и фундаментов допускается только при наличии ПОС и проектов инженерной подготовки и защиты от опасных криогенных процессов и подтопления территории (4.4), конкретно отражающих все особенности мерзлотно-грунтовых условий площадки строительства. Проект организации строительства должен обязательно предусматривать точные сроки и особенности производства работ, а также меры по восстановлению поврежденных участков поверхности территории строительства.

Приложение А
(обязательное)

Термины и определения

В настоящем своде правил применены следующие термины с соответствующими определениями:

А.1 **грунт (ground, soil)**: Горные породы, почвы, техногенные образования, представляющие собой многокомпонентную и многообразную геологическую систему и являющиеся объектом инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Грунты могут служить: 1) материалом основания зданий и сооружений;

2) средой для размещения в них сооружений;

3) материалом самого сооружения;

А.2 **грунт мерзлый (frozen ground)**; Грунт, имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий в своем составе видимые ледяные включения и (или) лед-цемент и характеризующийся криогенными структурными связями;

А.3 **грунт многолетнемерзлый (perennially frozen ground),** синоним – **грунт вечномерзлый (permafrost ground)**: Грунт, находящийся в мерзлом состоянии постоянно в течение трех и более лет;

А.4 **грунт сезонномерзлый (сезоннталый) (seasonally frozen ground)**: Грунт, находящийся в мерзлом или талом состоянии периодически в течение холодного или теплого сезона;

А.5 **грунт твердомерзлый (hard frozen ground)**: Дисперсный грунт, прочно сцементированный льдом, характеризуемый относительно хрупким разрушением и практически несжимаемый под внешней нагрузкой;

А.6 **грунт пластично-мерзлый (plastic frozen ground)**: Дисперсный грунт, сцементированный льдом, но обладающий вязкими свойствами и сжимаемостью под внешней нагрузкой;

А.7 **грунт пучинистый (frost–susceptible ground):** Дисперсный грунт, который при переходе из талого в мерзлое состояние увеличивается в объеме вследствие образования кристаллов льда и имеет относительную деформацию морозного пучения $\varepsilon_{fh} \geq 0{,}01$;

А.8 **лед** (синоним – **грунт ледяной) (ice)**: Природное образование, состоящее из кристаллов льда с возможными примесями обломочного материала и органического вещества не более 10 % (по объему), характеризующееся криогенными структурными связями;

А.9 **слой сезонного оттаивания (seasonal thawing layer)**: Поверхностный слой грунта, оттаивающий летом;

А.10 **температура начала замерзания (оттаивания) (freezing (thawing) temperature):** Температура, при которой в порах грунта появляется (исчезает) лед;

А.11 **морозное пучение грунтов (frost heaving ground):** Процесс увеличения объема и деформирования дисперсных грунтов при промерзании;

А.12 **термокарст (thermokarst):** Образование просадочных и провальных форм рельефа и подземных пустот вследствие вытаивания подземного льда или оттаивания мерзлого грунта;

А.13 **термоэрозия (thermoerosion):** Разрушение и вынос оттаивающих и мерзлых дисперсных грунтов и льдов в результате теплового и механического воздействия водных потоков;

А.14 **солифлюкция (solifluction):** Смещение (течение, оползание, соскальзывание, сплывы, оплывины) оттаивающего переувлажненного тонкодисперсного грунта на склонах в теплое время суток года, обусловленное сезонным промерзанием и оттаиванием.

Приложение Б

(рекомендуемое)

Физические и теплофизические характеристики многолетнемерзлых грунтов

Б.1 В состав физических и теплофизических характеристик, определяемых для многолетнемерзлых грунтов, входят:

а) суммарная влажность мерзлого грунта – W_{tot} и влажность мерзлого грунта, расположенного между ледяными включениями – W_m;

б) суммарная льдистость мерзлого грунта i_{tot}, представляющая собой отношение содержащегося в мерзлом грунте объема льда к объему мерзлого грунта и льдистость грунта за счет видимых ледяных включений i_i, представляющая собой отношение содержащегося в мерзлом грунте объема видимых ледяных включений к объему мерзлого грунта;

в) степень заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой – S_r, доли единицы;

г) температура начала замерзания грунта – T_{bf}, °С;

д) влажность мерзлого грунта за счет незамерзшей воды – W_w, доли единицы;

е) теплофизические характеристики грунта (теплопроводность λ, Вт/(м · °С) и объемная теплоемкость C, Дж/(кг · °С));

ж) теплота таяния льда (замерзания воды) в грунте – L_v;

з) степень засоленности – D_{sal}, %;

и) концентрация порового раствора – C_{ps}, доли единицы;

к) объемная степень заторфованности – J, доли единицы;

л) степень заторфованности – G, доли единицы.

Б.2 Суммарная влажность мерзлого грунта – W_{tot} и влажность мерзлого грунта, расположенного между ледяными включениями – W_m, определяются в соответствии с ГОСТ 5180.

Б.3 Суммарная льдистость мерзлого грунта – i_{tot}, льдистость мерзлого грунта за счет включений льда – i_i, и степень заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой – S_r определяются в соответствии с ГОСТ 25100.

Б.4 Под засоленностью понимается наличие в мерзлом грунте воднорастворимых солей в таком количестве, которое существенно изменяет прочностные и деформационные свойства грунтов.

Степень засоленности грунта D_{sal}, характеризует относительное содержание в грунте воднорастворимых солей, ее следует определять по ГОСТ 25100 как отношение массы солей g_s к массе сухой навески грунта g_d (включая массу содержащихся в нем солей) по формуле

$$D_{sal} = (g_s / g_d)100. \qquad (Б.1)$$

По степени засоленности D_{sal} грунты подразделяют согласно ГОСТ 25100. Концентрация порового раствора C_{ps} характеризует степень минерализации грунтовой влаги. Ее допускается определять по формуле

$$C_{ps} = D_{sal} / (D_{sal} + 100W), \qquad (Б.2)$$

где W – влажность засоленного грунта, принимаемая для грунтов с льдистостью $i_{tot} \leq 0{,}4$ равной W_{tot}, а с $i_{tot} > 0{,}4$ равной W_m.

Засоленные грунты в зависимости от преобладающего ионного состава легкорастворимых солей разделяются по типу засоления на морской и континентальный в соответствии с ГОСТ 25100.

Б.5 Температура начала замерзания грунта T_{bf}, характеризует температуру перехода грунта из талого в мерзлое состояние. Температуру начала замерзания незасоленных, засоленных и заторфованных грунтов следует определять опытным путем, а в случаях предусмотренных в 5.9 температуру начала замерзания незасоленных и засоленных грунтов допускается принимать по формуле (Б.3) в зависимости от вида грунта и концентрации порового раствора C_{ps}:

$$T_{bf} = A - B(53C_{ps} + 40C_{ps}^2), \quad (Б.3)$$

где A – коэффициент, характеризующий температуру начала замерзания незасоленного грунта (таблица Б.1);

B – коэффициент, зависящий от типа засоления грунта; B = 0 для незасоленных грунтов; B = 1 для грунтов морского типа засоления; B = 0,85 для грунтов с континентальным типом засоления.

Таблица Б.1 – **Температура начала замерзания незасоленного грунта A**

Грунты	A, °С
Пески разных фракций	– 0,10
Супеси и пылеватые пески	– 0,15
Суглинок	– 0,20
Глины	– 0,25

Значение T_{bf} для заторфованных грунтов следует выбирать по величине температуры начала замерзания того компонента (торфяного или минерального), у которого она выше. Величина T_{bf} для торфа приведена в таблице Б.2.

Таблица Б.2 – **Расчетные значения температуры начала замерзания T_{bf} для торфа**

Тип торфа	W_{tot}, доли единицы	T_{bf}, °С
Слаборазложившийся верховой	7,30	– 0,14
	5,90	– 0,16
	3,27	– 0,25
	1,64	– 0,35
Среднеразложившийся верховой	3,50	– 0,13
	0,90	– 0,20

Б.6 Влажность незасоленного, засоленного и заторфованного мерзлого грунта за счет незамерзшей воды W_w определяется опытным путем. В случаях предусмотренных в 5.9 для незасоленного и засоленного грунта, находящегося в охлажденном состоянии, когда температура грунта выше температуры начала замерзания (0 °С > T > T_{bf}), величина W_w принимается для грунтов с льдистостью $i_{tot} \leq 0,4$ равной $W_w = W_{tot}$, а с $i_{tot} > 0,4$ равной $W_w = W_m$.

Для незасоленного и засоленного мерзлого грунта значения W_w допускается определять по формуле (Б.4), при условии, что температура грунта ниже или равна температуре начала замерзания ($T \leq T_{bf}$), последняя находится по формуле (Б.3)

$$W_w = k_w W_p + \eta D_{sal}, \qquad (Б.4)$$

где k_w – коэффициент, принимаемый по таблице Б.3 в зависимости от числа пластичности I_p и температуры грунта T;

W_p – влажность грунта на границе пластичности (раскатывания), доли единицы;

D_{sal} – степень засоленности грунта, доли единицы;

η – коэффициент, принимаемый равным 0 для незасоленных грунтов и по таблице (Б.4) для засоленных грунтов, в зависимости от числа пластичности I_p и температуры грунта T, °С, для температур $T < -15$ °С величина η принимается равной значению η при $T = -15$ °С; если величина W_w определенная по формуле (Б.4), превысит значение W_{tot}, тогда $W_w = W_{tot}$.

Таблица Б.3 – **Расчетные значения коэффициента k_w**

Грунты	Число пластичности I_p, доли единицы	Коэффициент k_w при температуре грунта T, °С								
		–0,3	–0,5	–1	–2	–3	–4	–6	–8	–10
Пески		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Супеси	$I_p \le 0,02$									
	$0,02 < I_p \le 0,07$	0,60	0,50	0,40	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25
Суглинки	$0,07 < I_p \le 0,13$	0,70	0,65	0,58	0,50	0,46	0,45	0,43	0,41	0,40
	$0,13 < I_p \le 0,17$	0,80	0,75	0,65	0,55	0,51	0,50	0,48	0,46	0,45
Глины	$I_p > 0,17$	0,98	0,92	0,80	0,68	0,63	0,60	0,58	0,56	0,55

Таблица Б.4 – **Расчетные значения коэффициента η**

Грунты	Число пластичности I_p, доли единицы	Величина коэффициента η при температуре грунта T, °С									
		–0,3	–0,5	–1	–2	–3	–4	–6	–8	–10	–15
Пески и супеси	$I_p \le 0,02$	210	160	75	34	20	14	9	6,5	5	4
Супеси	$0,02 < I_p \le 0,07$	150	130	57	24	15	11	7	5	4,5	3,5
Суглинки	$0,07 < I_p \le 0,13$	130	103	44	19	11	8	5,5	4	3,2	2,3
Суглинки, глины	$0,13 < I_p$	102	70	34	17	9,5	6.5	4	3	2,5	2

Расчетные значения W_w для торфа и заторфованных грунтов, находящихся в охлажденном состоянии, когда температура грунта выше температуры начала замерзания (0 °С $> T > T_{bf}$), принимаются для грунтов с льдистостью $i_{tot} \le 0,4$ равной $W_w = W_{tot}$, а с $i_{tot} > 0,4$ равной $W_w = W_m$.

Для мерзлых торфа и заторфованных грунтов значения W_w допускается определять по формуле (Б.5) в зависимости от степени заторфованности J (доли единицы) и температуры T, при условии, что температура грунта ниже или равна температуре начала замерзания ($T \le T_{bf}$)

$$W_w = \Psi / |T|^{1/4}, \qquad (Б.5)$$

где Ψ – параметр, зависящий от объемной степени заторфованности J, принимается по таблице Б.5.

Таблица Б.5 – **Расчетные значения коэффициента Ψ**

Тип грунта	Ψ, град [4]
Торф	1,6
Супесчаные заторфованные грунты	1,67 J – 0,1
Суглинистые заторфованные грунты	1,6 J

Б.7 Теплофизические характеристики грунтов: коэффициент теплопроводности λ, объемная теплоемкость C и коэффициент температуропроводности a определяются опытным путем. В случаях, предусмотренных в 5.9, значения объемной теплоемкости засоленных и незасоленных грунтов в талом, охлажденном C_{th} и мерзлом C_f состояниях допускается рассчитывать по формулам Б.6 – Б.9 в зависимости от удельной теплоемкости скелета грунта C_p, температурной и концентрационной зависимостях удельной теплоемкости незамершей воды C_w и льда C_i, влажности W_{tot}, температурной и концентрационной зависимости влажности за счет незамерзшей воды W_w, плотности скелета грунта $\rho_{d,th,f}$ и температуры начала его замерзания T_{bf}.

Для незасоленных грунтов, находящихся в талом и охлажденном состояниях, когда температура грунта выше температуры начала замерзания ($T > T_{bf}$), величина C_{th} находится по формуле (Б.6)

$$C_{th} = (C_p + C_w W_{tot})\,\rho_{d,th}, \qquad (Б.6)$$

где C_p принимается по таблице Б.6; для незасоленных грунтов и торфа C_w = 4200 Дж/(кг · °С), а T_{bf} находится по таблице Б.2; для засоленных грунтов в охлажденном состоянии (0 °С > T > T_{bf}) T_{bf} определяется по формуле (Б.3), а величина C_w рассчитывается по формуле (Б.7)

$$C_w = C_{wt} - 4550 C_{ps}, \qquad (Б.7)$$

где C_{wt} – удельная теплоемкость порового раствора, Дж/(кг · °С), определяется по таблице (Б.7.);

C_{ps} – концентрация порового раствора, доли единицы, определяется по формуле (Б.2).

Таблица Б.6 – **Расчетные значения удельной теплоемкости скелета грунтов C_p**

Грунты	Песок	Супесь	Глина и суглинок	Торф	
				низинный	верховой
C_p, Дж/(кг · °С)	750	850	950	1920	1680

Таблица Б.7 – **Расчетные значения температурной зависимости удельной теплоемкости порового раствора C_{wt}**

T, °С	C_{wt}, Дж/(кг · °С)	T, °С	C_{wt}, Дж/(кг · °С)	T, °С	C_{wt}, Дж/(кг · °С)
0,0	4210	–2,8	3890	–13,0	3510
–0,2	4150	–3,2	3860	–14,0	3490
–0,4	4110	–3,6	3840	–15,0	3470
–0,6	4060	–4,0	3820	–16,0	3450
–0,8	4030	–5,2	3800	–17,0	3440
–1,0	4010	–6,0	3700	–18,0	3430
–1,2	3990	–6,8	3670	–19,0	3410

Окончание таблицы Б.7

T, °С	C_w, Дж/(кг · °С)	T, °С	C_w, Дж/(кг · °С)	T, °С	C_w, Дж/(кг · °С)
–1,4	3970	–8,0	3630	–20,0	3400
–1,6	3950	–8,8	3600	–21,0	3390
–1,8	3930	–10,0	3570	–22,0	3380
–2,0	3920	–11,0	3550		
–2,4	3900	–12,0	3520		

Для незасоленных грунтов и торфа в мерзлом состоянии при условии, что температура грунта ниже или равна температуре начала замерзания ($T \le T_{bf}$), величина C_f находится по формуле

$$C_f = [C_\rho + C_w W_w + C_i (W_{tot} - W_w)] \rho_{d,f}, \quad (Б.8)$$

где W_w рассчитывается по формуле (Б.4), а C_i – по формуле

$$C_i = 2120 + 7{,}8\,T. \quad (Б.9)$$

Для засоленных грунтов в мерзлом состоянии, при условии, что температура грунта ниже или равна температуре начала замерзания ($T \le T_{bf}$), величина C_f находится по формуле

$$C_f = [C_\rho + C_w W_w + C_i (W_{tot} - W_w)]\rho_{d,th,f}, \quad (Б.10)$$

где W_w рассчитывается по формуле (Б.4), C_w – по формуле (Б.7), а C_i – по формуле (Б.9).

Значения объемной теплоемкости заторфованных грунтов в талом и охлажденном C_{th} и мерзлом C_f состояниях допускается рассчитывать по формулам (Б.11, Б.12) в зависимости от удельной теплоемкости минеральной $C_{\rho m}$ и торфяной $C_{\rho g}$ составляющей органо-минерального скелета грунта, удельной теплоемкости незамершей воды C_w и льда C_i, весовой (массовой) доли торфа в заторфованном грунте G, суммарной влажности W_{tot}, влажности за счет незамерзшей воды W_w, плотности скелета грунта $\rho_{d,th,f}$ и температуры начала его замерзания T_{bf}.

Для заторфованных грунтов, находящихся в талом и охлажденном состоянии, когда температура грунта выше температуры начала замерзания ($T > T_{bf}$) величина C_{th} находится по формуле

$$C_{th} = [C_{\rho м} (1 - G) + C_{\rho g} G + C_w W_{tot}] \rho_{d,th}, \quad (Б.11)$$

где удельная теплоемкость минерального скелета $C_{\rho м}$ и торфа $C_{\rho g}$ находится по таблице Б.6; $C_w = 4200$ Дж/(кг · °С).

Для заторфованных грунтов, находящихся в мерзлом состоянии, когда температура грунта ниже или равна температуре начала замерзания ($T \le T_{bf}$), величина C_f находится по формуле

$$C_f = [C_{\rho м} (1 - G) + C_{\rho g} G + C_w W_w + C_i (W_{tot} - W_w)] \rho_{d,f}, \quad (Б.12)$$

где W_w рассчитывается по формуле (Б.5), $C_w = 4200$ Дж/(кг · К), а C_i – по формуле (Б.9).

В случаях, предусмотренных в 5.9, значение коэффициента теплопроводности незасоленных, засоленных и заторфованных грунтов в талом λ_{th} и мерзлом λ_{fm} (для диапазона температур ниже $T \le -15$ °С) состоянии приведены в таблице Б.8, в зависимости от влажности W_{tot}, плотности скелета грунта $\rho_{d,th,f}$ и степени засоленности согласно ГОСТ 25100.

