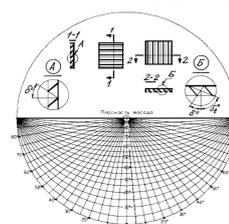
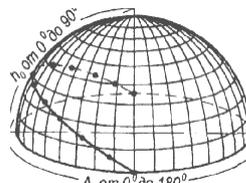
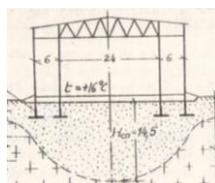
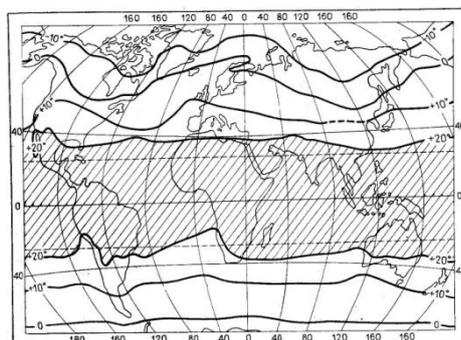
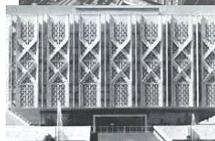
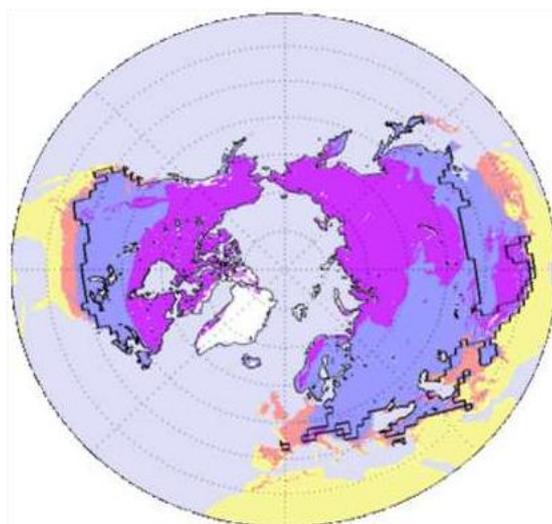
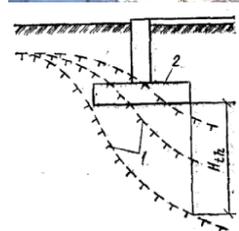


В.Р. Мустакимов

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ В ОСОБЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ



Учебное пособие

Том I

Казань  
2018

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

В.Р. Мустакимов

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ В ОСОБЫХ  
ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Учебное пособие

Том I

Казань  
2018

УДК 624.0  
ББК 38.2  
М91

**Мустакимов В.Р.**

М91 Проектирование зданий в особых природно-климатических условиях:  
Учебное пособие. Том I / В.Р. Мустакимов. – Казань: Изд-во Казанск. гос.  
архитект.-строит. ун-та, 2018.– 239 с.

ISBN 978-5-7829-0583-5

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского  
государственного архитектурно-строительного университета

В учебном пособии приведены современные конструктивные и объемно-планировочные решения для проектирования зданий в особых природно-климатических условиях сурового холодного климата с многолетней мерзлотой и сухого жаркого климата. Изложены основные условия и правила выбора и назначения конструктивных и расчетных схем подземных и надземных конструкций остовов, защитных и ограждающих систем заданий, общие принципы конструирования и проектирования при выполнении курсовых и дипломных проектов (специалисты), выпускных квалификационных работ (бакалавры), магистерских диссертаций (магистры).

Учебное пособие предназначено для бакалавров, специалитета, магистров, аспирантов, молодых ученых архитектурно-строительных специальностей высших учебных заведений, а также может быть полезным при реальном проектировании зданий в особых природно-климатических условиях.

Рецензенты:

Доктор технических наук, заместитель генерального директора  
по научной работе ГУП «Татинвестгражданпроект»

**И.С. Абдрахманов**

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Архитектура»  
Казанского Государственного архитектурно-строительного университета

**А.О. Попов**

УДК 624.0  
ББК 38.2

© Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2018

© Мустакимов В.Р., 2018

ISBN 978-5-7829-0583-5

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Содержание и направленность учебного пособия рассчитаны на последовательное и методическое изложение студентам, магистрам, молодым ученым и специалистам проектных и строительных организаций необходимых сведений об особенностях природно-климатических условий холодного и жаркого сухого климата, которые существенным образом влияют на архитектурные, объемно-планировочные и конструктивные решения при проектировании и строительстве зданий и сооружений.

С целью системного освоения профессиональных навыков и знаний в области проектирования объектов гражданского и промышленного назначения в особых условиях, весь курс разбит на два тома и составляет комплекс. В первом томе изложены сведения по основам проектирования зданий и сооружений, расположенных в особых и экстремальных природно-климатических условиях холодного климата и жаркого сухого климата. Во втором томе, являющемся продолжением первого тома, приведены сведения по основам проектирования зданий и сооружений, возводимых в особых инженерно-геологических и гидрогеологических условиях распространения грунтов (просадочные, набухающие, карстовые и закарстованные, засаленные, элювиальные, насыпные, подрабатываемые и др.).

Данное издание, относящееся к первому тому комплекса «Проектирование зданий и сооружений в особых природно-климатических условиях», Том I, в свою очередь, состоит из двух разделов, в том числе: Раздел I «Здания и сооружения в условиях холодного климата и многолетней мерзлоты»; Раздел II «Здания и сооружения в условиях жаркого сухого климата». Том II «Проектирование зданий и сооружений в особых инженерно-геологических условиях» готовится к изданию.

Приобретенные знания в области проектирования, возведения и эксплуатации зданий и сооружений в особых условиях окружающей среды, помогут студентам, магистрам и специалистам принимать всесторонне обоснованные и рационально-эффективные решения с реализацией их, соответственно: в курсовых и дипломных проектах (специалистов); выпускных квалификационных работах (бакалавров); магистерских диссертациях (магистров); при подготовке к зачету и экзамену по специальным курсам архитектурно-строительных дисциплин.

При изучении вопросов проектирования и строительства объектов гражданского, промышленного и специального назначения предполагается, что студенты должны получить необходимые компетенции для самостоятельного использования справочно-информационной технической литературы (СП, ГОСТ, справочники, каталоги и др.), в которых приведены развернутые знания, историческая и современная информация о зданиях и сооружениях, возводимых в особых природно-климатических условиях.

*Автор*

## ВВЕДЕНИЕ

Естественные природно-климатические факторы оказывают существенное влияние на архитектуру зданий и сооружений различного назначения, на его функциональную и пространственную организацию, а также выбор строительных конструктивных систем и применяемых материалов. К основным природно-климатическим зонам с особыми условиями, которые существенно оказывают влияние на принципиальные решения при проектировании гражданских и промышленных зданий и сооружений относятся следующие.

1. Температурно-влажностный режим. Он должен характеризоваться комфортной температурой ( $+16^{\circ}\text{C} \dots +18^{\circ}\text{C}$ ) независимо от климатической зоны, и влажностью (наличие водяного пара в воздухе). Это требует защиты жилых помещений от перегрева на юге и переохлаждения на севере. Для обеспечения таких условий применяются различные средства, например: сокращение площади наружных стен и предотвращение завышения площади оконных проемов для районов с холодным климатом Крайнего Севера; увеличение ширины корпуса и затенение светопроницаемых проемов для условий жаркого сухого климата.

2. Ветровой режим. Этот режим характеризует скорость и направление воздушных потоков в конкретной местности. Для проектирования используется «роза ветров», изображение и форма которой отображает направление, повторяемость и интенсивность, преобладающих в данной местности ветров. Направление господствующего ветра определяется вдоль самого вектора от периферии к центру. На интенсивность воздухообмена в квартире влияет местоположение проектируемого объекта, распределение и размер оконных и дверных проемов на фасадах, размещение внутренних перегородок, формирующих систему сквозной естественной вентиляции для условий жаркого сухого климата. Максимальный эффект достигается при размещении жилого дома перпендикулярно направлению господствующего ветра для жаркого климата и вдоль направления – для условий холодного климата.

3. Инсоляция. Инсоляция – это прямое солнечное облучение помещений и территории, применительно, как правило, к условиям жаркого и сухого климата. Инсоляция зависит от ориентации помещений по сторонам света, от конфигурации жилых, общественных и производственных зданий, от разрывов между ними и высоты. Учет ее показателей в процессе проектирования позволяет создать комфортные условия для проживания, работы и отдыха. Нормативные требования к комфортной инсоляции по времени, в условиях жаркого сухого климата, составляют примерно *2,0...2,5 часа в день*. Поэтому, однокомнатную квартиру ориентировать на север не желательно, а в 2–3-комнатных квартирах допускается ориентация на север одной из комнат.

4. Естественная освещенность помещений. Ее уровень зависит от внешней освещенности, площади световых проемов (окон), глубины жилых комнат и т.д. Существенное и принципиально важное значение, естественная освещенность помещений имеет, как правило, для объектов проектируемых и возводимых для условий холодного климата Крайнего Севера с незначительным количеством солнечных дней.

5. Рельеф местности. Этот фактор оказывает влияние на выбор приемов застройки и в формирование зданий и сооружений возводимых в условиях холодного и жаркого сухого климата. На склонах местности в пределах  $10^{\circ} \dots 15^{\circ}$  размещения жилых и общественных зданий может быть за счет трансформации первого этажа. Если склон достигает  $15^{\circ} \dots 20^{\circ}$ , для застройки таких территорий проектируются террасные гражданские и производственные здания. Как правило, на крутых склонах, расположение зданий напрямую зависит от пластики рельефа пересеченной местности. Застройка этих территорий требует дополнительных инженерных мероприятий для подготовки и их оборудования. Неблагоприятными для застройки гражданских зданий являются северные склоны, так как на них затрудняется инсоляция помещений и территории.

Следует отметить, что в современных условиях перенаселения отдельных агломераций в предгорных и гористой местности земного шара, освоение крутых склонов для застройки является очень актуальной задачей, поскольку большинство крупных городских поселений уже исчерпали свои территориальные резервы. Поэтому при проектировании гражданских и производственных зданий, необходимым и эффективным является комплексный учет всех приведенных выше природно-климатических факторов.

Само собой разумеется, что приведенные выше факторы, особенности природно-климатических условий и связанные с этим проблемы в проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, далеко не исчерпывают сложный процесс развития науки в области градостроительства в особых условиях жаркого сухого и сурового холодного климата Крайнего Севера с многолетнемерзлыми грунтами.

# РАЗДЕЛ I. ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА И МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ

## ГЛАВА 1. Общие сведения

### 1.1. История формирования и развития теории и практики строительства зданий и сооружений в условиях холодного климата Крайнего Севера и многолетней мерзлоты

Правительство Российской Федерации придает приоритетное значение народно-хозяйственному освоению северных районов современной России. За прошедший период, в результате упорного труда нашего народа, в суровых природно-климатических условиях Севера и особых геологических и гидрогеологических условиях вечной мерзлоты, были созданы и функционируют: Северный морской путь; открыты и разрабатываются крупные месторождения алмазов, нефти и газа; построена Байкало-Амурская магистраль (БАМ). Характерные пейзажи зон с распространением вечной мерзлоты приведены на рис. 1*а, б*. Общие виды застроенных современными, многоэтажными гражданскими зданиями территорий, соответственно, в зимний и летний периоды календарного года, приведены на рис. 1*в, г*.

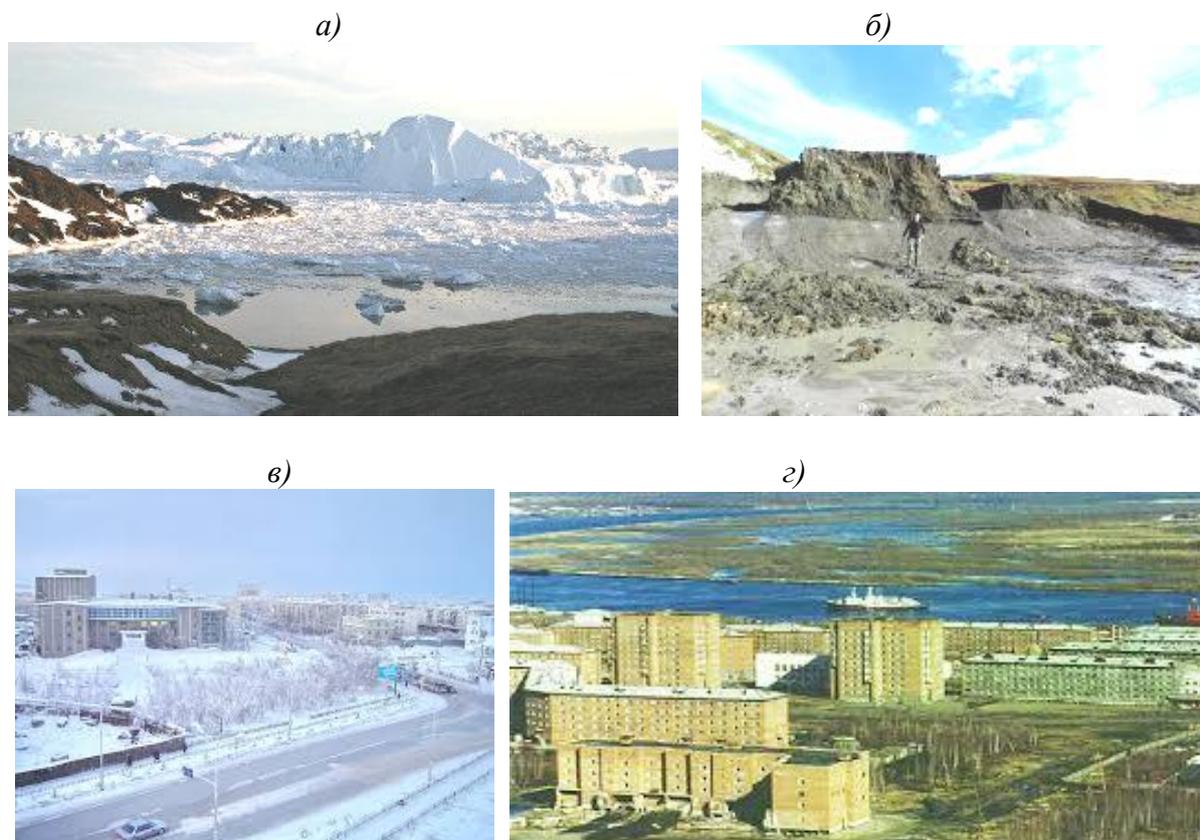


Рис. 1. Характерные пейзажи зон с распространением вечной мерзлоты (*а, б*) и вид застроенных территорий в зимний (*в*) и летний (*г*) периоды календарного года

Вечная или многолетняя мерзлота, как природное явление, распространена на территории 22,8 млн км<sup>2</sup> земного шара, занимая около 24% суши в Северном полушарии, в том числе более 60% территории (Zhang et al., 2000). Вечная мерзлота встречается не только в Арктике и Субарктике, но и за их пределами в высокогорных районах с холодным климатом (рис. 2). Зонирование районов многолетней мерзлоты в северном полушарии приведены на рис. 2а, где помечены: фиолетовым цветом – вечная мерзлота, синим – районы промерзания почвы более чем на 15 суток в году, красным – менее чем на 15 суток в году.

На территории России многолетняя мерзлота занимает 10,5 млн км<sup>2</sup>. На севере она лежит сплошным массивом толщиной до 800 метров, южнее мощность мерзлого слоя уменьшается, затем в нем появляются фрагменты (окна) не мерзлого грунта и, наконец, вечная мерзлота исчезает. Области распространения повсеместной, локальной и участковой вечной мерзлоты на территории России, с указанием глубины мерзлоты в пределах от 500 м до 25 м, приведены на рис. 2б.

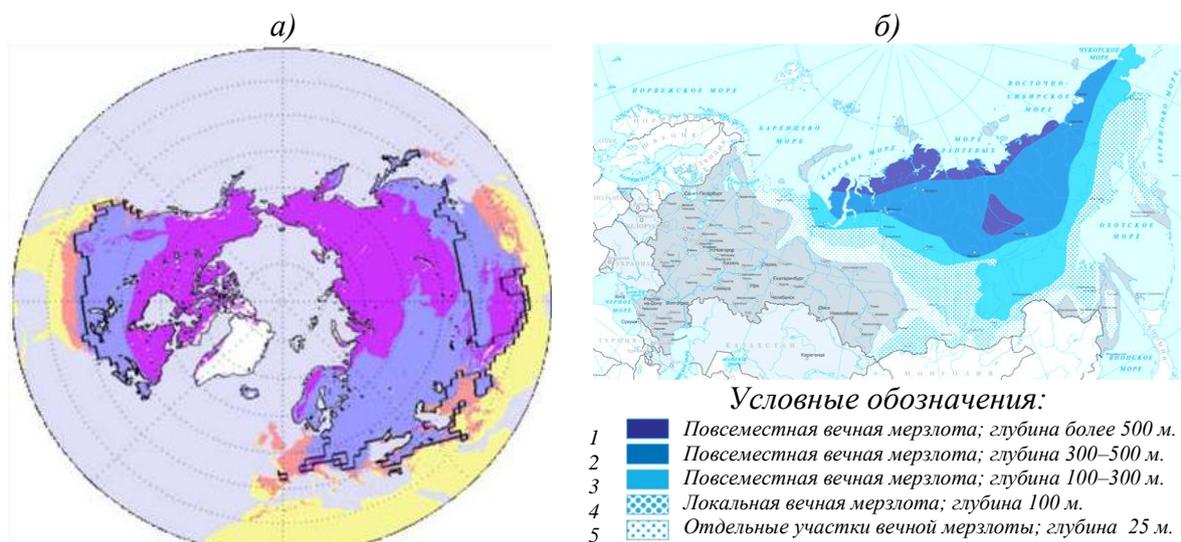


Рис. 2. Распространение вечной, многолетней мерзлоты на земном шаре и в России: а – районы многолетней мерзлоты в северном полушарии, где сплошной линией обозначена граница области сезонного снежного покрова; б – области распространения повсеместной, локальной и участковой вечной мерзлоты на территории России с указанием глубины мерзлоты

Вечномерзлыми называют грунты, которые в условиях природного залегания находятся в мерзлом состоянии непрерывно (без оттаивания) в течение многих лет (обычно столетий и даже сотен тысяч лет).

Многолетняя мерзлота – это подземный лед и холод, проникающие в глубину недр земной коры на сотни метров и существующие в течение длительного времени. Отрицательная температура и наличие подземного льда являются специфическими признаками вечномерзлых толщ. Вечная мерзлота – это подземная часть криосферы – особой природной оболочки Земли, которая имеет постоянную отрицательную температуру и содержит значительные включения грунтового льда. Подземный лед – самый зага-

дочный и таинственный вид природного льда на Земле. Даже в наше время, которое называют эпохой информации и научно-технического прогресса, еще трудно наверняка сказать, как образуется лед под землей. Подземный лед – это часть более общего природного явления – вечной мерзлоты.

Кристаллы льда, возникающие при замерзании пленочно-капиллярной воды, содержащейся в связных грунтах (глины, суглинки, супеси), накрепко (прочно связно) сцементировали частицы минералов дисперсной среды массива грунта, в результате чего образовался мерзлый грунт. Жителям стран Европы, Америки и других стран хорошо знакомо явление кратковременного, или зимнего, промерзания почвы до небольшой глубины (нескольких десятков сантиметров). Весной и летом сезонная мерзлота довольно быстро оттаивает. В отличие от сезонной, многолетняя мерзлота существует уже 1,0–1,5 млн лет. Это, разумеется, максимальная длительность мерзлого состояния грунтов. Естественно, в природе встречается и более молодая вечная мерзлота – возрастом всего в несколько лет. В вечной мерзлоте, толщина которой достигает сотен метров, большая часть грунтовой влаги в результате замерзания превращается в различные формы подземного льда – от единичных невидимых глазом кристаллов до огромных скоплений в виде многометровых пластов и жил (рис. 3).



Рис. 3. Характерные виды замерзшей грунтовой влаги на геологических обнажениях пород, превратившейся в различные формы подземного льда в виде огромных скоплений многометровых пластов и жил

Термин «вечная мерзлота» следует понимать в смысле долговременности существования мерзлых толщ. На самом деле ничего вечного нет. Мерзлота, как и все на земле, непрерывно меняется.

По результатам длительных наблюдений и современных исследований ученых в области климатологии и мерзловедения, с 1970-х годов, констатируется практически повсеместное увеличение среднегодовой температуры верхнего слоя вечной мерзлоты. Это повышение температуры составило  $1,2-2,8^{\circ}\text{C}$  на севере Европейской территории России,  $1,0^{\circ}\text{C}$  на севере Западной Сибири,  $1,5^{\circ}\text{C}$  в Центральной Якутии и около  $1,3^{\circ}\text{C}$  в Восточной Сибири. В работе (Израэль и др., 2006) получены выводы о положительных тенденциях повышения среднегодовой температуры почвы по данным наблюдений на 22 станциях, в основном на севере Восточно-Европейской равнины. Значительно большее число метеостанций было использовано в работе (Чудинова и др., 2003), однако только за период с 1969 по 1990 годы, не

охватывающий наиболее сильные современные изменения температуры почвы. Анализ данных многолетних наблюдений за изменением температурного режима грунта в условиях вечной или многолетней мерзлоты до 2006 года по полной сети мерзловедческих станций указывает на то, что в верхнем слое почвы, мощностью до 800 мм, зафиксированы повышенные значения трендов  $0,2-0,6^{\circ}\text{C}$  за 10 лет на севере Европейской территории России, в Сибири и на Дальнем Востоке.

Весомый вклад в исследования вечномерзлых грунтов внес коллектив научно-исследовательского, проектно-изыскательского и конструкторско-технологического института оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова – институт ОАО «НИЦ «Строительство» (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова). Изучение специалистами НИИОСПа проблемы строительства на вечномерзлых грунтах Крайнего Севера и ее разработка начались в 30-е годы прошлого столетия в связи с необходимостью промышленного освоения природных ресурсов этого региона. Институтом были разработаны теория и методы расчета оснований и фундаментов по первому и второму принципу на вечномерзлых грунтах, обоснованы методы устойчивого строительства на этих грунтах и принципы использования их в качестве оснований зданий и сооружений. Разработаны были также методики выполнения всех видов исследований физико-механических свойств мерзлых и оттаивающих грунтов. Под руководством специалистов Института были построены первые в стране промышленные сооружения на вечномерзлых грунтах. Многие разработки Института применены при строительстве и реконструкции застройки городов Севера и Восточной Сибири – Воркуты, Норильска, Якутска, Байкало-Амурской магистрали, а также в горнодобывающей промышленности – на комбинате «Апатит», Норильском ГДК, Канско-Ачинском и Южно-Якутском угольных ком-плексах. Были исследованы основные закономерности изменения мерзлотно-грунтовой обстановки при различных техногенных воздействиях на вечномерзлые грунты и созданы методы комплексной инженерной защиты застроенных и вновь застраиваемых территорий, расчета устойчивости склонов и сооружений на них – трубопроводов, подпорных стен и др., с учетом сейсмичности и изменяющихся при техногенезе геокриологических условий.

Можно отметить некоторые из объектов, построенных при участии специалистов института в зонах сплошного или прерывистого распространения вечномерзлых грунтов, в том числе: межпромысловый нефтепровод «ЦПС «Западно-Лекейягинское месторождение» – БРП «Варандей»; Восточно-Сарутаюское нефтяное месторождение; Инзырейское нефтяное месторождение – кусты № 3, 4; полигон накопления нефтепромысловых отходов Тобойского и Мядсейского нефтяных месторождений; газомоторная ТЭЦ в Анадыре; электростанция на Ванкорском месторождении. Для всех этих объектов проведены исследования физико-механических свойств мерзлых грунтов, выполнено определение предельно-

длительной прочности и пучинистости грунтов, степени их засоленности и агрессивности к бетону и металлу. По результатам исследований для проектирования рекомендованы величины прочностных и деформационных характеристик и степени пучинистости грунтов. Разработаны технические решения, выполнены расчеты, проектирование и технологический регламент по устройству фундаментов зданий и сооружений.

В НИИОСПе имеется полный комплекс оборудования для исследования свойств мерзлых грунтов, включая: холодильные камеры, позволяющие создавать постоянную нагрузку на образец или изменяющуюся по заданному закону скорость его деформирования – в интервале температур от +20°C до -70°C; комплекты и приборы для определения характеристик прочности и деформируемости мерзлых грунтов в соответствии с ГОСТ 12248-96 и ГОСТ 28622-90; приборы для определения коэффициента вязкости мерзлого грунта при сдвиге.

Учеными и специалистами выполняются сложные исследования, расчеты и проектирование в условиях многолетней мерзлоты, включая: расчеты параметров противооползневых удерживающих конструкций, стабилизирующих солифлюкционные склоны на территориях с вечномерзлыми грунтами; проектирование свайных фундаментов линейных сооружений на солифлюкционных склонах; расчеты скоростей оттаивания массивов вечномерзлых и оттаивающих грунтов и устойчивости склонов и сооружений на территориях с такими грунтами при различных техногенных воздействиях; проектирование островных (ледовых и земляных) сооружений на мелководном арктическом шельфе; проектирование оснований и фундаментов промышленных и гражданских зданий и сооружений в районах распространения вечномерзлых грунтов; предоставление информации о прочностных и деформационных характеристиках крупнообломочных мерзлых и оттаивающих грунтов различных регионов, определенных в полевых условиях.

В соответствии ГОСТ 25100-96 [53] и СП 25.13330.2012 [80], многолетнемерзлыми называют грунты, которые в условиях природного залегания находятся в мерзлом состоянии непрерывно без оттаивания в течение многих лет на протяжении столетий и даже сотен тысяч лет. К мерзлым грунтам относятся такие породы, которые имеют отрицательную температуру и содержат в своем составе лед (рис. 4).

Поверхностный слой грунта, который промерзает зимой и оттаивает летом, называется деятельным слоем. Деятельный слой в зависимости от расположения слоев разделяется на три вида, в том числе: сливающийся (рис. 4б), когда грунт промерзает до верхней границы слоя многолетнемерзлого грунта; не сливающийся (рис. 4в), когда грунт зимой не промерзает до границы многолетнемерзлого грунта. При наступлении периодов с температурами ниже среднегодовых или вследствие временного изменения местных условий образуются перелетки. Перелетками называют слои

мерзлого грунта небольшой толщины, которые не оттаивают в течение 1–2 лет (рис. 4а).

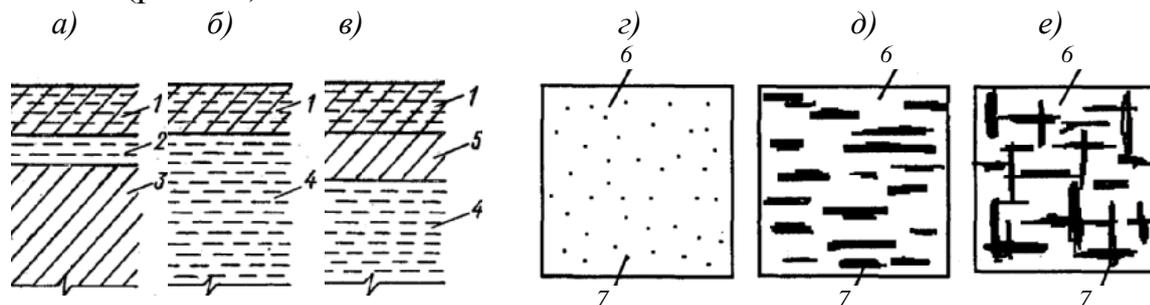


Рис. 4. Обобщенные схемы расположения инженерно-геологических элементов ИГЭ (слоев грунта) на литологическом разрезе в условиях многолетнемерзлых грунтов: а – схема с образованием перелетки (2) между деятельным слоем (1) и талым грунтом (3); б – сливающийся деятельный слой (1) с мерзлых грунтов (4); в – не сливающийся деятельный слой (1) с мерзлых грунтов (4) через слой талого грунта (5), не промерзающего зимой; г – схема слитной текстуры многолетнемерзлого грунта; д – то же, слоистой; е – то же, сетчатой; 1 – деятельный слой грунта; 2 – перелеток; 3 – талый грунт; 4 – многолетнемерзлый грунт; 5 – слой талого грунта, не промерзающего зимой; 6 – минеральные частицы; 7 – лёд

Инженерно-геологические изыскания, проектирование, возведение и эксплуатация объектов промышленного и гражданского строительства на территории распространения многолетнемерзлых грунтов имеют свою специфику, обусловленную сложными процессами, происходящими в мерзлых грунтах [2–25; 80].

Важным этапом проектирования, определения типа фундамента зданий и назначения одного из принципов использования мерзлых грунтов (I или II принцип) по СП 25.13330.2012 [80], является всестороннее изучение, инструментальное исследование грунтов основания и анализ инженерно-геологических условий (АИГУ). В зависимости от обоснованно принятых принципов (I или II) использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований под фундаменты зданий или сооружений, расчет оснований, сложенных многолетнемерзлыми грунтами проводится в строго определенной последовательности. Эти расчеты выполняются в соответствии с Руководством по проектированию оснований и фундаментов на вечномерзлых грунтах [3] и СП 25.13330.2012 [80]. Преобразованный автором алгоритм расчета по Г.И. Швецову [30], приведен в приложении 1 данного издания.

## 1.2. Отечественный и зарубежный опыт использования льда и снега в качестве материала для возведения зданий и сооружений

### 1.2.1. Сооружения из снега для проживания северных народностей

Отечественный опыт эффективного использования природных свойств льда и уплотненного снега, в качестве конструкций зданий и сооружений для жилья в районах с холодным климатом, реализуется с древних времен и в первую очередь в виде куполообразных построек, выпол-

ненных целиком из снежных блоков. Также известен и накоплен отечественный и зарубежный практический опыт использования снега и льда в строительстве полярными экспедициями в Арктике, Антарктике и Гренландии. В особых природно-климатических условиях Крайнего Севера возводились наземные и подземные сезонные постройки из снега и льда и использовались в качестве жилых, научно-исследовательских и других вспомогательных зданий, помещений и целых сооружений. Еще в древности первые поселенцы северных широт (эскимосы), как разумные существа, научились возводить себе жилье из местного «строительного материала» – уплотненных снежных блоков (рис. 5).

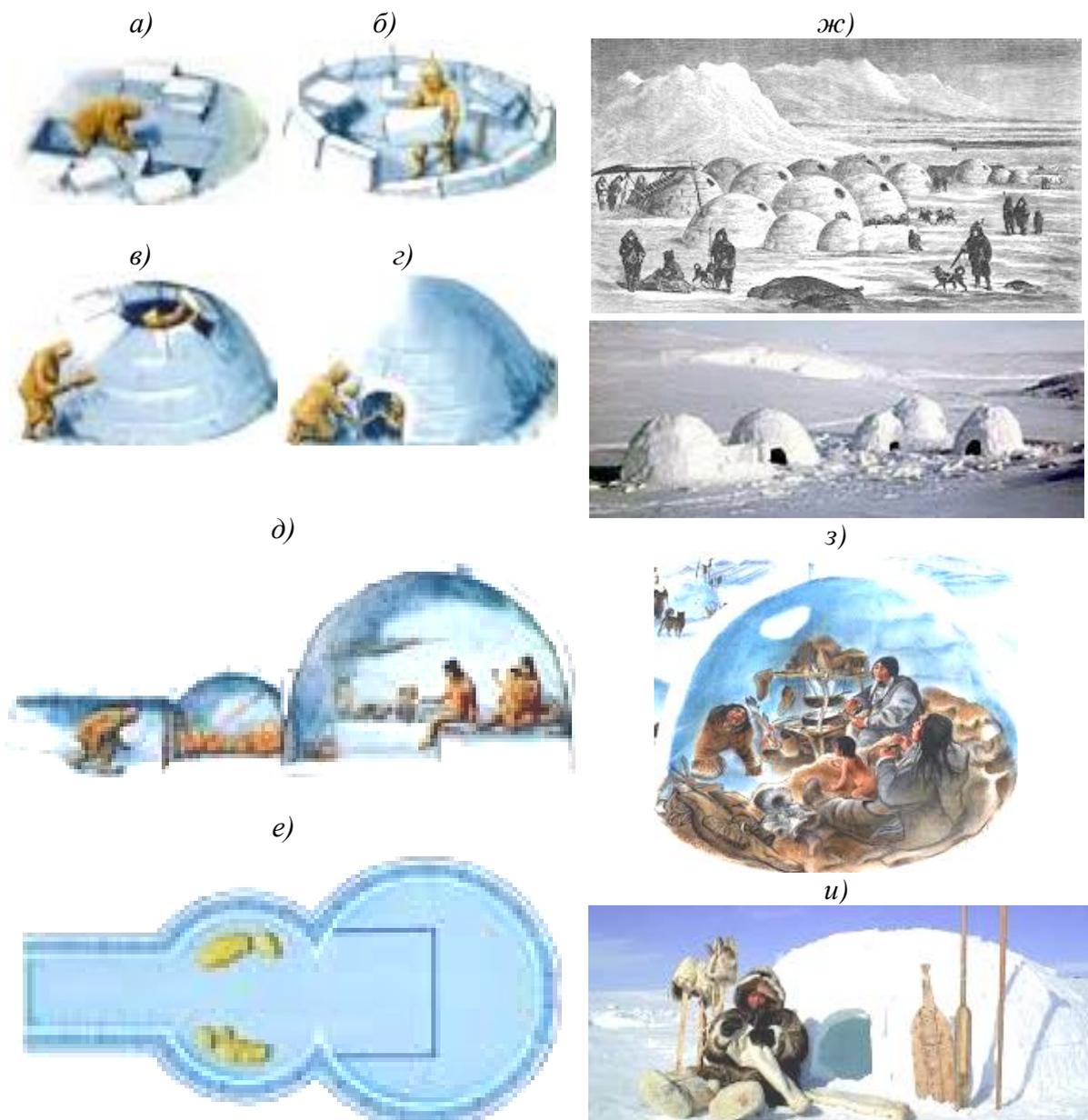


Рис. 5. Сооружение жилых построек из снега в условиях Крайнего Севера: а, б, в, г – принципиальная последовательность возведения жилища из снежных блоков эскимосами в древности; д, е – разрез и план жилых помещений, возведенных из снега древними эскимосами; ж – поселок эскимосов, возведенный из снега; з – внутреннее убранство и условия быта эскимосов в интерьере жилища из снега; и – снежный дом эскимоса

### *1.2.2. Ледяные переправы и зимники из льда и армированного льда*

Отечественный опыт эффективного использования природных свойств льда и уплотненного снега, в качестве конструкций зданий и сооружений, для районов с распространением мерзлых и многолетнемерзлых грунтов, реализуется в первую очередь в виде ледовых дорог и переправ для наземного колесного и гусеничного транспорта. Из отечественной и зарубежной истории нам известно, какую важную роль в истории нашей страны сыграли ледяные переправы. С первыми морозами реки, озера и болота покрываются идеальным дорожным покрытием природного происхождения – льдом. В гражданскую войну подобная ледяная переправа действовала на Азовском море в районе между Керчью и Таманским полуостровом. Известны переправа через озеро Байкал длиной 45 км, переправа через реку Волгу у Саратова в 1928 году, Северодвинская переправа в Архангельске в 1943–1944 годы. В северных районах бывшего СССР в прежние времена железнодорожные полотна нередко прокладывали непосредственно по льду рек и озер. В годы Великой Отечественной войны к блокадному Ленинграду по льду Ладоги озера была организована автомобильная дорога длиной 27 км, сохранившаяся в истории осажденного города как «Дорога жизни». И сегодня широко используются ледяные переправы через реки, озера и болота в Сибири, там часто даже при наличии мостов грузовой поток в зимнее время направляется по льду в обход моста, не говоря о бесчисленном пересечении рек автозимниками. Ледяной покров в ряде случаев используется как дополнительная временная строительная площадка при строительстве гидротехнических сооружений. Изучение отечественного опыта эксплуатации объектов из снега и льда показало эффективность их применения при строительстве сооружений, решающих научные задачи в особых условиях, и для преодоления сложных технических проблем в экстремальных ситуациях на периферии, или во время проведения военных операций. Так на рис. 6а приведен положительный пример практического использования автозимников через водные преграды со значительными нагрузками, передаваемыми на поверхность льда от колес большегрузного автотранспорта. Наряду с известными достоинствами обычный лед, используемый в качестве ледовых переправ, обладает рядом недостатков, к которым относятся: относительно высокая хрупкость; пониженная прочность; недостаточная несущая способность; ограниченная грузоподъемность и влияние температурного режима на изменение технического состояния структуры льда. Поэтому, при нарушении условий гарантированного равновесия между внешними нагрузками, приложенными на поверхность льда от перемещающегося транспорта и фактической его хрупкой прочностью, возникают аварийные случаи, при которых тяжелые транспортные средства, в результате потери несущей способности льда, проваливаются под лед и тонут. Отдельные примеры аварийных ситуаций автотранспорта на ледовых переправах (зимниках) в

зимний период при некорректном и научно необоснованном использовании льда приведены на рис. 6б, в.



Рис. 6. Отечественный опыт использования неармированного льда, в качестве ледовых переправ или автозимников через сибирские реки, озера и болота: а – автозимник для большегрузных автомобилей; б, в – примеры аварийных ситуаций на ледовых переправах или автозимниках

В современных условиях, для повышения несущей способности ледовых переправ и площадок на льду, применяются различные способы упрочнения хрупкой структуры льда. Упрочнение хрупкой структуры льда, работающего на усилия растяжения при изгибе нагруженного льда, выполняется при помощи армирования массива льда в зоне растяжения. Научными исследованиями, проводимыми отечественными учеными и специалистами на базе лабораторий Сибирского автодорожного института (СибАДИ) в городе Томске [4], уточнены и систематизированы физико-механические характеристики льда, как конструктивного материала, используемого в качестве ледовых переправ или автозимников через сибирские реки, озера и болота. С целью исключения возникновения аварийных ситуаций и обеспечения гарантийной предельной прочности, устойчивости и несущей способности ледовых конструкций автозимников, предложены мероприятия по армированию льда. В качестве армирующих элементов для ледовых переправ предложено использовать вмораживаемый в массив льда несколько разновидностей неметаллических геосеток, георешеток и геокомпозитов с различными физико-механическими свойствами, расчетное сопротивление на растяжение которых в десятки и сотни раз больше, чем расчетное сопротивление хрупкого льда. Конструктивный материал изо льда, армированный методом вмораживания геосинтетических элементов, получил название – армолед. Сопоставительные лабораторные исследования отечественных ученых для неармированных и армированных ледяных образцов, позволили достоверно оценить эффективность армированного льда, по отношению к неармированному льду. Лабораторные исследования физико-механических свойств ледяных образцов с их армированием и без армирования, выполненные учеными (СибАДИ) в г. Томске [4], приведены на рис. 7. Этими исследованиями установлено, что при нагружении неармированных ледяных блоков график, отражающий функциональную зависимость: нагрузка ( $N$ ), кН, деформация ( $S$ ), мм, во времени ( $T$ ), с, или  $f=(N, S, T)$ , носит линейный характер (рис. 7в).

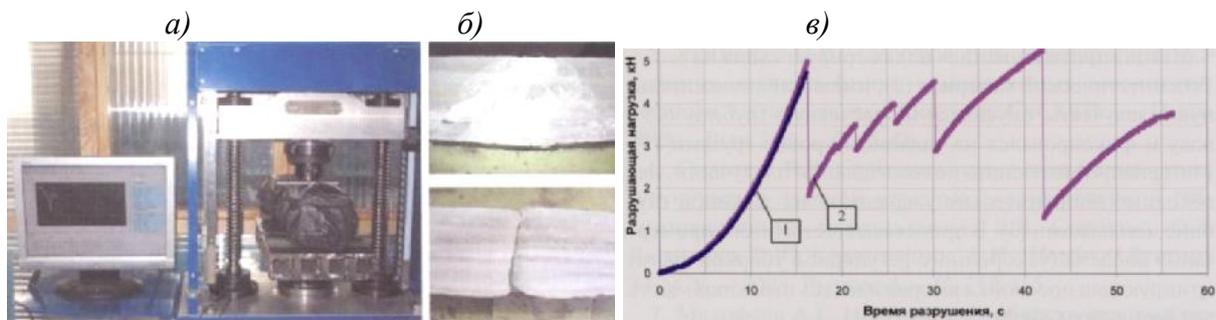


Рис. 7. Результаты лабораторных испытаний ледяных образцов [4]:  
*a* – комплекс лабораторных приборов, использованных в СибАДИ для испытаний ледяных неармированных и армированных образцов; *б* – вид разрушения ледяных образцов армолед (сверху) и неармированный лед (снизу); *в* – принципиальный график зависимости между нагрузкой и деформацией для неармированных (1) и армированных (2) ледяных образцов

Следует отметить, что неармированные ледяные балки, изготовленные из льда, при достижении ими предельных деформаций, резко и хрупко разрушались, образуя при этом два куска льда призматической формы (рис. 7*б* (снизу)). А балки, изготовленные из армированного геосинтетическими материалами (армолед), при их нагружении внешней нагрузкой, работают иначе. Здесь процесс потери несущей способности представляет собой растянуто-ступенчатый характер в виде ступенчатого графика (2) на (рис. 7*в*). При этом увеличивается время и суммарная работа, необходимая для разрушения конструкции армольда. Исследованная особенность разрушения армированных ледяных образцов позволяет прогнозировать повышение безопасности ледяных переправ, предотвращение резких проломов армированного льда под транспортом. Проверка обоснованности и достоверности теоретических и экспериментальных исследований реализованы путем строительства и испытания опытных участков ледовой переправы на водоемах Сибири [4; 5; 6; 7]. Рабочий момент раскладывания (раскатывания рулонов) геосинтетических материалов армирования и намораживания льда, приведены на рис. 8*а, б*. Принципиальная схема армирования льда методом «притапливания» армирующей прослойки, приведена на рис. 8*в*.

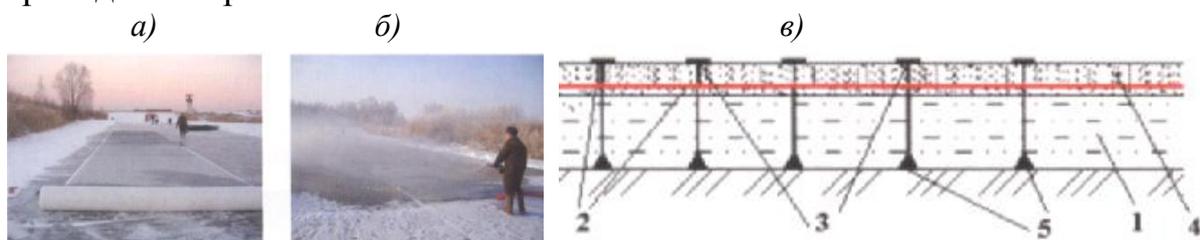


Рис. 8. Рабочий момент раскладывания геосинтетических материалов армирования и намораживания льда (*а, б*) и принципиальная схема армирования льда методом «притапливания» армирующей прослойки (*в*), где 1 – водоем; 2 – геосинтетический армирующий материал; 3 – поплавки; 4 – естественный ледяной покров; 5 – грузы на дне водоема

Особенностью создания армольда для ледовых переправ является то, что они устраиваются временно, только на зимний холодный период календарного года, когда замерзают реки, озера и болота. На теплый период календарного года (весна, лето, осень) армирование демонтируется до следующего холодного периода. Демонтаж геосинтетических армирующих элементов (решеток, сеток) ледяных переправ осуществляется перед началом периода сезонного таяния льда на озерах и болотах, а также ледоходом на реках. Основные этапы демонтажа геосинтетических армирующих элементов приведены на рис. 9.

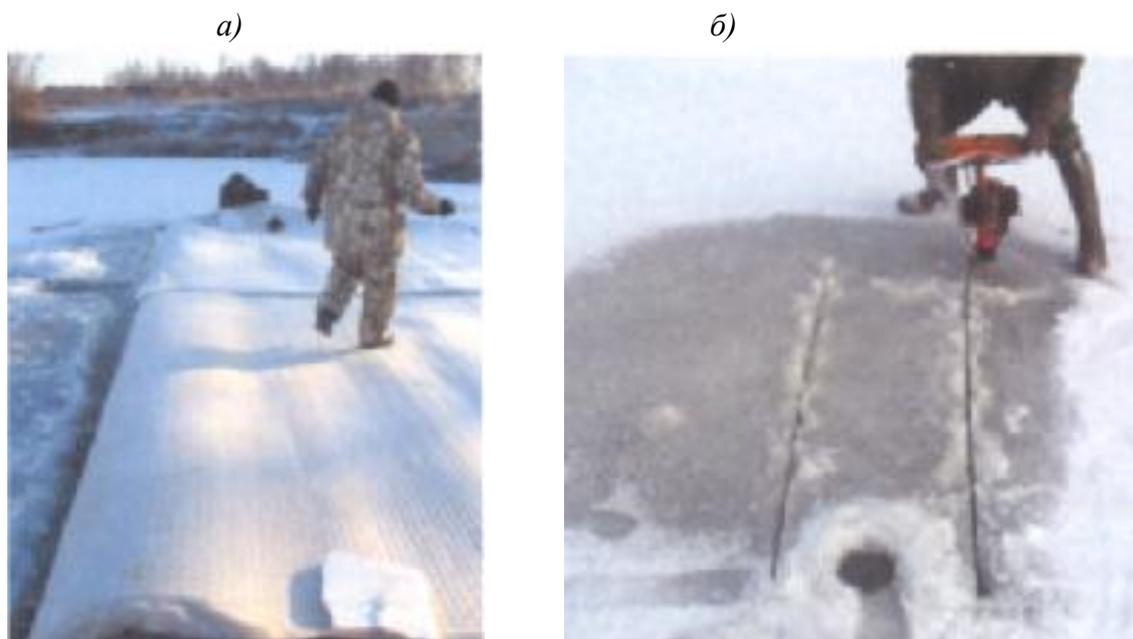


Рис. 9. Демонтаж геосинтетических армирующих элементов (решеток, сеток) ледяных переправ перед периодом таяния льда и ледоходом:

*а* – подготовительные работы перед технологическим процессом демонтажа сезонного армирования льда; *б* – разрезка конструкции армольда бензопилой на отдельные блоки

### ***1.2.3. Ледяные отели «Icehotel», возводимые из льда и снега***

Положительным опытом эффективного и широкого использования конструкций остовов, возводимых ежегодно из льда, является современные «Ледяные отели «Icehotel», которые расположены в деревне Юккасарви (Швеция). Примером возрождения такого нового вида архитектурного творчества, считается тот факт, что в 1989 году в этом районе японские художники организовали выставку ледяного искусства, где и был впервые возведен «Icehotel». Необычным объектом заинтересовались туристы с пожеланиями попробовать еще и ночевки в условиях холода. После первых удачных опытов в 1990 году было принято решение, которое перешло в традицию, что каждый год в холодный период календарного года с декабря по апрель строить здесь ледяной отель. Сегодня «Icehotel» – это самый известный в мире отель из снега и льда, площадь которого составляет 5500 м<sup>2</sup>. Поскольку каждый год ледяной отель строится заново, все его но-

мера уникальны, а сам он весь целиком выполняется из снега и ледяных блоков, специально «выращенных» в реке Турне-Эльв. Некоторые примеры возведенных из снега и льда ледяных отелей «Icehotel», которые ежегодно изменяют свой архитектурный облик, приведены на рис. 10.



Рис. 10. Общий вид, возведенных из снега и льда ледяных отелей «Icehotel», которые ежегодно изменяют свою форму и архитектурный облик

Ежегодно со всего света в Юккасъярви съезжаются сотни скульпторов и дизайнеров по льду, поэтому в зависимости от того, кто из дизайнеров участвует в возведении объекта, каждый год отель выглядит по-разному. Отель вмещает 100 и более гостей. Температура помещений составляет около  $-5^{\circ}\text{C}$ . Вследствие этого проживание в ледяном отеле рекомендуется лишь на одну ночь и сменяется проживанием в обогреваемых отелях. Кроме апартаментов на территории объекта находятся бар изо льда, парк ледяных скульптур и церковь для венчания. Влюбленные пары со всего мира приезжают сюда для проведения свадебной церемонии. Технические особенности и экономическая эффективность использования снега и льда при строительстве и эксплуатации сезонных сооружений в условиях сурового и холодного климата в современных условиях – актуальна. Сегодня современные материалы, строительные конструкции и технологии открывают новые возможности для создания уникальных сооружений. В настоящее время огромный интерес вызывают так называемые, возобновляемые

строительные материалы, которые характеризуются доступностью, экономичностью, возможностью многократного использования и экологической чистотой. К ним можно отнести воду в различных агрегатных состояниях, например, снег и лед. Несмотря на то, что ледовая тематика в архитектуре – не новое явление, научных исследований архитектурного направления в этой области немного. В то же время из истории известны многочисленные примеры использования конструкций из снега и льда в качестве строительного материала. Характерные примеры эффективного и рационального использования льда и снега в качестве доступного, экономичного, многократно используемого, экологически чистого строительного материала, представленного в виде необычных форм интерьеров сооружений, возведенных из льда и снега, приведены на рис. 11.

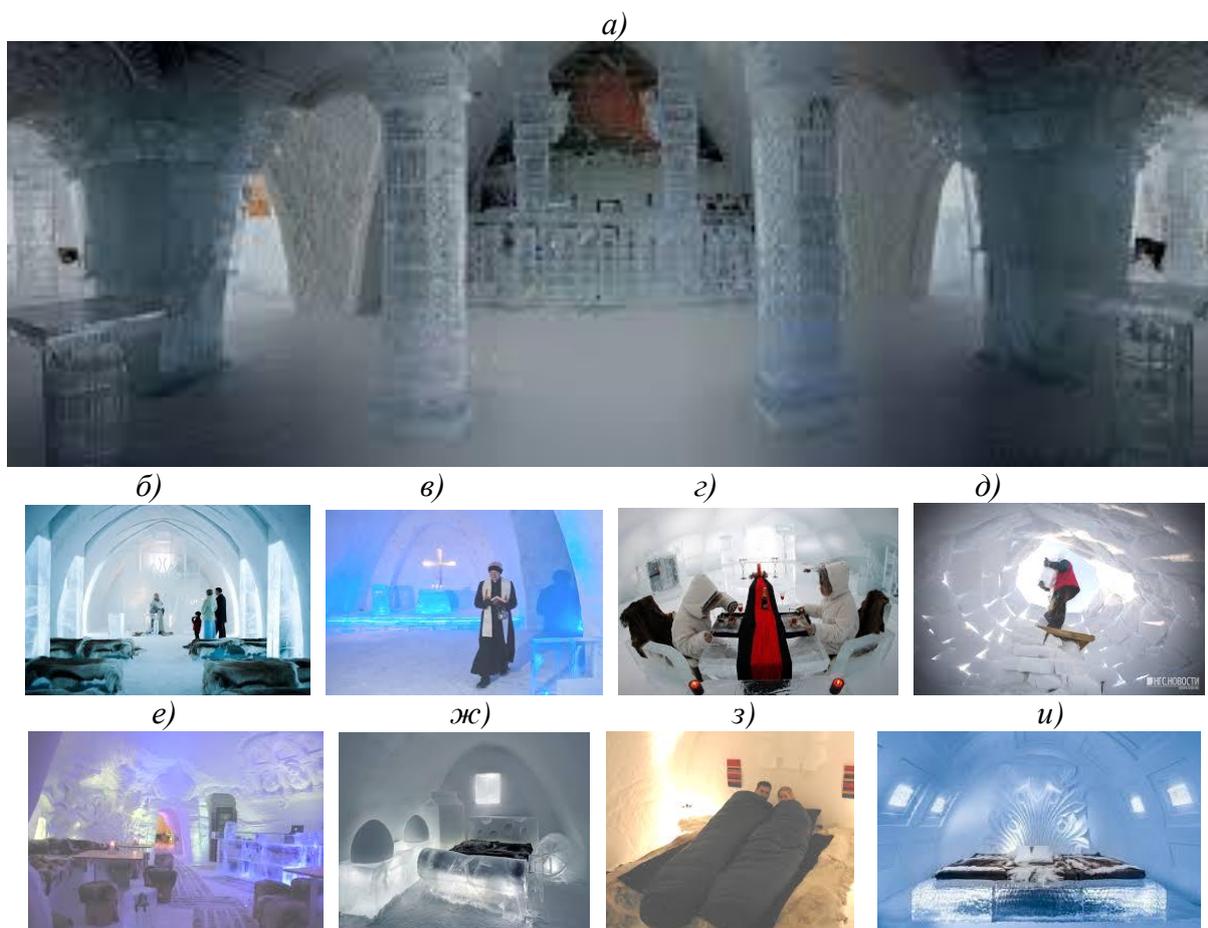


Рис. 11. Примеры эффективного и рационального использования льда и снега в интерьерах современных зданий и сооружений различного функционального назначения: а, б, в – молельные залы храмов; з – комната досуга в отеле; д – купольный свод, возводимый из снежных блоков; е – зал ресторана; ж, з, и – спальни отелей

В связи с тем, что основным недостатком снега и льда как строительных материалов является то, что их физико-механические свойства изменяются и при оттаивании полностью теряются, то использование их в строительстве происходит в основном в зимних условиях. Однако в современных условиях всепогодное использование льда и снега при строитель-

стве и эксплуатации сооружений становится возможным в результате применения искусственно замораживания специальными установками. Обеспечить это способны самые современные строительные технологии при выполнении необходимых инженерно-технологических мероприятий. Использование особых свойств льда и снега, с учетом их светопропускаемой структуры льда или матового внешнего вида снежных блоков, позволяет архитекторам, скульпторам и художникам успешно воплощать в жизнь оригинальные идеи и разработки, включая снежные и ледяные фигуры, а также оригинальные сезонно действующие малые архитектурные формы. Примеры снежных, ледяных фигур и привлекательные малые архитектурные формы, изготовленные из снега и льда, приведены на рис. 12.