Таблица Б.8 – **Расчетные значения коэффициента теплопроводности грунта в талом λ_{th}, мерзлом λ_{fm} ($T \le -15$ °С) состоянии**

Плотность сухого грунта ρ_{dth}, ρ_{df}, кН/м^3	Суммарная влажность грунта, W_{tot}, д. е.	Коэффициент теплопроводности грунтов λ, Вт /(м· °С)															Заторфованные грунты	
		Пески разной плотности					Супеси пылеватые					Суглинки и глины						
		Степень засоленности					Степень засоленности					Степень засоленности						
		Незасоленные		Слабозасоленные	Среднезасоленные	Сильнозасоленные	Незасоленные		Слабозасоленные	Среднезасоленные	Сильнозасоленные	Незасоленные		Слабозасоленные	Среднезасоленные	Сильнозасоленные		
		λ_{th}	λ_f	λ_f	λ_f	λ_f	λ_{th}	λ_f	λ_f	λ_f	λ_f	λ_{th}	λ_f	λ_f	λ_f	λ_f	λ_{th}	λ_f
1,0	9,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,81	1,34
1,0	6,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,40	0,70
1,0	4,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,23	0,41
1,0	2,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,12	0,23
2,0	4,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,81	1,33
2,0	2,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,23	0,52
3,0	3,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,93	1,39
3,0	2,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,41	0,70
4,0	2,0	–	–	–	–	–	–	2,16	–	–	–	–	2,10	–	–	–	0,93	1,39
7,0	1,0	–	–	–		–	–	2,14	–	–	–	–	2,00	–	–	–	–	–
10,0	0,60	–	–	–		–	–	2,10	–	–	–	–	1.90	–	–	–	–	–
12,0	0,40	–	–	–	–	–	–	2,02	–	–	–	1,57	1.80	–	–	–	–	–
14,0	0,35	–	–	–	–	–	1,80	2,00	–	–	–	1,57	1,76	1,68	1,65	1.59	–	–
14,0	0,30	–	–	–	–	–	1,74	1,98	1,95	1,91	1,88	1,45	1,65	1,59	1,56	1,50	–	–
14,0	0,25	1,91	2,48	2,37	2,21	2,08	1,57	1,84	1,81	1,78	1,73	1,33	1,58	1,50	1,46	1,36	–	–
14,0	0,20	1,57	2,09	2,00	1,90	1,82	1,33	1,63	1,58	1,53	1,48	1,10	1,31	1,23	1,20	1,10	–	–

Окончание таблицы Б.8

Плотность сухого грунта $\rho_{d,th}$ ρ_{df}, кН/м^3	Суммарная влажность грунта, W_{tot}, д. е.	Коэффициент теплопроводности грунтов λ, Вт /(м· °С)																
		Пески разной плотности					Супеси пылеватые					Суглинки и глины					Заторфованные грунты	
		Степень засоленности					Степень засоленности					Степень засоленности						
		Незасоленные		Слабозасоленные	Среднезасоленные	Сильнозасоленные	Незасоленные		Слабозасоленные	Среднезасоленные	Сильнозасоленные	Незасоленные		Слабозасоленные	Среднезасоленные	Сильнозасоленные		
		λ_{th}	λ_f	λ_f	λ_f	λ_f	λ_{th}	λ_f	λ_f	λ_f	λ_f	λ_{th}	λ_f	λ_f	λ_f	λ_f	λ_{th}	λ_f
14,0	0,15	1,39	1,83	1,75	1,65	1,58	1,10	1,35	1,30	1,25	1,20	0,87	0,99	0,94	0,92	0,87	–	–
14,0	0,10	1,10	1,35	1,30	1,25	1,21	0,93	1,09	1,06	1,03	0,99	0,70	0,77	0,75	0,73	0,71	–	–
14,0	0,05	0,75	0,84	0,82	0,80	0,77	0,64	0,73	0,71	0,69	0,67	0,46	0,48	0,43*	0,41*	0,40*	–	–
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,68	1,94	1,80	1,74	1,65	–	–
16,0	0,25	2,50	2,92	2,86	2,78	2,70	1,80	2,00	1,96	1,92	1,88	1,51	1,75	1,68	1,62	1,49	–	–
16,0	0,20	2,15	2,50	2,43	2,36	2,30	1,62	1,78	1,75	1,71	1,67	1,33	1,56	1,46	1,41	1,30	–	–
16,0	0,15	1,80	2,10	2,03	1,96	1,90	1,45	1,60	1,56	1,52	1,49	1,10	1,23	1,17	1,15	1,08	–	–
16,0	0,10	1,45	1,68	1,62	1,56	1,50	1,16	1,29	1,26	1,22	1,19	0,87	0,97	0,92	0,90	0,86	–	–
16,0	0,05	1,05	1,16	1,10	1,08,	1,05	0,81	0,87	0,85	0,84	0,82	0,58	0,60	0,56*	0,55*	0,53*	–	–
18,0	0,20	2,67	3,05	2,92	2,80	2,69	1,86	2,05	2,00	1,94	1,88	1,57	1,86	1,70	1,61	1,48	–	–
18,0	0,15	2,26	2,75	2,63	2,52	2,44	1,68	1,83	1,79	1,74	1,70	1,39	1,60	1,47	1,40	1,36	–	–
18,0	0,10	1,97	2,30	2,23	2,17	2,10	1,45	1,59	1,55	1,51	1,47	1,06	1,26	1,14	1,09	1,02	–	–
18,0	0,05	1,45	1,56	1,52	1,48	1,45	0,98	0,99	0,98	0,98	0,97	0,70	0,75	0,69*	0,68*	0,65*	–	–
20,0	0,10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,28	1,46	1,35	1,30	1,25	–	–

Для нахождения величины λ_f у незасоленных и засоленных грунтов в мерзлом состоянии в диапазоне температур $T_{bf} \geq T > T_m$, где $T_m = -15$ °С можно использовать соотношение

$$\lambda_f = \lambda_{fm} - (\lambda_{fm} - \lambda_{th}) [W_w(T) - W_w(T_m)] / [W_{tot} - W_w(T_m)], \quad (Б.13)$$

где λ_{th} и λ_{fm} находятся по таблице Б.8, $W_w(T)$ и $W_w(T_m)$ определяются по формуле (Б.4) для незасоленных грунтов при $\eta = 0$, а T_{bf} – по формуле (Б.3) для незасоленных грунтов при $B = 0$.

В случаях, предусмотренных в 5.9, значение коэффициента температуропроводности a ($м^2/с$) для незасоленных, засоленных и заторфованных грунтов находится по формуле

$$a = \lambda / C_\rho, \quad (Б.14)$$

где величины коэффициента теплопроводности λ и объемной теплоемкости C_ρ находятся в соответствии с указаниями, приведенными в Б.7.

Б.8 Величина объемной теплоты замерзания (таяния) грунта L_v ($Дж/м^3$) принимается равной количеству теплоты, необходимой для замерзания воды (таяния льда) в единице объема грунта и определяется по формуле

$$L_v = L_0 [W_{tot} - W_w] \rho_{d,th,f}, \quad (Б.15)$$

где $L_0 = 3{,}35 \cdot 10^5$ (Дж/кг) – значение удельной теплоты фазовых превращений вода–лед; величина W_w для незасоленных, засоленных и заторфованных грунтов находится в соответствии с указаниями, приведенными в Б.6 при условии $T_{bf} \geq T$, здесь T_{bf} находится в соответствии с указаниями, приведенными в Б.5.

Приложение В

(рекомендуемое)

Расчетные значения прочностных характеристик мерзлых грунтов

В.1 Расчетные давления на мерзлые грунты R, расчетные сопротивления мерзлых грунтов и грунтовых растворов сдвигу по поверхностям смерзания фундаментов R_{af} и расчетные сопротивления мерзлых грунтов сдвигу по грунту или грунтовому раствору R_{sh} определяются опытным путем. При определении значений R, R_{af}, R_{sh} в лабораторных условиях следует производить испытания на сдвиг в специальных приборах – для определения R_{af} и R_{sh} и на одноосное сжатие или на вдавливание шарикового штампа – для определения R.

При определении R_{af} шероховатость поверхности, по которой производится сдвиг смерзшегося в ней образца грунта, должна быть такой же, как фундаментов, применяемых в строительстве.

В.2 При отсутствии опытных данных допускается принимать значения R, R_{af} и R_{sh} по таблицам В.1–В.11.

Расчетные давления на мерзлые грунты R под нижним концом сваи принимаются по таблице В.1, под подошвой столбчатого фундамента – по таблице В.2, для мерзлых грунтов с континентальным типом засоления – по таблице В.5, для мерзлых грунтов с морским типом засоления – по таблицам В.7 и В.8, для льда – по таблице В.10, для заторфованных мерзлых грунтов – по таблице В.11.

Расчетные сопротивления мерзлых грунтов и грунтовых растворов сдвигу по поверхностям смерзания фундаментов принимаются по таблице В.3, для мерзлых засоленных грунтов с континентальным типом засоления – по таблице В.6, для мерзлых грунтов с морским типом засоления – по таблице В.9, мерзлых заторфованных грунтов – по таблице В.11.

Расчетные сопротивления мерзлых грунтов сдвигу по грунту или грунтовому раствору R_{sh} принимаются по таблице В.4, льдов по грунтовому раствору $R_{sh,i}$ – по таблице В.10, мерзлых заторфованных грунтов по грунту или грунтовому раствору – по таблице В.12. Значения расчетных сопротивлений мерзлых грунтов как континентального, так и морского типа засоления, сдвигу по грунту или грунтовому раствору R_{sh} допускается принимать равными $R_{sh} = R_{af}$ с учетом В.4.

В.3 Значения R_{af} в таблицах В.3, В.6, В.9 и В.12 следует умножать на коэффициент γ_{af}, зависящий от вида поверхности смерзания и принимаемый равным:

для бетонных поверхностей фундаментов, изготовляемых в металлической опалубке 1,0

для деревянных поверхностей, не обработанных масляными антисептиками 1,0

для деревянных поверхностей, обработанных масляными антисептиками 0,9

для металлических поверхностей из горячекатаного проката 0,7

В.4 Значения R_{sh} в таблицах В.4 и В.9 следует умножать на коэффициент γ_{sh}, равный:

для буронабивных свай с добавлением в бетон противоморозных химических добавок 0,7

для всех видов свай при льдистости грунта $0,2 \le i_i \le 0,4$ 0,9

в остальных случаях 1,0

Примечание – При сочетании двух перечисленных в В.4 условий коэффициент γ_{sh} принимается равным 0,6.

В.5 Мерзлые засоленные грунты в зависимости от преобладающего химического состава солей выделяются по типу засоления – континентальному или морскому – в соответствии с ГОСТ 25100.

Таблица В.1 – **Расчетные давления на мерзлые незасоленные грунты *R* под нижним концом сваи**

Грунты	Глубина погружения свай, м	Расчетные давления *R*, кПа, при температуре грунта, °С											
		–0,3	–0,5	–1	–1,5	–2	–2,5	–3	–3,5	–4	–6	–8	–10
При льдистости $i_l < 0,2$:													
1 Крупно-обломочные	При любой глубине	2500	3000	3500	4000	4300	4500	4800	5300	5800	6300	6800	7300
2 Пески крупные и средней крупности	То же	1500	1800	2100	2400	2500	2700	2800	3100	3400	3700	4600	5500
3 Пески мелкие и пылеватые	3–5	850	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
При льдистости грунтов $0,2 \le i_l \le 0,4$													
	3–5	400	500	600	750	850	950	1000	1100	1150	1500	1600	1700
6 Все виды грунтов, указанные в поз. 1–5	10	450	550	700	800	900	1000	1050	1150	1250	1600	1700	1800
	15 и более	550	600	750	850	950	1050	1100	1300	1350	1700	1800	1900

Таблица В.2 – **Расчетные давления на мерзлые незасоленные грунты *R* под подошвой столбчатого фундамента**

Грунты	Расчетные давления *R*, кПа, при температуре грунта, °С											
	–0,3	–0,5	–1	–1,5	–2	–2,5	–3	–3,5	–4	–6	–8	–10
При льдистости грунтов $i_l < 0,2$:												
1 Крупно-обломочные и 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

Окончание таблицы В.2

Грунты	Расчетные давления R, кПа, при температуре грунта, °С											
	–0,3	–0,5	–1	–1,5	–2	–2,5	–3	–3,5	–4	–6	–8	–10
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 $i_l \geq 0,2$:												
5 Все виды грунтов, указанные в поз. 1–4	200	300	400	500	600	700	750	850	950	1250	1550	1750

Таблица В.3 – **Расчетные сопротивления мерзлых незасоленных грунтов и грунтовых растворов сдвигу по поверхности смерзания R_{af}**

Грунты	Расчетные сопротивления R_{af}, кПа, при температуре грунта, °С											
	–0,3	–0,5	–1	–1,5	–2	–2,5	–3	–3,5	–4	–6	–8	–10
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

Примечание – Значение R_{af} для известково-песчаного раствора даны для раствора следующего состава: на 1 м^3 раствора песка среднезернистого – 820 л, известкового теста плотностью 1,4 г/см^3 – 300 л, воды – 230 л; осадка конуса – 10–12 см. При других составах известково-песчаного раствора, а также для цементно-песчаного раствора значения R_{af} определяются опытным путем.

Таблица В.4 – **Расчетные сопротивления мерзлых незасоленных грунтов сдвигу по грунту или грунтовому раствору R_{sh}**

Грунты	Расчетные давления R_{sh}, кПа, при температуре грунта, °С											
	–0,3	–0,5	–1	–1,5	–2	–2,5	–3	–3,5	–4	–6	–8	–10
Песчаные	80	120	170	210	240	270	300	320	340	420	480	540
Глинистые	50	80	120	150	170	190	210	230	250	300	340	380

Таблица В.5 – **Расчетные давления на мерзлые грунты с континентальным типом засоления R под нижним концом сваи**

Засоленность грунта D_{sal}, %	Расчетные давления R, кПа, при температуре грунта, °С											
	–1			–2			–3			–4		
	Глубина погружения сваи, м											
	3–5	10	15 и более	3–5	10	15 и более	3–5	10	15 и более	3–5	10	15 и более
Пески мелкие и средние												
0,1	500	600	850	650	850	950	800	950	1050	900	1150	1250
0,2	150	250	350	250	350	450	350	450	600	500	600	750
0,3	–	–	–	150	200	300	250	350	450	350	450	550
0,5	–	–	–	–	–	–	150	200	300	250	300	400
Супеси												
0,15	550	650	750	800	950	1050	1050	1200	1350	1350	1550	1700
0,3	300	350	450	550	650	800	750	900	1050	1000	1150	1300
0,5	–	–	–	300	350	450	450	550	650	650	750	900
1,0	–	–	–	–	–	–	200	250	350	350	450	550

Окончание таблицы В.5

Засоленность грунта D_{sal}, %	Расчетные давления R, кПа, при температуре грунта, °С											
	–1			–2			–3			–4		
	Глубина погружения сваи, м											
	3–5	10	15 и более	3–5	10	15 и более	3–5	10	15 и более	3–5	10	15 и более
Суглинки												
0,2	450	500	650	700	800	950	950	1050	1200	1150	1300	1400
0,5	150	250	450	350	450	550	550	650	750	750	850	1000
0,75	–	–	–	200	250	350	350	450	550	600	600	750
1,0	–	–	–	150	200	300	300	350	450	400	500	650
Примечание – Значение R под подошвой столбчатого фундамента допускается принимать по настоящей таблице как для свай глубиной погружения 3–5 м.												

Таблица В.6 – **Расчетные сопротивления мерзлых грунтов с континентальным типом засоления сдвигу по поверхностям смерзания R_{af}**

Засоленность грунта D_{sal}, %	Расчетные сопротивления R_{af}, кПа, при температуре грунта, °С			
	–1	–2	–3	–4
Пески мелкие и средние				
0,1	70	110	150	190
0,2	50	80	110	140
0,3	40	70	90	120
0,5	–	50	80	100
Супеси				
0,15	80	120	160	210
0,3	60	90	130	170
0,5	30	60	100	130
1,0	–	–	50	80
Суглинки				
0,2	60	100	130	180
0,5	30	50	90	120
0,75	25	45	80	110
1,0	20	40	70	100

Таблица В.7 – **Расчетные давления *R* на мерзлые засоленные грунты с морским типом засоления под нижним концом сваи**

Засоленность грунта D_{sal},%	Глубина погружения свай, м	Расчетные давления *R*, кПа, при температуре грунта, °С				
		–1	–2	–3	–4	–6
Пески мелкие и пылеватые						
0,1	3–5	340	480	600	740	800
0,2		–	260	360	390	450
0,3		–	–	190	270	350
0,5		–	–	–	230	270
0,1	10	450	590	710	850	910
0,2		–	310	460	500	560
0,3		–	–	300	380	460
0,5		–	–	–	340	380
0,1	15 и более	550	690	810	950	1210
0,2		–	470	570	600	660
0,3		–	–	400	480	560
0,5		–	–	–	440	480
Супесь						
0,15	3–5	730	1050	1150	1430	1620
0,2		450	750	1000	1180	1310
0,3		270	580	730	800	880
0,5		–	220	280	360	450
0,8		–	–	–	140	250
0,15	10	770	1090	1190	1470	1660
0,2		490	790	1040	1220	1350
0,3		310	620	770	840	920
0,5		–	260	320	400	490
0,8		–	–	–	180	290
0,15	15 и более	840	1160	1260	1540	1730
0,2		650	960	1200	1380	1510
0,3		470	780	930	1000	1080
0,5		–	420	470	560	650
0,8		–	–	–	340	450
Суглинки тяжелые и глины						
0,2	3–5	410	640	820	1000	1360
0,3		290	470	650	820	1200
0,5		–	270	410	590	930
0,8		–	160	270	410	600
1,0		–	140	230	370	470
1,2		–	–	180	320	440
1,5		–	–	150	270	410
0,2	10	510	740	920	1100	1460
0,3		390	570	750	920	1300
0,5		–	370	510	690	1030
0,8		–	260	370	510	700
1,0		–	240	330	480	570
1,2		–	–	280	420	540
1,5		–	–	240	370	510

Окончание таблицы В.7

Засоленность грунта D_{sal},%	Глубина погружения свай, м	Расчетные давления R, кПа, при температуре грунта, °С				
		–1	–2	–3	–4	–6
Суглинки тяжелые и глины						
0,2	15 и более	600	830	1010	1190	1550
0,3		480	660	840	1010	1390
0,5		–	460	600	780	1120
0,8		–	350	460	600	790
1,0		–	330	420	570	660
1,2		–	–	370	510	630
1,5		–	–	330	460	600

Таблица В.8 – **Расчетные давления R на мерзлые засоленные грунты с морским типом засоления под подошвой столбчатого фундамента**

Засоленность грунта, D_{sal}, %	Расчетные давления R, кПа, при температуре грунта, °С				
	–1	–2	–3	–4	–6
Пески мелкие и пылеватые					
0,03	1000	1210	1460	1710	2270
0,05	530	780	920	1100	1280
0,10	260	400	520	760	1000
0,15	250	430	560	660	740
0,20	–	200	280	310	370
0,30	–	–	110	190	270
0,50	–	–	–	150	190
Супеси					
0,05	980	1260	1450	1630	1750
0,10	830	1210	1400	1580	1680
0,15	660	980	1080	1360	1550
0,20	380	680	930	1110	1240
0,30	200	510	660	730	810
0,50	–	150	200	290	380
0,80	–	–	–	70	180
Суглинки легкие					
0,05	520	790	1030	1530	1750
0,10	430	680	960	1170	1490
0,20	250	590	740	1030	1400
0,3	110	370	640	880	1260
0,5	–	100	410	610	860
0,8	–	–	160	280	440
1,0	–	–	100	180	310
1,2	–	–	–	–	240
1,5	–	–	–	–	180

Окончание таблицы В.8

Засоленность грунта, D_{sal}, %	Расчетные давления R, кПа, при температуре грунта, °С				
	–1	–2	–3	–4	–6
Суглинки тяжелые и глины					
0,05	570	840	1020	1200	1480
0,1	480	710	930	1080	1380
0,2	340	570	750	930	1290
0,3	220	400	580	750	1130
0,5	–	140	340	520	860
0,8	–	90	200	340	530
1,0	–	70	160	310	400
1,2	–	–	110	250	370
1,5	–	–	80	200	340

Таблица В.9 – **Расчетные сопротивления срезу по поверхности смерзания R_{af} мерзлых засоленных грунтов с морским типом засоления**

Засоленность грунта, D_{sal},%	Расчетные сопротивления R_{af}, кПа, при температуре грунта, °С				
	–1	–2	–3	–4	–6
Пески					
0,03	130	200	260	310	380
0,05	110	170	220	270	320
0,10	50	90	135	170	200
0,15	25	70	110	140	170
0,20	15	55	90	120	150
0,30	–	30	65	90	110
0,50	–	15	20	30	55
0,80	–	–	–	–	–
Супеси					
0,05	100	150	200	240	300
0,10	80	120	160	200	260
0,15	60	100	130	180	230
0,20	35	75	110	150	200
0,30	30	55	80	120	160
0,50	20	40	60	80	110
0,80			45	65	90
1,00			–	60	80
Суглинки тяжелые и глины					
0,05	100	150	200	250	300
0,10	75	130	180	230	290
0,20	40	95	150	210	270
0,30	25	60	110	170	245
0,50	10	30	60	100	150
0,80	–	15	45	80	125
1,00	–	–	30	75	110
1,20	–	–	–	70	80
1,50	–	–	–	55	75

Таблица В.10 – **Расчетные давления на лед R под нижним концом сваи и расчетные сопротивления льда сдвигу по поверхности смерзания с грунтовым раствором $R_{sh,i}$**

Температура льда, °С	Расчетные значения, R и $R_{sh,i}$, кПа	
	R	$R_{sh,i}$
–1	50	20
–1,5	100	30
–2	140	35
–2,5	190	45
–3	230	50
–3,5	260	60
–4	280	65

Таблица В.11 – **Расчетные давления на мерзлые заторфованные грунты R под нижним концом сваи**

Грунты	Глубина погружения сваи, м.	Значение R, кПа, при температуре грунта, °С											
		–0,3	–0,5	–1	–1,5	–2	–2,5	–3	–3,5	–4	–6	–8	–10
Песчаные													
$0,03<I_{om}\leq 0,1$		180	230	300	400	600	750	950	1050	1250	1550	1750	1950
$0,1<I_{om}\leq 0,3$	3–5	130	170	240	350	480	550	650	750	910	1050	1200	1350
$0,3<I_{om}\leq 0,5$		100	130	170	260	350	440	500	590	690	790	890	1000
$0,03<I_{om}<0,1$		230	280	350	450	650	800	1000	1100	1300	1600	1800	2000
$0,01<I_{om}\leq 0,3$	10	180	220	290	400	530	600	700	800	960	1100	1250	1400
$0,03<I_{om}\leq 0,5$		150	180	220	310	400	490	550	640	740	840	940	1050
$0,03<I_{om}\leq 0,1$		360	420	490	590	790	940	1100	1200	1400	1700	1900	2100
$0,1<I_{om}\leq 0,3$	15	310	350	420	530	660	730	830	930	990	1230	1400	1530
$0,3<I_{om}<0,5$		260	290	330	420	530	500	660	750	850	950	1050	1160
Пылевато-глинистые													
$0,05<I_{om}<0,1$		130	170	250	370	530	640	750	900	1050	1150	1350	1550
$0,1<I_{om}<0,3$	3–5	110	140	200	300	400	470	590	670	750	870	990	1100
$0,3<I_{om}<0,5$		90	110	150	230	330	400	480	550	600	720	810	910
$0,05<I_{om}<0,1$		180	220	300	420	580	690	800	950	1100	1200	1400	1600
$0,1<I_{om}<0,3$	10	160	190	250	350	450	520	640	720	800	920	1140	1150
$0,3<I_{om}<0,5$		120	140	180	260	360	430	510	580	650	750	840	940
$0,05<I_{om}<0,1$		300	350	430	550	710	820	930	1080	1230	1330	1530	1730
$0,1<I_{om}<0,3$	15	280	310	370	470	570	640	760	840	920	1040	1160	1270
$0,3<I_{om}<0,5$		240	260	300	380	480	550	630	700	750	870	960	1060

Таблица В.12 – **Расчетные давления на мерзлые заторфованные грунты под подошвой столбчатого фундамента R, расчетные сопротивления мерзлых заторфованных грунтов сдвигу по поверхности смерзания R_{af} и расчетные сопротивления мерзлых заторфованных грунтов сдвигу по грунту или грунтовому раствору R_{sh}**

Грунты	Расчетные значения R, R_{af}, R_{sh}, кПа, при температуре грунта, °С											
	–0,3	–0,5	–1	–1,5	–2	–2,5	–3	–3,5	–4	–6	–8	–10
Расчетные давления на мерзлые заторфованные грунты под подошвой столбчатого фундамента R												
Песчаные:												
$0,03 < I_{om} \le 0,1$	130	180	250	350	550	700	900	1000	1200	1500	1700	1900
$0,1 < I_{om} \le 0,3$	80	120	190	300	430	500	600	700	860	1000	1150	1300
$0,3 < I_{om} \le 0,5$	60	90	130	220	310	400	460	550	650	750	850	970
Глинистые:												
$0,05 < I_{om} \le 0,1$	80	120	200	320	480	590	700	850	1000	1100	1300	1500
$0,1 < I_{om} \le 0,3$	60	90	150	250	350	420	540	620	700	820	940	1050
$0,3 < I_{om} \le 0,5$	40	60	100	180	280	350	430	500	570	670	760	860
Торф	20	40	60	120	220	270	320	390	450	520	590	670
Расчетные сопротивления мерзлых заторфованных грунтов сдвигу по поверхности смерзания R_{af}												
Песчаные:												
$0,03 < I_{om} \le 0,1$	50	70	90	100	130	160	160	180	210	250	280	320
$0,1 < I_{om} \le 0,3$	30	40	50	70	90	110	120	140	160	190	220	240
$0,3 < I_{om} \le 0,5$	20	30	40	60	70	80	90	110	130	150	170	190
Глинистые:												
$0,05 < I_{om} \le 0,1$	20	40	60	80	100	110	130	150	180	200	230	270
$0,1 < I_{om} \le 0,3$	10	20	30	50	60	70	90	100	120	140	160	180
$0,3 < I_{om} \le 0,5$	5	10	20	30	50	60	80	90	100	120	140	160
Торф	3	5	8	25	40	50	70	80	90	110	120	140
Расчетные сопротивления мерзлых заторфованных грунтов сдвигу по грунту или грунтовому раствору R_{sh}												
Песчаные:												
$0,03 < I_{om} \le 0,1$	30	60	100	140	160	190	230	250	270	310	330	350
$0,1 < I_{om} \le 0,3$	10	30	50	70	110	120	130	150	180	200	230	260
$0,3 < I_{om} \le 0,5$	8	20	40	60	80	90	100	120	140	150	180	210
Глинистые:												
$0,05 < I_{om} \le 0,1$	20	50	70	90	110	120	140	170	200	250	270	300
$0,1 < I_{om} \le 0,3$	5	30	40	50	70	80	100	110	130	180	190	200
$0,3 < I_{om} \le 0,5$	3	20	30	40	60	70	90	100	110	140	150	170
Торф	2	10	20	30	40	60	80	90	100	120	140	160

Таблица В.13 – **Нормативные предельно длительные значения удельного сцепления c_L (кПа) и угла внутреннего трения φ_L (град) для мерзлых грунтов и контакта грунта со скалой**

Грунты	Обозначения характеристик грунтов	Характеристики грунтов при температуре грунта, °С										
		–0,5	–1,0	–1,5	–2,0	–2,5	–3,0	–3,5	–4,0	–5,0	–6,0	–8,0
Песчаные	c_L	80	110	140	170	200	230	250	300	360	420	520
	φ_L	28	28	30	30	32	32	32	32	33	33	33
Контакт песчаных грунтов со скалой	c_L	70	90	120	150	180	200	220	270	280	330	410
	φ_L	16	16	17	17	18	18	18	18	19	19	19
Глинистые	c_L	50	80	110	140	180	210	240	280	320	390	530
	φ_L	14	16	18	20	22	23	24	25	26	27	28

Таблица В.14 – **Нормативные значения удельного сцепления c_{sh} (кПа) и угла внутреннего трения φ_{sh} (град) оттаивающего глинистого грунта**

Обозначения характеристик грунтов	Характеристики грунтов при значении показателя текучести I_L, доли единицы					
	0,25	0,35	0,5	0,625	0,75	1,00
c_L, кПа	21	19	17	15	13	9
φ_L, град	32	28	23	19	14	5

Приложение Г
(обязательное)

Среднегодовая температура и глубина сезонного оттаивания и промерзания грунта

Г.1 Нормативная глубина сезонного оттаивания грунта $d_{th,n}$, м, определяется по данным натурных наблюдений по формуле

$$d_{th,n} = d'_{th}\sqrt{\frac{\left(T_{th,m} - T_{bf}\right)t_{th,m}}{\left(T_{th} - T_{bf}\right)t_{th}}}, \qquad (Г.1)$$

где d'_{th} – наибольшая глубина сезонного оттаивания грунта в годовом периоде, м, устанавливаемая по данным натурных наблюдений в соответствии с ГОСТ 26262;

T_{bf} – температура начала замерзания грунта, °С, определяемая по приложению Б;

$T_{th,m}$ и $t_{th,m}$ – соответственно средняя по многолетним данным температура воздуха за период положительных температур, °С, и продолжительность этого периода, ч, принимаемые по СП 131.13330, причем для климатических подрайонов IБ и IГ значения $T_{th,m}$ и $t_{th,m}$ следует принимать с коэффициентом 0,9;

T_{th} и t_{th} – соответственно средняя температура воздуха, °С, за период положительных температур и продолжительность этого периода, ч, в год проведения наблюдений, принимаемые по метеоданным.

Г.2 Нормативная глубина сезонного промерзания грунта $d_{f,n}$, м, определяется по формуле

$$d_{f,n} = d'_{f}\sqrt{\frac{\left(T_{f,m} - T_{bf}\right)t_{f,m}}{\left(T_{f} - T_{bf}\right)t_{f}}}, \qquad (Г.2)$$

где d'_f – наибольшая глубина сезонного промерзания грунта в годовом периоде, м, устанавливаемая по данным натурных наблюдений в соответствии с ГОСТ 24847;

$T_{f,m}$ и $t_{f,m}$ – соответственно средняя по многолетним данным температура воздуха за период отрицательных температур, °С, и продолжительность этого периода, ч, принимаемые по СП 131.13330;

T_f и t_f – соответственно средняя температура воздуха, °С, за период отрицательных температур и продолжительность этого периода, ч, в год проведения наблюдений, принимаемые по метеоданным.

Г.3 При отсутствии данных натурных наблюдений нормативную глубину сезонного оттаивания грунта $d_{th,n}$, м, допускается определять по формуле

$$d_{th,n} = \sqrt{\frac{2\lambda_{th}\left(T_{th,c} - T_{bf}\right)t_{th,c}}{q_1} + \left(\frac{Q}{2q_1}\right)^2} - \frac{Q}{2q_1}, \qquad (Г.3)$$

где

$$Q=\left(0,25-\frac{t_{th,c}}{t_1}\right)\left(T_0-T_{bf}\right)k_m\sqrt{\lambda_f C_f t_{th,c}}\,; \qquad (Г.4)$$

$$q_1=L_v+\left(\frac{t_{th,c}}{t_2}-0,1\right)\left[C_{th}\left(T_{th,c}-T_{bf}\right)-C_f\left(T_0-T_{bf}\right)\right]; \qquad (Г.5)$$

T_{bf} – обозначение то же, что в формулах (Г.1) – (Г.2);

$T_{th,c}$ – расчетная температура поверхности грунта в летний период, °С, определяемая по формуле

$$T_{th,c}=1,4\,T_{th,m}+2,4\ °C; \qquad (Г.6)$$

$t_{th,c}$ – расчетный период положительных температур, ч, определяемый по формуле

$$t_{th,c}=1,15t_{th,m}+0,1t_1; \qquad (Г.7)$$

t_1 – время, принимаемое равным $1,3\cdot10^7$ с (3600 ч);

t_2 – время, принимаемое равным $2,7\cdot10^7$ с (7500 ч);

T_0 – расчетная среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта, °С, определяемая по Г.8;

λ_{th} и λ_f – теплопроводность соответственно талого и мерзлого грунта, Вт/(м·°С);

C_{th} и C_f – объемная теплоемкость соответственно талого и мерзлого грунта, Дж/(м^3·°С);

k_m – коэффициент, принимаемый для песчаных грунтов равным 1,0, а для глинистых – по таблице Г.1 в зависимости от значения теплоемкости C_f и средней температуры грунта, °С, определяемой по формуле

$$\overline{T}=\left(T_0-T_{bf}\right)\left(t_{th,c}/t_1-0,22\right); \qquad (Г.8)$$

L_v – теплота таяния (замерзания) грунта, Дж/м^3, определяемая по приложению Б при температуре грунта, равной $0,5\,\overline{T}$, °С.

Таблица Г.1 – **Коэффициент k_m**

Температура, °С	Значения коэффициента k_m при объемной теплоемкости C_f, Дж/(м^3·°С)			
	$1,3\cdot10^6$	$1,7\cdot10^6$	$2,1\cdot10^6$	$2,5\cdot10^6$
–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

Г.4 Нормативная глубина сезонного промерзания грунта $d_{f,n}$, м, определяется по формуле

$$d_{f,n}=\sqrt{\frac{2\lambda_f\left(T_{bf}-T_{f,m}\right)t_{f,m}}{q_2}}, \qquad (Г.9)$$

где

$$q_2 = L_v - 0{,}5C_f(T_{f,m} - T_{bf}), \qquad (Г.10)$$

здесь L_v – теплота замерзания грунта, Дж/м^3, определяемая по приложению Б при температуре грунта равна $0{,}5(T_{f,m} - T_{bf})$, °С.

Остальные обозначения те же, что в формуле (Г.2).

Г.5 В случаях, когда предусматриваются вертикальная планировка территории подсыпкой, регулирование поверхностного стока и другие мероприятия, приводящие к понижению уровня подземных вод, значения теплофизических характеристик при расчете нормативных глубин сезонного оттаивания и промерзания грунтов по формулам (Г.3) и (Г.9) следует принимать при влажности грунта, равной:

для крупнообломочных грунтов 0,04
» песков (кроме пылеватых) 0,07
» песков пылеватых 0,10
» глинистых грунтов ..... w_p+0,5I_p
» заторфованных грунтов ..... 1,1w_p,

где I_p и w_p – соответственно число пластичности и влажности грунта на границе пластичности.

Г.6 Расчетная глубина сезонного оттаивания d_{th} и расчетная глубина сезонного промерзания грунта d_f определяются по формулам:

$$d_{th} = k'_h d_{th,n}; \qquad (Г.11)$$

$$d_f = k_h d_{f,n}, \qquad (Г.12)$$

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 таблице Г.2.

Таблица Г.2 – **Коэффициенты и k_h**

Сооружения	k'_h	k_h
Здания и сооружения без холодного подполья	–	В соответствии с требованиями СП 22.13330
Здания и сооружения с холодным подпольем:		
у наружных стен с отмостками, имеющими асфальтовое и тому подобное покрытия	1,2	–
у наружных стен с отмостками без асфальтовых покрытий	1,0	–
у внутренних опор	0,8	–
Мосты:		
промежуточные массивные опоры с фундаментами мелкого заложения или фундаментами из свай и свай-столбов с плитой (ростверком), 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, рамно-стоечные опоры с фундаментами мелкого заложения	1,2	1,1
обсыпные устои	1,0	1,0

Окончание таблицы Г.2

Примечания

1 Данные таблицы не распространяются на случаи применения теплоизоляции и других специальных теплозащитных мероприятий (вентилируемые и теплоизолирующие подсыпки, охлаждающие устройства и т. д.).

2 Для устоев мостов, обсыпанных песчаным грунтом, значения k'_h и k_h следует принимать по данным теплотехнического расчета, но не менее 1,2.

Г.7 Нормативное значение среднегодовой температуры многолетнемерзлого грунта $T_{0,n}$ определяется по данным полевых измерений температуры грунтов в соответствии с ГОСТ 25358 на опытных площадках с естественными условиями. Допускается значение $T_{0,n}$ принимать равным температуре грунта на глубине 10 м от поверхности.

Г.8 Расчетная среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта T_0, °С, устанавливается на основании прогнозных расчетов изменения температурного режима грунтов на застраиваемой территории.

Допускается определять значение T_0, °С, по формуле

$$T_0 = \frac{1}{t_y}\left[\left(T_{f,m} - T_{bf}\right)t_{f,m} + L_v d_{th,n}\left(\frac{d_{th,n}}{2\lambda_f} + R_s\right)\right] + T_{bf}, \qquad (Г.13)$$

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

$T_{f,m}$ и $t_{f,m}$ – соответственно средняя по многолетним данным температура воздуха в период отрицательных температур, °С, и продолжительность этого периода, с (ч), принимаемые по СП 131.13330;

$d_{th,n}$ – нормативная глубина сезонного оттаивания, м, для предварительных расчетов допускается принимать по рисункам Г.1 и Г.2;

L_v – теплота таяния (замерзания) грунта, Дж/м^3, определяемая по приложению Б;

R_s – термическое сопротивление снегового покрова, м^2 · °С/Вт, определяемое по формуле

$$R_s = d_s / \lambda_s, \qquad (Г.14)$$

где d_s – среднезимняя высота снегового покрова, м, принимаемая по метеоданным;

λ_s – среднезимняя теплопроводность снегового покрова, Вт/м^2 · °С, определяется по формуле

$$\lambda_S = m_d(0{,}18 + 0{,}87\rho_s), \qquad (Г.15)$$

где m_d – пересчетный множитель, принимаемый равным 1,16 м^2 · Вт/(т · °С);

ρ_s – среднезимняя плотность снегового покрова, т/м^3, принимаемая по метеоданным.

Примечания

1 В районах со средней скоростью ветра в зимний период свыше 5 м/с рассчитанное по формуле (Г.13) значение R_s следует увеличивать в 1,3 раза.

2 Если при расчете по формуле (Г.12) $T_0 > T_{bf}$, то следует принимать $T_0 = T_{bf}$.