Рис. 12. Примеры эффективного использования снега и льда при организации зон отдыха и развлечений в зимний период календарного года: *а* – фигуры сказочных героев, выполненных из снега; *б* – храм, изготовленный из льда и снега; *в* – центр зимнего досуга «Русский снег»; *г*, *д*, *е* – снежный город в Харбине (северо-восток Китая) с высокохудожественными ледовыми и снежными скульптурами на международном фестивале «Мир снега и льда»; *ж*, *з* – фрагменты необычных интерьеров и привлекательные малые архитектурные формы, изготовленные из искусственного снега и льда в парке «Зарядье» г. Москвы; *и* – обледенение в горах с экзотическими видами

#### 1.2.4. Ледяной аквариум «Kori no Suizokukan» в г. Кесеннума (Япония)

В городе Кесеннума (Япония) в 2002 году возведен и открыт Ледяной аквариум под названием «Kori no Suizokukan», особенностью которого является то, что он построен из 40 прозрачных ледяных блоков, в массив каждого из них заморожены около 450 экзотических представителей морской фауны, включая кальмаров, крабов, рыб, осьминогов и других обитателей акватории океанов и морей. По замыслу авторов, такое экзотическое размещение морских обитателей, позволяет широкому кругу населения наглядно увидеть и ознакомиться с не менее 80 видами причудливых морских обитателей. Для сохранности экспонатов температура в аквариуме всегда поддерживается на уровне  $-20^{\circ}\text{C}$ . Рассмотрение японского опыта проектирования и строительства сооружений из льда и уплотненного снега, в частности, ледяного аквариума, показывает, что современные технологии позволяют использовать лед в качестве доступных и технологичных природных материалов для возведения сложных сооружений в условиях холодной окружающей среды. Несмотря на сезонность ледяной и снежной архитектуры, перспективность и экономическая эффективность создания экзотических и уникальных сооружений из льда очевидны, так как расширяют туристические возможности и повышают культурно-познавательную привлекательность Японии и других стран. Сегодня Ледяной аквариум «Kori no Suizokukan» является городской достопримечательностью города Кесеннума в Японии, куда съезжаются туристы со всей страны и мира (рис. 13).

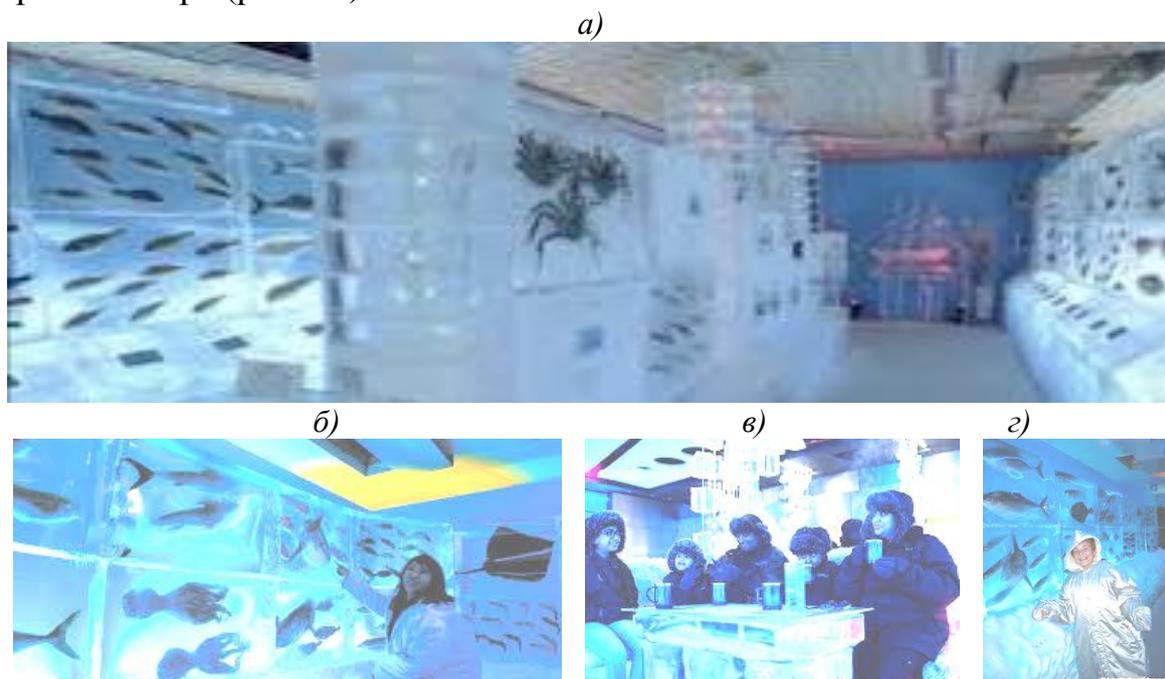


Рис. 13. Ледяной аквариум «Kori no Suizokukan» в г. Кесеннума (Япония):  
а – общий вид интерьера с галерейным расположением экспонатов морских обитателей в ледяных глыбах; б – экзотические виды морских обитателей; в, з – осмотр экспонатов и отдых посетителей аквариума осуществляется при отрицательной температуре  $-20^{\circ}\text{C}$

### 1.2.5. Антимагнитные свойства конструктивных элементов сооружений из снега и льда

Исследованиями установлено, что ограждающие элементы стен и покрытий, выполненные из снега и льда, по своим физико-механическим характеристикам являются эффективными строительными материалами при возведении сооружений с антимагнитными свойствами (рис. 14).

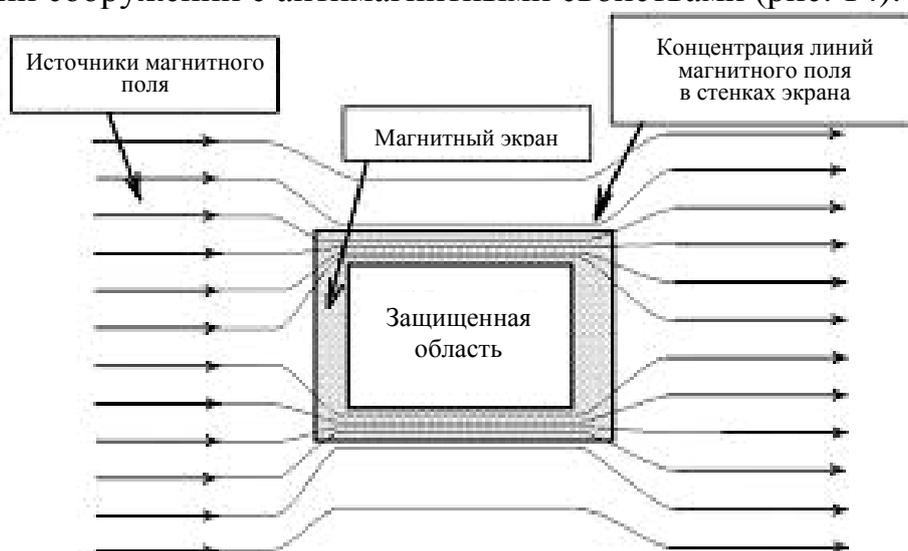


Рис. 14. Принципиальная схема антимагнитной защиты сооружения из льда и снега

Эти свойства льда и снега, значительно снижающие электромагнитное проникновение магнитных волн через ограждения, позволили полярной экспедиции Э.В. Толля, во время зимовки в 1900–1902 годах, применять массивы льда и уплотненный снег для возведения помещений и павильонов для проведения научных исследований, не опасаясь за постоянную и надежную работу приборов и электрооборудования. Такой комплекс из четырех научно-исследовательских павильонов располагался в северо-западной части Таймырского полуострова. Самые крупные из них – это ледяная обсерватория для магнитных наблюдений и снежный дом с астрономическими и гравиметрическими приборами. Широко применялись снежно-ледяные постройки в экспедиции Г.Я. Седова, направленных к Северному полюсу в 1912–1914 годы, а также ледокольных пароходов «Садко» и «Малыгин» в 1937–1938 годах, во время зимовки в море Лаптевых. Неоспоримый интерес вызывают сведения об эффективном использовании льда в качестве строительного материала при строительстве, изложенные в отчете полярной геофизической обсерватории на острове Большом Ляховском за 1928–1929 годы. В отчете упоминается о возведении и эксплуатации, так называемого аэрологического снежного дома или эскимосском снежном домике, который использовался учеными исследователями для смены светочувствительных лент, а также в качестве препятствия из снежной ветрозащитной стенки для шаропилотных наблюдений.

## **ГЛАВА 2. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА И МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ**

### **2.1. Опыт проектирования и строительства зданий и сооружений, возводимых на территории распространения многолетнемерзлых грунтов**

Основания и фундаменты зданий и сооружений (далее вместо термина «здания и сооружения» используется термин «сооружения»), в число которых входят также подземные сооружения), возводимых на территории распространения многолетнемерзлых (вечномерзлых) грунтов, проектируются в соответствии с требованиями СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88» [80].

Проектирование выполняется на основе результатов специальных инженерно-геологических изысканий, которые включают 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 [85].

На стадии изысканий, в предпроектный период, для вновь возводимых и реконструируемых сооружений, в необходимом и достаточном объеме, осуществляются исследования физических, механических, теплофизических свойств мерзлых и оттаивающих грунтов методами лабораторных и полевых исследований, а также выполняются специальные расчеты оснований и фундаментов по разработанной отечественными и зарубежными учеными и специалистами теории расчетов, с использованием инженерных и численных методов [1–22].

Принимая во внимание своеобразие и сложность многофакторной задачи по инженерным изысканиям, расчету, проектированию, строительству и эксплуатации объектов в условиях вечной мерзлоты, проектирование выполняется с привлечением высококвалифицированного персонала, имеющего соответствующий опыт проектирования и строительства на многолетнемерзлых грунтах, при координации и связи между участниками инвестиционного строительного процесса.

Северная строительно-климатическая зона предполагает использование материалов и изделий для возведения несущих и ограждающих конструкций остова зданий и сооружений, которые удовлетворяют требованиям долговременного сохранения нормативной несущей способности и эксплуатационной пригодности, в зависимости от класса ответственности объекта. При проектировании оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах учитываются местные условия строитель-

ва, требования к охране окружающей среды, а также имеющийся опыт проектирования, строительства и эксплуатации сооружений в условиях сурового холодного климата. Выбор строительных площадок и проектных решений оснований и фундаментов производится на основании технико-экономического сравнения возможных и сопоставимых вариантов с оценкой их по приведенным затратам с учетом требуемой надежности.

Возведение новых объектов или реконструкция существующих сооружений на застроенной территории, как и для обычных условий, должно выполняться с учетом их воздействия на существующую окружающую застройку. Кроме стандартных инженерно-технологических условий исключения взаимного влияния блокируемых зданий, должно учитываться условие сохранения расчетного температурного режима многолетнемерзлых грунтов прилегающих территорий и предотвращение недопустимых деформаций существующих сооружений. При сдаче сооружения в эксплуатацию, соответствие состояния мерзлых или оттаявших грунтов основания и конструкций фундаментов, проверяется приемочной комиссией и сверяется с проектными решениями. Предусмотренная проектом несущая способность и длительная эксплуатационная пригодность сооружений должна быть подтверждена результатами натурных наблюдений или испытаний, выполненных в период строительства согласно регламенту геотехнического мониторинга (ГТМ). Положительный опыт научно обоснованных инженерных решений возведенных многоэтажных гражданских зданий, возведенных в особых условиях холодного климата на многолетнемерзлых грунтах, приведен на (рис. 15).



Рис. 15. Многоэтажные жилые здания из крупных панелей, возведенные на забивных железобетонных сваях, в условиях вечной мерзлоты с использованием принципа I (с сохранением многолетней мерзлоты): а – шестиэтажное здание с проветриваемым пространством; б – возведение свайных фундаментов жилого района; в – фрагмент конструкции свайного фундамента с высоким ростверком для проветривания пространства

В целях обеспечения надежности сооружений с учетом применения нестандартных расчетных методов, конструктивных и технологических решений, при проектировании оснований и фундаментов уникальных зданий и сооружений или их реконструкции, а также сооружений повышенного уровня ответственности, в том числе реконструируемых в условиях окружающей застройки, предусматривается научно-техническое сопровождение (НТС) строительства и эксплуатации объектов. Современ-

ное НТС представляет собой комплекс работ научно-аналитического, методического, информационного, экспертно-контрольного и организационного характера, которое осуществляется в процессе изысканий, проектирования и строительства. Организация генерального проектировщика, по согласованию заказчика строительства, определяет состав работ по НТС инженерных изысканий, проектирования и строительства оснований и фундаментов.

В соответствии с требованиями СП 25.13330.2012 в состав работ НТС включаются: разработка рекомендаций к программе инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий; оценка и анализ материалов инженерных изысканий; разработка 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; разработка регламента геотехнического и экологического мониторинга; разработка технологических регламентов на специальные виды работ; выполнение опытно-исследовательских и конструкторских работ; обобщение и анализ результатов всех видов ГТМ, их сопоставление с результатами прогноза; оперативная разработка рекомендаций или корректировка проектных решений на основании данных ГТМ при выявлении отклонений от результатов прогноза. Несоблюдение и нарушение нормативных требований приводит к потере несущей способности многолетнемерзлого грунта основания, и как следствие нарушению целостности конструкций остова зданий и их обрушению или деформации грунта основания дорожных насыпей (рис. 16).

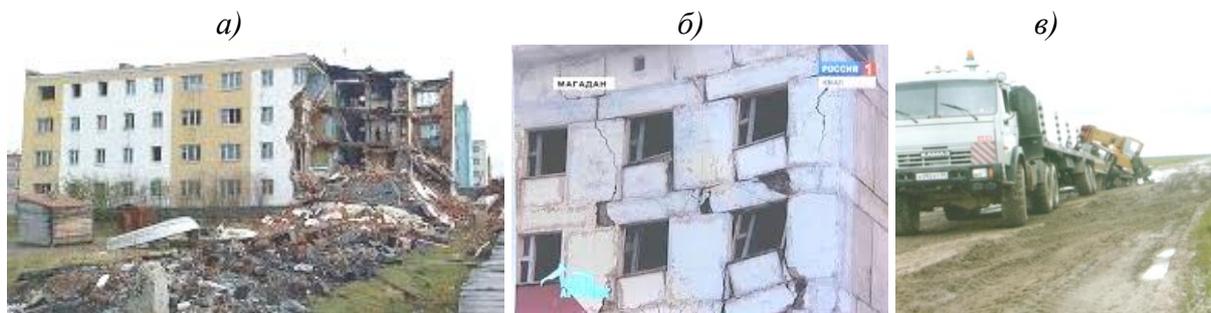


Рис. 16. Разрушение строительных конструкций несущего и ограждающего остова многоэтажных зданий и нарушение дорожного полотна в результате неравномерных деформаций многолетнемерзлого грунта основания в зоне деятельного слоя:  
а – крупнопанельное здание; б – то же, крупноблочное; в – основание автодороги

### ***2.1.1. Общие принципы строительства надземной части зданий, расположенных в особых природно-климатических условиях Крайнего Севера с отрицательной температурой наружного воздуха***

На земном шаре имеются территории Крайнего Севера, где продолжительность зимнего периода с отрицательной температурой составляет от 185 до 305 дней из 365 календарных суток года [38]. На значительной части таких территорий с низкими зимними температурами воздуха дуют

сильные ветра, формирующие снежные заносы. К особым природно-климатическим условиям территорий Крайнего Севера следует относить: повышенную влажность воздуха на побережье морей и океанов; малую естественную освещенность территории в холодные периоды года; многолетнемерзлое состояние грунтов; почти полное отсутствие растительности.

При проектировании, строительстве и эксплуатации гражданских, производственных и специальных зданий и сооружений в условиях холодного климата Крайнего Севера, их несущие и ограждающие строительные конструкции выполняются, как правило, с максимальной степенью сборности и тенденцией к применению легких транспортабельных и быстро возводимых изделий и деталей. Особое внимание уделяется теплозащитным свойствам наружных ограждающих конструкций остовов зданий. Утепленные наружные ограждающие конструкции стен, заполнение дверных и оконных проемов изготавливаются воздухонепроницаемыми. Конструкции окон и дверей применяются с обязательным утеплением притворов. В соответствии с теплотехническими расчетами в районах Крайнего Севера применяется тройное остекление в оконных и витражных блоках.

Геометрия крыш зданий выбирается несложной формы и простого профиля, что исключает образование больших снеговых отложений «снеговых мешков». Для исключения накопления снега и обледенения на архитектурных элементах наружных стен зданий (ниши, пояса, и другие западающие или выступающие элементы), наружные боковые поверхности фасадов зданий выполняют плоской или криволинейной формы, без усложнений задерживающих снег. В районах с наиболее суровым климатом продолжительного зимнего периода, современными нормативными источниками не допускается устройство лоджий и балконов. При проектировании входных групп гражданских и общественных зданий предусматриваются двойные тамбуры.

Принимая во внимание большое количество выпадающих осадков в виде снега, образования обледенения и значительных ветровых воздействий на здания и сооружения, при проектировании зданий и сооружений предпочтение отдается простым в плане и по высоте геометрическим формам контуров зданий. Предпочтение отдается проектным решениям, в которых при максимальном сохранении функционального назначения и основных технологических процессов здания или сооружения, обеспечивается минимальная боковая поверхность, контактирующая с морозным воздухом.

Характерным примером оптимизации проектного решения по значительному снижению площади наружной боковой поверхности фасадов, контактирующей с холодным воздухом для одного из производственных зданий обогатительной фабрики при экономической целесообразности блокирования основных производственных процессов, приведен на рис. 17. Сопоставительный анализ двух схем «а» и «б», приведенных на рис. 17, позволяет констатировать, что простая оптимизация и рациональ-

ное блокирование (объединение) основных производственных корпусов «3» и «4» в один общий корпус, а также сокращение (объединение) пяти наклонных галерей «2» в одну общую галерею, позволило сократить суммарную площадь фасадов и кровли более 5 раз.

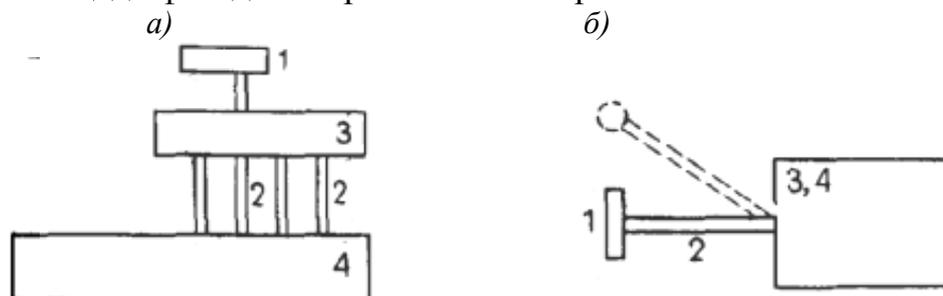


Рис. 17. Схема оптимизации проектного решения по значительному снижению площади наружной боковой поверхности фасадов, контактирующей с холодным воздухом для одного из производственных зданий обогатительной фабрики при экономической целесообразности блокирования основных производственных процессов в суровых условиях Крайнего Севера: *а* – проект-аналог; *б* – новое оптимальное решение; 1 – корпус крупного дробления; 2 – наклонные галереи; 3 – склад дробленой руды; 4 – корпус обогащения

Еще один пример оптимизации проектного решения, за счет сокращения наружных ограждений в северных условиях путем совершенствования объемно-планировочных решений приведен на рис. 18. Здесь по отношению к первоначальному проектному решению, приведенному на рис. 18, в экспериментальном проектном решении, представленном на рис. 19, периметр наружных стен в целом уменьшен на 42%.

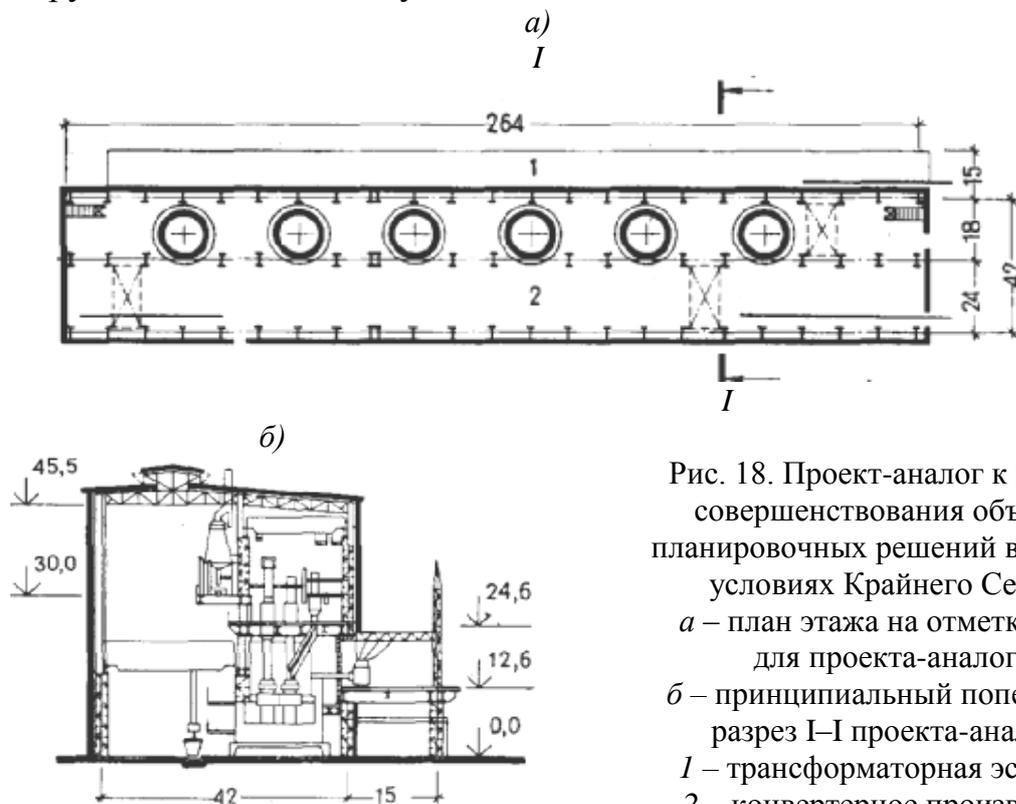


Рис. 18. Проект-аналог к вопросу совершенствования объемно-планировочных решений в суровых условиях Крайнего Севера: *а* – план этажа на отметке 0,000 для проекта-аналога; *б* – принципиальный поперечный разрез I–I проекта-аналога; 1 – трансформаторная эстакада; 2 – конвертерное производство

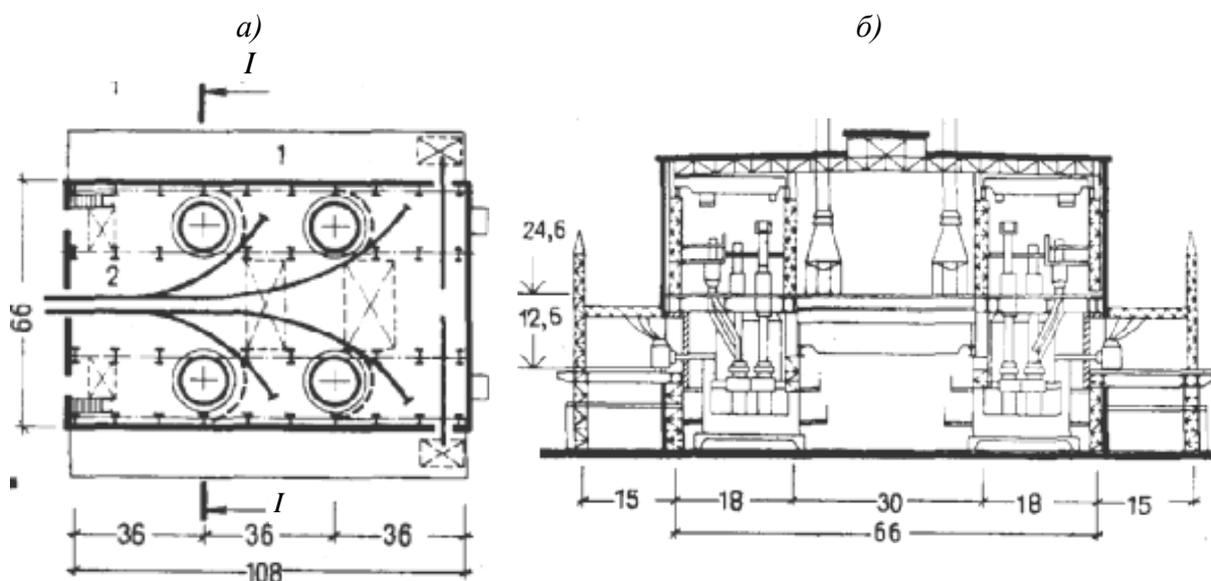


Рис. 19. Пример экспериментального проектного решения с сокращенной площадью наружных ограждений путем совершенствования объемно-планировочных решений по отношению к проекту-аналогу, приведенному на рис. 18, в суровых условиях:  
*а* – план этажа на отметке 0,000; *б* – принципиальный поперечный разрез I–I;  
 1 – трансформаторная эстакада; 2 – конвертерное производство

### **2.1.2. Общие принципы устройства конструктивных типов фундаментов и подземных частей зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах**

Основополагающим нормативным документом в РФ для проектирования и устройства оснований и фундаментов зданий и сооружений, является СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88» [80]. В современной теории и практике устройства надежных грунтовых оснований и применяемых конструктивных типов фундаментов, возводимых в условиях холодного климата на многолетнемерзлых грунтах, используются и нашли распространение два принципиальных подхода к решению, которые зависят от изменения температурного режима воздуха и связанного с этим природным явлением промерзания грунта. Поэтому учеными и специалистами, занимающимися вопросами мерзлотоведения, совместно с архитекторами, строителями и технологами, разработаны два принципа устройства оснований с использованием многолетнемерзлых грунтов, в том числе:

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

принцип II – это когда 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 при эксплуатации сооружения).

Наибольшее распространение получил принцип I, обеспечивающий нормативную несущую способность многолетнемерзлого грунта основания в течение всего периода эксплуатации, оптимальную технологичность при устройстве различных типов фундаментов (фундаментов мелкого заложения (ФМЗ) и свайных фундаментов (СФ)) [23; 24; 27; 30]. Принципиальные схемы устройства ФМЗ и СФ на многолетнемерзлых грунтах приведены на рис. 20.

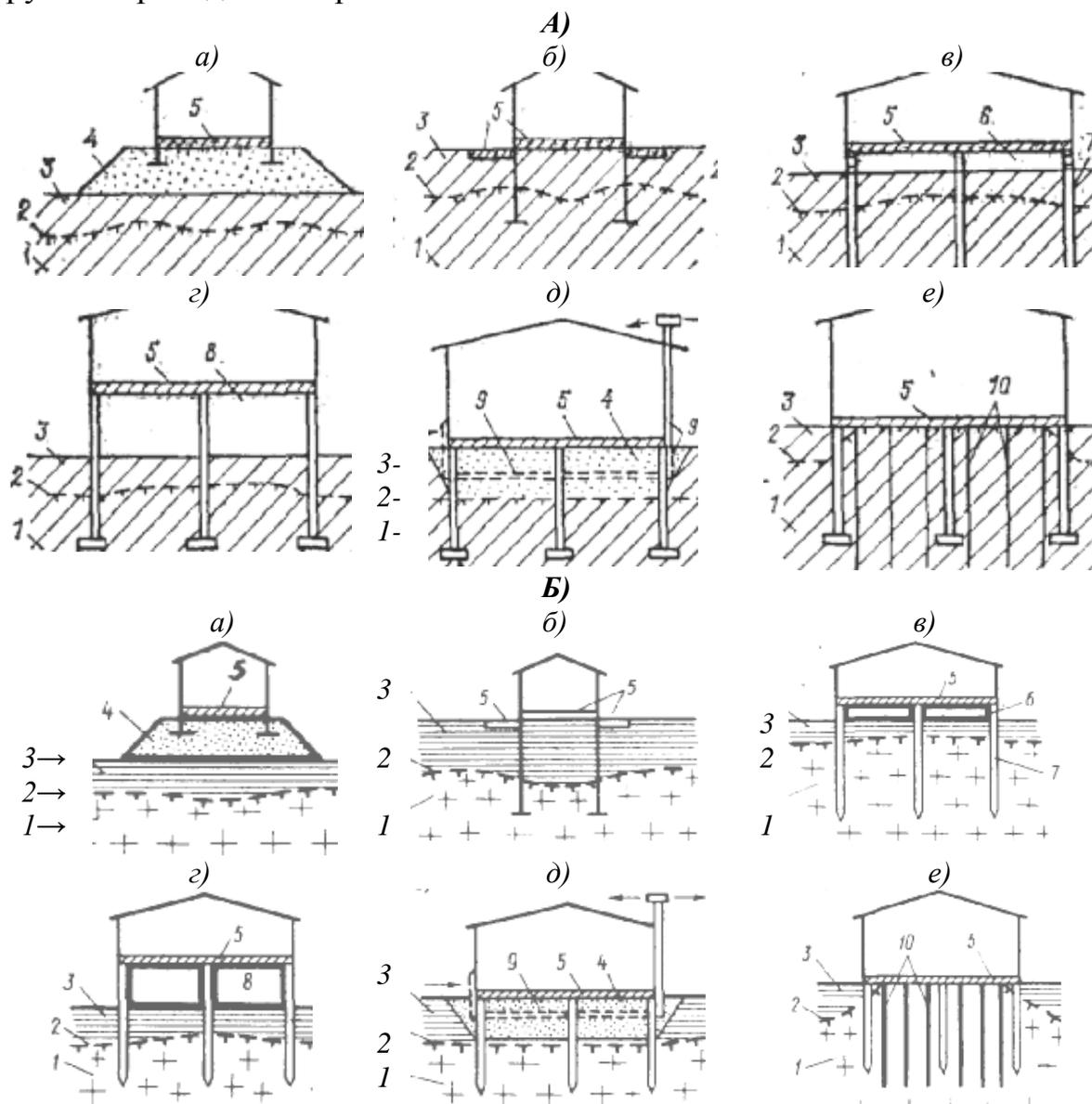


Рис. 20. Схемы устройства фундаментов с сохранением многолетнемерзлого грунта:  
 А – для фундаментов мелкого заложения ФМЗ; Б – для свайных фундаментов СФ;  
 а – здания на подсыпках; б – теплоизоляция поверхности грунта под полом здания;  
 в – устройство вентилируемых подполий; г – расположение на 1-ом этаже неотапливаемых помещений; д – прокладка под полом охлаждающих вентканалов; е – искусственное охлаждение грунтов с помощью специальных установок, например, замораживающих колонок; 1 – многолетнемерзлый грунт; 2 – верхняя граница слоя вечномерзлого грунта; 3 – деятельный слой грунта; 4 – насыпной непучинистый грунт; 5 – теплоизоляция; 6 – вентилируемое подполье; 7 – ФМЗ – для (А) и свая – для (СФ); 8 – неотапливаемый 1-й этаж; 9 – вентиляционные каналы, охлаждающие грунты морозным воздухом; 10 – замораживающие колонки

Для сохранения и поддержания грунтового основания в его многолетнемерзлом состоянии под зданиями и сооружениями, возведенными по принципу I, практикуется использование конструктивных схем остовов зданий с проветриваемыми (холодными) подполями, подвалами или первыми этажами. Такие системы относятся к простым и экономически обоснованным конструктивным решениям, так как не требуют дополнительных энергетических и финансовых затрат на поддержание холодного режима в верхней зоне массива многолетнемерзлого грунта основания. Практикуемые в строительстве принципиальные схемы проветриваемых холодных подполий приведены на рис. 21, 22.

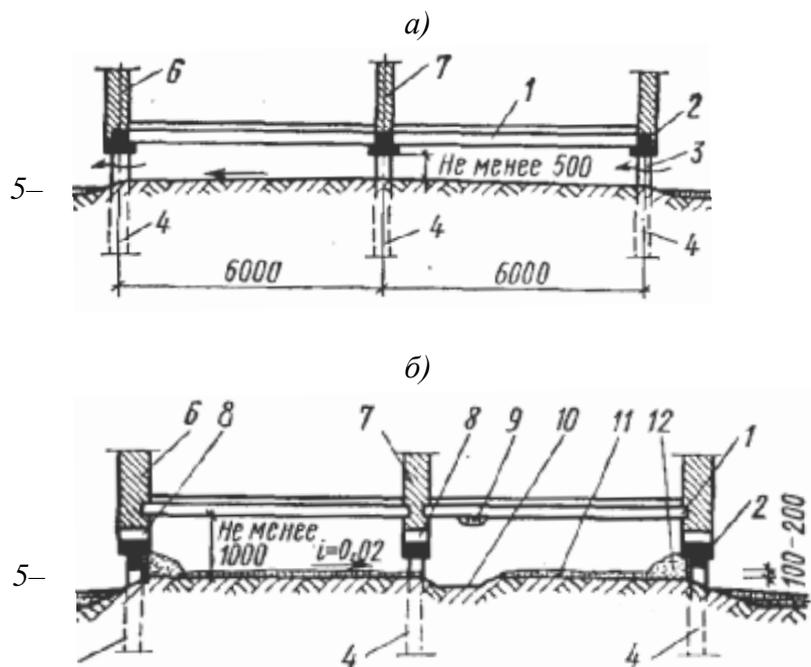


Рис. 21. Принципиальные схемы проветриваемых холодных подполий: а – с низким (непроходным) подпольем; б – с высоким (проходным) подпольем; 1 – перекрытие; 2 – фундаментная балка или ростверк; 3 – отверстие для проветривания; 4 – столбчатые или ленточные фундаменты; 5 – отмостка; 6 и 7 – наружные и внутренние стены; 8 – продух для вентилирования; 9 – трубопроводы с утеплением; 10 – лоток; 11 – завалинка; 12 – утеплитель

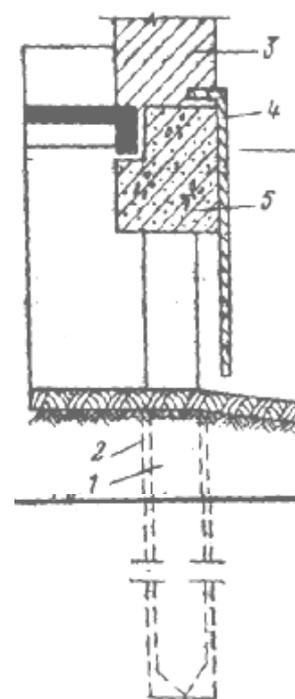


Рис. 22. Фрагмент разреза цокольной части здания с холодным подпольем на железобетонных сваях, вмороженных в вечномерзлый грунт в условиях холодного климата на многолетнемерзлых грунтах

Для зданий и сооружений, в процессе эксплуатации которых не представляется возможность обеспечить длительный и регулярный режим поддержания низкой отрицательной температуры в зоне расположения пола первого этажа, подвала, подполья и фундаментов в условиях многолетнемерзлых грунтов, практикуется применение принципа II, обеспечивающего нормативную несущую способность грунта основания в его оттаянном или оттаивающем состоянии. При этом предварительное оттаи-

вание осуществляется на расчетную глубину до начала возведения сооружения или с допущением их оттаивания при эксплуатации здания или сооружения [3; 8; 9; 15; 26; 27; 30]. Принципиальные схемы устройства ФМЗ и СФ на многолетнемерзлых грунтах по принципу II приведены, соответственно, на рис. 23 и 24.

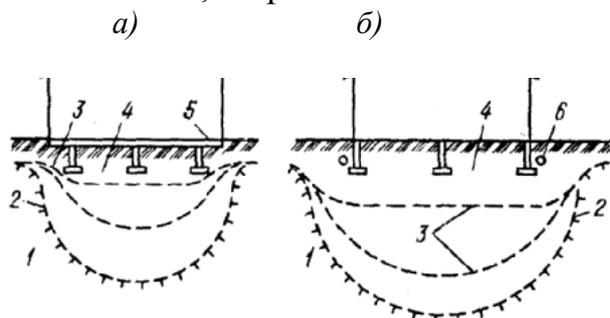


Рис. 23. Схемы регулирования процесса оттаивания основания под зданием: 1 – многолетнемерзлый грунт; 2 – верхняя граница слоя многолетнемерзлого грунта в конце процесса оттаивания; 3 – то же, в промежуточных состояниях; 4 – оттаявший грунт; 5 – консоль; 6 – обогревающий трубопровод

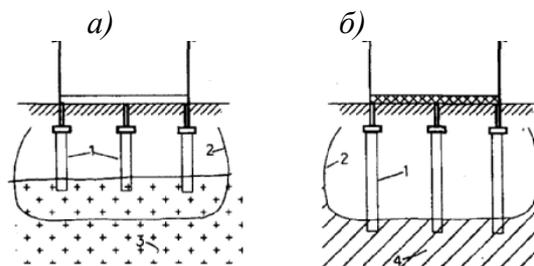


Рис. 24. Схемы свайных фундаментов при строительстве по принципу II: а – в скальных грунтах; б – с полной прорезкой оттаявшего грунта и опиранием свай на многолетнемерзлый грунт ниже зоны оттаивания; 1 – сваи; 2 – граница многолетнемерзлого грунта; 3 – скальный грунт; 4 – многолетнемерзлый грунт, проявляющий просадочные свойства при оттаивании

При проектировании фундаментов зданий и сооружений в особых условиях холодного климата на многолетнемерзлых дисперсных грунтах по принципу II учитывается целый комплекс специальных теплотехнических и инженерно-технологических мероприятий. Основным критерием, определяющим назначение мероприятия, является предварительное оттаивание многолетнемерзлого грунта. В систематизированном виде различные типы фундаментов, возводимые на многолетнемерзлых грунтах по II принципу, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Типы фундаментов, возводимых на многолетнемерзлых грунтах по II принципу использования дисперсных грунтов основания

Конструктивная схема здания или сооружения	Тип фундамента	Примечание
Жесткая	Ленточные (параллельные, перекрестные)	–
	Плитные	
	Столбчатые (отдельные)	
Гибкая	Свайные	Для предварительно оттаянных и уплотненных грунтов
	Столбчатые (отдельные)	–
	Свайные	Для предварительно оттаянных и уплотненных грунтов

*Примечание.* При проектировании естественных оснований (для грунтов, имеющих положительную температуру в условиях природного залегания) следует руководствоваться главой СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» [78], а при проектировании свайных фундаментов на талых грунтах – главой СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» [79]

В процессе оттаивания мерзлого дисперсного глинистого грунта, прочностные свойства (угол внутреннего трения –  $\varphi^0$ , удельное сцепление –  $c$ ,  $кПа$ ) резко снижаются до минимальных значений, а деформативность (осадка –  $S$ ,  $см$  и просадка –  $S_{sb}$ ,  $см$ . при пониженном модуле общей деформации дисперсной среды –  $E$ ,  $МПа$ ) значительно увеличивается. Поэтому оттаивание мерзлого дисперсного глинистого грунта, как процесс во времени, учитывается при проектировании и контролируется при строительстве и эксплуатации зданий. Характер перемещения верхней границы слоя многолетнемерзлого грунта в процессе его оттаивания под фундаментом наружной стены приведен на рис. 25.

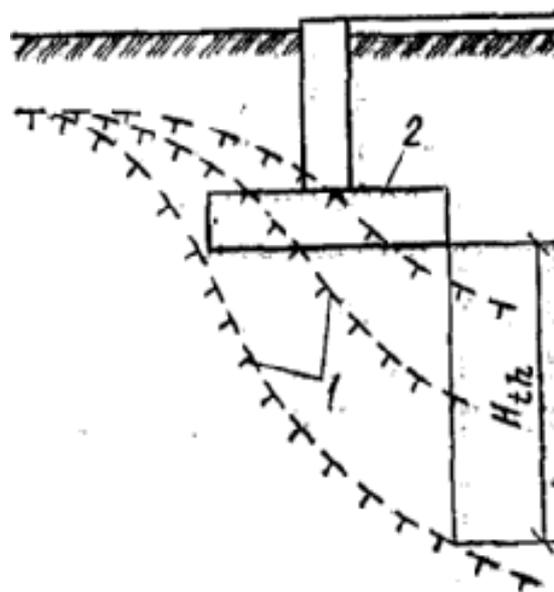


Рис. 25. Схема перемещения верхней границы слоя многолетнемерзлого грунта в процессе его оттаивания под фундаментом наружной стены:

- 1 – положение границы оттаивания;
- 2 – фундамент

На оттаянных мерзлых грунтах проектируются и возводятся различные типы конструкций фундаментов мелкого заложения и свайные фундаменты. Среди наиболее распространенных типов фундаментов, в этих условиях, можно отметить: свайные фундаменты из буронабивных и забивных свай расчетной длины и поперечного сечения; фундаменты в вытрамбованных котлованах (ФВК) без уширения и с уширенной пятой; ленточные фундаменты из монолитного и сборного железобетона (рис. 26).

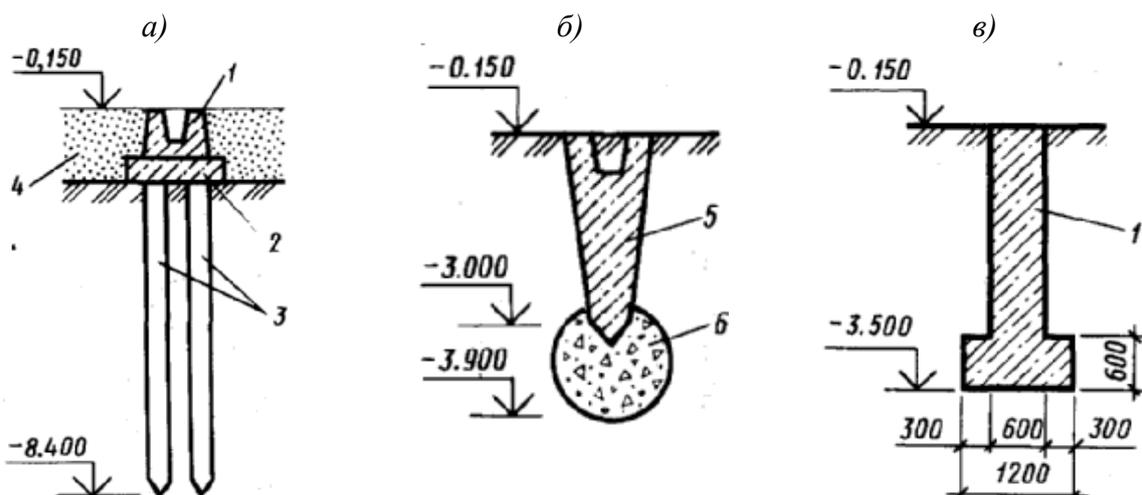


Рис. 26. Варианты устройства фундаментов в вечномерзлых грунтах с предварительным оттаиванием мерзлого грунта (II принцип): а – из буронабивных свай; б – фундамент в вытрамбованном котловане ФВК; в – ленточный; 1 – ростверк (для «а») или фундамент (для «в»); 2 – ростверк; 3 – буронабивная свая; 4 – обратная засыпка; 5 – фундамент в вытрамбованном котловане; 6 – уширение из щебня ( $V=1,5 м^3$ )

Принимая во внимание то, что многолетнемерзлый грунт имеет достаточно высокую структурную прочность в своем мерзлом состоянии, поэтому технологический процесс погружения сборных железобетонных или стальных свай до проектной отметки традиционными методами при помощи забивки дзель молотами или вибропогружением, практически неосуществим. В связи с этим, разработаны и применяются три основных технологических приема погружения свай в многолетнемерзлые грунты, в том числе: буроопускной, бурозабивной и опускной [27; 30; 39; 79; 80; 82]. Буроопускные сваи применяют при температуре грунта ниже  $-0,5^{\circ}\text{C}$ . Сначала в основании пробуривают скважины диаметром на 5–10 см, превышающим поперечный размер сваи. Затем скважины заполняют грунтовым раствором, после чего погружают в них сваи. После замерзания грунтового раствора свая оказывается надежно зацементированной в вечномерзлом грунте. Бурозабивные сваи устраивают забивкой в предварительно пробуренные лидерные скважины, имеющие диаметр, несколько меньший размера свай. Такие сваи эффективны в пластичномерзлых грунтах, не содержащих крупнообломочных включений. Опускные сваи изготавливают методом вмораживания и применяют в твердомерзлых грунтах с содержанием крупнообломочных включений не более 15% при температуре грунта ниже  $-1,5^{\circ}\text{C}$ . Суть метода заключается в том, что сначала производится локальное оттаивание грунта паровой иглой, а затем в оттаявший грунт погружается забивная свая. После промерзания грунта вокруг сваи она оказывается вмороженной в грунт. Принципиальные схемы погружения свай в многолетнемерзлый грунт приведены на рис. 27.

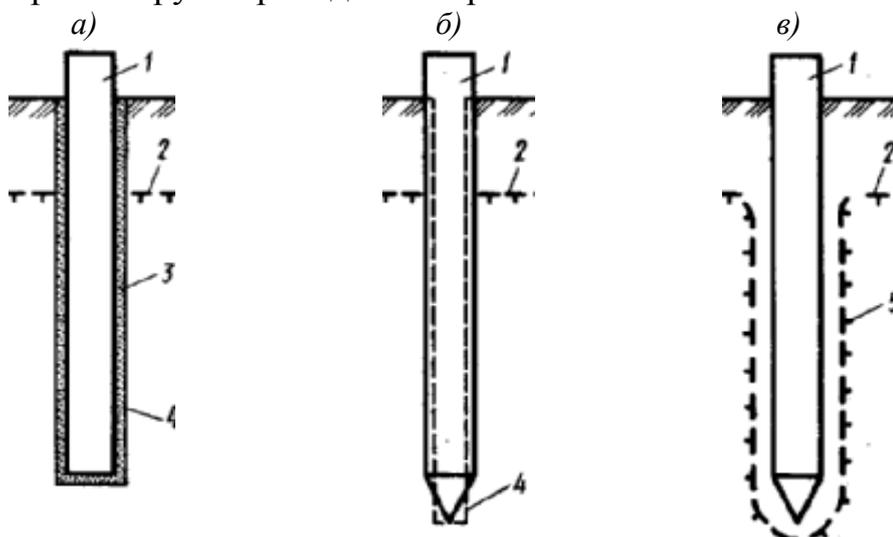


Рис. 27. Принципиальные схемы погружения свай в многолетнемерзлый грунт:  
*a* – буроопускные сваи; *б* – бурозабивные сваи; *в* – опускные сваи;  
 1 – свая; 2 – верхняя граница вечномерзлого грунта; 3 – грунтовый раствор;  
 4 – стенка скважины; 5 – граница оттаивания

В зависимости от конструктивной особенности каркасного остова надземной части здания или сооружения, возводимого в условиях холодного климата, конструкция ростверка свайного фундамента, в зависимости от его места расположения по высоте относительно поверхности планиро-

вочной отметки земли «NL», проектируется: низким; пониженным и высоким. Принципиальные конструктивные схемы различных типов ростверков по уровню расположения их относительно планировочной поверхности земли приведены на рис. 28.

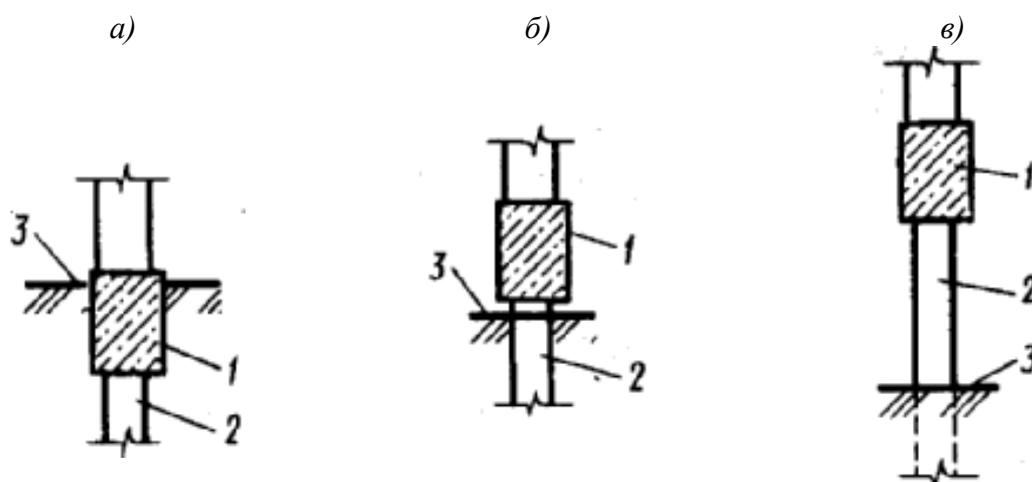


Рис. 28. Типы ростверки по уровню расположения их относительно поверхности земли: а – низкий; б – пониженный; в – высокий; 1 – ростверк; 2 – свая; 3 – поверхность грунта

### ***2.1.3. Полевые методы исследований многолетнемерзлых грунтов статическим зондированием***

Статическое зондирование на современном этапе широко применяется почти во всех странах мира, особенно в странах Европы (включая Россию) и США. Число используемых зондирующих установок в Европе превышает 500 [80; 85]. По информации, изложенной в иностранной технической литературе [34; 35], в 1970–1980-е годы, при статическом зондировании, в основном преобладало применение легких зондирующих установок с механическими зондами. При современных исследованиях грунтов, включая многолетнемерзлые, в основном используются тяжелые самоходные комплексы на базе автомобилей или тракторов. Современные зондирующие комплексы уже оснащены электротензометрическими зондами с максимальным усилием вдавливания 200 кН или 20 тн (в особых случаях до 600 кН или 60 тн). В связи с этим, значительно увеличилась глубина зондирования, которая для грунтов средней прочности составляет 20–25 м, для слабых грунтов – 40 м, а когда зондирование совмещается с бурением – 120 м. Расширилось применение зондирования на шельфе (в акваториях), где используются массивные устройства, погружаемые на дно водоема. Во всех странах для статического зондирования применяются установки собственного производства. В России широкое распространение нашла отечественная установка С-832.

До 1980-х годов основными задачами статического зондирования было уточнение литологического строения наслоения грунтов, определение несущей способности забивных свай, оценка модуля деформации грунтов,

а также плотности песков и консистенции глинистых грунтов. В отечественной практике наибольшее внимание уделялось определению несущей способности забивных свай. В настоящее время практически во всех развитых зарубежных странах статическое зондирование используется для идентификации литологических разновидностей грунта; оценки недренированного сопротивления срезу глинистого грунта  $S_u$ , определений угла внутреннего трения несвязных грунтов  $\varphi$ , модуля деформации (компрессионного) связных и несвязных грунтов, несущей способности свай, чувствительности (тиксотропности) связных грунтов, относительной плотности песков, коэффициентов переуплотнения, фильтрации и консолидации. В практике изысканий практикуется применение стандартных зондов, включая: диаметром  $d=25,2\text{ мм}$ , площадью  $A=5\text{ см}^2$ ;  $d=35,7\text{ мм}$ ,  $A=10\text{ см}^2$  и  $d=44\text{ мм}$ ,  $A=15\text{ см}^2$ .

Исследованиями отечественных и зарубежных ученых [80–92] показана актуальность, практическая возможность и особенности применения термометрических зондов (ТСРТ) при статическом зондировании мерзлых грунтов. Р.Х. Ким и др. (Корея) предлагает дополнить зонд волоконно-оптическим датчиком на основе, так называемой волокнистой брегговской решетки (FBG), который позволяет компенсировать влияние температуры на результаты измерений сопротивлений  $q_c$  и  $f_s$ , здесь  $q_c$  и  $f_s$  – удельные сопротивления грунтов, соответственно, под конусом зонда и на боковой поверхности. В поисковом режиме исследований предпринимаются попытки использования наконечников зондов нестандартной формы, которые могут прикрепляться к стандартному зонду вместо стандартного конуса (рис. 29).

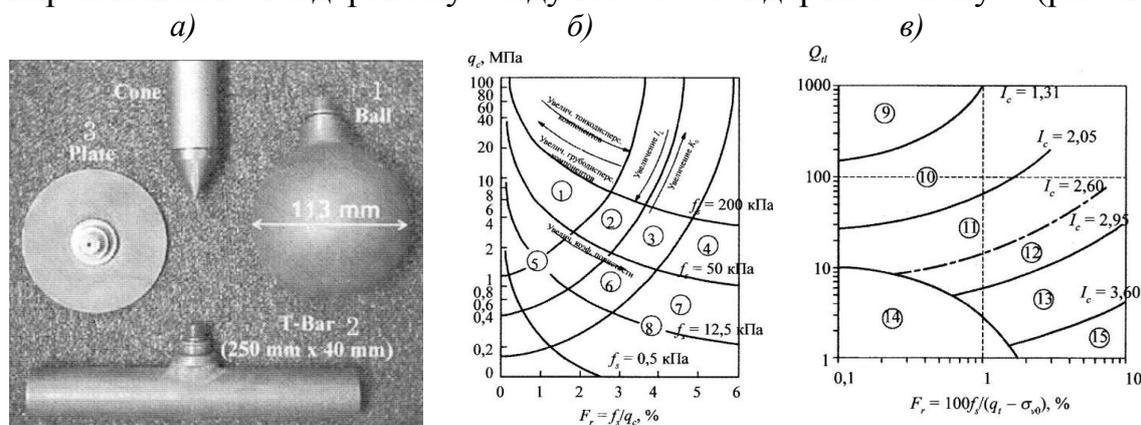


Рис. 29. Статическое зондирование грунтов на современном этапе [80; 85; 91; 92]: а – различные формы наконечников зондов, предлагаемые Т. Луном (Норвегия), где 1 – шаровой наконечник зонда, 2 – Т-образной формы; 3 – плоский зонд; б, в – карты-схемы определения видов грунтов [80], в том числе: б – по В. Дугласу и П. Ольсену ( $I_L$  – показатель текучести;  $K$  – коэффициент давления покоя: отношение горизонтального природного давления к вертикальному); 1 – несвязный грубодисперсный грунт; 2 – несвязный грубо и тонкодисперсный грунт; 3 – супесь; 4 – связный тонкодисперсный грунт; 5 – относительно устойчивые пески; 6 – чувствительные супеси; 7 – торф; 8 – чувствительные глины; в – по П.К. Робертсону  $Q_{tm}$ ,  $I_c$  (0) и (1), где 9 – шравелистый песок; 10 – песок; 11 – пылеватый песок; 12 – супесь; 13 – глина; 14 – чувствительная глина; 15 – заторфованный грунт

В определении типа и наименования грунтов, или идентификации методом статического зондирования, в настоящее время сформировалось два подхода.