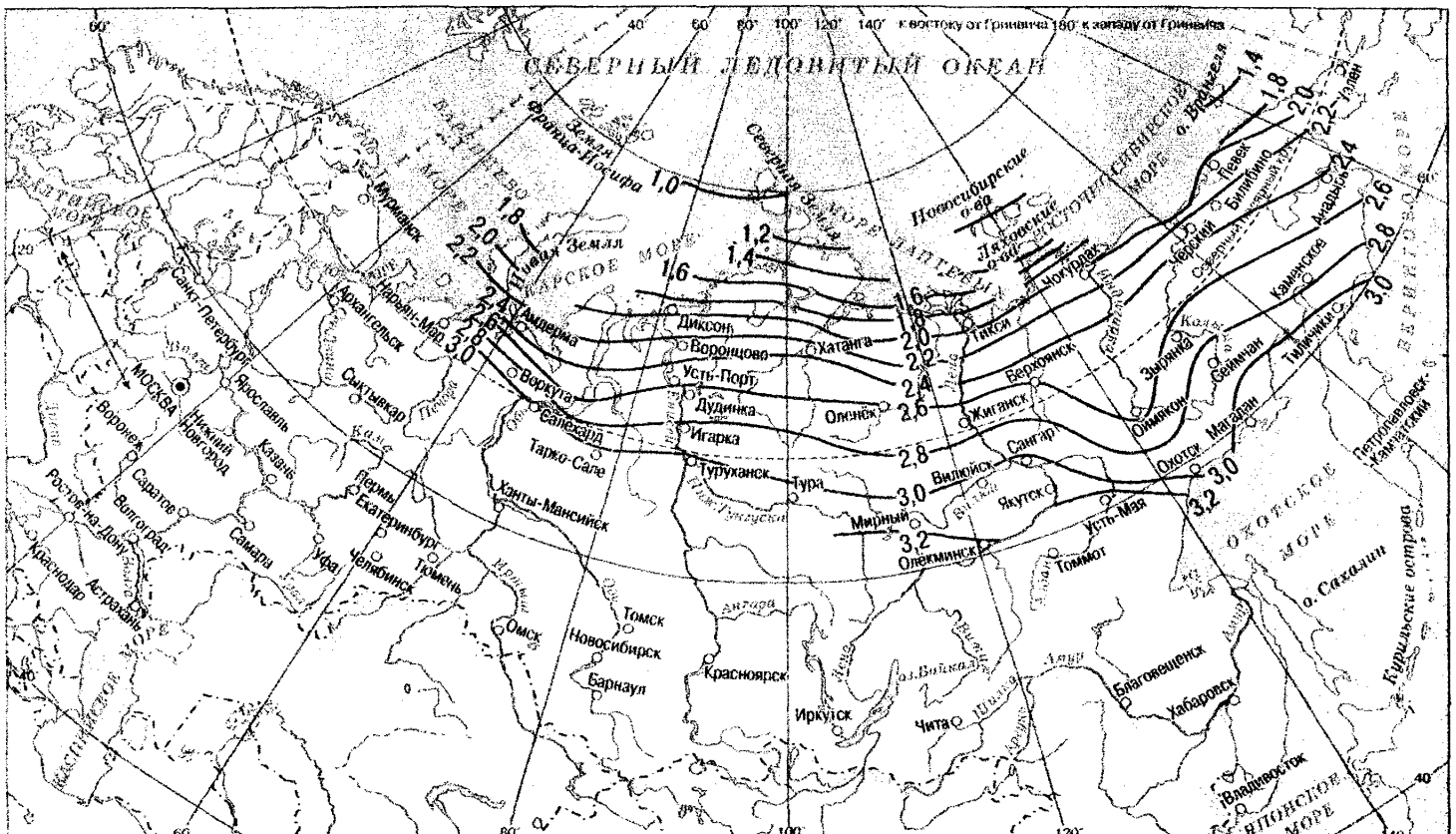


Рисунок Г.1 **– Глубины оттаивания песчаных грунтов**

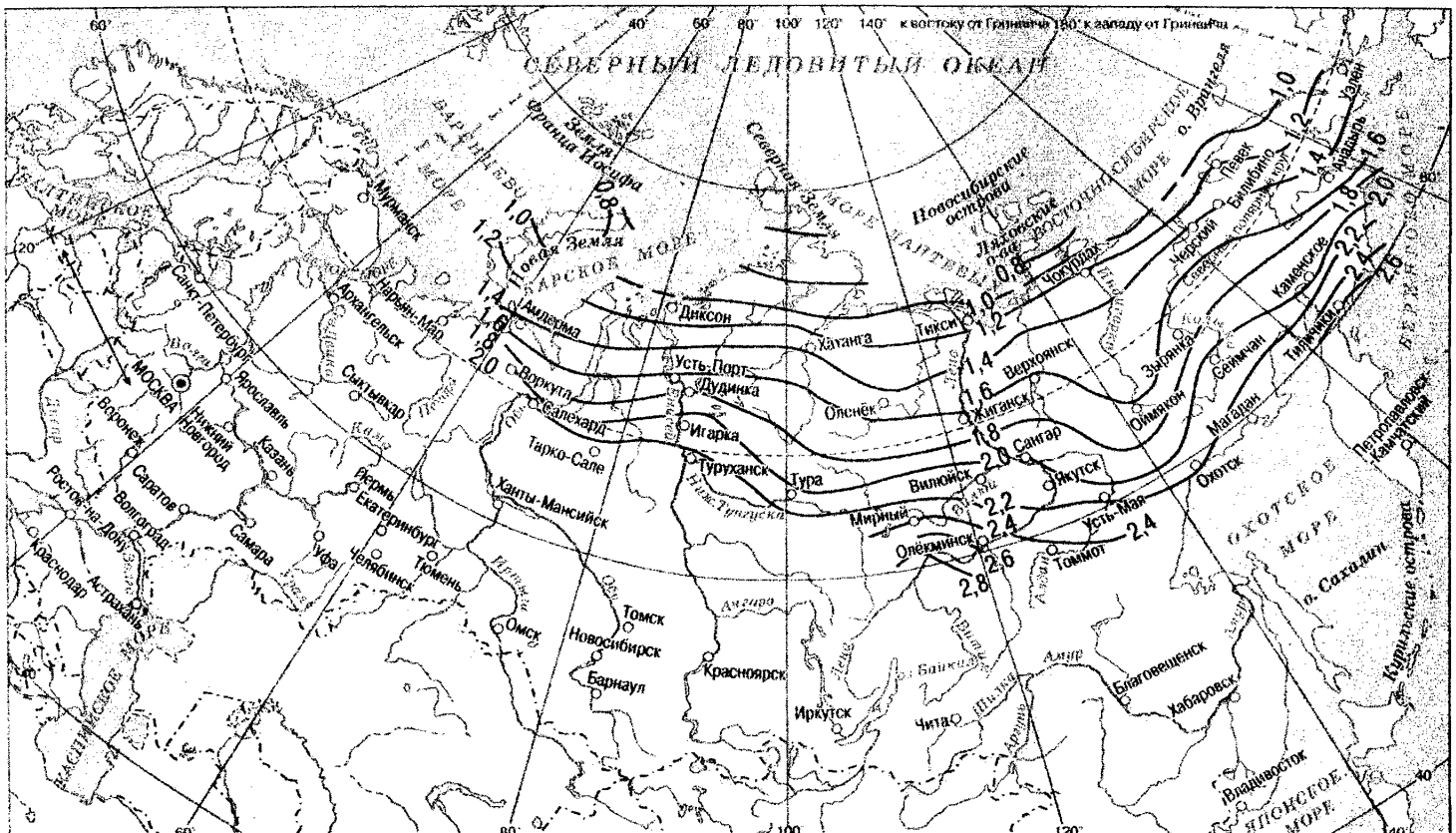


Рисунок Г.2 **– Глубины оттаивания глинистых грунтов**

Приложение Д
(обязательное)

Расчет температурного режима вентилируемого подполья

Д.1 Температурный режим вентилируемого подполья характеризуется среднегодовой температурой воздуха в подполье $T_{c,a}$, устанавливаемой расчетом в зависимости от предусмотренного проектом значения среднегодовой температуры многолетнемерзлого грунта на его верхней поверхности T'_0 (7.2.8), теплового режима сооружения и режима вентилирования подполья.

Д.2 Среднегодовая температура воздуха в вентилируемом подполье $T_{c,a}$, °С, обеспечивающая предусмотренную в проекте среднегодовую температуру многолетнемерзлого грунта на его верхней поверхности T'_0, °С, вычисляется по формуле

$$T_{c,a} = k_0 T'_0, \qquad (Д.1)$$

где k_0 – коэффициент, принимаемый по таблице Д.1 в зависимости от значений $t_{f,n}$ и λ_f/λ_{th},

где $t_{f,n}$ – продолжительность периода с отрицательной среднесуточной температурой воздуха, сут, принимаемая по СП 131.13330;

λ_f и λ_{th} – теплопроводность соответственно мерзлого и талого грунтов.

Таблица Д.1 – **Коэффициент k_0**

λ_f/λ_{th}	Значения коэффициента k_0 при $t_{f,n}$, сут				
	200	225	250	275	300
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
1,1	0,87	0,96	0,98	0,99	1,0
1,2	0,78	0,93	0,97	0,99	1,0
1,3	0,72	0,90	0,96	0,99	1,0

Д.3 Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта на его верхней поверхности T'_0, °С, определяется расчетом по условию обеспечения требуемых значений расчетной температуры грунтов в основании сооружения (7.2.7) с учетом мерзлотно-грунтовых и климатических условий участка строительства. Допускается принимать значение T'_0 по таблице Д.2 в зависимости от среднегодовой температуры грунта T_0, ширины сооружения B и глубины заложения фундаментов z с учетом температуры начала замерзания грунта T_{bf}.

Таблица Д.2 – **Значение температур**

Значения $T_0 - T_{bf}$, °С	Ширина сооружения B, м	Значения, °С, для фундаментов				
		столбчатых при глубине заложения z, м			свайных при глубине заложения z, м	
		1	3	5	7	10
–0,5	12	–10	–3,5	–5	–3	–2,5
	24	–8	–2,5	–3,5	–2,5	–2
–1	12	–10	–3	–4	–2,5	–1,5
	24	–8	–2,5	–3,5	–2	–1,5

Окончание таблицы Д.2

Значения $T_0 - T_{bf}$, °С	Ширина сооружения B, м	Значения, °С, для фундаментов				
		столбчатых при глубине заложения z, м			свайных при глубине заложения z, м	
		1	3	5	7	10
–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

Примечания

1 Глубина заложения фундаментов z отсчитывается от уровня верхней поверхности многолетнемерзлого грунта.

2 При среднегодовой температуре наружного воздуха T_{out} выше табличных значений в расчетах следует принимать $T_0' = T_{out}$.

Д.4 Установленная расчетом по Д.2 среднегодовая температура воздуха в подполье $T_{c,a}$ при естественном вентилировании подполья за счет ветрового напора обеспечивается подбором модуля его вентилирования M, определяемого соотношением

$$M = A_v / A_b, \qquad (Д.2)$$

где A_v – для подполий с продухами – общая площадь продухов; для открытых подполий – площадь, равная произведению периметра здания на расстояние от поверхности грунта или отмостки до низа ростверка свайного фундамента или фундаментных балок, м^2;

A_b – площадь здания в плане по наружному контуру, м^2.

Примечание – При отношении высоты подполья h_c к ширине здания B менее 0,02 следует применять вентиляцию с механическим побуждением.

Д.5 Модуль вентилирования M, необходимый для обеспечения расчетной температуры воздуха в подполье $T_{c,a}$ при его естественном вентилировании, вычисляется по формуле

$$M = k_c \frac{T_{in} - T_{c,a} - (T_{c,a} - T_{out})\chi + \xi}{0{,}77 R_0 C_v k_a V_a (T_{c,a} - T_{out})} \times \sqrt{1 + \sum_1^n \chi_i}, \qquad (Д.3)$$

где k_c – коэффициент, принимаемый в зависимости от расстояния между зданиями a и их высотой h, равным:

1,0 при $a \geq 5h$

1,2 при $a = 4h$

1,5 при $a \leq 3h$

T_{in} – расчетная температура воздуха в помещении, °С;

T_{out} – среднегодовая температура наружного воздуха, °С;

R_0 – сопротивление теплопередаче перекрытия над подпольем, м^2·°С/Вт;

C_v – объемная теплоемкость воздуха, принимаемая равной 1300 Дж/(м^3·°С);

k_a – обобщенный аэродинамический коэффициент, учитывающий давление ветра и гидравлические сопротивления, принимаемый равным: для сооружений

прямоугольной формы – k_a = 0,37; *П*-образной формы – k_a = 0,3; *Т*-образной формы – k_a = 0,33 и *L*-образной формы – k_a = 0,29;

V_a – средняя годовая скорость ветра, м/с (м/ч);

χ – безразмерный параметр; для открытых подполий принимается равным 0; для подполий с продухами определяется по формуле

$$\chi = \frac{A_z}{A_b}\frac{R_0}{R_z}, \qquad (Д.4)$$

где A_z – площадь цоколя для подполий с продухами, м^2;

R_z – сопротивление теплопередаче цоколя, м^2·°С/Вт;

ξ – параметр, учитывающий влияние расположенных в подполье коммуникаций на его тепловой режим, °С, определяемый по формуле

$$\xi = \frac{R_0}{A_b t_y}\sum_{j=1}^{j=n}\frac{l_{p,j}}{R_{p,j}}\left(T_{p,j} - T_{c,a}\right)t_{p,j}, \qquad (Д.5)$$

где n – число трубопроводов;

l_{pj} – длина j-го трубопровода, м;

T_{pj} – температура теплоносителя в j-м трубопроводе, °С;

t_{pj} – время работы j-го трубопровода в течение года, сут;

t_y – продолжительность года, равная 365 сут;

R_{pj} – сопротивление теплопередаче теплоизоляции j-го трубопровода м·°С/Вт;

χ_i – коэффициент потери напора на отдельных участках подполья, принимаемый по таблице Д.3.

Таблица Д.3 – **Коэффициент χ_i**

Участок подполья	χ_i
Вход с сужением потока	0,50
Жалюзийная решетка	2,00
Поворот потока на 90°	1,32
Вход с расширением потока	0,64

Приложение Е
(обязательное)

Расчет оснований при строительстве по способу стабилизации верхней поверхности многолетнемерзлых грунтов

Е.1 При строительстве по способу стабилизации верхней поверхности многолетнемерзлого грунта (6.4.4) глубина заложения фундаментов d должна удовлетворять условию

$$h_{th} - 2 \geq d \geq d_{f,n} + 1, \qquad (Е.1)$$

где h_{th} – глубина залегания верхней поверхности многолетнемерзлого грунта на начало эксплуатации сооружения, м;

$d_{f,n}$ – нормативная глубина сезонного промерзания грунта, м.

Е.2 Расчет оснований фундаментов по несущей способности и деформациям следует производить в соответствии с требованиями СП 22.13330, СП 24.13330, настоящего свода правил.

Проверку фундаментов на устойчивость и прочность на воздействие сил морозного пучения грунтов необходимо производить согласно 7.4.1–7.4.5, принимая расчетную глубину сезонного промерзания грунта $d_f = d_{f,n} + 1$, м.

Е.3 Требуемый температурный режим грунтов оснований обеспечивается холодным подпольем, модуль вентилирования которого M определяется по формуле (Д.3), принимая среднегодовую температуру воздуха в подполье $T_{c,a}$, °С, равной

$$T_{c,a} = \frac{\lambda_f}{\lambda_{th}\beta_f}(T_0 - T_{bf}) + T_{bf}1{,}1, \qquad (Е.2)$$

где β_f – коэффициент, определяемый по графикам рисунка Е.1 в зависимости от значений параметров ξ_f и ψ_f, определяемых по формулам

$$\xi_f = (d_{f,n} + 1)/B; \qquad (Е.3)$$

$$\psi_f = \frac{\lambda_f (T_{bf} - T_0) t_u}{L_\upsilon B^2}, \qquad (Е.4)$$

где t_u – расчетный срок эксплуатации сооружения, с (ч).

Остальные обозначения те же, что в формулах приложения Д.

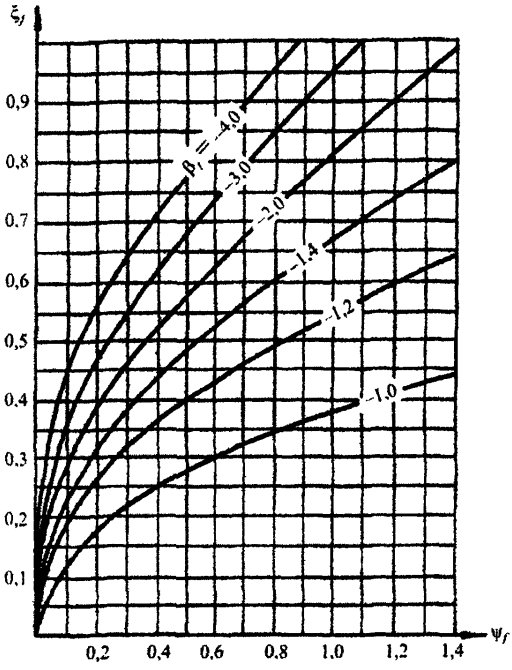


Рисунок Е.1 **– Графики для определения коэффициента β_f**

Е.4 Положение верхней поверхности многолетнемерзлого грунта под сооружением при принятой Е.3 расчетной температуре воздуха в подполье $T_{c,a}$ должно быть проверено расчетом по глубине оттаивания грунта под сооружением H, определяемой в соответствии с указаниями К.5, принимая в формуле (К.15) значение $T_{in} = T_{c,a} + 1{,}1$, °С и коэффициент $\alpha_R = 0$.

В случае, если при полученной расчетом глубине оттаивания грунта H (считая от поверхности многолетнемерзлого грунта), осадка основания превысит предельно допустимое для данного сооружения значение, следует предусматривать дополнительные мероприятия по регулированию глубины оттаивания основания.

Приложение Ж
(рекомендуемое)

Расчет свайных фундаментов на действие горизонтальных нагрузок и воздействий

Ж.1 Данное приложение не относится к расчету свайных фундаментов опор мостов на действие горизонтальных нагрузок, который следует производить в соответствии с требованиями СП 35.13330 с учетом указаний 12.17.

Ж.2 При расчете свайных фундаментов на действие горизонтальных нагрузок (сил и/или моментов) и воздействий (температурного расширения ростверка и пр.) следует рассматривать следующие расчетные схемы:

схема 1 – свая погружена в твердомерзлый грунт, глубина сезонного оттаивания которого $d_{th} \le 5b$, где b – размер поперечного сечения сваи в направлении действия горизонтальной силы; свая принимается жестко заделанной в основание на глубине $d_{th}+1{,}5b$, сопротивление расположенных выше слоев грунта не учитывается;

схема 2 – свая погружена в твердомерзлый грунт, глубина сезонного оттаивания которого $d_{th} > 5b$, условия заделки сваи те же, что и в схеме 1, а вышерасположенные грунты рассматриваются как линейно-деформируемая среда с коэффициентом жесткости, возрастающим пропорционально глубине в пределах каждого однородного слоя; эту схему допускается также принимать при $d_{th} \le 5b$, если сезонноттаивающий слой сложен маловлажными крупнообломочными и песчаными грунтами средней плотности и плотными, а также глинистыми грунтами с показателем текучести в талом состоянии $I_L \le 0{,}75$;

схема 3 – свая погружена в пластично-мерзлый грунт, а также в случаях использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу II; окружающие сваю грунты рассматриваются как линейно-деформируемая среда с коэффициентом жесткости, возрастающим пропорционально глубине в пределах каждого однородного слоя.

Ж.3 Расчет свай по указанным схемам выполняется в соответствии с указаниями СП 24.13330 исходя из условной глубины погружения свай, равной $d_{th}+1{,}5b$ при расчетах по схемам 1 и 2 и равной фактической глубине погружения сваи при расчетах по схеме 3, отсчитываемой от поверхности грунта при высоком ростверке и от подошвы ростверка – при низком ростверке.

При расчетах по схеме 2, а также по схеме 3 в случаях, когда многолетнемерзлые грунты используются в качестве основания по принципу II, величину коэффициента пропорциональности K, описывающего линейное возрастание с глубиной коэффициента жесткости, окружающего сваю грунта, принимают в зависимости от вида грунта по СП 24.13330. При этом, приведенные в этих таблицах значения K уменьшают на 30 % для оттаявших глинистых грунтов и на 15 % для водонасыщенных песков.

При расчетах по схеме 3, когда свая погружена в пластично-мерзлые грунты, величину коэффициента пропорциональности этих грунтов K, кН/м^4, допускается определять по формуле

$$K = 2{,}35\frac{E}{d\,l}, \qquad (Ж.1)$$

где E – модуль общей деформации, МПа, пластично-мерзлого грунта, окружающего сваю;

l и d – соответственно длина, м, погруженной в грунт части сваи и наружный диаметр, м, круглого или сторона прямоугольного сечения сваи в плоскости, перпендикулярной действию горизонтальной нагрузки.

Приложение И
(рекомендуемое)

Расчет осадок оснований, сложенных сильнольдистыми грунтами и подземным льдом

И.1 Осадка основания столбчатого фундамента на сильнольдистых грунтах определяется согласно 7.2.16, 7.2.17 и 8.8. При этом, составляющую осадки s_p, м, обусловленную уплотнением оснований под нагрузкой, допускается определять по формуле

$$s_p = \sum_{j=1}^{n} \xi_j h_j , \qquad (И.1)$$

где n и h_j – соответственно число выделенных слоев грунта и их толщина, м;

ξ_j – относительное сжатие j-го слоя грунта, доли единицы, определяемое опытным путем; для прослоев льда значение $\xi_{i,j}$ допускается определять по формуле

$$\xi_{i,j} = \frac{n_j \alpha_{m,j} p}{\sigma_a + \sigma_{g,j} + \alpha_{m,j} p}, \qquad (И.2)$$

здесь n_j – пористость j-го слоя льда;

p – среднее давление на грунт под подошвой фундамента, кПа;

σ_a – атмосферное давление, принимаемое равным 10,0 кПа;

$\sigma_{g,j}$ – природное (бытовое) давление в середине j-го слоя, кПа;

$\alpha_{m,j}$ – безмерный коэффициент, принимаемый по таблице И.1 в зависимости от отношения сторон подошвы фундамента a/b и относительной глубины $\frac{z'}{b} = \frac{z'_{j-1} + z'_j}{2b}$ (здесь z'_{j-1} и z'_j – расстояния от подошвы фундамента соответственно до кровли и подошвы j-го слоя льда).