*Первый подход* (рис. 29б) предполагает использование обычных электрических зондов без дополнительных датчиков, при котором принадлежность к той или иной литологической разности определяется по  $q_c$  и «фрикционному отношению»  $R_f = (f_s/q_c) 100\%$ , где  $q_c$  и  $f_s$  – удельные сопротивления грунтов, соответственно, под конусом зонда и на боковой поверхности.

*Второй подход* «нормализованный» (рис. 29в) предполагает применение электрических зондов с датчиками порового давления, где вместо  $q_c$  используется так называемое «нормализованное» удельное сопротивление грунта под конусом  $Q_{tl}$  (1). При этом наряду с «фрикционным отношением»  $R_f$ , применяются параметры «фрикционного отношения», рассчитанное для  $F_r$ , рассчитанное для откорректированного сопротивления под конусом  $q_t$  (2) или полные эффективные напряжения  $B_q$  (3) [80]:

$$Q_{tl} = (q_t - \sigma_{vo}) / \sigma_{vo}^I, \quad (1)$$

$$q_t = q_c + (1-a)u_2, \quad (2)$$

$$B_q = (u_2 - u_0) / (q_t - \sigma_{vo}), \quad (3)$$

где  $q_t$  – откорректированное сопротивление под конусом зонда;

$a$  – величина, отражающая особенности конструкции зонда, равная отношению площадей сечений его внутренней части (в зоне муфты трения) и основания конуса;

$u_2$  – поровое давление, измеренное между конусом и муфтой трения (боковой поверхностью);

$u_0$  – природное поровое давление до начала зондирования;

$\sigma_{vo}$  и  $\sigma_{vo}^I$  – природное давление, выраженное в полных эффективных напряжениях.

Вместо  $Q_{tl}$  иногда используется более сложная величина  $Q_m$  (4). При этом грунт характеризуется  $I_c$  по формуле (5):

$$Q_m = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{\sigma_{atm}} \left( \frac{\sigma_{atm}}{\sigma_{vo}^I} \right)^n, \quad (4)$$

$$I_c = \sqrt{(3,47 - \lg Q_{tm})^2 + (1,22 + \lg F_r)^2}, \quad (5)$$

где  $\sigma_{atm}$  – атмосферное давление (100 кПа);

$n$  – коэффициент, равный для глин 1, песков 0,5, пылеватых грунтов (суглинков и супесей) 0,75;

$F_r$  – «фрикционное отношение», рассчитанное для откорректированного сопротивления под конусом  $q_t$ .

#### **2.1.4. Физико-механические характеристики, теплотехнические свойства и особенности напряженно-деформированного состояния (НДС) в многолетнемерзлых грунтах**

Физико-механические характеристики многолетнемерзлых грунтов оснований их подразделение на типы и наименование разновидностей производится в соответствии с современными требованиями ГОСТ 25100-2011 [53], ГОСТ 26263-84 [56], ГОСТ 28622-90 [60], ГОСТ 5180-84 [63]. В зависимости от вещественного состава, температуры и степени влажности многолетнемерзлые (вечномерзлые) грунты, с учетом особенностей их физико-механических свойств и принятой геотехнической терминологии, классифицируются, как **твердомерзлые** (практически несжимаемые (с коэффициентом сжимаемости  $m^f \leq 0,01$  МПа), **пластично-мерзлые** (с коэффициентом сжимаемости  $m^f > 0,01$  МПа) и **сыпучемерзлые**.

Существует подразделение вечномерзлых грунтов на сильнольдистые, засоленные и заторфованные, использование которых в качестве оснований сооружений регламентируется дополнительными требованиями, предусмотренными разделами 8, 9 и 10 СП 25.13330.2012.

Физические и деформационно-прочностные характеристики многолетнемерзлых грунтов, используемые при выполнении расчетов оснований и фундаментов, в условиях многолетнемерзлых грунтов, определяются на основании их непосредственных полевых или лабораторных испытаний. Помимо характеристик, предусмотренных СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» для обычных условий, в состав определяемых для расчета многолетнемерзлых оснований физических и механических характеристик грунтов дополнительно входят следующие.

1. В соответствии с приложением «Б» СП 25.13330.2012 определение физических и теплофизических характеристик мерзлых грунтов.

2. При расчете мерзлых грунтов оснований по деформациям и несущей способности рассчитываются их деформационные и прочностные характеристики, включая:

2.1. В соответствии с п.п. 7.2.16 СП 25.13330.2012 [80] определяется коэффициент сжимаемости мерзлого грунта или модуль деформации. В зависимости от принятого типа конструкции фундаментов (фундаменты мелкого заложения (ФМЗ) или свайные фундаменты (СФ) для зданий, возводимых на пластично-мерзлых грунтах, осадки оснований фундаментов определяются с использованием следующих расчетных схем:

2.1а) расчетная схема в виде линейно-деформируемого полупространства или линейно-деформируемого слоя конечной толщины – для ленточных и столбчатых фундаментов – в соответствии с указаниями СП 22.13330.2011;

2.1б) расчетная схема, основанная на модели грунта, как линейно-деформируемой среды – для одиночных свайных фундаментов – по данным полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой, а для кустов или групп свай – согласно указаниям СП 24.13330.2011.

Расчетные численные значения коэффициента сжимаемости  $m_f$  или модуля деформации  $E_f$  для пластично-мерзлых грунтов принимаются по данным компрессионных испытаний при расчетной температуре грунта, устанавливаемой по формуле (7.8) СП 25.13330.2012, а также по результатам полевых статических испытаний пластично-мерзлых грунтов моделями фундаментов (штампами, сваями) и статического зондирования в соответствии с приложением «Л» СП 25.13330.2012.

2.2. При расчете оттаивающего основания по деформациям, в соответствии с п.п. 7.3.8 СП 25.13330.2012 определяется коэффициент оттаивания  $A_{th}$  и сжимаемости при оттаивании  $m_{th}$  грунта. Коэффициенты оттаивания и сжимаемости оттаивающего грунта устанавливаются по результатам полевых испытаний мерзлых грунтов «горячим штампом». Если значения и получены по данным лабораторных испытаний грунтов, то их расчетные значения при определении осадок оттаивающего основания умножаются на поправочный коэффициент  $k_i = 1 + \Delta i_i$ , где  $\Delta i_i$  – 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.

2.3. При расчете мерзлых грунтов на прочность, их прочностные характеристики и их контакты определяются по результатам длительных испытаний с учетом результатов неконсолидированно-недренированного и консолидированно-недренированного среза оттаивающего грунта.

2.4. Для расчета оснований и фундаментов на воздействие сил морозного пучения грунтов, в соответствии с пп. 7.4.3 и 7.4.6 СП 25.13330.2012, определяются характеристики грунтов в пределах деятельного слоя при попеременном сезонном промерзании и оттаивании дополнительно определяются: относительная деформация морозного пучения  $\varepsilon_{fh}$ ; расчетная удельная касательная сила пучения  $\tau_{fh}$ ; удельное нормальное давление пучения грунта на подошву фундамента  $p_{fh}$ , а также характеристики мерзлых грунтов для расчета оснований на горизонтальные статические и сейсмические воздействия по требованиям пп. 11.5 и 11.6 СП 25.13330.2012. Расчетное значение  $\tau_{fh}$ , кПа определяется опытным путем. Для сооружений II и III уровней ответственности значения  $\tau_{fh}$  допускается принимать по табл. 7.8 СП 25.13330.2012 или табл. 2 данного издания в зависимости от состава, влажности и глубины сезонного промерзания и оттаивания грунтов  $d_f$ , м.

Таблица 2

Расчетные значения удельной касательной силы пучения  $\tau_{fh}$ ,

Грунты и степень водонасыщения	Значения $\tau_{fh}$ , кПа при глубине сезонного промерзания-оттаивания $d_f$ , м		
	1,0	2,0	3,0
Глинистые при показателе текучести $I_L=0,5$ , пески мелкие и пылеватые при степени влажности $W_{tot}=0,95$	130	110	90
Глинистые при $0,25 < I_L \leq 0,5$ , пески мелкие и пылеватые при $0,8 < I_L \leq 0,95$ , крупнообломочные с заполнителем (глинистым, мелкопесчаным и пылеватым) свыше 30%	100	90	70
Глинистые при $I_L=0,25$ , пески мелкие и пылеватые при $0,6 < S_r \leq 0,8$ , а также крупнообломочные с заполнителем (глинистым, мелкопесчаным и пылеватым) от 10 до 30%	80	70	50
<p><i>Примечания</i></p> <p>1. Приведенные в таблице значения <math>\tau_{fh}</math> относятся к поверхности бетонного фундамента. Для фундаментов из других материалов табличные значения <math>\tau_{fh}</math> должны умножаться на коэффициент <math>k</math>, значения которого даны в приложении «В» СП 25.13330.2012.</p> <p>2. Для поверхностей фундаментов, покрытых специальными составами, уменьшающими силы смерзания, а также при применении других противоположных мероприятий, значение <math>\tau_f</math> следует принимать на основании опытных данных, полученных в полевых или лабораторных условиях</p>			

Касательные силы морозного пучения, характерные схемы которых приведены на рис. 30, определяются по результатам полевых или лабораторных испытаний.

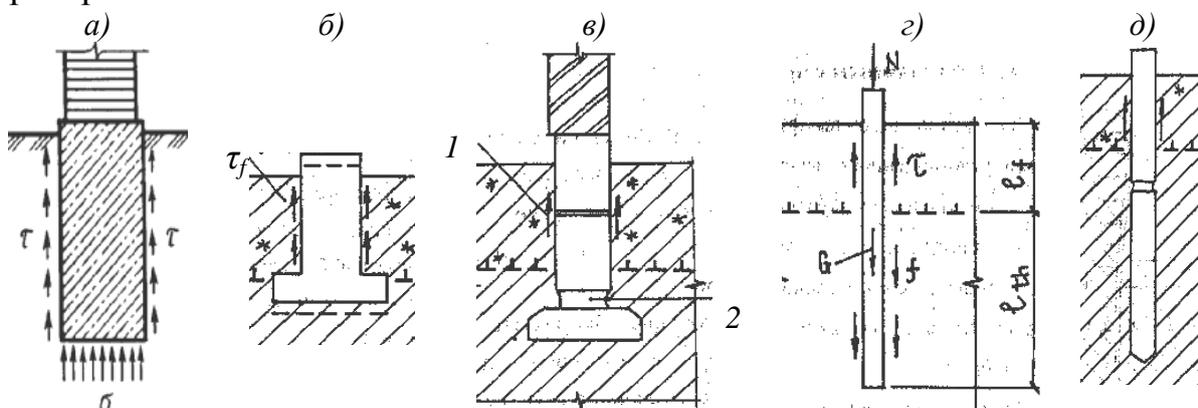


Рис. 30. Действие касательных  $\tau_f$  и нормальных  $\sigma_f$  сил морозного пучения на фундаменты: *a* – касательные силы  $\tau_{fh}$ , приложенные к боковой поверхности и нормальные  $\sigma_{fh}$ , действующие на уровне подошвы «*FL*» фундамента мелкого заложения (ФМЗ) без уширения; *б* – то же, ФМЗ с уширенной подошвой; *в* – подъем ФМЗ с уширением его плитной части за счет касательных сил  $\tau_{fh}$  при морозном пучении, где *1* – направление действия сил; *2* – формирование зазора между фундаментными блоками от действия касательных сил; *з* – схема приложения комплекса сил к конструкции сваи при морозном пучении: *N* – нагрузка от ростверка;  $\tau$  – касательные силы морозного пучения; *f* – удерживающие силы трения; *G* – вес сваи; *l<sub>f</sub>* – глубина оттаивания мерзлого грунта; *l<sub>th</sub>* – глубина заделки сваи в мерзлый грунт; *д* – разрыв конструкции железобетонной сваи касательными силами  $\tau_{fh}$  при морозном пучении

Морозным пучением называют увеличение объема грунта при промерзании. Оно может достигать 10–15%, а в исключительных случаях даже 40% и часто служит причиной деформации сооружений [15]. Промерзание пучинистого грунта в основании способно вызвать вертикальные перемещения фундаментов одно-, двухэтажных зданий (рис. 31а, б). Для снижения касательных сил  $\tau_{fh}$ , вызванных морозным пучением, разработаны различные инженерно-технические приемы, способствующие уменьшению их влияния на конструкции фундаментов, приведенные на рис. 31в, г, д, е, и в соответствии с [92; 93; 94; 95; 96; 97].

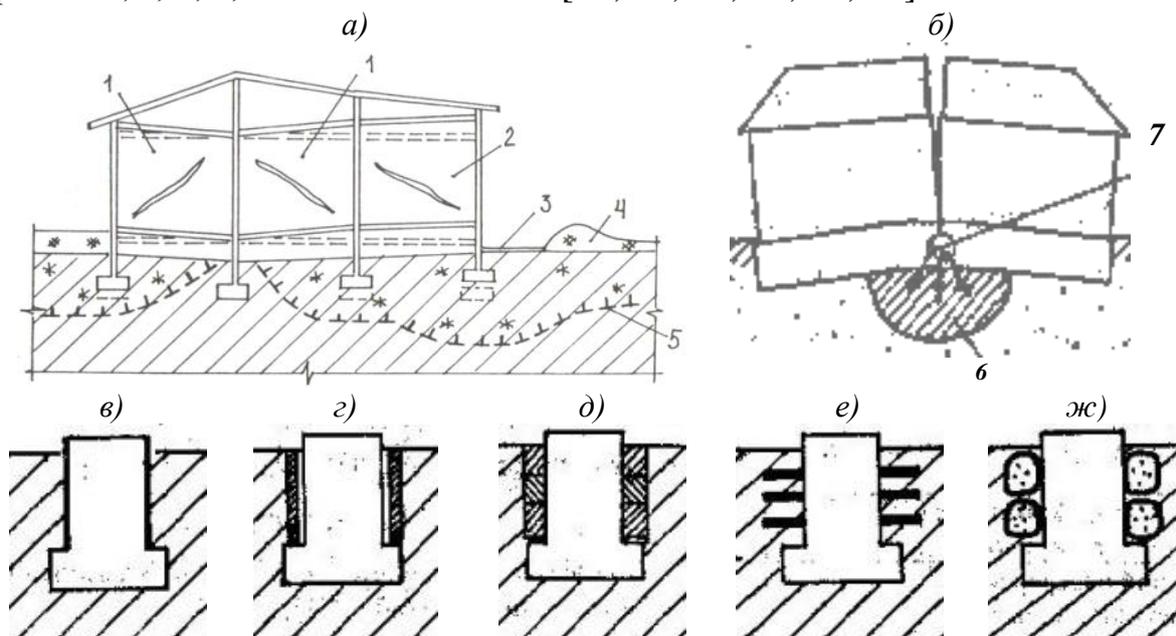


Рис. 31. Деформации зданий в результате морозного пучения и схемы снижения касательных сил  $\tau_f$  морозного пучения: а – неравномерные деформации здания при промерзании пучинистого грунта основания, где 1 – отапливаемые помещения; 2 – неотапливаемые помещения; 3 – отмостка-тротуар; 4 – слой снега; 5 – фронт промерзания; б – деформация здания при локальном пучении глины в основании, где б – источник локального увлажнения, с последующим пучением зоны грунта; 7 – зона увлажнения; в–и – схемы снижения касательных сил  $\tau_f$  морозного пучения с помощью: в – полимерной пленки; г – жесткой подвижной оболочки; д – оболочки из колец; е – резиновых колец; ж – сыпучего материала в водонепроницаемой оболочке

На рис. 31в представлена схема снижения касательных сил  $\tau_f$  морозного пучения при помощи обмазки боковой поверхности фундамента битумной мастикой, дегтем, полимерными смолами и другими пластичными несмерзающимися веществами, или покрытием боковой поверхности ФМЗ полимерными пленками, рубероидом и другими рулонными материалами. Снижению касательных сил  $\tau_{fh}$  морозного пучения способствует выполнение жесткой подвижной оболочки на боковой поверхности стенок фундамента, схема которой приведена на рис. 31г. Отечественные ученые А.М. Пчелинцев и В.О. Орлов [96] предложили использовать противопучинистые оболочки, выполненные из нескольких колец (рис. 31д). В развитии этого предложения В.Ю. Петуховым [97] выдвинуто предложение об использовании в качестве противопучинистой оболочки резино-

вых колец, которые охватывают опорный блок фундамента и препятствуют миграции влаги к фронту промерзания и частично компенсируют пучение за счет собственного сжатия (рис. 31е). Рекомендованное М.Ф. Киселевым применение в качестве противопучинной оболочки использование засыпки сухого песка, гравия или щебня, с целью защиты от увлажнения и заиливания, было усовершенствовано Г.И. Соболевым и Ю.Г. Чернышевым [93], которые предложили заключать сыпучий материал в водонепроницаемую оболочку, например, в полиэтиленовую пленку (рис. 31ж).

Приложенные к боковой поверхности конструкции сваи или фундамента мелкого заложения, касательные силы морозного пучения  $\tau_{fh}$  (рис. 30), принимаемые по результатам лабораторных испытаний, определяются в следующей технологической последовательности.

1. Первый этап. В конце зимнего периода строятся графики изменения температуры грунта по глубине до границы фазовых переходов (глубины промерзания грунта  $d_f$ ). Значения температуры грунта определяют на площадке строительства. Практикуется определение температуры  $T_{bf}$  грунта по глубине расчетным путем, в том числе численными методами.

2. Второй этап. Строится график зависимости распределения температуры грунта для расчета касательной силы морозного пучения (рис. 32). График температуры разбивается на три участка: первый участок - от глубины промерзания грунта до глубины, на которой зафиксирована температура минус  $1^\circ\text{C}$ ; второй участок - от глубины, на которой зафиксирована температура минус  $1^\circ\text{C}$ , до глубины, на которой зафиксирована температура минус  $2^\circ\text{C}$ ; третий участок - от глубины, на которой зафиксирована температура минус  $2^\circ\text{C}$ , до поверхности грунта.

3. Третий этап. По формуле (7.29а) СП 25.13330.2012 или формуле (6) данного издания рассчитывается численное значение касательной силы морозного пучения  $F_f$ , кН. Расчетное значение  $F_f$  будет равно сумме произведений удельной касательной силы  $\tau_{fhi}$  морозного пучения, полученной в лабораторных условиях для разных температур, в том числе  $-1^\circ\text{C}$ ,  $-2^\circ\text{C}$  и  $-6^\circ\text{C}$ , и площади боковой поверхности фундамента  $A_i$ , где температура грунта соответствует указанным выше значениям ( $-1^\circ\text{C}$ ,  $-2^\circ\text{C}$  и  $-6^\circ\text{C}$ ):

$$F_f = \tau_{fh1} \cdot A_1 + \tau_{fh2} \cdot A_2 + \tau_{fh3} \cdot A_3, \text{ кН}, \quad (6)$$

где  $\tau_{fh1}$ ,  $\tau_{fh2}$ ,  $\tau_{fh3}$  – удельные касательные силы пучения,  $\text{кПа}$ , определяемые для следующих температур, соответственно,  $-1^\circ\text{C}$ ,  $-2^\circ\text{C}$  и  $-6^\circ\text{C}$ ;

$A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  – площади боковой поверхности фундамента для трех участков согласно данному перечислению.

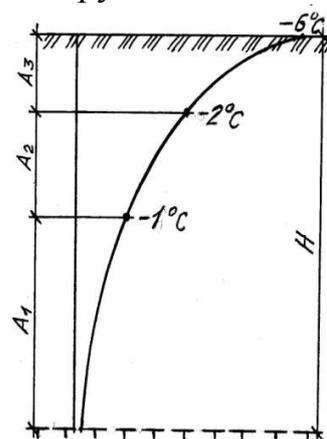


Рис. 32. Схематический график распределения температуры грунта для расчета касательной силы морозного пучения

### ***2.1.5. Инженерная подготовка территории площадки строительства***

При выполнении раздела проекта оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах предусматриваются мероприятия по инженерной подготовке территории, которые предназначены для обеспечения требуемого (проектного) расчетного гидрогеологического и теплового режима грунтов основания. Проектные мероприятия предусматриваются с целью предотвращения эрозии, развития термокарста и других физико-геологических процессов, приводящих к изменению проектного состояния грунтов в основании зданий и сооружений при их строительстве и эксплуатации, а также к недопустимым нарушениям природных условий окружающей среды. Разработка мероприятий проводится в соответствии с требованиями СП 116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003» [90]. Принципиальные требования к инженерно-экологическим изысканиям для строительства установлены в СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства» [72].

В проектных градостроительных решениях Крайнего Севера предусматривается инженерная подготовка отдельных строительных площадок, увязанная с общей инженерной подготовкой и вертикальной планировкой территории застройки в соответствии с генеральным планом. Системный подход к инженерной подготовке способствует обеспечению организованного отвода поверхностных, надмерзлотных и межмерзлотных вод атмосферных осадков и вод сезоннооттаивающего слоя с начала строительства и в течение всего эксплуатационного периода. Особые условия холодного климата и многолетней мерзлоты определяют и особую технологическую последовательность выполнения строительно-монтажных работ, при которой до начала работ по возведению фундаментов выполняются подъездные пути и насыпи из непучинистого грунта для прохождения транспортных средств и работы строительной техники. Вертикальная планировка местности на территории с многолетнемерзлыми грунтами производится, как правило, методом подсыпки с использованием сыпучего (щебень, песок, шлак) непучинистого грунта. Как правило, подсыпка выполняется сплошной по всей застраиваемой территории или под отдельные сооружения, а также их группы при условии обеспечения свободного стока поверхностных вод на пониженные участки. Если проектом генерального плана территории предусматривается срезка и выемка грунта, то принимаются меры по защите вскрытых льдистых грунтов от протаивания, размыва и оползания склонов.

### 2.1.6. Вертикальная планировка при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по принципу I

Земляные работы по вертикальной планировке территорий в условиях Крайнего Севера, при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I, выполняются, как правило, в зимний период после промерзания сезоннооттаявшего (деятельного) слоя грунта на глубину не менее, чем на 0,2 м. Перед выполнением работ по послойной подсыпке с уплотнением каждого отсыпаемого слоя, производится предварительная очистка поверхности грунта от снега. Для предотвращения деформаций поверхности планировки у сооружений и развития термокарста вследствие оттаивания подземных льдов или сильнольдистых грунтов, залегающих на небольшой глубине от поверхности, выполняются теплоизоляционные подсыпки и (или) теплозащитные экраны в пределах всей застраиваемой площадки. В зависимости от мерзлотно-грунтовых и гидрогеологических условий принимаются решения по назначению, проектной толщине и способам устройства грунтовых подсыпок. Сплошные по площади теплоизолирующие подсыпки или экраны устраиваются на участках с сильнольдистыми грунтами и подземными льдами. Толщина теплоизолирующих подсыпок или экранов  $h_s$  устанавливается расчетом по условию предотвращения протаивания подстилающего льдистого грунта и исключения повышения природных температур многолетнемерзлых грунтов. Для сплошных подсыпок значение  $h_s$ , м определяется по формуле (7):

$$h_s = d_{ths,n} \left( 1,2 - \frac{d_{th}^l}{d_{th,n}} \right), \quad (7)$$

где  $d_{th,n}$  и  $d_{ths,n}$  – нормативные глубины сезонного оттаивания, соответственно, природного грунта и грунта подсыпки, м, определяемые согласно приложению Г [80];

$d_{th}^l$  – допустимая глубина сезонного оттаивания природного грунта под подсыпкой, м.

Устройство подсыпок, используемых в качестве оснований сооружений требования к применяемому материалу подсыпок, способам их укладки и уплотнения устанавливаются в проекте с учетом местных условий. Проектирование зданий и сооружений на насыпях или подсыпках осуществляется с использованием фундаментов мелкого заложения (ФМЗ), включая: столбчатые, ленточные, плитные, с вентилируемыми каналами и др. Отметку подошвы ФМЗ «FL» располагают в пределах высоты подсыпки  $h_s$ , определяемой теплотехническим расчетом с учетом дополнительных мероприятий по сохранению мерзлого состояния грунтов оснований. Грунтовая подсыпка выполняется из непучинистого песчаного или крупнообломочного сыпучего грунта. Послойная укладка сыпучих пород грунтовой подушки выполняется только после промерзания сезоннооттаивающего слоя. В обоснованных случаях для устройства

подсыпок применяются 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 рассчитываются по несущей способности (по I-ой группе предельного состояния) и деформациям (по II-ой группе предельного состояния) в соответствии с требованиями СП 22.13330 [78] и с учетом результатов прогнозных теплотехнических расчетов.

При необходимости понижения природных температур сильнольдистых грунтов и подземных льдов в целях исключения процессов ползучести (приложение И) во время эксплуатационного периода предусматривается активная термостабилизация грунтов основания с помощью установки СОУ. Расчет осадок оснований, сложенных сильнольдистыми грунтами и подземным льдом выполняется в соответствии с требованиями рекомендуемого приложения И [80], и алгоритму расчета.

### ***2.1.7. Вертикальная планировка при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по принципу II***

Вертикальная планировка территории или участка строительства, при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по принципу II, осуществляется методами подсыпки и выемками грунта. При выполнении вертикальной планировки методом подсыпки грунта послойная укладка с уплотнением сыпучего грунта подушки производится по оттаянному грунту слоя сезонного промерзания-оттаивания. Если же работы по вертикальной планировке выполняются методом срезки – выемки, то это допускается производить только на непросадочных при оттаивании грунтов или если предусмотрено предпостроечное оттаивание и уплотнение грунтов под зданиями или сооружениями. Все основные топографо-геодезические и инженерно-технические параметры вертикальной планировки с балансом земляных масс, включая: уровень планировочных отметок (черные и красные отметки картограммы земляных работ), высота подсыпок, глубина выемок грунтов, уклоны водоотводящей сети принимаются с учетом расчетных осадок грунтов при их оттаивании. Нередко на строительных площадках с сильнольдистыми, заторфованными или мерзлыми грунтами, имеющими неравномерную льдистость, где используются многолетнемерзлые грунты в качестве оснований по принципу II, практикуется осуществление частичного оттаивания или замена грунтов верхнего льдистого слоя или устройство теплозащитных экранов. В таких случаях, для ограничения глубины техногенного (искусственного) оттаивания мерзлых грунтов в основании сооружения предусматривается: устройство теплоизолирующих подсыпок и экранов; увеличение сопротивления теплопередаче полов первых этажей; комплекс других мероприятий по уменьшению теплового влияния здания или сооружения на грунты основания; стабилизация верхней поверхности многолетне-

мерзлого грунта (в том числе при несливающимся сезоннопромерзающем слое) ниже глубины заложения подошвы фундаментов путем регулирования температуры воздуха в подпольях или технических этажах здания.

При особых гидрогеологических условиях строительной площадки, когда имеются водовмещающие инженерно-геологические элементы (ИГЭ) с высоким уровнем расположения подземных вод  $WL$ , предусматривается комплекс мер по предотвращению обводнения заглубленных подвалов или технических этажей здания. В комплекс таких мер относятся: поднятие уровня планировочных отметок; устройство дренажа; противофильтрационные завесы; в том числе льдогрунтовые и т.п. К особым условиям следует отнести то, что при проектировании противофильтрационных завес водный баланс подземных вод на застраиваемой территории должен быть обязательно сохранен.

В проектных решениях предусматривается обязательный комплекс мероприятий по инженерной подготовке территории, в состав которых входят природоохранные мероприятия, направленные на восстановление нарушенных в процессе строительства природных условий. Для этого, с учетом результатов инженерно-геологических и гидрогеологических 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. С целью обеспечения устойчивости и эксплуатационной пригодности зданий и сооружений при прокладке наружных сетей систем водопроводящих инженерных коммуникаций, включая: холодное и горячее водоснабжение; самотечную и напорную канализацию, теплоснабжение с различными теплоносителями (горячая вода или перегретый пар), предусматривается тот же принцип использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований, который принят для зданий и сооружений, размещаемых на данной территории застройки. В пределах застраиваемой территории (промышленный узел, поселок, городской микрорайон и т.д.) практикуется предусматривать, как правило, только 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.). Применение различных принципов фундирования допускается также при условии прокладки водопроводящих сетей инженерных коммуникаций в герметичных и теплоизолированных каналах на таком расстоянии от зданий и сооружений, при котором не произойдет изменения расчетных температур оснований зданий и сооружений, или при применении других мер. Для соблюдения этих теплоизоляционных условий проектами предусматривают мероприятия, когда вводы и выпуски инженерных сетей в зданиях или сооружениях и прокладку этих сетей в подпольях и технических этажах осуществляется по принципу использования многолетнемерзлых грунтов, принятому для данного здания или сооружения. При этом, конструкция вводов и выпусков выполняется 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.

## **2.2. Устройство оснований и возведение фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципам I и II**

### **2.2.1. Фундаменты мелкого заложения (ФМЗ) на естественном многолетнемерзлом основании**

Возводимые на естественном многолетнемерзлом грунтовом основании конструкции отдельно стоящих или плитных фундаментов мелкого заложения устраиваются из сборного, сборно-монолитного и монолитного железобетона.

Глубина заложения фундаментов  $d_f$ , м, размеры подошвы  $l_f \times b_f$  м и несущая способность грунта основания  $R$ , кПа,  $F_u$ , кН, определяются и устанавливаются расчетом в соответствии с требованиями пп. 6.2.1, 6.2.2, 7.2.2–7.2.4 [80].

Расчетное значение глубины заложения подошвы фундаментов мелкого заложения (ФМЗ), замеренное от уровня планировочной отметки «DL» земли, сформированной в результате подсыпки или срезки при вертикальной планировке участка строительства, назначается с учетом требований СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» [78] и принятого принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания сооружения. В дополнение к этому выполняется расчет по устойчивости фундаментов на действие сил морозного пучения грунтов согласно указаниям 7.4.2 и 7.4.6 [80].

Несущая способность грунта основания  $F_u$ , кН, вертикально нагруженной висячей сваи или столбчатого фундамента, определяется по формуле (8):

$$F_u = \gamma_t \gamma_c (RA + \sum_{i=1}^n R_{af,i} \cdot A_{af,i}), \text{ кН}, \quad (8)$$

где  $\gamma_t$  – температурный коэффициент, учитывающий изменения температуры грунтов основания из-за случайных изменений температуры наружного воздуха, определяется по указаниям приложения П [80];

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы основания, принимаемый по табл. 3.

Таблица 3

Виды фундаментов и способы их устройства	Коэффициент $\gamma_c$
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

При этом численные значения коэффициента  $\gamma_c$ , приведенные в табл. 3, увеличиваются 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.

$R$  – расчетное сопротивление мерзлого грунта под нижним концом сваи или под подошвой столбчатого фундамента определяется по формуле (9):

$$R = 5,7 \cdot c_n / \gamma_g + \gamma_I \cdot d, \text{ кПа}, \quad (9)$$

здесь  $c_n$  – 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;

$\gamma_I$  – расчетное значение удельного веса грунта, кН/м<sup>3</sup>;

$d$  – глубина заложения фундамента, м;

$\gamma_g$  – коэффициент надежности по грунту.

При расчете по II-ой группе предельных состояний, нормативное значение  $c_n$  принимается согласно указаниям приложения Л [80].

При выполнении расчета оснований зданий и сооружений II-го и III-го уровней ответственности, возводимых с сохранением мерзлого состояния грунтов основания, а также при выполнении предварительных расчетов многолетнемерзлых грунтовых оснований и «привязки» типовых проектов к местным условиям, расчетные значения прочностных характеристик мерзлых грунтов  $R$ ,  $R_{af}$ ,  $R_{sh}$  и  $R_{shi}$  принимаются по их физическим характеристикам, составу и температуре в соответствии с табличными данными, приведенными в приложении 3 данного издания.

Расчетные значения теплофизических характеристик грунтов в этих случаях принимаются по таблицам приложения 4 пособия. При этом уровень ответственности сооружений принимается согласно ГОСТ 27751 «Надежность строительных конструкций и оснований» [58].

Расчетные сопротивления  $R$ ,  $\kappaПа$  мерзлого грунта под нижним концом сваи или под подошвой столбчатого фундамента, при расчетах несущей способности грунтов оснований принимаются:

- для свайных фундаментов – при расчетной температуре грунта  $T_z$  на глубине  $z$ , равной глубине погружения лобовой части сваи;
- для столбчатых фундаментов – при расчетной температуре грунта  $T_z$  на глубине заложения подошвы фундамента  $FL$ .

Расчетные сопротивления сдвигу  $R_{af,i}$ ,  $\kappaПа$ , мерзлого грунта по боковой поверхности конструкции принимается:

- 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.

Расчетные схемы центрально нагруженного фундамента мелкого заложения ФМЗ и свайного фундамента СФ, расположенные в массиве многолетнемерзлого грунта, приведены на рис. 33а, б. На рис. 33в представлен график изменения максимальной отрицательной температуры по глубине массива мерзлого грунта. Принципиальная расчетная схема внецентренно нагруженного, отдельно стоящего фундамента мелкого заложения приведена на рис. 33г.

Значения расчетного сопротивления сдвигу  $R_{af,i}$  при расчете несущей способности грунтового основания  $F_w$ ,  $\kappaН$ , вертикально нагруженной висячей сваи, расположенной в однородных по составу многолетнемерзлых грунтах с использованием формулы (20) принимается при средней (эквивалентной) температуре грунта  $T_e$  в соответствии с требованиями п. 7.2.7 [80]. При проектировании буроопускных свай за расчетное сопротивление сдвигу принимают наименьшие из значений сопротивления растворов сдвигу по поверхности смерзания со свайей  $R_{af}$  и сопротивления грунтов сдвигу по раствору (цементно-песчаному, известково-песчаному или грунтовому)  $R_{sh}$ ; для буронабивных свай – по значению  $R_{sh}$ . При расчете несущей способности комбинированных свай (деревянно-металлических, сборно-монолитных и др.) значения  $R_{af}$  принимаются с

учетом разной прочности смерзания с грунтом их различных элементов в соответствии со сведениями, изложенными в приложении 3.

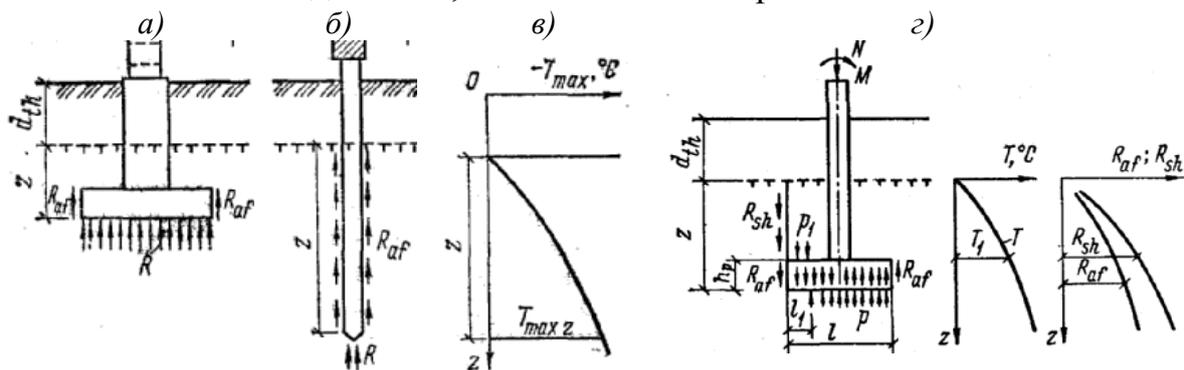


Рис. 33. Расчетные схемы фундамента мелкого заложения ФМЗ (а) и свайного фундамента СФ (б, з), расположенные в массиве многолетнемерзлого грунта: а – отдельно стоящий фундамент мелкого заложения; б – свайный фундамент с однорядным расположением свай под ленточным ростверком; в – график изменения максимальной температуры по глубине массива мерзлого грунта; з – расчетная схема внецентренно нагруженного, отдельно стоящего фундамента мелкого заложения

При варианте опирания лобовой части свай (за исключением бурозабивных свай) на песчано-щебеночную подушку высотой не менее трех диаметров скважины ( $h_{под} \geq 3 \cdot d_{скв.}$ ), при диаметре скважины не более полутора диаметров сваи ( $d_{скв.} \leq 1,5 \cdot d_{св.}$ ), расчетное значение  $R$  принимается как для грунта подушки, а значение площади  $A$  - равным площади забоя скважины  $A_{заб}$  ( $A = A_{заб.} = (\pi \cdot d_{скв.}^2) / 4$ ). При опирании свай на льдистые грунты с льдистостью  $i \geq 0,2$  расчетные значения  $R$  принимаются с понижающим коэффициентом  $n_i = 1 - i$ . В тех случаях, когда на сваю действуют кратковременные нагрузки с временем действия  $t$ , равным или меньшим продолжительности перерывов между ними, расчетные значения  $R$  и  $R_{af, I}$  принимаются с повышающим коэффициентом  $n_t$  (за исключением опор мостов) в соответствии с данными табл. 4.

Таблица 4

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

Проектирование и устройство прочных и надежных грунтовых оснований по принципу I с использованием многолетнемерзлых грунтов в их мерзлом состоянии при сохранении и поддержании расчетного теплового режима с отрицательной температурой в течение всего периода эксплуатации объектов, осуществляется на основании расчетов. В состав основных расчетов, экспериментально-теоретических и опытно-экономических исследований включается:

- прогнозный теплотехнический расчет на весь период эксплуатации объекта;
- расчет устойчивости и несущей способности с учетом конструктивных и технологических особенностей здания или сооружения;
- опыт местного строительства и экономической целесообразности.

На основании проведенных расчетно-теоретических работ, и технико-экономического сравнения сопоставимых вариантов, по приведенным затратам, принимаются обоснованные решения по комплексу инженерно-технических и технологических мероприятий, регламентирующих:

- устройство вентилируемых подполий или холодных первых этажей зданий и сооружений (п. 6.3.2) [80], табл. 2;

- укладку в основании здания или сооружения вентилируемых труб, каналов или применение вентилируемых фундаментов (пп. 6.3.3) [80], табл. 2;

- установку сезонно действующих охлаждающих устройств жидкостного или парожидкостного типов – СОУ (п. 6.3.4) [80], табл. 8;

- осуществление других мероприятий (теплозащитные экраны и др.) по устранению или уменьшению теплового воздействия сооружения на мерзлые грунты основания.

При применении технических подполий с естественной или побудительной вентиляцией, 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 [80] или алгоритма расчета, приведенного в приложении 1 данного издания. В соответствии с теплотехническим расчетом и условиями снегозаносимости, конструктивные решения технических подполий устраивают:

- открытыми, с вентилируемыми или закрытыми продухами в цоколе здания;

- при необходимости у продухов устраиваются вытяжные или приточные трубы, располагая воздухозаборные отверстия выше наибольшего уровня снегового покрова.

При ширине зданий до 15 м и среднегодовых температурах грунта ниже минус 2°С, практикуется применение закрытых подполий, а также используются холодные первые этажи зданий и сооружений. С целью обеспечения беспрепятственного сквозного вентилирования помещений технического подполья, его высота принимается не менее 1,2 м от поверхности грунта в подполье до низа выступающих конструкций перекрытия. В технических подпольях с размещенными в них инженерными коммуникациями, к которым должен быть обеспечен свободный доступ, высота подполья принимается не менее 1,4 м. Высоту подполья допускается уменьшать до 0,6 м на отдельных участках зданий и сооружений, которые имеют ширину до 6 м, и в которых отсутствуют инженерные коммуникации. Все тепловыделяющие инженерные коммуникации, размещаемые в холодном вентилируемом подполье, обеспечиваются надежными средствами теплоизоляции. Для обеспечения беспрепятственного отвода воды от здания или сооружения, поверхность грунта в

подполье должна иметь твердое покрытие (полы) и должна быть спланирована с уклонами в сторону наружных стен, отмосток или водосборов.

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, применяются системы, включающие: вентилируемые трубы; каналы; вентилируемые фундаменты с естественной или побудительной вентиляцией. В свою очередь, вентилируемые трубы, каналы и вентилируемые фундаменты укладываются выше уровня подземных вод  $WL$ , в пределах подсыпки из непучинистого грунта с уклонами в сторону объединительных коллекторов. Под конструкцией пола по грунту зданий или сооружений, как правило, предусматривается укладка защитных слоев тепло- и гидроизоляции, предназначенные для снижения теплопритока в мерзлый грунт и уменьшения конструктивной высоты подсыпки.

При использовании указанных систем охлаждения грунтов, теплотехнический расчет многолетнемерзлых грунтов оснований, выполняется в соответствии с указаниями п. 7.2.9 [80]. При этом, расчетные температуры грунтов оснований фундаментов, охлаждаемых системой вентилируемых труб, каналов или полостей в фундаментах определяются из совместного теплотехнического расчета основания и системы охлаждения, исходя из условия (7.9) [80] или неравенства (10):

$$T_o^l \leq T_o, \quad (10)$$

где  $T_o^l$ , °C – расчетная, среднегодовая температура на верхней поверхности многолетнемерзлого грунта в основании сооружения, отвечающая проектному положению границы сезонного оттаивания грунтов, включая грунты подсыпки;

$T_o$  – температура многолетнемерзлого грунта, °C.

Если проектом предусмотрено равномерное расположение охлаждающих труб или каналов под всей площадью здания или сооружения, то расчетные температуры грунтов в его основании  $T_m$ ,  $T_z$  и  $T_e$  определяются как для сооружений с холодным подпольем (п. 7.2.7) [80]. При этом, для расчета принимается среднее по площади сооружения значение температуры  $T_o$ . При использовании метода термической стабилизации грунтов, значение расчетной температуры грунтов оснований фундаментов, рассчитывается численными методами с учетом изменения температур при эксплуатации здания или сооружения.

С целью обеспечения требуемых расчетных параметров грунта основания или грунтового сооружения, в условиях мерзлоты, нередко возникает необходимость в применении системы сезонно действующих охлаждающих устройств (табл. 8). Сезонно действующие охлаждающие устройства применяют для сохранения мерзлого состояния грунтов оснований; повышения несущей способности опор линейных сооружений в пластично-мерзлых грунтах; создания ледогрунтовых завес; восстанов-

ления нарушенного при эксплуатации сооружения теплового режима грунтов в его основании и др. В массиве мерзлых грунтов встречаются участки, где слой сезонного промерзания-оттаивания не сливается с многолетнемерзлым грунтом и располагается через слой талого грунта. При такой инженерно-геологической ситуации практикуется применение комплекса геотехнических мер по стабилизации или поднятию верхней поверхности многолетнемерзлого грунта до расчетного уровня путем предварительного охлаждения и сплошного промораживания грунтов основания. При реализации такого решения глубина заложения подошвы фундаментов  $FL$  определяется расчетом. Независимо от результатов расчета, окончательное значение величины  $FL$  принимается не менее  $d_f \geq 2$  м от дневной (верхней) планировочной ( $DL$ ) поверхности многолетнемерзлого грунта. При соответствующем обосновании расчетом по I и II группам предельных состояний, глубина заложения подошвы фундаментов  $FL$  может быть расположена в пределах немерзлого слоя грунта. Многолетнемерзлые грунты получили широкое распространение в качестве надежных оснований при расчете по принципу I (с сохранением их многолетнемерзлого состояния) для проектирования свайных, столбчатых и других типов фундаментов, включая фундаменты, возводимые 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. Опыт подготовки, устройства, строительства и эксплуатации грунтовых сооружений и зданий в условиях Крайнего Севера насыпных или намывных грунтовых основаниях, приведен на рис. 34, 35, 36.

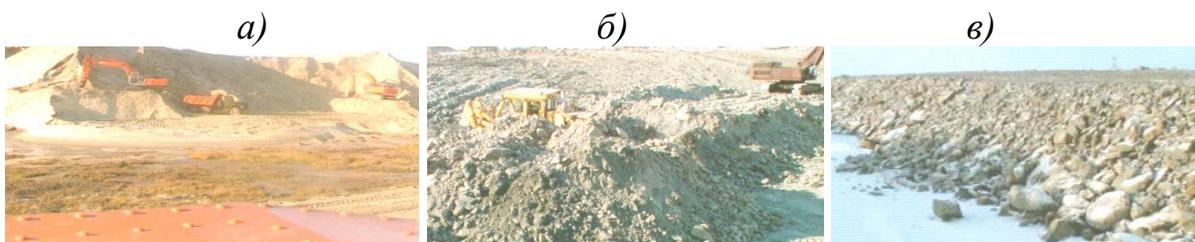


Рис. 34. Подготовка песка и щебня для искусственных оснований в условиях многолетней мерзлоты: *а* – разработка грунта из намывного щебня; *б* – разработка грунта из «сухоройного» карьера; *в* – насыпь, возведенная из грунтов «сухоройного» карьера

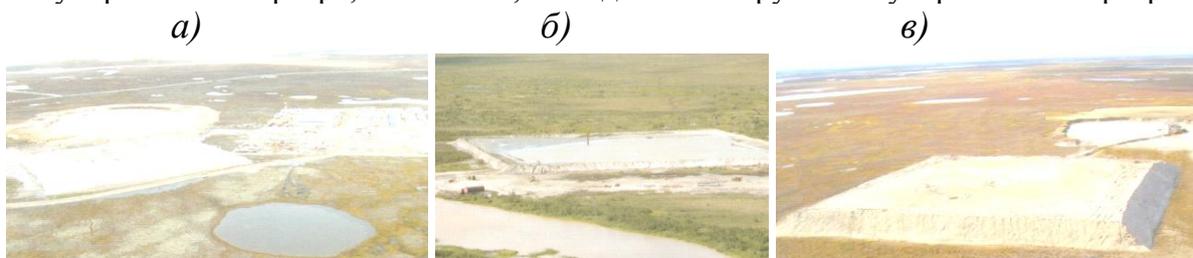


Рис. 35. Подготовка песка гидромониторным способом для искусственных оснований в условиях многолетней мерзлоты: *а* – гидромеханизированная добыча песка для строительства; *б* – намыв речного песка; *в* – намыв штабеля грунта из озерного карьера в условиях Заполярья



Рис. 36. Строительство зданий на намывных грунтах в условиях Крайнего Севера  
*а* – возведение каркасного остова одноэтажного производственного здания на намывных грунтах в Якутске; *б* – фрагмент застройки 202 микрорайона на намывном массиве (Якутск); *в* – здание, возведенное на вечномерзлом грунте

Конструкции фундаментов, расположенные в пределах многолетне-мерзлой среды грунта, в зоне сезонного промерзания и оттаивания грунта, проектируются в соответствии с требованиями к материалу тела фундаментов – по прочности п. 6.3.8 [80]. С целью выполнения требований, предъявляемых к материалу фундаментов по морозостойкости  $MP_3$ , водонепроницаемости  $W$  и устойчивости к воздействию агрессивных сред, учитываются требования СП 24.13330 [79], СП 28.13330 [81], СП 35.13330 [83]. При применении в качестве фундаментов свайные фундаменты со стальными сваями, проектируются сваи из стальных труб в соответствии с требованиями ГОСТ 20295 [49], ГОСТ 19281 [47], ГОСТ 8732 [70] и ГОСТ 8734 [71]. При этом, ГОСТ 8734 используется при проектировании зданий и сооружений, относящиеся к категории объектов повышенного уровня ответственности. Для условий Крайнего Севера, со среднегодовой температурой воздуха ниже  $0^{\circ}C$  применяются стальные, изготовленные из низколегированных сталей повышенной прочности марки  $S345$  категории 4 по ударной вязкости по ГОСТ 27772 [59] или марки  $09Г2С$  категории 15 по ударной вязкости по ГОСТ 19281 [47].

Конструкции фундаментов, изготовленные из металла или дерева, которые расположены в слое сезонного промерзания и оттаивания грунта, защищаются от коррозии и гниения. При этом для всех металлических поверхностей конструкций фундаментов, расположенных под землей, в пределах слоя сезонного промерзания-оттаивания, а также ниже этого уровня не менее 1 метра, выполняется соответствующая антикоррозионная защита.

Проектирование бетонных и железобетонных конструкций надземных и подземных остовов, а также их фундаментов, сооружаемых в холодном климате и на вечномерзлых грунтах, осуществляется с обязательным применять тяжелого бетона со средней плотностью бетона  $\rho=2200-2500 \text{ кг/м}^3$  или удельным весом  $\gamma=2,2-2,5 \text{ кН/м}^3$ , который в зависимости от условий работы в экстремально холодных условиях отвечает требованиям по прочности  $R \leq R$ , морозостойкости  $MP_3$  и водонепроницаемости, которые подробно изложены в табл. 6.2 [80] или в табл. 5 пособия.

Таблица 5

**Основные требования к бетону по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости**

Группа конструкций	Условия работы конструкции		Минимальный класс бетона по прочности на сжатие, <b>B</b>	Минимальные марки бетона		Минимальное воздуховлечение, %
	Характеристика режима работы	Расчетная зимняя температура наружного воздуха		по морозостойкости, <b>F</b>	по водонепроницаемости, <b>W</b>	
1	Железобетонные конструкции, расположенные в сезоннооттаивающем слое грунта и подвергающиеся попеременному замораживанию и оттаиванию в водонасыщенном состоянии	Ниже минус <b>40°C</b>	35	400	10	4
		Ниже минус <b>0°C</b> до минус <b>40°C</b> включительно	30	200	8	4
2	Наземные железобетонные конструкции, подвергающиеся воздействию атмосферных осадков и попеременному замораживанию и оттаиванию	Ниже минус <b>40°C</b>	30	200	8	4
		Ниже минус <b>20°C</b> до минус <b>40°C</b> включит.	25	150	6	4
3	Железобетонные конструкции, защищенные от атмосферных осадков и подвергающиеся замораживанию и оттаиванию	Ниже минус <b>40°C</b>	25	150	6	—
		Ниже минус <b>20°C</b> до минус <b>40°C</b> включительно	25	150	6	—
<p><i>Примечания</i></p> <p>1. Расчетная зимняя температура наружного воздуха принимается по средней температуре воздуха наиболее холодной пятидневки в зависимости от района строительства согласно СП 131.13330 [91].</p> <p>2. Марки по морозостойкости и водонепроницаемости для конструкций водоснабжения и канализации, а также для свай и свай-оболочек следует устанавливать согласно требованиям соответствующих нормативных документов.</p> <p>3. В случае присутствия хлоридов в надмерзлотных водах для обеспечения защиты стальной арматуры от коррозии марку бетона по водонепроницаемости и толщину защитного слоя бетона устанавливают по таблице Г.1 СП 28.13330 [81]</p>						

При проектировании и использовании железобетонных конструкций зданий и сооружений, в условиях холодного климата и многолетнемерзлых грунтов, применяется арматурная сталь, приведенная в табл. 6.

Таблица 6

Арматурная сталь, рекомендуемая к применению в холодном климате

№№ п/п	Наименование арматурной стали, ее профиль и способ упрочнения	Класс арматуры	ГОСТ
1	Горячекатаная гладкая	A-I (A240)	ГОСТ 5781
2	Горячекатаная кольцевого периодического профиля	A-II (A300), A-III (A400)	ГОСТ 5781
3	Термомеханически упрочненная серповидного профиля	A500C	ГОСТ Р 52544
4	Термомеханически упрочненная и горячекатаная серповидного профиля	A500C	ГОСТ Р 52544
5	Холоднодеформированная волочением с последующей накаткой периодического профиля	Bp-1	ГОСТ 6727
6	Холоднодеформированная прокаткой периодического профиля	B500C	ГОСТ Р 52544
<p><i>Примечания</i></p> <p>1. Преимущественно рекомендуется применять арматуру с гарантией ударной вязкости северного исполнения горячекатаную класса Ас-II (Ас300) по ГОСТ 5781 [68] и термомеханически упрочненную класса Ас500С по ГОСТ 13015 [45].</p> <p>2. При низкой температуре до минус 60°С увеличивается предел текучести арматуры в среднем на 8–10% и модуль упругости арматуры на 2–3%, но эти данные допускается не учитывать в расчете железобетонных конструкций, и расчетные сопротивления и модуль упругости принимают по СП 52-101-2003 [87]</p>			

Конструкции ленточных и столбчатых фундаментов мелкого заложения (ФМЗ) в условиях Крайнего Севера выполняются из монолитного или сборного бетона или железобетона. При проектировании зданий, возводимых с использованием многолетнемерзлых грунтовых оснований под фундаментами по принципу I, предпочтительным считается использование сборных конструктивных элементов фундаментов. Под относительно жесткие малоэтажные здания или сооружения, конструкции их ленточных и столбчатых фундаментов можно не заглублять в грунт, а располагать на поверхности подсыпки или в теле грунтовой подсыпки. В этом случае грунтовая подсыпка выполняется из крупноскелетного непучинистого материала. При применении такого варианта фундаментов, принципиально важным параметром обеспечения надежности является глубина оттаивания грунта основания. Поэтому, для определения и назначения глубины оттаивания грунта проводится теплотехнический расчет и расчет по деформациям. По результатам теплотехнического расчета принимается решение о необходимости применения слоя теплоизоляции под фундаментами здания или сооружения, располагаемого в теле подсыпки.