Таблица И.1 – **Значения коэффициента α_m**

z'/b	Значения коэффициента α_m при l/b							
	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0	10,0
0,4	0,417	0,450	0,474	0,492	0,506	0,516	0,545	0,569
0,6	0,269	0,299	0,324	0,343	0,358	0,370	0,406	0,438
0,8	0,181	0,206	0,227	0,245	0,259	0,272	0,310	0,350
1,0	0,128	0,148	0,165	0,180	0,193	0,205	0,243	0,289
1,5	0,064	0,075	0,085	0,095	0,104	0,112	0,143	0,196
2,0	0,038	0,044	0,051	0,057	0,063	0,069	0,093	0,145
2,5	0,025	0,029	0,038	0,038	0,042	0,046	0,064	0,112
3,0	0,017	0,020	0,024	0,027	0,030	0,033	0,047	0,090

И.2 Скорость осадки сильнольдистых грунтов v, м/год, обусловленная их пластично-вязким течением, определяется по формуле

$$v = \sum_{j=1}^{m} v_j , \qquad (И.3)$$

где m – число месяцев в году, в течение которых развиваются деформации ползучести грунтов;

v_j – среднемесячная скорость осадки, м/мес, определяемая согласно указаниям И.3.

И.3 Среднемесячная скорость осадки сильнольдистых грунтов основания v_j м/мес (см/мес), определяется по формуле

$$v_j = 730 \sum_{k=1}^{n} h_k \xi_k , \qquad (И.4)$$

где n – число слоев грунта, в пределах которых определяется среднемесячная температура $T_{j,k}$;

h_k – толщина k-го слоя грунта, м, принимается не более $0{,}2b$ (b – меньший размер подошвы фундамента);

ξ_k – скорость относительной деформации k-го слоя грунта, 1/ч, при среднемесячной температуре грунта $T_{j,k}$, определяемая по формуле

$$\xi_k = \frac{1}{2\eta_k}\left(\sigma_k - \frac{2}{3}\sigma_{L,k}\right), \qquad (И.5)$$

здесь η_k – коэффициент вязкости k-го слоя грунта основания, кПа·ч, определяемый согласно указаниям И.5;

σ_k – напряжение, кПа, в k-м слое грунта основания, определяемое по И.4;

$\sigma_{L,k}$ – предел текучести k-го слоя грунта основания, кПа, определяемый по И.5.

И.4 Напряжение σ_k вычисляется по формуле

$$\sigma_k = 0{,}5(\sigma_{z,k-1} + \sigma_{z,k}), \qquad (И.6)$$

где $\sigma_{z,k-1}$ и $\sigma_{z,k}$ – напряжения, кПа, на верхней и нижней границах k-го слоя, определяемые по формуле

$$\sigma_z = \alpha_0 p_0, \qquad (И.7)$$

где α_0 – безразмерный коэффициент, принимаемый по таблице И.2 в зависимости от отношения сторон подошвы фундамента a/b и от значения z'/b (здесь z' – расстояние от низа подошвы фундамента до уровня, на котором определяется напряжение);

$p_0 = p - \sigma_g$ – дополнительное (к природному) вертикальное давление на грунт под подошвой фундамента, кПа;

где p – среднее давление на грунт под подошвой фундамента от постоянной и длительных долей временных нагрузок, кПа;

σ_g – природное (бытовое) давление в грунте на уровне подошвы фундамента от веса вышележащих слоев грунтов (до отметки природного рельефа), кПа.

Таблица И.2 – **Значения коэффициента α_0**

z'/b	Значения коэффициента α_0 при a/b							
	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3	10
0,05	0,089	0,090	0,077	0,074	0,072	0,070	0,066	0,063
0,1	0,171	0,159	0,150	0,144	0,140	0,137	0,129	0,123
0,2	0,298	0,281	0,269	0,259	0,252	0,247	0,232	0,221
0,4	0,382	0,356	0,373	0,366	0,360	0,354	0,334	0,312

Окончание таблицы И.2

z'/b	Значения коэффициента α_0 при a/b							
	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3	10
0,6	0,337	0,352	0,359	0,360	0,359	0,357	0,342	0,316
0,8	0,268	0,290	0,304	0,307	0,318	0,321	0,316	0,291
1,0	0,208	0,231	0,248	0,261	0,270	0,276	0,282	0,260
1,5	0,115	0,133	0,147	0,160	0,171	0,180	0,204	0,198
2,0	0,071	0,083	0,094	0,104	0,113	0,121	0,148	0,158
2,5	0,047	0,056	0,064	0,071	0,078	0,085	0,109	0,132
3,0	0,034	0,040	0,046	0,052	0,057	0,062	0,083	0,112
4,0	0,019	0,023	0,027	0,030	0,033	0,037	0,051	0,085

Среднее дополнительное давление на грунт p_0 должно удовлетворять условию

$$p_0 \le k_f \frac{2}{3}\sigma_u, \qquad (И.8)$$

где k_f – безразмерный коэффициент, принимаемый по первой строке таблице И.3 при $h_s/b = 0$, h_s – толщина грунтовой прослойки под фундаментом;

σ_u – наибольшее значение напряжения, кПа, при котором сохраняется линейная зависимость скорости установившегося течения от напряжения на начальном участке реологической кривой, определяемое по И.5.

Таблица И.3 – **Значения коэффициента k_f**

h_s/b	Значения коэффициента k_f при a/b							
	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3	10
0	2,6	2,65	2,7	2,7	2,75	2,8	2,9	3,2
0,5	3,3	3,35	3,4	3,4	3,45	3,5	3,6	3,8
1,0	3,8	4,40	4,8	4,8	4,60	4,4	4,3	4,6
1,5	10,0	8,70	7,7	7,1	6,70	6,4	5,6	5,8
2,0	16,2	13,8	12,1	11,0	10,2	9,5	7,7	7,5

И.5 Расчетные характеристики сильнольдистого грунта η, σ_L, σ_u определяются при инженерных изысканиях из испытаний образцов мерзлого грунта на одноосное сжатие в соответствии с ГОСТ 12248.

Температуры $T_{j,k}$, в зависимости от которых устанавливаются значения η и σ_L, следует определять по формулам (7.5) – (7.7) настоящих норм. Значения коэффициента α для определения температуры принимаются по таблице И.4 для j-го месяца и глубины залегания середины k-го слоя z, измеряемой от верхней поверхности многолетнемерзлых грунтов. При этом за первый месяц (j = 1) принимается тот, в котором глубина сезонного протаивания достигает наибольшего значения. Для σ_u температура принимается равной температуре на глубине ниже подошвы фундамента на $0{,}5b$ (здесь b – ширина подошвы фундамента).

Таблица И.4 – **Значения коэффициента $\alpha_{j,k}$**

z, м	Значения коэффициента $\alpha_{j,k}$ при j, мес											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1,0	0,34	0,31	0,46	0,76	1,12	1,45	1,66	1,69	1,54	1,24	0,88	0,55
2,0	0,62	0,51	0,53	0,68	0,91	1,17	1,38	1,49	1,47	1,32	1,09	0,83
3,0	0,83	0,70	0,65	0,70	0,82	1,00	1,17	1,30	1,35	1,30	1,18	1,00
4,0	0,96	0,84	0,77	0,76	0,81	0,91	1,04	1,16	1,23	1,24	1,19	1,08
5,0	1,03	0,94	0,87	0,83	0,84	0,89	0,97	1,06	1,13	1,17	1,16	1,11
6,0	1,06	1,00	0,94	0,90	0,88	0,90	0,94	1,00	1,06	1,10	1,12	1,10

Примечание – z – расстояние от верхней поверхности многолетнемерзлых грунтов до уровня, на котором определяется температура.

И.6 Скорость осадки подземного льда v, м/год, обусловленная его пластично-вязким течением, определяется по формуле

$$v = 4380 p_0 b k_i \sum_{j=1}^{n} \left(k_{t,j} + k_{t,j-1}\right)\left(\omega_j - \omega_{j-1}\right), \qquad (И.9)$$

где p_0 – дополнительное (к природному) вертикальное давление на грунт под подошвой фундамента, кПа, определяемое так же, как и в И.4.

b – ширина подошвы фундамента, м;

k_i – параметр, характеризующий вязкость льда, определяемый из испытаний образцов льда на одноосное сжатие, °С/(кПа · ч);

n – число слоев, на которое разделяется толща льда (толщина слоя принимается не более $0{,}4b$);

$k_{t,j}$, $k_{t,j-1}$ – коэффициенты, 1/°С, принимаемые по таблице И.5 в зависимости от температуры основания ($T_0 - T_{b,f}$) и расстояний от верхней поверхности многолетнемерзлых грунтов до кровли z_{j-1} и подошвы z_j j-го слоя льда;

ω_{j-1}, ω_j – безразмерные коэффициенты, определяемые по таблице И.6 в зависимости от отношения сторон подошвы фундамента a/b и соответственно относительных глубин и (здесь z'_{j-1} и z'_j) – расстояния от подошвы фундамента соответственно до кровли и подошвы j-го слоя льда).

Таблица И.5 – **Значения коэффициента k_t**

z, м	Коэффициент k_t, 1/°С, при температуре $T_0 - T_{bf}$, °С							
	–2,5	–3	–3,5	–4	–5	–6	–8	–10
0	0,408	0,377	0,353	0,333	0,301	0,277	0,243	0,218
1,0	0,327	0,295	0,266	0,242	0,206	0,179	0,143	0,118
1,5	0,316	0,279	0,251	0,227	0,192	0,166	0,131	0,108
2,0	0,307	0,269	0,241	0,218	0,184	0,158	0,124	0,102
2,5	0,299	0,263	0,235	0,213	0,178	0,153	0,120	0,098
3,0	0,295	0,259	0,231	0,208	0,174	0,150	0,117	0,096
4,0	0,289	0,255	0,227	0,204	0,170	0,146	0,114	0,094
5,0	0,288	0,252	0,225	0,202	0,168	0,144	0,112	0,092
6,0	0,287	0,251	0,223	0,200	0,167	0,143	0,111	0,091

Таблица И.6 – **Значения коэффициента ω**

z'/b	Значения коэффициента ω при a/b								
	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3	4	10
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,5	0,070	0,068	0,066	0,065	0,063	0,062	0,059	0,058	0,055
1,0	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,144	0,139	0,136	0,130
1,5	0,181	0,189	0,194	0,198	0,200	0,201	0,200	0,196	0,186
2,0	0,204	0,216	0,224	0,230	0,235	0,238	0,243	0,242	0,231
2,5	0,218	0,232	0,243	0,262	0,258	0,263	0,275	0,277	0,267
3,0	0,228	0,244	0,257	0,267	0,275	0,281	0,299	0,305	0,297
3,5	0,236	0,253	0,267	0,278	0,287	0,295	0,317	0,326	0,323
4,0	0,241	0,259	0,274	0,286	0,297	0,305	0,332	0,344	0,346
5,0	0,249	0,269	0,285	0,299	0,310	0,320	0,353	0,370	0,384
6,0	0,254	0,275	0,292	0,307	0,319	0,330	0,368	0,389	0,414

Примечание – z – расстояние от верхней поверхности многолетнемерзлых грунтов до рассматриваемого уровня.

Среднее дополнительное давление p_0 должно удовлетворять условию (И.8), при этом значение k_f определяется по таблице И.3 в зависимости от толщины грунтовой прослойки под фундаментом h_s и размеров подошвы a и b. Значение σ_u определяется из испытаний образцов льда на одноосное сжатие при температуре T_m (7.2.7) на уровне кровли льда.

Приложение К
(рекомендуемое)

Расчет глубины оттаивания грунтов под сооружениями

К.1 Расчет глубины оттаивания грунтов в основании сооружения (7.3.3) H, м (считая от поверхности грунта под сооружением), за время его эксплуатации t, с (ч), производится по формулам:

под серединой сооружения

$$H_c = k_n(\xi_c - k_c)B; \quad (К.1)$$

под краем сооружения

$$H_e = k_n(\xi_e - k_e - 0{,}1\beta\sqrt{\psi})B, \quad (К.2)$$

где k_n – коэффициент, определяемый по таблице К.1 в зависимости от отношения L/B (соответственно длина и ширина сооружения, м) и значений параметров β и ψ;

ξ_c и k_c – коэффициенты, определяемые по графикам (рисунок К.1) в зависимости от значений параметров α_R, β и ψ;

ξ_e и k_e – коэффициенты, определяемые по графикам (рисунок К.2) в зависимости от значений параметров α_R, β и ψ:

$$\alpha_R = \lambda_{th}R_0/B; \quad (К.3)$$

$$\beta = -\frac{\lambda_f\left(T_0 - T_{bf}\right)}{\lambda_{th}\left(T_{in} - T_{bf}\right)}; \quad (К.4)$$

$$\psi = \lambda_{th}T_{in}t/L_vB^2, \quad (К.5)$$

здесь λ_{th} и λ_f – соответственно теплопроводность талого и мерзлого грунтов, Вт/(м·°С), принимаемые по таблице Б.8;

R_0 – сопротивление теплопередаче пола первого этажа или подвала сооружения, $м^2 \cdot °С/Вт$, определяемое в соответствии с СП 50.13330;

T_0 – расчетная среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта, °С, определяемая в соответствии с Г.8;

T_{bf} – температура начала замерзания грунта, °С, определяемая по Б.5;

T_{in} – расчетная температура воздуха внутри сооружения, °С;

L_v – теплота таяния мерзлого грунта, $Дж/м^3$, определяемая по формуле (Б.20).

Примечание – При $\alpha_R = 0$ значения H_e следует определять по формуле $H_e = k_n\xi_eB$.

К.2 Если вычисленные по формуле (К.2) значения H_e получаются меньше нормативной глубины сезонного оттаивания грунта $d_{th,n}$, то следует принимать $H_e = 1{,}5d_{th,n}$.

Таблица К.1 – **Значения коэффициента k_n**

Параметр ψ	Значения коэффициента k_n														
	для круглых в плане сооружений при β, равном					для прямоугольных в плане сооружений при									
						L/B = 1 и β, равном					L/B = 2 и β, равном				
	0	0,4	0,8	1,2	2,0	0	0,4	0,8	1,2	2,0	0	0,4	0,8	1,2	2,0
0,10	0,97	0,87	0,82	0,76	0,71	1,00	0,93	0,87	0,83	0,80	1,00	1,00	0,99	0,97	0,96
0,25	0,93	0,79	0,71	0,64	0,61	0,95	0,85	0,78	0,74	0,68	1,00	0,97	0,92	0,89	0,96
0,50	0,91	0,71	0,62	0,61	0,61	0,94	0,78	0,68	0,66	0,68	0,99	0,95	0,88	0,85	0,87
1,00	0,90	0,64	0,57	0,59	0,61	0,92	0,70	0,63	0,66	0,68	0,97	0,90	0,82	0,85	0,87
1,50	0,89	0,59	0,56	0,59	0,61	0,90	0,64	0,63	0,66	0,68	0,96	0,87	0,82	0,85	0,87
2,50	0,88	0,54	0,56	0,59	0,61	0,89	0,58	0,63	0,66	0,68	0,95	0,84	0,82	0,85	0,87
3,50	0,87	0,53	0,56	0,59	0,61	0,88	0,57	0,63	0,66	0,68	0,94	0,83	0,82	0,85	0,87

К.3 Максимальная глубина оттаивания грунта H_{max}, м, (считая от поверхности грунта под сооружением), соответствующая установившемуся предельному положению границы зоны оттаивания, определяется по формулам:

под серединой сооружения

$$H_{c,max} = k_s \xi_{c,max} B; \quad (К.6)$$

под краем сооружения

$$H_{e,max} = k_s \xi_{e,max} B, \quad (К.7)$$

где k_s – коэффициент, определяемый по таблице К.2

$\xi_{c,max}$ и $\xi_{e,max}$ – коэффициенты, определяемые по графикам (рисунки К.3,*а* и К.3,*б*).

Таблица К.2 – **Значения коэффициента k_s**

Форма сооружения	L/B	Значения коэффициента k_s при β, равном				
		0,2	0,4	0,8	1,2	2,0
Круглая	–	0,40	0,49	0,56	0,59	0,61
Прямоугольная	1	0,45	0,55	0,63	0,66	0,68
	2	0,62	0,74	0,82	0,85	0,87
	3	0,72	0,83	0,90	0,92	0,94
	4	0,79	0,89	0,94	0,95	0,96
	5	0,84	0,92	0,96	0,97	0,98
	≥10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

К.4 Для заглубленного сооружения глубина оттаивания грунта H, м (считая от поверхности грунта под заглубленной частью сооружения), за время t, с (ч), определяется по формулам:

под серединой сооружения

$$H_c = k_n(\xi_d - \alpha_R)B; \quad (К.8)$$

под краем сооружения

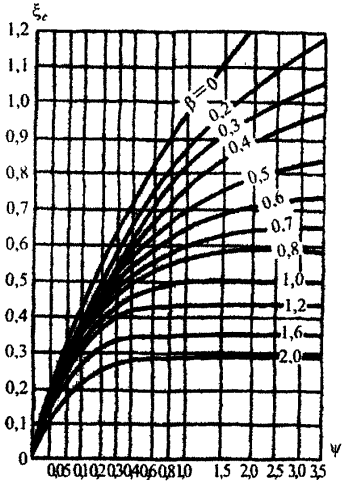
$$H_e = k_d H_c, \qquad (К.9)$$

где k_d – коэффициент, определяемый по таблице К.3;

ξ_d – коэффициент, определяемый по графикам (рисунок К.4) в зависимости от отношения заглубления сооружения к его ширине H/B, параметра β и коэффициента ψ_d, определяемого по формуле

$$\psi_d = \frac{\lambda_{th} T_{in} t}{L_v B^2} + \psi_0, \qquad (К.10)$$

где ψ_0 – коэффициент, определяемый по графикам (рисунок К.4) в зависимости от параметров H/B и β при $\xi_d = \alpha_R$.