### **2.2.2. Свайные фундаменты (СФ) на естественном многолетнемерзлом основании**

Широкое распространение в многолетнемерзлых грунтах получили свайные конструкции фундаментов, которые применяются как в малоэтажном, так и в многоэтажном гражданском и промышленном строительстве. Действующим СП 24.13330.2011 [79] в многолетнемерзлых грунтах регламентированы различные типы, виды и конструкции свай, включающие буронабивные, свай-оболочки, а также составные (комбинированные) сваи из разных материалов. Для выполнения различных типов свайных фундаментов разрабатывается проектно-сметная документация (ПСД). В составе ПСД на свайные фундаменты указывается весь перечень инженерно-технологических принципов и способов погружения свай в мерзлый грунт, с уточнением особенностей температурного режима и условий, при которых рекомендуется последующее нагружение конструкций свай.

Конструкции полых свай и свай-оболочек в обычных условиях их эксплуатации не требуют по расчету бетонного заполнения полости. Однако, в условиях многолетнемерзлых грунтов эти полости рекомендуется заполнять товарным бетоном класса не ниже В 7,5. Кроме того, в пределах толщины слоя сезонного промерзания-оттаивания и выше, полости свай заполняются товарным бетоном класса не ниже В 15. При этом необходимо соблюдать требования по предотвращению образования трещин в товарном бетоне. При проектировании и возведении конструкций полых свай и свай-оболочек под опоры мостов и путепроводов, в условиях многолетнемерзлых грунтов, зона воздействия знакопеременных температур регламентируется в соответствии СП 24.13330 [79].

Изготовление буронабивных железобетонных свай в массиве многолетнемерзлого грунта, имеющего смерзшуюся структуру (по принципу I), осуществляется методом традиционного шнекового бурения, без применения обсадных труб. В связи с этим, на основании требований п. 6.3.10 [80] применение химических добавок для ускорения твердения бетона, уложенного в распор с мерзлым грунтом – не допускается.

В отечественной практике проектирования (условиям применимости), технологии устройства (способам погружения) и эксплуатации (длительная эксплуатационная пригодность по назначению) различных типов конструкций свайных фундаментов, устраиваемых в многолетнемерзлых грунтах, как отмечалось выше, принята нижеследующая классификация свай (п. 6.3.11) [80]:

*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  $0,5^{\circ}\text{C}$  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  $1,5^{\circ}\text{C}$ ;

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) **бурообсадные** – 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;

д) **винтовые** – полые сваи с винтом или одной или несколькими лопастями, погружаемые завинчиванием с контролируемым вдавливанием в лидерные скважины (без лидерных скважин), диаметр которых меньше наибольшего поперечного сечения ствола сваи; допускаются к применению в пластично-мерзлых грунтах с содержанием крупнообломочных включений до 10% на основании пробных погружений свай на данной площадке.

Если применение других известных (отечественных и зарубежных) способов и технологий погружения свай в многолетнемерзлые грунты не приводит к недопустимому повышению температуры грунтов основания и недопустимому понижению несущей способности свай, что должно быть подтверждено полевыми испытаниями экспериментальными данными и теплотехническим расчетом, то допускается их реализация.

Из условия исключения взаимного влияния свай разного диаметра (диаметр скважины)  $d_{скв.}$ , м друг на друга в кусте под ростверком, а также в процессе их изготовления, с учетом требований (п. 6.3.12) [80], минимально допустимые расстояния  $l_{св.}$ , м, между геометрическими осями свай в ряду, принимаются по табл. 7.

Расстояние  $l_{св.}$ , м, между осями свай изготовления в многолетнемерзлых грунтах

№№ п/п	Наименование свай	Расстояния между геометрическими осями свай, $l_{св.}$ , м
1	Буроопускные Бурообсадные	Не менее двух диаметров скважины ( $l_{св.} \geq 2d_{скв.}$ ) при ее диаметре до 1 м ( $d_{скв.} \leq 1м$ ), включительно ( $l_{св.} \geq 2d_{скв.}$ – при $d_{скв.} \leq 1м$ ) и не менее диаметра скважины плюс 1 м при ее диаметре 1 м и более ( $l_{св.} \geq d_{скв.} + 1м$ – при $d_{скв.} \geq 1м$ )
2	Опускные Буроабивные Забивные	Не менее трех наибольших размеров поперечного сечения сваи ( $l_{св.} \geq 3 d_{скв.}$ )

Размещение свай в плане (рис. 37 и 38), их число, размеры и способы устройства ростверков назначаются в зависимости от конструктивной особенности остова 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 [79], высоты холодного подполья (6.3.2) [79] и температурно-влажностных воздействий. Устройство ростверков по грунту или с зазором менее 0,15 м от поверхности грунта, а для устоев мостов – менее 0,5 м – не допускается.

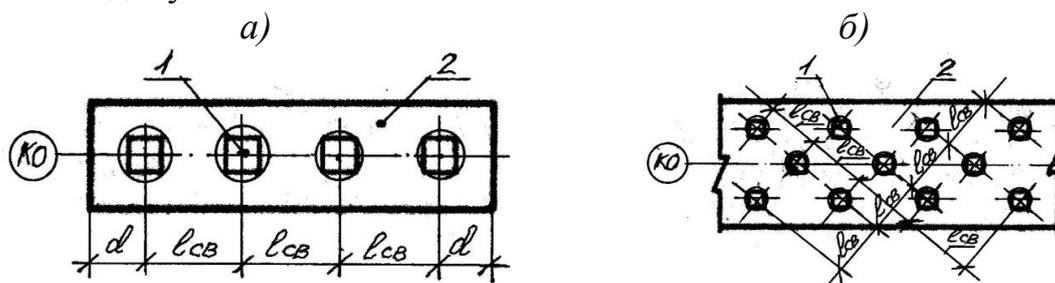


Рис. 37. Размещение свай в плане под ленточными ростверками  
а – в один ряд; б – в три ряда «зигзагом»; 1 – сва квадратной или круглой в плане формы; 2 – ленточный ростверк; КО – координационная ось;  $l_{св.}$  – расстояние между геометрическими осями свай, м

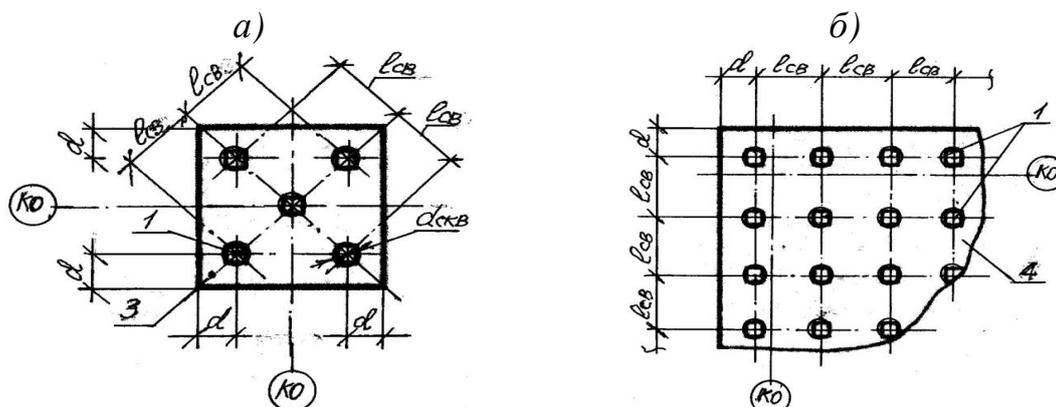


Рис. 38. Размещение свай в плане под отдельно стоящим столбчатым и сплошным плитным ростверками: а – в кусте под столбчатым ростверком; б – поле свай под сплошным плитным ростверком; 1 – свая квадратной или круглой в плане формы; 2 – ленточный ростверк; 3 – отдельно стоящий ростверк; 4 – плитный ростверк; КО – координационная ось;  $d_{скв.}$  – диаметра скважины (свай), м;  $l_{св.}$  – расстояние между геометрическими осями свай, м;  $d = d_{скв.} - 0,05м$  – размер от оси до края ростверка, м

### ***2.2.3. Устройство оснований и возведение фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I***

В условиях многолетнемерзлых грунтов, земляные работы по обратной засыпке за наружные стены подвалов и фундаментов, подсыпке под полы первого этажа и подвала и подготовке подушек под фундаменты производятся с обязательным использованием талого (непучинистого при промерзании) грунта. При льдистости грунтов основания  $i_i > 0,2$  под подошвой фундаментов устраивается песчаная подушка толщиной  $h$  не менее  $0,2$  м. Если в результате геотехнического анализа будет установлено, что многолетнемерзлые грунты строительной площадки естественного (природного) происхождения не могут быть использованы в качестве надежных оснований, то проектируются искусственные основания. Для зданий и сооружений, возводимых на искусственных основаниях (насыпях или подсыпках), практикуется применение фундаментов мелкого заложения (столбчатые, ленточные, плитные, с вентилируемыми каналами и др.). Глубину заложения подошвы фундаментов мелкого заложения (ФМЗ) закладывают 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 [80] и табл. 2. Практикуется подсыпку устраивать из непучинистого песчаного или крупнообломочного грунта, укладываемого после промерзания сезоннооттаивающего слоя. При этом, для устройства подсыпок часто применяются 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. Фундаменты мелкого заложения, возводимые на искусственных основаниях, выполненных конструктивными методами из насыпи непучинистого сыпучего грунта, рассчитываются по несущей способности и деформациям в соответствии с требованиями СП 22.13330 [78] и с учетом результатов прогнозных теплотехнических расчетов.

### ***2.2.4. Устройство оснований и возведение фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II***

Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых с использованием многолетнемерзлых грунтов по принципу II, осуществляется при помощи комплекса инженерно-технологических мероприятий, позволяющих уменьшить деформации мерзлых или оттаявших грунтов основания. Кроме того, используются мероприятия по приспособлению конструкций сооружения к восприятию неравномерных деформаций основания, которые назначаются по результатам расчета основания по деформациям (расчет по II группе предельных состояний). Для выбора наиболее надежного, эффективного

и экономически целесообразного из перечисленных выше мероприятий или их сочетания в комплексе выполняется технико-экономический расчет, и по приведенным затратам принимается окончательное решение. Следует отметить, что мероприятия по уменьшению деформаций основания предусматриваются 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. Геотехнические и инженерно-технологические мероприятия с целью приспособления конструкций несущего остова зданий и сооружений к неравномерным деформациям оттаивающего основания назначаются по результатам расчета совместной работы основания и сооружения.

В отечественной и зарубежной практике, с целью уменьшения деформаций основания в зависимости от конкретных условий строительства, практикуется проектирование и устройство геотехнических мероприятий, включая:

- 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.

Глубина предварительного оттаивания  $d_{th,n}$ , м, или замена льдистых грунтов основания на малосжимаемые, при оттаивании грунтов устанавливается по результатам расчета основания по деформациям.

### **ГЛАВА 3. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

Расчет и проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых на многолетнемерзлых грунтах, имеет существенное отличие по отношению к расчету и проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений, возводимых в обычных природно-климатических условиях. Наряду с общепринятыми условиями расчетов оснований и фундаментов в условиях многолетнемерзлых грунтов, возникает необходимость в выполнении теплотехнических расчетов основания, а также расчетов основания и фундаментов на силовые воздействия. Отличительной особенностью проектирования и расчета оснований и фундаментов в условиях мерзлоты является то, что учитывается осново-

полагающий принцип максимального использования многолетнемерзлых грунтов, в качестве мало сжимаемого и надежного грунтового основания. Принципиальным является то, что при проектировании и расчете многолетнемерзлых грунтов, в обязательном порядке учитывается «контактный фактор» в зоне теплового и механического взаимодействия конструкций фундаментов сооружения и мерзлого или оттаявшего грунта основания.

Традиционно, основания и фундаменты рассчитываются по двум группам предельных состояний. Расчет по первой группе предельных состояний (I-ая ГПС) – это расчет по несущей способности мерзлого или оттаявшего грунта основания и фундамента. Расчет по второй группе предельных состояний (II-ая ГПС) – это по деформациям (осадки, прогибы и пр.) и по трещиностойкости, которые затрудняют нормальную эксплуатацию конструкций сооружения и элементов конструкций. Несущая способность основания и его ожидаемые деформации, при расчете по I-ой ГПС, устанавливается с учетом температурного режима грунтов основания, а при использовании технологического принципа I (с сохранением многолетнемерзлого состояния грунта основания), необходимо учитывать еще и продолжительность действия нагрузок, и реологические свойства мерзлых грунтов. Все конструкции зданий и сооружений, включая их фундаменты, работающие в едином комплексе различных остовов (каркасный, стеновой, с неполным каркасом), проектируемые и возводимые в условиях Крайнего Севера, в зависимости от использованных для строительства материалов рассчитываются в соответствии с требованиями СП 16.13330 [76], СП 32-101-95 [82], СП 35.13330 [90], СП 52-101-2003 [87], СП 63.13330 [88], СП 64.13330 [89].

С учетом особых условий многолетней мерзлоты Крайнего Севера и разработанных для этих условий отечественных принципов, способов и методов устройства надежных грунтовых оснований зданий и сооружений, расчет оснований производится инженерными или численными методами, в том числе:

1) при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I (с сохранением многолетнемерзлого состояния грунта основания): по несущей способности – для твердомерзлых грунтов; по несущей способности и деформациям – для пластично-мерзлых и сильнольдистых грунтов, а также подземных льдов;

2) при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II (с предварительным оттаиванием многолетнемерзлого грунта основания): по несущей способности – в случаях, предусмотренных СП 22.13330 [30]; 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 производится на основные сочетания нагрузок и воздействий. Расчет по несущей способности выполняется на основные и особые сочетания нагрузок и воздействий. Нагрузки и воздействия, передаваемые на многолетнемерзлые грунтовые основания фундаментами сооружений, устанавливаются расчетом в соответствии с требованиями СП 20.13330 [77] с учетом указаний СП 22.13330 [78], СП 24.13330 [79], а для мерзлых или оттаявших грунтовых оснований опор мостов и труб под насыпями – согласно СП 35.13330 [83].

Если грунты основания находятся в твердомерзлом состоянии, а также в случаях, предусмотряемых СП 22.13330 [78], при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I, проектные значения нагрузок и воздействий на грунтовое основание назначается без учета их перераспределения надфундаментными конструкциями здания или сооружения. А при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу II нагрузки на основание определяются, как правило, с учетом совместной работы основания и сооружения. При расчете мерзлых оснований по несущей способности, те нагрузки и воздействия, которые по СП 20.13330 [77] могут относиться как к длительным, так и к кратковременным, принято считать относящимися к кратковременным, а при расчете оснований по деформациям принято считать относящимися к длительным нагрузкам и воздействиям. При этом, воздействия, вызванные осадками грунтов при предусмотренном в проекте оттаивании их в процессе эксплуатации сооружения, относятся к длительным. Воздействия, связанные с возможным протаиванием и просадками грунтов при нарушениях эксплуатации сооружения, относятся к особым.

### **3.1. Принципы проектирования оснований и выбор типов фундаментов на многолетнемерзлых грунтах**

Выбор типа фундамента для зданий и сооружений, возводимых на многолетнемерзлых грунтах, прежде всего, предполагает концентрировать внимание на основных принципах практического использования имеющихся разновидностей мерзлых грунтов в качестве оснований.

В соответствии с СП 25.13330.2012 [83], 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 фундаментов сооружений, в том числе: 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 расчет-

ную глубину до начала возведения сооружения или с допущением их оттаивания в период эксплуатации сооружения).

Таким образом, принятый при проектировании для строительства принцип использования грунтов в качестве оснований под фундаменты устанавливает, в каком состоянии – мерзлом или оттаявшем – будут эксплуатироваться грунты оснований после возведения здания или сооружения.

### **3.1.1. Проектирование фундаментов с использованием многолетнемерзлых грунтов по принципу I (с сохранением многолетнемерзлого состояния грунтов)**

Если грунты основания можно сохранить в мерзлом состоянии при экономически целесообразных затратах на мероприятия, обеспечивающие сохранение такого состояния, применяется принцип I. На участках с твердомерзлыми грунтами, а также при повышенной сейсмичности района практикуется использование многолетнемерзлых грунтов только по принципу I. Принципиальные расчетные схемы фундаментов, при проектировании по принципу I, приведены на рис. 39.

Если проектирование осуществляется для строительства на пластично-мерзлых грунтах, то в соответствии с указаниями п.п. 6.3.1-6.3.4 СП 25.13330.2012 предусматриваются мероприятия по понижению температуры грунтов до установленных расчетом значений, а также в расчетах оснований учитывают пластические деформации этих грунтов под нагрузкой. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений, возводимых на пластично-мерзлых грунтах осуществляется в соответствии с требованиями пп. 6.3.1–6.3.4 СП 25.13330.2012, предусматривающие выполнение мероприятий по понижению температуры не ниже температуры  $T_{bf}$  начала замерзания грунтов или до установленных расчетом значений.

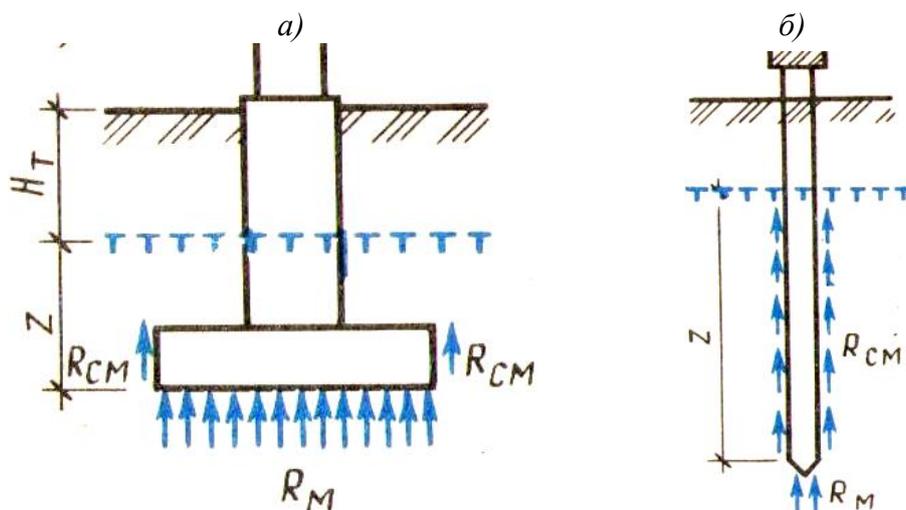


Рис. 39. Принципиальные расчетные схемы фундаментов при проектировании по принципу I: а – столбчатый фундамент мелкого заложения (ФМЗ); б – свайный;  $H_T$  – расчетная глубина сезонного оттаивания;  $R_M$  – расчетное давление на мерзлый грунт;  $R_{cm}$  – расчетное сопротивление грунта сдвигу по поверхности смерзания

Проектирование, строительство и эксплуатация зданий и сооружений, возводимых на пластично-мерзлых грунтах осуществляется в соответствии с требованиями пп. 6.3.1–6.3.4 СП 25.13330.2012, предусматривающие выполнение мероприятий по понижению температуры не ниже температуры  $T_{bf}$  начала замерзания грунтов или до установленных расчетом значений. Поэтому, для сохранения мерзлого состояния грунтов основания и обеспечения их расчетного теплового режима в проектах оснований и фундаментов, с использованием многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований сооружений, при проектировании и строительстве объектов по принципу I, в отечественной и зарубежной практике применяются различные инженерные мероприятия [80], в том числе:

- устройство вентилируемых подполий или холодных первых этажей зданий, в соответствии с п.п. 6.3.2 по схемам (рис. Т.8.1, Т.8.2, Т.8.3) [80], табл. 8 данного пособия;

- укладку в основании сооружения вентилируемых труб, каналов или применение вентилируемых фундаментов, в соответствии с п.п. 6.3.3 по схеме (рис. Т.8.2) [80], табл. 8;

- установку сезонно действующих охлаждающих устройств жидкостного или парожидкостного типов – СОУ, в соответствии с п.п. 6.3.4 по схемам (рис. Т.8.6) [80], табл. 8;

- осуществление других инженерно-теплотехнических мероприятий (теплозащитные экраны и др.) по устранению или уменьшению теплового воздействия сооружения на мерзлые грунты основания.

По приведенным затратам и результатам технико-экономических расчетов, производится выбор одного или сочетания нескольких инженерно-технических или теплозащитных мероприятий определенных на основании специальных инженерно-теплозащитных расчетов с учетом прогнозного (на весь период эксплуатации здания или сооружения).

Принимая во внимание конструктивные и технологические особенности проектируемого сооружения, а также опыт местного строительства с учетом экономической целесообразности, выполняются специальные расчеты, включая теплотехнический; устойчивости и несущей способности основания.

С целью сохранения многолетнемерзлого состояния грунтов в основаниях жилых и промышленных зданий и сооружений, включая, сооружения с повышенными тепловыделениями, практикуется применение вентилируемых подполий с естественной или побудительной вентиляцией. При этом, согласно приложению Д [80], требуемый оптимальный тепловой режим вентилируемого подполья устанавливается теплотехническим расчетом. В соответствии с теплотехническим расчетом и условиями снегозаносимости подполья, как правило, устраиваются открытыми, с вентилируемыми или закрытыми продухами в цоколе здания.

Для исключения попадания в полости продухов (вытяжные или приточные трубы) атмосферных осадков (снег, лед), воздухозаборные отвер-

ствия этих продухов располагаются выше наибольшего уровня снегового покрова.

При возведении зданий или сооружений шириной не превышающих 15 м и среднегодовых температурах грунта ниже  $-2^{\circ}\text{C}$ , проектируются и возводятся закрытые типы подполий или холодные первые этажи зданий. При этом, высота подполья принимается по условиям обеспечения его эффективного вентилирования с регулярной циркуляцией холодного воздуха. Минимальная высота подполья принимается не менее 1,2 м, рассчитываемая от поверхности планировочной отметки грунта «DL» в подполье до низа выступающих конструкций перекрытия.

Для зданий, оборудованных системой теплоизолированных инженерных коммуникаций, размещенных в подполье, по условиям свободного к ним доступа, нормируется высота не менее 1,4 м.

Для сооружений шириной до 6 м, в которых отсутствует система инженерных коммуникаций и конструкции фундаментов (полосья, колеса, опоры на поверхности земли «DL») высота подполья может быть уменьшена до 0,6 м.

Поверхность грунта в подполье, на котором устилается твердое покрытие (асфальт, бетон и др.), планируется с уклоном  $i=0,03$  (3%) в сторону наружных отмосток или водосборов, что обеспечивает беспрепятственный отвод талой воды атмосферных осадков или воды техногенного происхождения от сооружения.

Для надежного и длительного сохранения многолетнемерзлого состояния грунтов в основании зданий и сооружений с теплым режимом функционирования помещений, в которых конструктивные слои полов первого этажа выполнены по грунту; фундаменты предусмотрены мелко заглубленными, или расположенными на поверхности грунтовой (песчаной, щебеночной) подсыпки; используются мобильные здания и здания в комплектно-блочном исполнении, выполняются системы вентиляционных труб или каналов с естественной и побудительной вентиляцией, а также применяются конструкции вентилируемых фундаментов.

Укладку вентилируемых труб, каналов и размещение подошвы (FL) конструкций вентилируемых фундаментов (табл. 8) осуществляют выше максимально возможного уровня расположения подземных вод (WL) в пределах подсыпки, выполняемой из непучинистого, как правило, мало-влажного сыпучего грунта (щебень, песок, шлак) с уклонами в сторону объединительных коллекторов.

С целью увеличения эффективности тепловой защиты многолетнемерзлых грунтов основания от воздействия теплых помещений зданий и сооружений, а также снижения теплового притока в мерзлый грунт и уменьшения высоты подсыпки, под полами зданий и сооружений первого этажа или подвала, укладывается теплоизоляция расчетной толщины, которая защищается от увлажнения атмосферными и подземными водами при помощи рулонной гидроизоляции.

Теплотехнический расчет оснований при использовании указанных в табл. 8 систем охлаждения многолетнемерзлых грунтов основания выполняется согласно указаниям 7.2.9 [80].

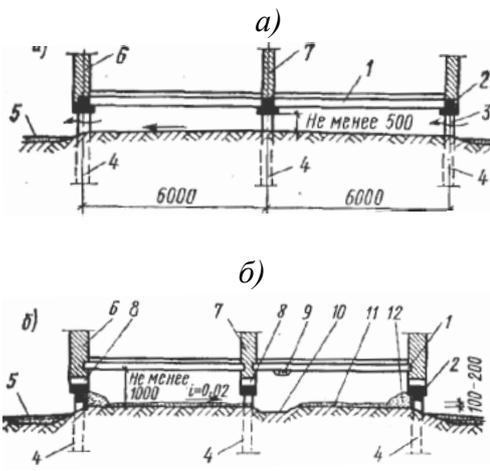
В отечественной и зарубежной практике проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений, встречаются регионы, где в течение календарного года возникает необходимость в сохранении и временном поддержании отрицательного температурного режима грунтового основания. В этих условиях используется принцип применения сезоннодействующих охлаждающих устройств, функционирующих в течение расчетного времени периода оттаивания.

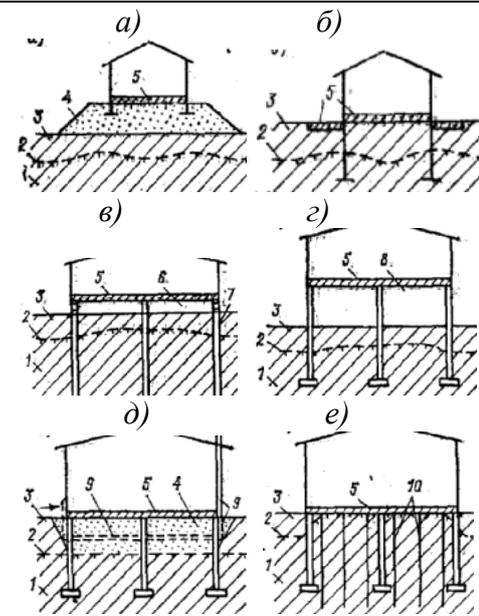
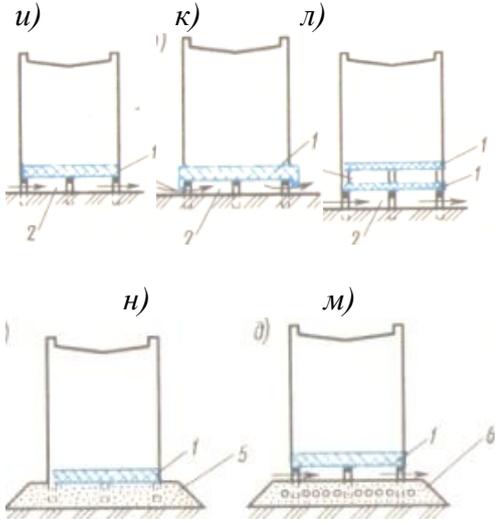
Целью применения сезоннодействующих охлаждающих устройств является: сохранение мерзлого состояния грунтов оснований; повышение несущей способности опор линейных сооружений в пластично-мерзлых грунтах; создание ледогрунтовых завес; восстановление нарушенного при эксплуатации сооружения теплового режима грунтов в его основании и в других целях.