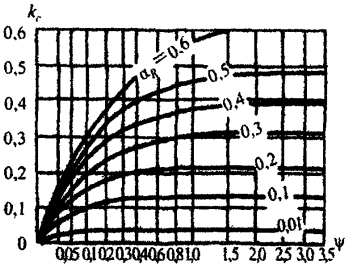
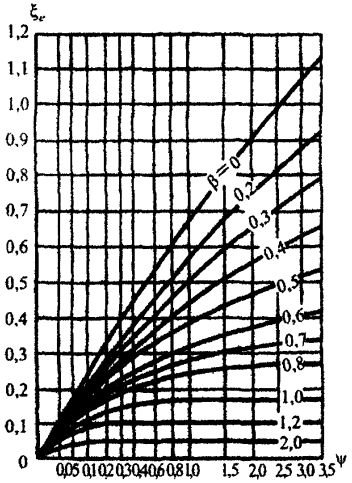


***Рисунок К.1* – Графики для определения коэффициентов ξ_c и k_c**



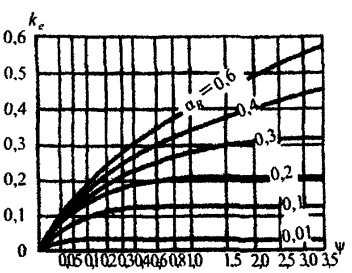


***Рисунок К.2* – Графики для определения коэффициентов ξ_e и k_e**

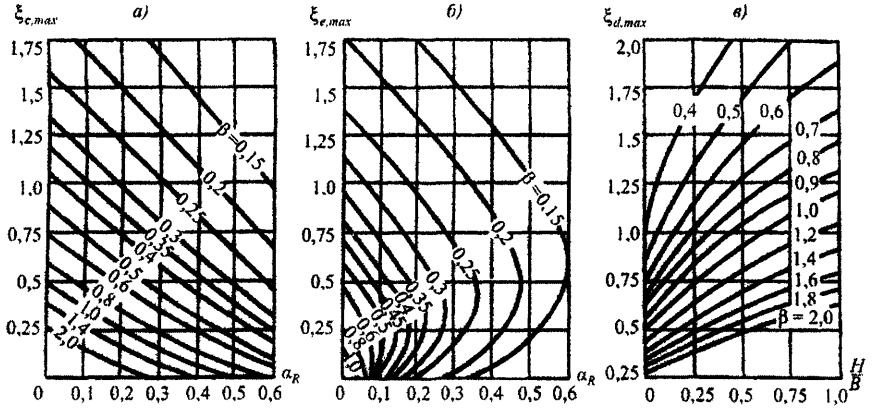


***Рисунок К.3* – Графики для определения коэффициентов:**
***а* – $\xi_{c,max}$; *б* – $\xi_{e,max}$; *в* – $\xi_{d,max}$**

Таблица К.3 – Значения коэффициента k_d

H/B	Значения коэффициента k_d при β, равном				
	0 – 0,2	0,4	0,8	1,2	2,0
0	0,85	0,69	0,39	0,22	0,13
0,25	0,88	0,76	0,62	0,48	0,29
0,50	0,90	0,82	0,69	0,57	0,38
0,75	0,92	0,87	0,75	0,63	0,46
1,00	0,93	0,90	0,78	0,66	0,51

К.5 Максимальная глубина оттаивания грунта под заглубленным сооружением H_{max}, м, определяется по формулам:

под серединой сооружения

$$H_{c,max} = k_s(\xi_{d,max} - \alpha_R)B; \quad (К.11)$$

под краем сооружения

$$H_{e,max} = k_d H_{c,max}, \quad (К.12)$$

где $\xi_{d,max}$ – коэффициент, определяемый по графикам рисунка К.3,*в*.

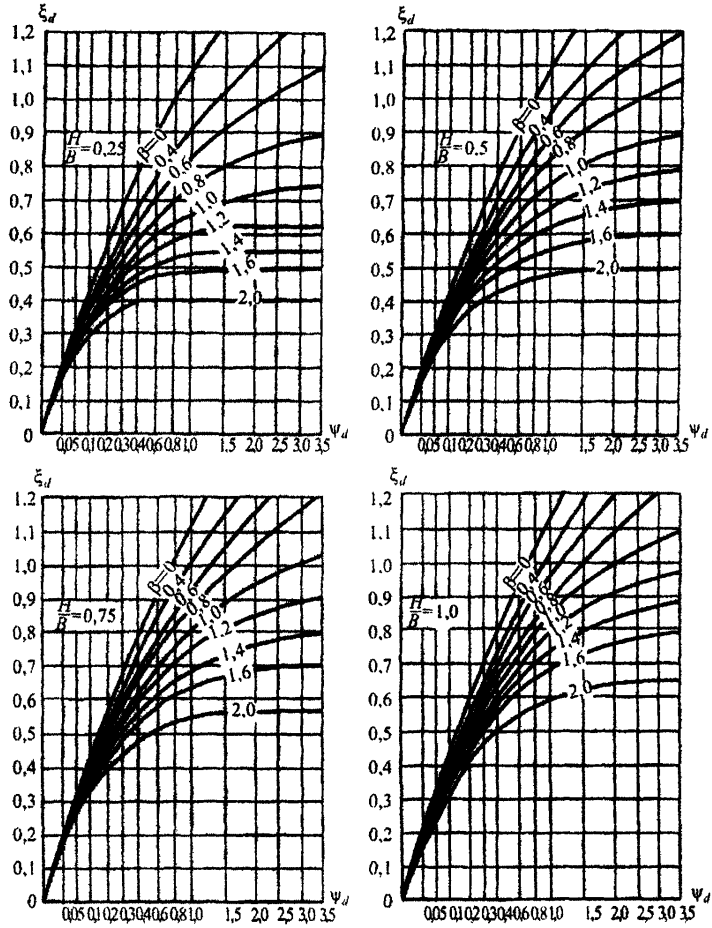


***Рисунок К.4* – Графики для определения коэффициента ξ_d**

К.6 На участках, где слой сезонного промерзания не сливается с верхней поверхностью многолетнемерзлого грунта, глубина оттаивания грунта под серединой H_c и краем сооружения H_e, м (считая от верхней поверхности многолетнемерзлого грунта) за время t, с (ч) определяется по формулам:

$$H_c = k_n \xi'_c B; \quad (К.13)$$

$$H_e = k_n \xi'_e B, \quad (К.14)$$

где k_n – коэффициент, определяемый по К.1, принимая $\beta = 0$ и $\psi = \psi_{th}$;

здесь

$$\psi_{th} = \frac{\lambda_{th} T_{in} t}{L_v B^2} \cdot \frac{1}{1 + 0,64 \alpha_R \ln 2,5B}; \qquad (К.15)$$

ξ'_c и ξ'_e – коэффициенты, определяемые соответственно по графикам (рисунки К.5 и К.6) в зависимости от значения параметров $\xi_0 = h_{th}/B$ и ψ_{th};

где h_{th} – глубина залегания верхней поверхности многолетнемерзлого грунта, м.

К.7 В случаях проведения мероприятий по предварительному оттаиванию или замене грунтов до глубины $h_{b,th}$ (6.4.3) расчетная глубина оттаивания H, м, (считая от поверхности грунта под сооружением) за время t, с (ч) определяется по формуле

$$H = h_{b,th} + h_{c,e}, \qquad (К.16)$$

где $h_{c,e}$ – глубина оттаивания грунта под подошвой предварительно оттаянного или замененного слоя грунта, определяемая по формулам (К.13) или (К.14), принимая значения ξ'_c и ξ'_e по графикам (рисунки К.5 и К.6) при значении параметра $\xi_0 = h_{b,th}/B$.

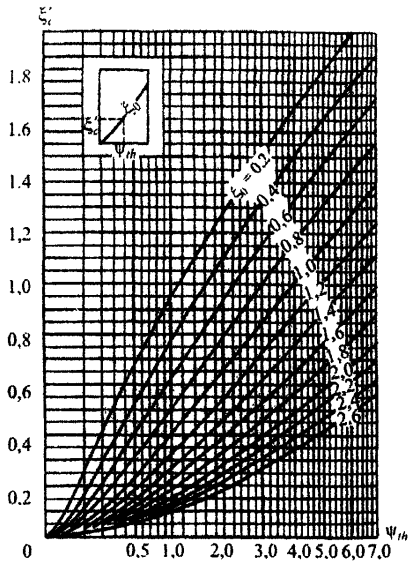


Рисунок К.5 **– Графики для определения коэффициента ξ'_c**

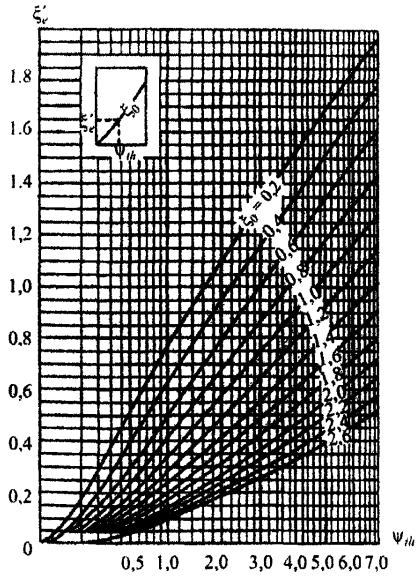


Рисунок К.6 **– Графики для определения коэффициента ξ'_e**

Приложение Л

(рекомендуемое)

Определение механических свойств и несущей способности оснований свай в многолетнемерзлых грунтах по результатам статического зондирования

Л.1 Статическим зондированием испытывают многолетнемерзлые дисперсные грунты, состав и состояние которых позволяют производить непрерывное внедрение зонда. Для испытаний используют зонд II типа по ГОСТ 19912, дополнительно оснащенный датчиком температуры, расположенным в конусе наконечника зонда.

Л.2 Статическое зондирование выполняют путем вдавливания зонда с постоянной скоростью 0,5±0,1 м/мин с периодическими остановками по глубине (рекомендуемый интервал 0,5 – 1 м), при которых испытание переводят в релаксационно-ползучий режим («стабилизация» зонда), сопровождаемый вмерзанием зонда в грунт и изменением сопротивлений грунта зондированию во времени. Переход в режим «стабилизации» достигается путем прекращения подачи масла в гидродомкраты вдавливания зонда. Заданием на проведение инженерно-геокриологических изысканий может предусматриваться выполнение других режимов статического зондирования мерзлых грунтов.

При испытании измеряют и фиксируют: удельные сопротивления грунта под конусом и вдоль боковой поверхности муфты трения при вдавливании зонда (q_{cv} и f_{sv}, кПа), испытании зонда в режиме «стабилизации» (q_{cs} и f_{ss}, кПа) и в начальный момент дополнительного вдавливания (додавливания) зонда после завершения его вмерзания в грунт в процессе испытания в режиме «стабилизации» (q_{ci} и f_{si}, кПа); температуру T_c, °С, конуса зонда; глубину и скорость вдавливания V_c, м/мин, зонда; время t_s, прошедшее после начала режима «стабилизации» зонда. Вмерзание зонда в грунт допустимо считать завершенным, если изменение температуры конуса наконечника зонда за последние 5 мин составляет не более 0,05 °С.

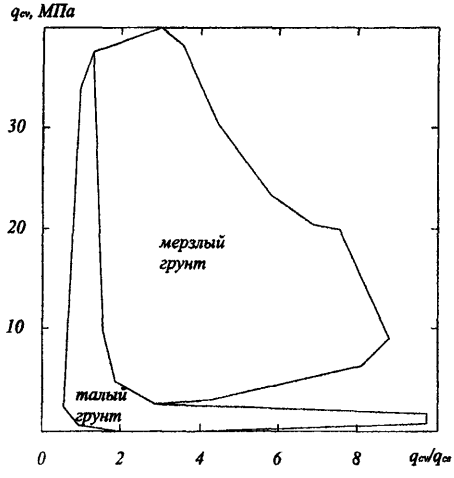
Л.3 Для предварительных расчетов оснований сооружений I – II уровней ответственности, а также для окончательных расчетов оснований сооружений III уровня ответственности в глинистых пластично-мерзлых (кроме засоленных и заторфованных) грунтах допускается определять нормативные значения характеристик механических свойств грунтов согласно Л.6, сопротивлений грунтов под нижним концом и по боковой поверхности вертикально нагруженных висячих забивных и бурозабивных свай согласно Л.8.

Окончательные расчеты сооружений допускается выполнять с использованием Л.6, Л.8 в случае выполнения контрольных сопоставлений результатов расчетов по данным статического зондирования и прямых методов испытаний грунтов, выполненных на ключевых участках.

Л.4 При проведении инженерно-геокриологических изысканий под конкретные сооружения статическое зондирование грунтов производят в пределах их контуров или на расстояниях от контуров не более 5 м. Для получения сопоставительных данных часть точек зондирования располагают на расстоянии не более 3 м от горных выработок, в которых производят отбор монолитов для лабораторных исследований, и выполняют другие полевые исследования грунтов, но не менее 1 м от границы выработки и не менее 2 м от оси испытываемой сваи.

Л.5 Состояние грунта и границу между талыми и мерзлыми грунтами по данным зондирования определяют по показаниям температурного датчика зонда и (или) диаграммам, составляемым на основе местного опыта сопоставления результатов

бурения разведочных скважин и данных статического зондирования. В случае отсутствия местного опыта для глинистых пластично-мерзлых (кроме засоленных и заторфованных) грунтов допустимо использовать диаграмму рисунка Л.1, при условии выполнения контрольных сопоставлений с результатами бурения.



q_{cv} и q_{cs} – сопротивления грунта под конусом зонда, зафиксированные соответственно при его погружении со скоростью V_c = 0,5 м/мин и через t_s=5 мин после начала релаксационно-ползучего режима испытания

***Рисунок Л.1* – Диаграмма определения состояния грунта по данным статического зондирования**

Л.6 Нормативные величины предельно длительных значений эквивалентного сцепления c_{eq}, кПа, и компрессионного модуля деформации E_f, МПа, пластично-мерзлых грунтов определяют по таблице Л.1. Расчетные значения характеристик определяют в соответствии с требованиями ГОСТ 20522 с учетом указаний 5.8.

Таблица Л.1

q_{cv}, кПа	5000	10000	15000	20000
c_{eq}, кПа	34	96	170	260
E_f, МПа	16	23	28	32
Примечание – Для промежуточных значений q_{cv} значения c_{eq} и E_f определяют интерполяцией.				

Значения характеристик c_{eq} и E_f при расчетной температуре мерзлого грунта определяют на основе откорректированного (корректировка выполняется на основе региональных корреляционных зависимостей между сопротивлением q_{cv} и температурой грунта) значения q_{cv}, соответствующего расчетной температуре грунта или путем умножения их значений, полученных по таблице Л.1, на поправочный температурный коэффициент (определяется на основе региональных корреляционных зависимостей между значениями характеристик c_{eq} и E_f и температурой грунта).

Л.7 Несущую способность основания F_u, кН, вертикально нагруженной висячей сваи в пластично-мерзлых грунтах по результатам статического зондирования, определяют по формуле

$$F_u = \gamma_t \Sigma F_{ui}/n\gamma_g\gamma_m, \qquad (Л.1)$$

где γ_t – температурный коэффициент, учитывающий изменения температуры грунтов основания из–за случайных изменений температуры наружного воздуха, определяется по указаниям приложения П;

F_{ui} – частное значение предельно длительного сопротивления основания сваи, определяемое в соответствии с указаниями Л.8;

γ_g – коэффициент надежности по грунту, определяемый в соответствии с требованиями ГОСТ 20522;

γ_m – коэффициент надежности, учитывающий метод определения несущей способности основания сваи, при использовании результатов статического зондирования принимается:

а) при отсутствии в зоне проектируемого объекта статических испытаний свай γ_m=1,2,

б) при проведении на ключевом участке в зоне проектируемого объекта сопоставительных испытаний грунтов сваей статической вдавливающей нагрузкой и статическим зондированием γ_m рассчитывается по формуле

$$\gamma_m = F_{ui} / F_{u,n} + 0{,}2,$$

где F_{ui} – предельно длительное сопротивление основания сваи на ключевом участке, рассчитанное по данным статического зондирования;

$F_{u,n}$ – предельно длительное сопротивление основания опытной сваи на ключевом участке, определенное по данным испытания сваи статической нагрузкой;

n – число точек зондирования.

Л.8 Частное значение предельно длительного сопротивления основания F_{ui}, кН, вертикально нагруженной висячей сваи в пластично-мерзлых грунтах в точке зондирования определяют по формуле

$$F_{ui} = k\,(R_c A + \gamma_{af} \Sigma\, R_{afc,i}\, A_{af,i}), \qquad (Л.2)$$

где k – коэффициент, учитывающий различие в состоянии многолетнемерзлых грунтов в период статического зондирования (при природной температуре грунта) и эксплуатации (при расчетной температуре грунта) проектируемого сооружения, определяемый согласно указаниям 7.2.10; при вычислении коэффициента k температура грунта определяется как средняя на участке, расположенном в пределах одного диаметра d выше и четырех диаметров d ниже отметки острия проектируемой сваи (где d – диаметр круглого или сторона квадратного сечения сваи, м);

R_c – удельное предельно длительное сопротивление пластично-мерзлого грунта под нижним концом сваи по данным зондирования в рассматриваемой точке, кПа;

A – площадь поперечного сечения сваи, м^2;

γ_{af} – коэффициент, зависящий от вида поверхности смерзания, принимаемый согласно В.3;

$R_{afc,i}$ – удельное предельно длительное сопротивление пластично-мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания сваи в пределах i-го слоя грунта, кПа;

$A_{af,i}$ – площадь поверхности смерзания i-го слоя грунта с боковой поверхностью сваи, м^2.

Удельное предельно длительное сопротивление пластично-мерзлого грунта под нижним концом сваи R_c, кПа, по данным статического зондирования в рассматриваемой точке определяется по формуле

$$R_c = \beta_1 q_{cv}, \quad (Л.3)$$

где β_1 – коэффициент перехода от q_c к R_c, принимаемый для забивных и бурозабивных свай по таблице Л.2,

q_{cv} – среднее значение удельного сопротивления грунта, кПа, под конусом зонда, полученное из опыта, на участке, расположенном в пределах одного диаметра d выше и четырех диаметров d ниже отметки острия проектируемой сваи.

Таблица Л.2

q_{cv}, кПа	5000	10000	15000	20000
β_1	0,42	0,31	0,25	0,22

Примечания

1 Приведенные значения коэффициента β_1 могут использоваться при глубине заложения сваи 5...10 м и погружении ее нижнего конца глубже забоя лидерной скважины не менее чем на четыре диаметра сваи.

2 Для промежуточных значений q_{cv} значения β_1 определяют интерполяцией.

Удельное предельно длительное сопротивление пластично-мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания сваи в пределах i-го слоя грунта $R_{afc,i}$, кПа, по данным статического зондирования в рассматриваемой точке определяется по формуле

$$R_{afc,i} = \beta_2 f_{si}, \quad (Л.4)$$

где β_2 – коэффициент, принимаемый для забивных и бурозабивных свай по таблице Л.3;

f_{si} – среднее значение удельного сопротивления i-го слоя грунта, кПа, вдоль боковой поверхности муфты трения, замеренное в начальный момент дополнительного вдавливания (додавливания) зонда после завершения его вмерзания в грунт в процессе испытания в режиме «стабилизации».

Таблица Л.3

f_{si}, кПа	Значения β_2 в зависимости от отношения A_b/A				
	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
50	0,18	0,17	0,17	0,16	0,14
100	0,26	0,25	0,24	0,22	0,19
150	0,33	0,31	0,29	0,27	0,22
200	0,38	0,36	0,34	0,31	0,24

Примечания

1 A_b – площадь поперечного сечения лидерной скважины для бурозабивных свай, м^2.

2 Для забивных свай принимается $A_b/A=0$.

3 Для бурозабивных свай $0<A_b/A<1$.

4 Для промежуточных значений f_{si} значения β_2 определяют интерполяцией.

Для несливающегося типа мерзлоты сопротивление участка талого грунта сдвигу по боковой поверхности сваи по данным статического зондирования рассчитывается согласно указаниям СП 24.13330.

Приложение М
(обязательное)

Контролируемые параметры при геотехническом мониторинге

М.1 Контролируемые параметры, параметры устройств контроля, применяемые при геотехническом мониторинге сооружений в зависимости от принципа строительства, представлены в таблице М.1.

М.2 Периодичность проведения измерений контролируемых параметров при проведении геотехнического мониторинга в период строительства и эксплуатации в зависимости от принципа строительства представлены в таблице М.2.

М.3 При мониторинге в сложных геокриологических условиях, а также для уникальных вновь возводимых и реконструируемых сооружений, допускается дополнительно производить фиксацию контролируемых параметров, не указанных в таблицах М.1, М.2.

Таблица М.1 – **Основные контролируемые параметры при геотехническом мониторинге сооружений**

Контролируемый параметр	Устройство для наблюдения за контролируемым параметром	Параметры устройств контроля	Принципы использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания сооружений		
			I принцип	II принцип	
				Предварительное искусственное оттаивание грунтов	Допущение оттаивания грунтов в период эксплуатации сооружения
Температура грунта	Термометрическая скважина	Количество	Не менее 2 % общего числа фундаментов (свай, столбчатых фундаментов)	Допускается не предусматривать***	Не менее 2 % общего числа фундаментов
		Расположение	У наружных фундаментов и фундаментов, расположенных посередине здания*	–	У наружных рядов фундаментов, а также в центре и на расстоянии от центра равном 0,25–0,4 ширины здания
		Глубина заложения	Не менее глубины заложения фундаментов**	–	На глубину сжимаемого слоя, но не более 20 м****
Уровень подземных вод	Гидрогеологическая скважина	Количество	Не менее 2		
		Расположение	Одна внутри контура здания, одна снаружи	В контуре здания	
		Глубина заложения	На глубине заложения фундаментов плюс 5 м, а в случае свайных фундаментов – на глубине заложения свай		
Осадка фундамента	Геодезическая марка	Расположение	Устанавливаются на угловых фундаментах, в средней части по осям здания по его наружному контуру, а также по обе стороны от осадочных швов		

Окончание таблицы М.1

* Если в подполье предусмотрен водоотводный лоток, дополнительно необходимо предусмотреть скважины у одного или двух фундаментов, расположенных вблизи лотка. Обязательна установка температурных скважин у фундаментов, ближайших к подземному вводу или выпуску санитарно-технических коммуникаций, а при надземной их прокладке в местах их погружения в грунт, за пределами здания. Для зданий, возведенных с предварительным охлаждением грунтов оснований или их локальным замораживанием, необходимо сохранять термометрические скважины, оборудованные в период проведения работ по охлаждению грунтов.

** В случае выполнения стабилизации верхней границы многолетнемерзлого грунта закладываются в количестве одной–двух в контуре здания на глубину заложения фундаментов плюс 5 м.

*** Рекомендуется законсервировать две или три термометрические скважины под зданием, пройденные при проведении предпостроечного оттаивания грунтов.

**** На городских санитарно-технических сетях, укладываемых в вентилируемых каналах, контрольные термометрические скважины устанавливают сбоку канала в пазухах выкопанной траншеи и на границе зеленой полосы, под которой расположен канал. Скважины предусматриваются на глубину расчетного оттаивания плюс 3 м. Для бесканальных прокладок коммуникаций контрольные термометрические скважины располагаются рядом с трубопроводом и на величину одного–двух расчетных радиусов оттаивания в сторону от трубопровода. Скважины проходят на расчетную глубину оттаивания плюс 3 м.

Температуру в контрольных термометрических скважинах измеряют по всей их глубине с интервалами: 0,5 м до глубины 5 м, 1 м – свыше 5 м до глубины 10 м и 2 м – свыше 10 м связками инерционных термометров или электротермометров в ручном или автоматическом режимах.

Таблица М.2 – **Периодичность проведения измерений контролируемых параметров**

Контролируемый параметр	Принципы использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания сооружения		
	I принцип	II принцип	
		Предварительное искусственное оттаивание грунтов	Допущение оттаивания грунтов в период эксплуатации сооружения
Строительство (реконструкция) сооружения			
Температура грунта	Ежемесячно		
Уровень подземных вод	Один раз в конце летнего периода	Ежемесячно	Один раз в конце летнего периода
Осадки фундаментов строящегося (реконструируемого) сооружения	Ежемесячно		
Осадки фундаментов сооружения окружающей застройки	Один раз в квартал	Ежемесячно	Один раз в квартал
Эксплуатация сооружения			
Температура воздуха в проветриваемых подпольях	Первые два года эксплуатации два раза в месяц	–	–
Температура грунта	Два раза в год, в конце летнего периода и в середине зимы	–	В первый год эксплуатации один раз в квартал, в последующие годы один раз в год
Уровень подземных вод	Один раз в год в осенний период, после стабилизации гидрогеологического режима один раз в 2 года		
Осадки фундаментов построенного (реконструированного) сооружения	Первые три года эксплуатации не менее четырех раз в год, в дальнейшем два раза в год	Первые три года эксплуатации не менее двух раз в год, в дальнейшем один раз в 2 года	
Осадки фундаментов сооружения окружающей застройки	Два раза в год	Первый год эксплуатации построенного (реконструированного) здания менее двух раз в год, в дальнейшем один раз в 2 года	

Окончание таблицы М.2

Примечание – Текущий осмотр состояния технических этажей и подполий сооружений осуществляется эксплуатирующей организацией один раз в месяц. Контрольные осмотры осуществляются не реже одного раза в год. При осмотрах особое внимание рекомендуется обращать на наличие утечек санитарно-технических сетей, состояние водоотводных лотков и отмосток в технических этажах и подпольях сооружения, видимые проявления разрушений бетона фундаментов (их намокание), а в деревянных домах – на наличие грибков и плесени. При контрольных осмотрах следует применять неразрушающие методы контроля состояния бетона фундаментов.

Обнаруженные неисправности регистрируются в журнале и подлежат немедленному устранению. При наличии крупных утечек или систематических протечек санитарно-технических сетей рекомендуется выявить зону оттаивания грунтов. При выявлении намокания фундаментных конструкций, грибков или плесени, если они не связаны с протечкой санитарно–технических сетей, рекомендуется усилить вентиляцию подполий в летний период года.

Для промышленных сооружений с мокрыми процессами, вызывающими повышенную агрессивность среды к материалам фундаментов, раз в пять лет отбираются пробы из фундаментов. Отбор проб на исследование физико-механических свойств бетона производится также для всех сооружений при обнаружении в них проявлений разрушения бетона.

При осмотрах наружных санитарно-технических сетей, вентилируемых каналов рекомендуется обращать внимание на наличие течей труб и арматуры, на неисправность теплоизоляции, наличие грунтовых вод, образование наледей в каналах, заиливание и т.д. В первые два года эксплуатации санитарно-технических сетей измеряются температура грунтов оснований в местах, указанных в таблице М.1, а также температура воздуха в вентилируемых каналах вблизи вентиляционных отверстий и между ними. В процессе дальнейшей эксплуатации санитарно-технических сетей термометрические наблюдения за ними в указанном составе рекомендуется выполнять при изменении эксплуатационного режима сетей и после аварий, вызвавших непредусмотренное оттаивание грунтов оснований.

Приложение Н
(справочное)

Расчет глубины оттаивания и промерзания в основании подземных и наземных магистральных трубопроводов на многолетнемерзлых грунтах

Н.1 Глубину многолетнего оттаивания многолетнемерзлых грунтов (далее ММГ) под центром горячих и теплых подземных трубопроводов (см. расчетную схему на рисунке Н.1*а*) следует рассчитывать по формуле (Н.1).

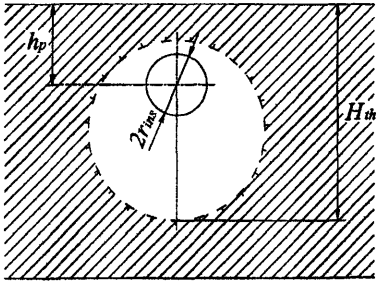
$$H_{th} = \begin{cases} \varsigma_t \times r_{ins} \text{ при } \beta_T \le 0{,}1 \\ \varsigma_n \times r_{ins} \text{ при } \beta_T > 0{,}1 \end{cases}, \quad (Н.1)$$

где H_{th} – глубина многолетнего оттаивания, отсчитываемая от дневной поверхности, м;

r_{ins} – радиус до внешней образующей изоляции трубы;

ς_t, ς_n – безразмерные глубины оттаивания под центром трубы, определяемые по номограммам на рисунках Н.2 и Н.3 в зависимости от безразмерных параметров m, I_t, β_T.

а



б

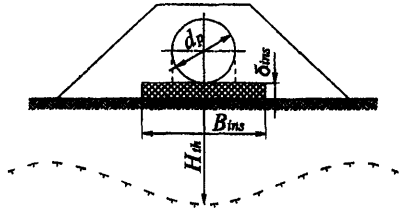


Рисунок Н.1 **– Расчетная схема для определения глубины многолетнего оттаивания ММГ под теплыми и горячими трубопроводами, проложенными подземно (*а*) и наземно (*б*)**

$$m = h_p / r_{ins}, \quad (Н.2)$$

$$I_t = \frac{\lambda_{th}(T_{ins} - T_{bf})t}{4L_v r_{ins}^2} + I_{te}, \quad (Н.3)$$

$$\beta_T = -\frac{\lambda_f (T_0 - T_{bf})}{\lambda_{th}(T_{ins} - T_{bf})}, \quad (Н.4)$$

где h_p – глубина заложения подземного трубопровода, считая от дневной поверхности до центра трубы, м;

λ_f – коэффициенты теплопроводности мерзлого грунта, Вт/(м · °С);

λ_{th} – коэффициенты теплопроводности талого грунта, Вт/(м · °С);

T_{ins} – средняя годовая температура внешней поверхности кольцевой изоляции трубы, °С, определяется по формуле (Н.5);

T_0 - температура ММГ, °С;

T_{bf} – температура начала промерзания–оттаивания грунта, °С;

t – расчетное время, ч;

L_v – удельные затраты тепла на оттаивание грунта, Вт · ч/м^3, определяются по формуле (Н.7);

I_{te} – эквивалентное безразмерное время, для ММГ сливающегося типа принимается равным нолю, несливающегося типа определяется по номограмме на рисунке Н.2 при $\xi_t = H_0/r_{ins}$ и $\beta_T = 0,0$ (H_0 – глубина залегания кровли ММГ, м). Для ММГ несливающегося типа безразмерная температура принимается $\beta_t = 0,0$.

$$T_{ins} = \left(T_{pr} + T_0 \frac{2\pi\lambda_{th} R_T}{A_p} \right) / \left(1 + \frac{2\pi\lambda_{th} R_T}{A_p} \right) \qquad (Н.5)$$

$$R_T = \begin{cases} 0,0 & \text{при } \delta_{ins} = 0,0 \\ \dfrac{1}{2\pi\lambda_{ins}} \ln \dfrac{r_{ins}}{r_p} & \text{при } \delta_{ins} > 0,0 \end{cases}, \qquad (Н.6)$$

где T_{pr} – среднегодовая температура продукта, °С; $A_p = \ln\left(\dfrac{h_p}{r_{ins}} + \sqrt{\dfrac{h_p^2}{r_{ins}^2} - 1} \right)$.

$$L_v = L_0 \cdot \rho_f \frac{W_{tot} - W_w}{1 + W_{tot}} + 0,5 \cdot C_{th} \cdot T_{ins} - C_f \cdot T_0 \ , \qquad (Н.7)$$

где L_0 – удельная теплота фазовых превращений воды, $L_0 = 93$ (Вт · ч)/кг;

ρ_f – плотность мерзлого грунта, кг/м^3;

w_{tot} – суммарная влажность мерзлого грунта;

W_w – количество незамерзшей воды в мерзлом грунте при температуре T_0;

C_{th}, C_f – объемная теплоемкость талого и мерзлого грунта, Вт · ч/м^3 · °С.

Н.2 Глубина многолетнего промерзания грунта под центром холодного трубопровода, расположенного на участке с ММГ не сливающегося типа H_f принимается равной H_{th} и рассчитывается по формулам (Н.1), (Н.3), (Н.5), (Н.6), (Н.7) и номограмме (рисунок Н.2) при $\beta_t = 0,0$. При этом в формуле (Н.3) в качестве T_{ins} следует принять абсолютное значение температуры и $I_{te} = 0,0$, а в формуле (Н.7) – $C_{th} = C_f = 0,0$ и $w_w = 0,0$.

Если в результате расчета глубина промерзания H_f окажется больше глубины залегания кровли ММГ, то следует принять $H_f = H_0$.

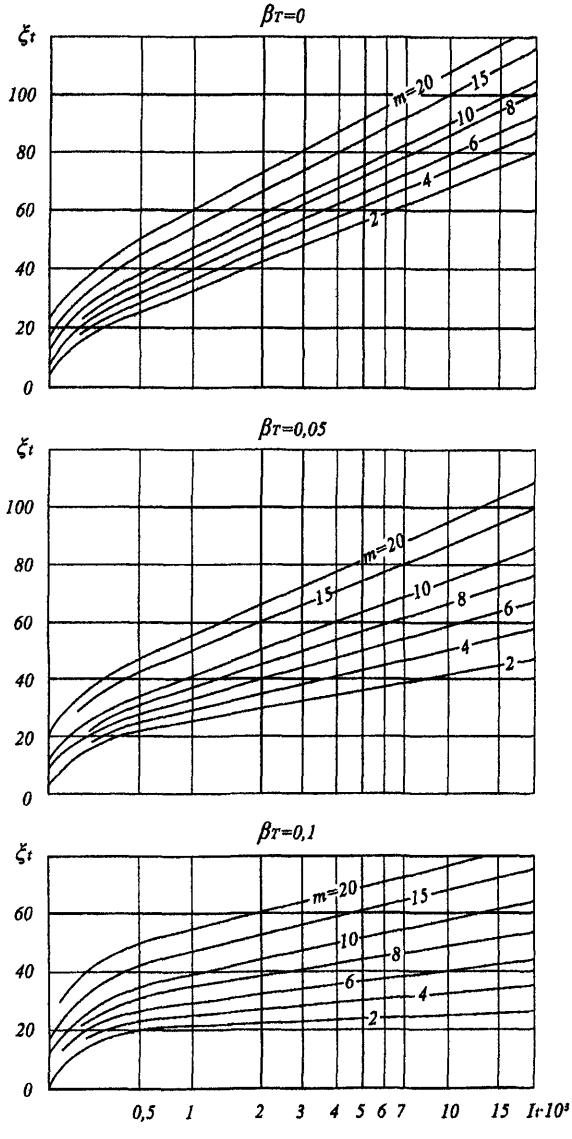


Рисунок Н.2 – **Номограмма для определения многолетнего оттаивания ММГ вокруг теплого и горячего трубопроводов**

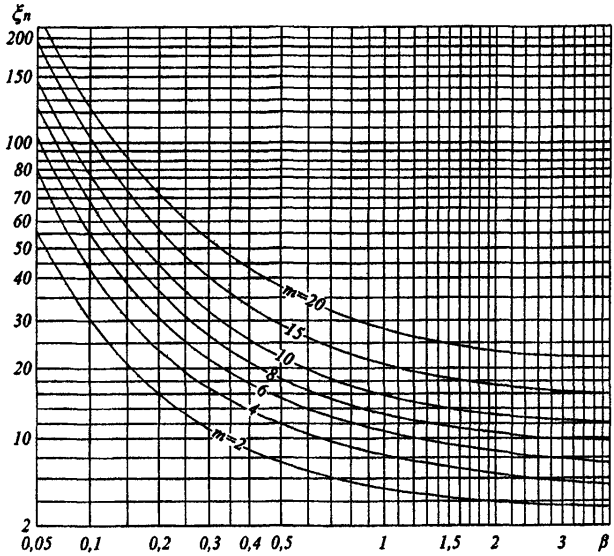


***Рисунок Н.3* – Номограмма для определения оттаивания ММГ вокруг холодного трубопровода**

Н.3 Глубину многолетнего оттаивания ММГ под центром горячего и теплого наземных трубопроводов H_{th}, расположенных на участках с ММГ сливающегося типа, следует рассчитывать по формуле (см. расчетную схему на рисунке Н.1*б*):

$$H_{th} = \alpha_2 \beta_2 \left[\sqrt{\mu^2 \frac{2\lambda_{th} T_{pr} t}{L_{V,H}} + S_э^2} - S_э \right], \qquad (Н.8)$$

где α_2 – безразмерный параметр, определяемый по номограмме (рисунок Н.4*а*) в зависимости от диаметра трубы $d_p = 2r_p$;

β_2 – безразмерный параметр, определяемый по номограмме (рисунок Н.4*б*) в зависимости от ширины b_{ins} и толщины δ_{ins} плоского теплоизолятора, м;

$\mu = 1 + 0,033 T_0$ – поправочный коэффициент, учитывающий отток тепла в мерзлую зону;

$L_{v,H}$ – удельные затраты тепла на оттаивание грунта, определяются по формуле (Н.9), Вт · ч/м^3;

$S_э$ – эквивалентный слой, определяется по формуле (Н.10), м.

$$L_{V,H} = L_0 \rho_f \frac{W_{tot} - W_w}{1 + W_{tot}} + 0,5 C_{th} T_{pr} - 2,4 C_f T_0 , \qquad (Н.9)$$

$$S_э = \begin{cases} \delta_{ins}\lambda_{th} / \lambda_{ins} & \text{на ММГ сливающегося типа} \\ \delta_{ins}\lambda_{th} / \lambda_{ins} + H_0 & \text{на ММГ несливающегося типа} \end{cases} \quad (Н.10)$$

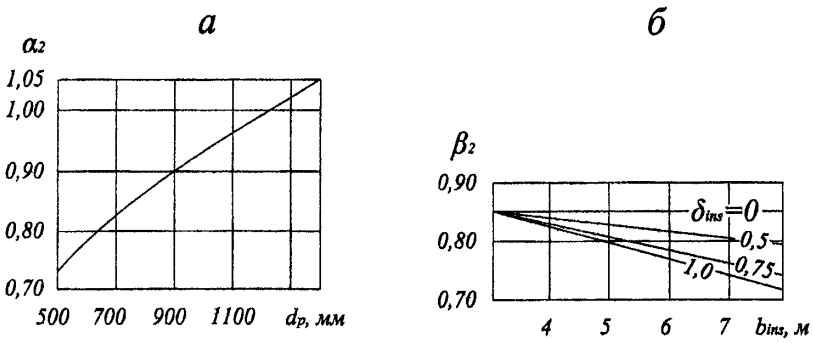


Рисунок Н.4 **– Графики для определения коэффициентов α_2 (*а*) и β_2 (*б*) при расчете многолетнего оттаивания ММГ под теплыми и горячими трубопроводами**

Приложение П
(обязательное)

Определение температурного коэффициента

П.1 Температурный коэффициент γ_t определяется по формуле

$$\gamma_t = 1{,}15(1+\nu^2) - 1{,}61\nu\sqrt{\ln(\tau/\nu)}, \qquad (П.1)$$

где τ – длительность эксплуатации сооружения, лет;

ν – коэффициент вариации несущей способности, безразмерный.

Примечание – Если $\gamma_t<0$, следует принимать $\gamma_t=0$, в данном случае применять принцип I при проектировании основания фундаментов не допускается, следует предусмотреть дополнительное охлаждение грунтов или использовать II принцип строительства.

П.2 Коэффициент вариации несущей способности основания вычисляется по формуле

$$\nu = 0{,}45\left[\left(T_{bf} - T_0'\right)/A\right]^{\frac{1}{3}} \sigma D_{m,e} / \left[T_{bf} - T_{m,e} - C\sqrt{(T_{bf} - T_{m,e})}\right], \qquad (П.2)$$

где T_{bf} – температура начала замерзания грунта, °С, определяемая согласно приложению Б;

T_0' – расчетная среднегодовая температура на верхней поверхности многолетнемерзлого грунта в основании сооружения, °С, определяемая согласно приложению Д, для оснований опор линий электропередачи, антенно-мачтовых опор и трубопроводов T_0' принимается равной среднегодовой температуре многолетнемерзлого грунта T_0, определяемой согласно приложению Г.

A – амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха, °С, определяемая как полуразность значений среднемесячной температуры самого теплого и самого холодного месяца по СП 131.13330;

σ – среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха, °С, определяемое по таблице П.2;

$D_{m,e}$ – коэффициент затухания случайных колебаний температуры с глубиной, безразмерный, определяемый по таблице П.1 и принимаемый равным D_m для столбчатых и ленточных фундаментов и D_e – для свайных;

$T_{m,e}$ – расчетная температура многолетнемерзлого грунта, °С, определяемая по указаниям 7.2.7: для оснований сооружений с холодным подпольем по формуле (7.4), для оснований опор линий электропередачи, антенно-мачтовых опор и трубопроводов по формуле (7.7) и принимаемая равной T_m для столбчатых и ленточных фундаментов и T_e – для свайных;

C – коэффициент, град$^{1/2}$, принимаемый равным 0,24 для свайных фундаментов, а для столбчатых и ленточных – в зависимости от вида грунта под подошвой фундамента: 0 – для крупнообломочных и песчаных грунтов, 0,19 – для супесей и 0,29 – для суглинков и глин.

Таблица П.1 – **Коэффициенты затухания случайных колебаний температуры с глубиной**

Коэффициенты	Значения $z\sqrt{c_f / \lambda_f}$, $c^{0,5}$ ($ч^{0,5}$)									
	0 (0)	1000 (25)	2000 (50)	3000 (75)	4000 (100)	6000 (125)	8000 (150)	10000 (175)	15000 (250)	20000 (300)
D_m	0 (0)	0,86 (0,80)	0,75 (0,66)	0,66 (0,54)	0,58 (0,46)	0,46 (0,39)	0,37 (0,34)	0,31 (0,29)	0,21 (0,21)	0,16 (0,18)
D_e	0 (0)	0,93 (0,90)	0,86 (0,79)	0,79 (0,73)	0,71 (0,66)	0,66 (0,60)	0,58 (0,55)	0,52 (0,50)	0,41 (0,41)	0,34 (0,36)

Условные обозначения: z – глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта, м; c_f – объемная теплоемкость мерзлого грунта, Дж/(м^3 · °С); λ_f – теплопроводность мерзлого грунта, Вт/(м · °С).

Таблица П.2 – **Среднее квадратическое отклонение средней годовой температуры наружного воздуха σ**

Метеостанция	Широта, град	Долгота, град	σ, °С	Метеостанция	Широта, град	Долгота, град	σ, °С
1	2	3	4	5	6	7	8
Амурская область							
Бомнак	54,7	128,9	0,83	Сковородино	54,0	124,0	0,86
Джалинда	53,3	124,0	0,88	Тында	55,2	124,7	0,93
Ерофей Павлович	54,0	121,9	0,88	Унаха	55,0	126,8	1,00
Зея	53,8	127,2	1,07	Усть-Нюкжа	56,6	121,5	0,83
Магдагачи	53,5	125,8	0,79	Черняево	52,8	126,0	0,80
Нагорный	56,0	124,8	0,88	Экимчан	53,1	133,0	0,84
Архангельская область							
Абрамовский маяк	66,5	43,3	1,17	Мезень	65,8	44,2	1,23
Архангельск	64,6	40,5	1,13	Холмогоры	64,2	41,7	1,13
Иркутская область							
Алыгджер	53,6	98,2	0,82	Качуг	54,0	105,9	0,78
Балаганск	53,7	106,3	0,84	Киренск	57,8	108,1	1,29
Бодайбо	57,9	114,2	1,15	Мама	58,3	112,8	1,13
Братск	56,3	101,8	1,19	Нижнеудинск	54,9	99,0	0,91
Верхняя Гутара	54,2	100,0	0,81	Орлинга	56,1	105,8	1,06
Ербогачен	61,3	108,0	1,44	Тайшет	56,0	98,0	1,12
Жигалово	54,8	105,2	0,98	Тангуй	55,4	101,0	0,99
Зима	53,9	102,1	0,93	Танхой	51,5	105,0	0,71
Ика	59,3	106,5	1,34	Тулун	54,5	100,6	0,87
Инга	53,0	102,0	0,65	Усть-Илимск	58,0	102,7	1,35
Иркутск	52,3	104,4	1,10	Усть-Уда	54,5	103,3	0,87
Казачинск	56,3	107,5	1,20	Хамар-Дабан	51,5	103,6	0,78

Продолжение таблицы П.2

Метеостанция	Широта, град	Долгота, град	σ, °С	Метеостанция	Широта, град	Долгота, град	σ, °С
1	2	3	4	5	6	7	8
Камчатская область							
Ича	55,6	155,6	0,75	Петропавловск-Камчатский	53,0	158,7	0,55
Никольское	55,2	166,0	0,50	Семячики	54,1	160,0	0,54
Озерная	51,5	156,5	0,63	Усть-Камчатск	56,2	162,7	0,74
Республика Карелия							
Кемь	65,0	34,8	1,19	Гридино	65,9	34,8	1,31
Республика Коми							
Воркута	67,5	64,0	1,35	Троицко-Печорское	62,7	56,2	1,11
Сыктывкар	61,7	50,8	1,03	Усть-Цильма	65,4	52,3	1,28
Красноярский край							
Агата	66,9	93,5	1,31	Ессей	68,5	102,4	1,28
Байкит	61,7	96,4	1,42	Игарка	67,5	86,6	1,33
Ванавара	60,3	102,3	1,50	Норильск	69,5	88,3	1,49
Верхне–Имбатское	63,2	88,1	1,47	Туруханск	65,9	88,1	1,23
Волочанка	71,0	94,5	1,41	Тура	64,3	100,2	1,17
Магаданская область							
Атка	60,9	151,7	1,19	Магадан, Нагаева бухта	59,55	150,78	0,74
Кедон	64,0	158,9	1,02	Сеймчан	62,92	152,42	0,96
Мурманская область							
Кола	68,8	33,0	1,29	Мурманск	69,0	33,0	1,17
Ненецкий автономный округ							
Амдерма	69,8	61,7	1,49	Малые Кармакулы	72,4	52,7	1,30
Канин Нос	68,7	43,3	1,13	Нарьян-Мар	67,6	53,0	1,43
Пермская область							
Бисер	58,5	58,9	0,89	Чердынь	60,4	56,5	1,08
Таймырский автономный округ							
Дудинка	69,5	86,3	1,35	о. Голомянный	79,6	90,6	0,98
Им. Е.К. Федорова	77,7	104,3	1,11	о. Диксон	73,5	80,2	1,33
Ханты-Мансийский автономный округ							
Сургут	61,4	73,5	1,16	Ханты-Мансийск	61,1	69,1	1,10
Хабаровский край							
Арка	60,1	142,3	0,81	Николаевск-на-Амуре	53,1	140,7	0,58
Аян	56,5	138,2	0,70	о. Большой Сант	54,8	137,5	0,70
Богородское	52,4	140,5	0,74	Охотск	59,4	143,2	0,73
Бурукан	53,0	136,0	0,93	Софийский прииск	52,3	134,0	0,85
Гвасюги	47,7	136,2	0,79	Токо	56,3	131,1	1,10
Гуга	52,7	137,5	0,98	Троицкое	49,5	136,6	0,73
Им. Полины Осипенко	52,4	136,5	0,88	Чекунда	50,8	132,2	0,95

Продолжение таблицы П.2

Метеостанция	Широта, град	Долгота, град	σ, °С	Метеостанция	Широта, град	Долгота, град	σ, °С
1	2	3	4	5	6	7	8
Читинская область							
Акша	50,3	113,3	0,78	Кыра	49,6	112,0	0,63
Амазар	53,7	120,7	0,78	Нерчинский з-д	51,3	119,6	0,70
Борзя	50,4	116,5	0,75	Хилок	51,4	110,5	0,76
Калакан	55,1	116,8	0,92	Чара	56,9	118,3	1,07
Красный Чикой	50,3	108,8	0,78	Чита	52,0	113,3	0,98
Чукотский автономный округ							
Анадырь	64,8	177,6	1,23	Мыс Шмидта	68,9	180,6	1,22
Б. Амбарчик	69,6	162,3	0,92	о. Врангеля	71,0	178,5	0,98
Бухта Провидения	64,4	173,2	0,97	Усть-Олой	66,6	159,4	0,97
Илирней	67,3	169,0	1,20	Уэлен	66,2	190,8	1,48
Марково	64,7	170,4	1,00	Эгвекинот	66,4	179,1	1,04
Республика Саха (Якутия)							
Алдан	58,6	125,0	1,11	Оленек	68,5	112,4	1,21
Амга	60,9	132,0	1,17	Сангар	64,0	127,5	1,00
Бестяхская Звероферма	65,3	124,1	1,09	Саскылах	71,9	114,1	1,19
Верхоянск	67,5	133,3	1,07	Саханджа	69,8	128,1	1,20
Витим	59,5	112,6	1,43	Сеген-Кюель	64,0	130,3	0,90
Воронцово	59,6	147,6	0,80	Сиктях	69,9	125,1	1,23
Восточная	63,2	139,6	0,87	Собопол	67,1	126,8	1,31
Дарпир	64,2	148,0	1,12	Сого-Хая (Усть-Вилюй)	64,3	126,5	1,04
Делянкир	63,8	145,6	1,00	Сухана	68,8	117,9	1,32
Депутатский	69,3	139,7	0,97	Сюльдюкар	63,2	113,6	1,38
Жиганск	66,8	123,4	1,07	Сюрюн-Кюель	65,0	130,7	1,05
Жилинда	70,1	113,8	1,15	Тикси	71,7	128,7	1,26
Западная	62,9	138,5	1,07	Туой-Хая	62,5	111,2	1,45
Зырянка	65,8	150,8	0,91	Усть-Мая	60,4	134,5	1,00
Комака	60,2	111,5	1,29	Хатырык-Хомо	64,0	124,8	1,06
Кюсюр (Булун)	70,6	127,5	1,20	Чокурдах	70,7	147,9	1,02
Маак	67,8	115,5	1,49	Чульман	56,8	124,9	0,96
Мирный	62,5	114,0	1,29	Чумпурук	64,2	116,9	1,20
Мянгкяра	68,0	123,0	1,22	Шелагонцы	66,3	114,3	1,12
Нагорный	56,0	124,9	0,97	Эйк	66,0	117,4	1,33
Нюрба	63,3	118,3	1,34	Якутск	62,1	129,5	1,15
Оймякон	63,3	143,2	0,98	Ярольин	67,1	108,5	1,54

Окончание таблицы П.2

Метеостанция	Широта, град	Долгота, град	σ, °С	Метеостанция	Широта, град	Долгота, град	σ, °С
1	2	3	4	5	6	7	8
Ямало-Ненецкий автономный округ							
Гыдояма	70,9	78,5	1,40	Салехард	66,6	66,6	1,46
Марре-Сале	69,7	66,8	1,39	Тазовский	67,5	78,8	1,33
Надым	65,6	72,5	1,22	Тамбей	71,5	71,8	1,14
о. Белый	73,3	70,7	1,47	Тарко-Сале	64,9	77,8	1,27
Ныда	66,6	73,0	1,46	Уренгой	66,0	78,4	1,50
Полуй	66,0	68,7	1,44	Харасавэй	71,2	66,9	1,59

Приложение Р
(справочное)

Основные буквенные обозначения величин

Коэффициенты надежности и условий работы

γ_g – по грунту;
γ_n – по назначению сооружения;
γ_k – по виду фундаментов;
γ_c – коэффициент условий работы;
γ_t – температурный коэффициент условий работы;
γ_{eq} – сейсмический коэффициент условий работы;
γ_{af} – коэффициент условий смерзания грунтов с фундаментом;
γ_p – коэффициент условий работы оттаивающего грунта.

Физические и теплофизические характеристики грунтов

χ_n – нормативные значения характеристик;
χ – расчетные значения характеристик;
$\overline{\chi}$ – средние значения характеристик;
α – доверительная вероятность (обеспеченность) расчетных значений характеристик;
w_{tot} – суммарная влажность мерзлого грунта;
w_i – влажность мерзлого грунта за счет ледяных включений;
w_{ic} – влажность мерзлого грунта за счет порового льда (льда-цемента);
w_m – влажность мерзлого грунта, расположенного между льдистыми включениями;
w_w – влажность мерзлого грунта за счет незамерзшей воды (содержание незамерзшей воды);
w_p – влажность грунта на границе пластичности (раскатывания);
i_{tot} – суммарная льдистость мерзлого грунта;
i_i – льдистость грунта за счет ледяных включений;
i_{ic} – льдистость грунта за счет порового льда;
S_r – степень заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой (степень влажности);
I_p – число пластичности грунта;
I_{om} – относительное содержание органического вещества;
D_{sal} – степень засоленности мерзлого грунта;
c_p – концентрация порового раствора в засоленном грунте;
ρ – плотность грунта;
ρ_f – плотность мерзлого грунта;
$\rho_{d,f}$ – плотность мерзлого грунта в сухом состоянии (плотность скелета мерзлого грунта);
$\rho_{d,th}$ – плотность талого грунта в сухом состоянии (плотность скелета грунта);
ρ_s – плотность частиц грунта;
ρ_i – плотность льда;
ρ_w – плотность воды;
e_f – коэффициент пористости мерзлого грунта;
λ_f – теплопроводность грунта в мерзлом состоянии;

λ_f – теплопроводность грунта в мерзлом состоянии;
λ_{th} – теплопроводность грунта в талом состоянии;
C_f – объемная теплоемкость грунта в мерзлом состоянии;
C_{th} – объемная теплоемкость грунта в талом состоянии.

Деформационно-прочностные характеристики и сопротивления мерзлых грунтов на силовые воздействия

E – модуль деформации грунта;
c_{eq} – эквивалентное сцепление мерзлого грунта;
c_L – предельно длительное значение удельного сцепления мерзлого грунта;
c_{sh} – сцепление оттаивающего грунта;
φ_L – предельно длительное значение угла внутреннего трения мерзлого грунта;
φ_{sh} – угол внутреннего трения оттаивающего грунта;
m_f – коэффициент сжимаемости мерзлого грунта;
m_{th} – коэффициент сжимаемости оттаивающего грунта;
ξ_i – относительное сжатие льда;
ξ_{th} – относительная деформация оттаивающего грунта;
η – коэффициент вязкости мерзлого грунта;
σ_L – предел текучести мерзлого грунта;
A_{th} – коэффициент оттаивания мерзлого грунта;
R – расчетное давление на мерзлый грунт (сопротивление мерзлого грунта нормальному давлению);
R_{af} – сопротивление мерзлого грунта сдвигу по поверхности смерзания с фундаментом;
R_{sh} – сопротивление мерзлого грунта сдвигу по грунту или грунтовому раствору;
R_{shi} – сопротивление сдвигу льда по поверхности смерзания с грунтом или грунтовым раствором;
τ_{fh} – удельная касательная сила пучения промерзающего грунта;
p_{fh} – удельное нормальное давление морозного пучения грунта;
f_n – удельное отрицательное трение оттаивающего грунта на поверхности фундамента;
α_ε – коэффициент деформации системы «свая–грунт» на горизонтальные усилия.

Нагрузки и напряжения

F – расчетная нагрузка на основание;
F_u – несущая способность (сила предельного сопротивления) основания фундаментов;
F_h – расчетная горизонтальная нагрузка на фундамент;
$F_{h,u}$ – предельная горизонтальная нагрузка на фундамент;
F_{fh} – расчетная сила пучения;
F_r – сила, удерживающая фундамент от выпучивания;
F_{neg} – сила отрицательного (негативного) трения;
F_f – расчетные усилия в элементах конструкции сооружения (фундаментов);
$F_{f,d}$ – предельные усилия в элементах конструкции;
$F_{u,p}$ и $F_{u,t}$ – несущая способность проектируемой и опытной свай;

M – момент внешних сил;

M_{af} – момент внешних сил, воспринимаемый силами смерзания грунта по боковой поверхности фундамента;

M_b и M_l – моменты внешних сил по сторонам фундамента;

p – среднее давление под подошвой фундамента;

p_0 – среднее дополнительное давление под подошвой фундамента;

q – равномерно распределенная вертикальная нагрузка;

σ_g – природное (бытовое) давление в грунте;

$\sigma_{z,p}$ – дополнительное вертикальное напряжение в грунте (от веса сооружения);

σ_a – атмосферное давление.

Осадки (деформации) основания

s – совместная осадка (деформация) основания и сооружения;

s_u – предельно допустимая совместная осадка (деформация) основания и сооружения;

s_f – осадка пластично-мерзлого основания;

s_{th} – составляющая осадки оттаивающего основания за счет природного (бытового) давления;

s_p – составляющая осадки оттаивающего основания под действием нагрузки от здания;

$s_{p,th}$ – осадка уплотнения предварительно оттаянного слоя грунта;

s_{ad} – дополнительная осадка, обусловленная оттаиванием мерзлого грунта;

s_a и s_b – осадки краев фундамента;

s_l – осадка мерзлого основания, обусловленная пластично-вязким течением грунта или льда;

v – скорость осадки пластично-мерзлого основания.

Параметры теплотехнических расчетов оснований

T – температура;

T_0 – расчетная среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта;

$T_{0,n}$ – нормативная среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта;

T'_0 – среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта на его верхней поверхности;

$T_{m,z,e}$ – расчетные температуры грунтов в основании сооружения;

T_{bf} – температура начала замерзания грунта;

T_{out} – температура наружного воздуха;

T_{ca} – температура воздуха в подполье здания;

T_{in} – температура в помещении;

T_f и T_{th} – средние температуры воздуха за период с отрицательными и положительными температурами;

t – время;

t_u – расчетный срок эксплуатации сооружения;

k_h – коэффициент теплового влияния сооружения;

$\alpha_{m,z,e}$ – коэффициент сезонного изменения температуры грунтов основания;

M – модуль вентилирования подполья здания;

R_0 – сопротивление теплопередаче перекрытия над подпольем;

R_p – сопротивление теплопередаче теплоизоляции трубопроводов;

L_v – теплота таяния (замерзания) грунта;
L_0 – удельная теплота фазовых переходов вода–лед.

Геометрические характеристики

B – ширина сооружения;
L – длина сооружения;
a и b – стороны подошвы фундамента;
l – длина сваи;
e – эксцентриситет;
A – площадь подошвы фундамента;
A_{af} – площадь поверхности смерзания грунта с фундаментом;
u_p – периметр фундамента;
l_d – глубина заделки свай;
d – глубина заложения фундамента;
d_{th} – расчетная глубина сезонного оттаивания грунта;
$d_{th,n}$ – нормативная глубина сезонного оттаивания грунта;
d_f – расчетная глубина сезонного промерзания грунта;
$d_{f,n}$ – нормативная глубина сезонного промерзания грунта;
h – толщина слоя грунта;
H – глубина оттаивания грунта в основании сооружения за расчетный срок его эксплуатации;
H_{max} – максимальная глубина оттаивания грунта под сооружением;
$H_{b,th}$ – глубина предварительного оттаивания грунта;
z – глубина до расчетного уровня.

Библиография

[1] СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства

[2] СП 11-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства

[3] СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства (ч. I–VI)

[4] СП 32-101-95 Проектирование и устройство фундаментов опор мостов в районах распространения вечномерзлых грунтов

[5] СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры

УДК 69+624.15:624.139 ОКС 93.020

Ключевые слова: многолетнемерзлый грунт, основания, фундаменты, проектирование.

Издание официальное

Свод правил

СП 25.13330.2012

Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах

Актуализированная редакция

СНиП 2.02.04-88

Подготовлено к изданию ФАУ «ФЦС»
Тел. (495) 930-64-69; (495) 930-96-11; (495) 930-09-14

Формат 60×84 1/8. Тираж 200 экз. Заказ № 1575/12.

Отпечатано в ООО «Аналитик»
г. Москва, Ленинградское ш., д.18

gost.e-ecolog.ru