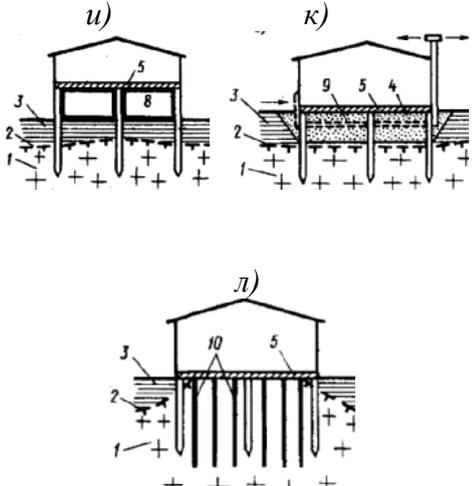
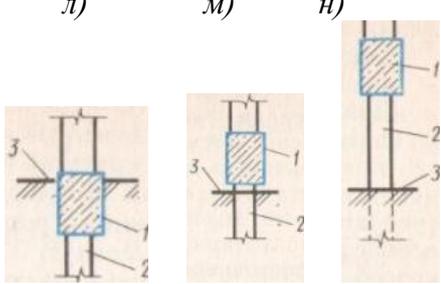
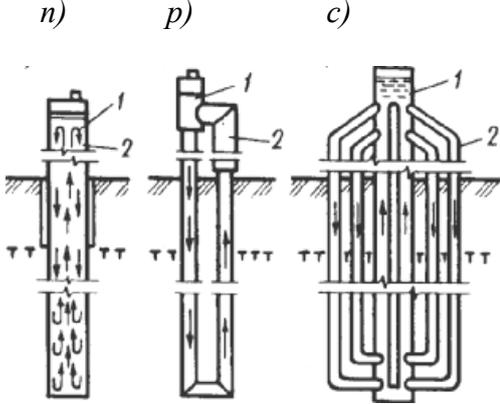
Комплекс инженерно-теплотехнических мероприятий, применяемых при проектировании и строительстве объектов с использованием многолетнемерзлых грунтов в качестве надежных оснований сооружений по принципу I, в отечественной и зарубежной практике, в систематизированном виде приведен в табл. 8.

Таблица 8

Инженерно-теплотехнические мероприятия с использованием многолетнемерзлых грунтов при строительстве объектов по принципу I

№№ п/п	Мероприятие по обеспечению сохранения мерзлого состояния грунтов основания и обеспечения их расчетного теплового режима (по принципу I) СП 25.13330.2012	Принципиальная схема к мероприятиям по использованию многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований сооружений по принципу I (Далматов Б.И. [27], Справочник / Г.И. Швецов [30]) и др. [31])
1	<p>Устройство вентилируемых подполий и холодных первых этажей зданий п. (6.3.2).</p> <p><u>Принципиальные схемы проветриваемых холодных подполий (рис. Т.8.1):</u></p> <p><i>а</i> – с низким (непроходным) подпольем; <i>б</i> – с высоким (проходным) подпольем; <i>1</i> – перекрытие; <i>2</i> – фундаментная балка или ростерк; <i>3</i> – отверстие для проветривания; <i>4</i> – столбчатые или ленточные фундаменты; <i>5</i> – отмостка; <i>6</i> и <i>7</i> – наружные и внутренние стены; <i>8</i> – продух для вентилирования; <i>9</i> – трубопроводы с утеплением; <i>10</i> – лоток; <i>11</i> – завалинка; <i>12</i> – утеплитель</p>	 <p style="text-align: center;">Рис. Т.8.1</p>

<p>2</p> <p>Укладка в основании сооружения вентилируемых труб, каналов или применение вентилируемых фундаментов п. (6.3.3).</p> <p>Принципиальные схемы вентилируемых труб, каналов или применение вентилируемых фундаментов (рис. Т.8.2–Т.8.4), в том числе:</p> <p>2.1 <u>При фундаментах мелкого заложения (ФМЗ) для малоэтажных зданий (рис. Т.8.2):</u></p>	<p><i>а</i> – здания, возведенные на подсыпках; <i>б</i> – теплоизоляция поверхности грунта под полом здания; <i>в</i> – устройство вентилируемых подполий; <i>г</i> – расположение на 1-ом этаже зданий неотапливаемых помещений; <i>д</i> – прокладка под полом здания охлаждающих вентиляционных каналов; <i>е</i> – искусственное охлаждение грунтов с помощью специальных установок (например, замораживающие колонки);</p> <p>1 – вечномерзлый грунт; 2 – верхняя граница слоя вечномерзлого грунта; 3 – деятельный слой грунта; 4 – насыпной непучинистый грунт; 5 – теплоизоляция; 6 – вентилируемое подполье; 7 – фундамент; 8 – неотапливаемый 1-й этаж; 9 – вентиляционные каналы, охлаждающие грунты морозным воздухом; 10 – замораживающие колонки</p>	 <p>Общий вид строительного участка по возведению нулевого цикла работ с использованием принципа I, для здания на свайных фундаментах с каналами и трубами для охлаждения грунтов оснований, в районе с распространением многолетнемерзлых грунтов:</p>  <p>Рис. Т.8.2</p>
<p>2.2</p> <p><u>Принципиальные схемы вариантов сохранения многолетнемерзлых грунтов основания под ФМЗ для многоэтажных зданий (рис. Т.8.3):</u></p>	<p><i>и</i> – открытое проветриваемое подполье многоэтажного здания; <i>к</i> – открытое регулируемое подполье с продухами; <i>л</i> – открытое проветриваемое подполье и технический этаж; <i>н</i> – многоэтажное здание на подсыпке из непучинистого грунта; <i>м</i> – многоэтажное здание на подсыпке из непучинистого грунта с искусственным охлаждением;</p> <p>1 – утепленное покрытие; 2 – вентилируемое подполье; 3 – продухи; 4 – технический этаж; 5 – подсыпка; 6 – трубы системы искусственного охлаждения</p>	 <p>Рис. Т.8.3</p>

<p>2.3</p>	<p><u>Принципиальные схемы вариантов сохранения многолетнемерзлых грунтов основания при проектировании и строительстве свайных фундаментов (СФ) для различных зданий (рис. Т.8.4):</u></p> <p><i>и</i> – устройство вентилируемых подполий; <i>к</i> – прокладка под полом здания охлаждающих вентиляционных каналов; <i>л</i> – искусственное охлаждение грунтов с помощью специальных установок (например, замораживающие колонки);  <i>1</i> – вечномерзлый грунт; <i>2</i> – верхняя граница слоя вечномерзлого грунта; <i>3</i> – деятельный слой грунта; <i>4</i> – насыпной непучинистый грунт; <i>5</i> – теплоизоляция; <i>8</i> – неотапливаемый первый этаж; <i>9</i> – вентиляционные каналы, охлаждающие грунты морозным воздухом; <i>10</i> – замораживающие колонки</p>	 <p>Рис. Т.8.4</p>
<p>3</p>	<p>Принципиальные решения по устройству вариантов конструкций ростверков свайных фундаментов (СФ) в зависимости от их расположения по отношению к планировочной отметке поверхности земли «DL» (рис. Т.8.5):</p> <p><i>л</i> – низкий ростверк; <i>м</i> – пониженный ростверк; <i>н</i> – высокий ростверк; <i>1</i> – ростверк; <i>2</i> – свая; <i>3</i> – грунт</p>	 <p>Рис. Т.8.5</p>
<p>4</p>	<p>Принципиальные схемы жидкостных и парожидкостных установок для охлаждения массива грунта при возведении фундаментов по принципу I при помощи саморегулируемых установок, в основу которых положен принцип, С.Н. Гапеева [31] (рис. Т.8.6):</p> <p><i>п, р, с</i> – одно-, двух- и многотрубная установка системы С.Н. Гапеева; <i>т, ю</i> – установка фирмы «Термодайнмикс» (США); <i>я</i> – термосвая Е.Л. Лонга (Канада); <i>1</i> – керосин; <i>2</i> – труба; <i>3</i> – раудбалка; <i>4</i> – ребра, повышающие интенсивность охлаждения; <i>5</i> – распределительное устройство; <i>6</i> – жидкий пропан; <i>7</i> – антифриз</p>	

<p>Действие установки основано на разности плоскостей холодного и теплого хладагента: охлажденный сверху керосин под действием силы тяжести опускается вниз, охлаждая нижнюю часть трубы и прилегающий к нему грунт. После отдачи холода потеплевший керосин поднимается вверх по трубе. Так за счет циркуляции керосина в термосвае сохраняется мерзлое состояние грунтового массива</p>	<p style="text-align: center;">Рис. Т.8.6</p>
---	---

Применяемые для искусственного охлаждения грунтов под фундаментами различного рода холодильные установки позволяют получить значительную экономию стоимости фундаментов, но их эксплуатационные расходы довольно велики, а установки требуют постоянного контроля и обслуживания. В связи с этим особого внимания заслуживает достаточно простой и надежный способ сохранения вечной мерзлоты с помощью жидкостных термосифонов (термосвай), предложенный С.Н. Гапеевым [31]. Конструкция термосвай представляет собой металлическую запаянную трубу, заполненную хладагентом (керосином). Ее устанавливают в грунт так, что верх несколько выступает над поверхностью земли. Действие установки основано на разности плоскостей холодного и теплого хладагента: охлажденный сверху керосин под действием силы тяжести опускается вниз, охлаждая нижнюю часть трубы и прилегающий к нему грунт. После отдачи холода потеплевший керосин поднимается вверх по трубе. Так за счет циркуляции керосина в термосвае сохраняется мерзлое состояние грунтового массива. В отечественной и зарубежной практике применяется целый ряд жидкостных и парожидкостных охлаждающих саморегулируемых установок, в основу которых положен принцип С.Н. Гапеева. Принципиальные схемы жидкостных и парожидкостных установок для охлаждения массива грунта при возведении фундаментов по принципу I при помощи саморегулируемых установок, в основу которых положен принцип С.Н. Гапеева, приведены на рис. Т.2.6., табл. 2, п. 4 учебного пособия.

В соответствии с указаниями п.п. 7.2.15-7.2.17 СП 25.13330.2012 [80], при проектировании зданий и сооружений в районах с распространением многолетнемерзлых грунтов, где в качестве оснований сооружений используется принцип I (сохранение мерзлоты), выполняются расчеты грунтов оснований с учетом пластических деформаций под нагрузкой. Пластические деформации пластично-мерзлого грунта основания « $S_f$ » под нагрузкой рассчитываются по второй группе предельных состояний (по деформациям) исходя из условия (7.16) или по формуле 11:

$$S_f \leq S_u, \quad (11)$$

где  $S_f$  – деформация пластично-мерзлого основания под нагрузкой от сооружения, определяемая согласно указаниям 7.2.16 и 7.2.17 СП 25.13330.2012 [80];

$S_u$  – предельно допустимая деформация основания сооружения за расчетный срок его эксплуатации определяется согласно СП 22.13330.2011 [78].

Расчетная величина осадки « $S_f$ » оснований различных типов фундаментов, включая, ленточные, столбчатые фундаменты мелкого заложения (ФМЗ) и свайные фундаменты (СФ), возводимых на пластично-мерзлых грунтах, определяется по соответствующим расчетным схемам и моделям, в том числе:

а) для ленточных и столбчатых фундаментов (ФМЗ) – в соответствии с указаниями СП 22.13330.2011 [78], применяя расчетную схему в виде линейно-деформируемого полупространства или линейно-деформируемого слоя конечной толщины;

б) для одиночных свайных фундаментов (СФ) – по данным полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой, а для кустов или групп свай – согласно указаниям СП 24.13330.2011 [79] с использованием расчетных схем, основанных на модели грунта как линейно-деформируемой среды.

Для пластично-мерзлых грунтов расчетные деформационные характеристики, включая, коэффициент сжимаемости  $m_0$  и модуль деформации  $E_0$ , принимаются по результатам лабораторных компрессионных испытаний при расчетной температуре грунта, устанавливаемой по формуле (7.8) СП 22.13330.2011 [78] или формуле (12), а также по результатам полевых статических испытаний пластично-мерзлых грунтов моделями фундаментов в форме жестких штампов (рис. 8), сваями (рис. 40, 41) и современных способов статического зондирования в соответствии с приложением Л [78]:

$$T_{m,z,e} = (T_0 - T_{bf})\alpha_{m,z,e} + T_{bf} \quad (12)$$

где  $T_{m,z,e}$  – расчетная среднегодовая температура на верхней поверхности многолетнемерзлого грунта в основании сооружения, °С, определяемая согласно приложению Д [78];

$T_0$  – температура начала замерзания грунта, °С, определяемая согласно приложению Б;

$T_{bf}$  – расчетная среднегодовая температура грунта, °С, определяемая согласно приложению Г [78];

$\alpha_{m,z,e}$  – коэффициент сезонного изменения температуры грунтов основания, принимаемый по табл. 7.3 СП 22.13330.2011 [30].

### ***3.1.2. Проектирование фундаментов с использованием многолетнемерзлых грунтов по принципу II (с предварительным оттаиванием многолетнемерзлых грунтов)***

При решении многофакторных технических задач эффективного строительства зданий и сооружений в условиях сурового холодного климата Крайнего Севера и связанных с этим особых инженерно-

геологических и гидрогеологических условий многолетнемерзлых грунтов оснований, возникает необходимость в устройстве надежных конструкций фундаментов на предварительно оттаявших грунтовых массивах, сложенных дисперсными инженерно-геологическими элементами (ИГЭ). Принципиальные схемы разрезов различных типов фундаментов, включая фундаменты мелкого заложения (ФМЗ) и свайные фундаменты (СФ), совмещенные с геологическим разрезом, с использованием многолетнемерзлых грунтов по принципу II (с предварительным оттаиванием многолетнемерзлых грунтов), приведены на рис. 40 и рис. 41.

Оттаивание многолетнемерзлых грунтов происходит в двух случаях:

– в результате природного процесса кратковременного повышения температуры воздуха, достигающего положительного значения  $t = +5^{\circ}\text{C} \dots +10^{\circ}\text{C}$  в период теплого периода календарного года, при котором происходит оттаивание верхнего слоя грунта в пределах деятельного слоя  $d_t = 0,5\text{ м} \dots 1,5\text{ м}$ ;

– в результате техногенной деятельности человека, с целью достижения требуемых результатов при возведении зданий и сооружений с различными типами конструкций фундаментов на многолетнемерзлых грунтах по принципу II, с предварительным оттаиванием мерзлого грунта. Для реализации принципа II, перед началом выполнения строительно-монтажных работ по возведению нулевого цикла, при помощи специальных систем и оборудования выполняются строительно-технологические мероприятия по предварительному оттаиванию мерзлого массива грунта на расчетную глубину. Для оттаивания используется перегретый пар; постоянный электрический ток; жидкостные термосифоны (термосваи), предложенные С.Н. Гапеевым [31] и др.

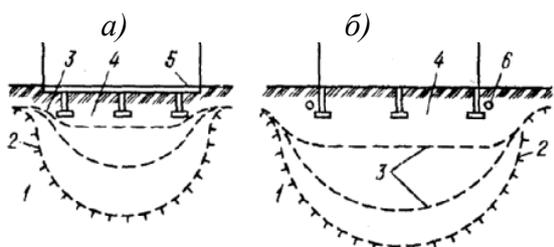


Рис. 40. Схемы регулирования процесса оттаивания основания под зданием:  
 а – с конструктивными мероприятиями;  
 б – с обогревающими трубопроводами;  
 1 – вечномерзлый грунт; 2 – верхняя граница слоя многолетнемерзлого грунта в конце процесса оттаивания;  
 3 – то же, в промежуточных состояниях;  
 4 – оттаявший грунт; 5 – консоль;  
 6 – обогревающий трубопровод

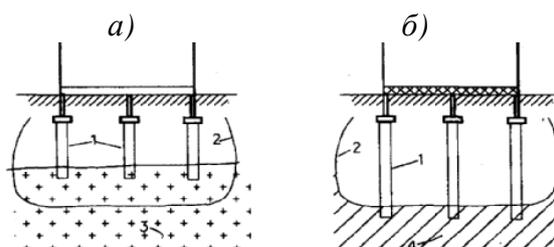


Рис. 41. Схемы свайных фундаментов при проектировании и строительстве по принципу II: а – в скальных грунтах; б – с полной прорезкой оттаявшего грунта и опиранием свай на вечномерзлый грунт ниже зоны оттаивания; 1 – сваи; 2 – граница вечномерзлого грунта; 3 – скальный грунт; 4 – вечномерзлый грунт, проявляющий просадочные свойства при оттаивании

Кроме использования принципа II в условиях многолетнемерзлых грунтов, представленных дисперсными средами (глины, суглинки, супеси, водонасыщенные сыпучие среды из песков и др.), в современной отечественной и зарубежной практике строительства, принцип II (с предварительным оттаиванием мерзлого грунта) применяется:

- при наличии в основании скальных или других мало сжимаемых грунтов, деформация которых при оттаивании не превышают предельно допустимых значений для проектируемого сооружения;

- при несплошном или неоднородном распространении многолетнемерзлых грунтов;

- в случаях, когда по техническим и конструктивным особенностям здания или сооружения и инженерно-геокриологическим условиям участка застройки при сохранении мерзлого состояния грунтов основания не обеспечивается требуемый уровень надежности строительства.

Целесообразность и обоснованность выбранного принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве надежного основания фундаментов сооружений, а также способы и средства, необходимые для обеспечения принятого в проекте температурного режима грунтов, производится на основании сравнительных технико-экономических расчетов по приведенным затратам сопоставимых вариантов.

При проектировании и строительстве вновь возводимых комплексов или групп зданий или сооружений (поселки, городские микрорайоны, промышленные узлы, т.д.), а также при реконструкции существующих зданий и сооружений на застроенной территории, размещении мобильных (временных) зданий и прокладке инженерно-технических сетей, в условиях с распространением многолетнемерзлых грунтов, как правило, предусматривается один из двух принципов использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований фундаментов. Только в исключительных случаях, при инженерном и технико-экономическом обосновании, допускается возможность применения разных принципов использования многолетнемерзлых грунтов в пределах застраиваемой территории на обособленных по рельефу и другим природным условиям участках. Если проектом предусмотрены и подтверждены соответствующим расчетом специальные меры по обеспечению расчетного теплового режима грунтов в основании фундаментов соседних зданий, возведенных (или возводимых) по принципу I (резервирование зон безопасности, устройство мерзлотных и противодиффузионных завес и т.п.), на основании п. 6.1.5 [80], в необходимых случаях допускается применение разных принципов использования многолетнемерзлых грунтов в пределах застраиваемой территории на природно-необособленных участках. Требования, предусмотренные п. 6.1.5 [80], предписывающие возможность применения разных принципов использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания, допускается использовать при проектировании и строительстве линейных сооружений на отдельных участках трассы.

При этом согласно п. 6.1.6 [80] «...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 п. 6.1.5» [80].

### **3.1.3. Назначение глубины заложения подошвы фундаментов при использовании многолетнемерзлых и сезонно мерзлых грунтов в качестве основания зданий и сооружений**

Природные процессы сезонного и многолетнего промерзания грунтовых массивов, включая мелкодисперсную среду грунтового основания под фундаментами зданий и сооружений, наряду с внешними нагрузками от сооружений, деформационно-прочностными свойствами грунтов основания, геологическими и гидрогеологическими условиями региона и строительной площадки с холодным климатом, являются одним из основных факторов, которые принимаются во внимание при проектировании фундаментов и назначении глубины заложения подошвы  $FL$ .

Глубина заложения подошвы различных типов фундаментов  $FL$  принимается и назначается в массиве грунта на глубине от уровня планировки  $DL$ , сформированной вертикальной планировкой территории методом подсыпки или срезки в соответствии с требованиями СП 22.13330.2011 [78].

При этом для условий сезонного и многолетнего промерзания грунтовых массивов, учитывается принятый в проекте принцип (I или II принцип) использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания сооружения.

Все принятые и назначенные решения по определению глубины заложения подошвы фундаментов проверяются расчетом по устойчивости фундаментов на действие сил морозного пучения грунтов согласно указаниям пп. 7.4.2 и 7.4.6 СП 25.13330.2012 [80].

С целью исключения сверхнормативных деформаций зданий и их конструкций, возведенных на грунтах, проявляющих пучинистые свойства, в отечественной и зарубежной практике, как правило, используется неотъемлемое правило заложения подошвы фундаментов « $FL$ », расположенной на глубине « $d$ », превышающей не менее, чем на 150–200 мм, величину сезонного промерзания « $d_f$ ».

Должно соблюдаться условие  $d > d_f$ . Принципиальная схема к расчету по назначению глубины заложения подошвы фундамента « $d$ » ниже глубины сезонного промерзания « $d_f$ » приведена на рис. 42.

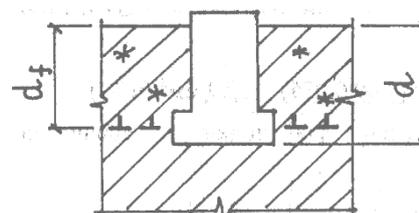


Рис. 42. Принципиальная схема к расчету назначения глубины заложения подошвы фундамента « $FL$ », расположенной на глубине « $d$ », которая должна быть ниже глубины сезонного промерзания грунта « $d_f$ »

К нормально заглубленным типам фундаментов мелкого заложения (ФМЗ) в инженерной практике относятся отдельно стоящие, ленточные и плитные фундаменты, в которых соотношение глубины заложения подошвы « $FL$ », расположенной на глубине « $d$ », должно превышать величину сезонного промерзания « $d_f$ », т.е.  $d > d_f$ .

В России и в Северной Европе за последние 30–40 лет накоплен значительный опыт научных исследований, проектирования, строительства и безаварийной эксплуатации экономичных малозаглубленных конструкций фундаментов при соотношении  $d < d_f$ .

В зависимости от расчетной глубины сезонного оттаивания грунта, которая определяется в соответствии с приложением «Г» [80], когда в качестве основания ФМЗ используются многолетнемерзлые грунты по принципу I, тогда минимальная глубина заложения подошвы фундаментов  $d_{th}$  принимается по табл. 6.1 [80] или по табл. 9 пособия.

Таблица 9

Типы конструкций фундаментов	Минимальная глубина заложения фундаментов $d_{th}$ , 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	<i>Не нормируется</i>

При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу II минимальная глубина заложения подошвы фундаментов  $d_{th}$  принимается с учетом требований [80], в зависимости от расчетной глубины сезонного промерзания грунта  $d_f$ , определяемой согласно приложению «Г», а также уровня расположения подземных вод  $WL$ . Расположение расчетного уровня подземных вод  $WL$  принимается с учетом образования под сооружением зоны оттаивания грунта.

В обоснованных расчетом случаях, с учетом требований п. 7.4.6 [80], практикуется расположение отметки подошвы  $FL_{фмз}$  фундаментов мелкого заложения ФМЗ и подошвы  $FL_{роств.}$  ростверков свайных фундаментов в слое сезонного промерзания-оттаивания мерзлого грунта. Фундаменты с таким принципом расположения подошвы называются поверхностными, малозаглубленными фундаментами и свайными ростверками. Поверхностные, малозаглубленные фундаменты и свайные ростверки, закладываемые в слое сезонного промерзания-оттаивания грунтов, рассчитываются по устойчивости на действие нормальных сил морозного пучения  $p_{fh}$  и по деформациям. Устойчивость фундаментов на действие нормальных сил морозного пучения проверяется по формуле (7.33) СП 25.13330.2012 или формуле (13):

$$p_{fh} \cdot A_f \leq (\gamma_c / \gamma_n) \cdot F, \quad (13)$$

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

$A_f$  – площадь подошвы фундамента и ростверка, м<sup>2</sup>;

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

$\gamma_c$  – условий работы, принимаемый равным 1,0;

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

Расчет по деформациям производится с учетом совместной работы сооружения и неравномерно выпучиваемого мерзлого грунта основания. 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.

Характерные схемы процесса морозного пучения грунтов (рис. 43а) и одно из широко применяемых инженерных мероприятий по снижению или полному исключению влияния деформации пучения на фундамент мелкого заложения ФМЗ (рис. 43б).

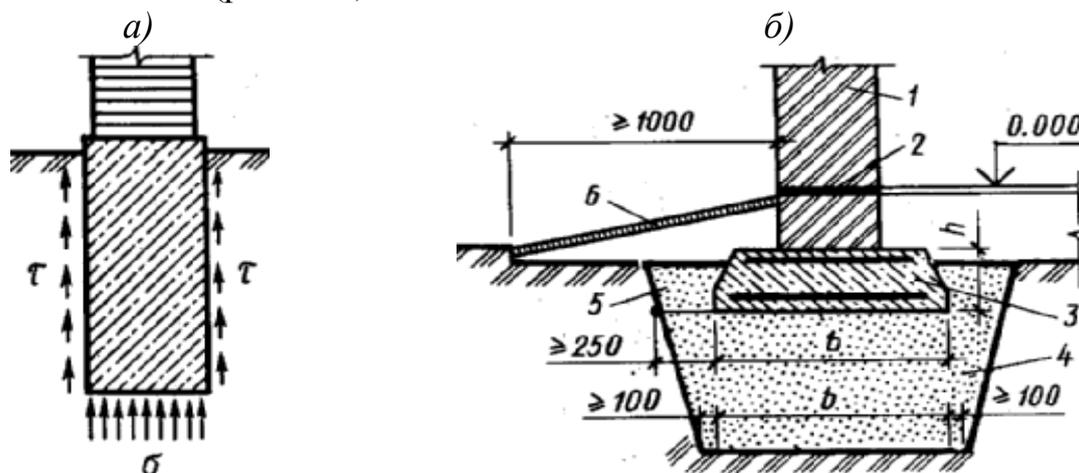


Рис. 43. Особенности процесса пучения грунтов и инженерные мероприятия по исключению влияния пучения на фундамент мелкого заложения:

а – схема сил пучения, действующих на фундамент при промерзании грунта; б – устройство компенсирующей подушки под мелкозаглубленным фундаментом под стену здания;  $\sigma$  – нормальные напряжения;  $\tau$  – касательные напряжения; 1 – стена здания; 2 – гидроизоляция; 3 – фундаментный блок; 4 – подушка из непучинистого материала (грунта, производственного шлака); 5 – засыпка из непучинистого материала; б – отмостка

Расчет многолетнемерзлых грунтов оснований по II группе предельных состояний (по деформациям) производится с учетом совместной работы остова здания или сооружения и неравномерно выпучиваемого основания. При этом возникающие в результате неравномерных поднятий и опусканий фундаментов дополнительные усилия в конструкциях сооружения не должны превышать предельно допустимых значе-

ний, а крены и прогибы не препятствовать нормальной эксплуатации здания или сооружения (рис. 44).



Рис. 44. Принципиальные схемы деформаций неравномерно выпучиваемого мерзлого грунта основания (а) и формирования наклонных трещин в конструкциях надземного остова (б) в результате неравномерных поднятий и опусканий фундаментов, вызванных морозным пучением

Принципиальные схемы типов фундаментов, возводимых по принципу II с предварительным оттаиванием многолетнемерзлого состояния грунта, приведены в табл. 1 и на рис. 26 и 45.

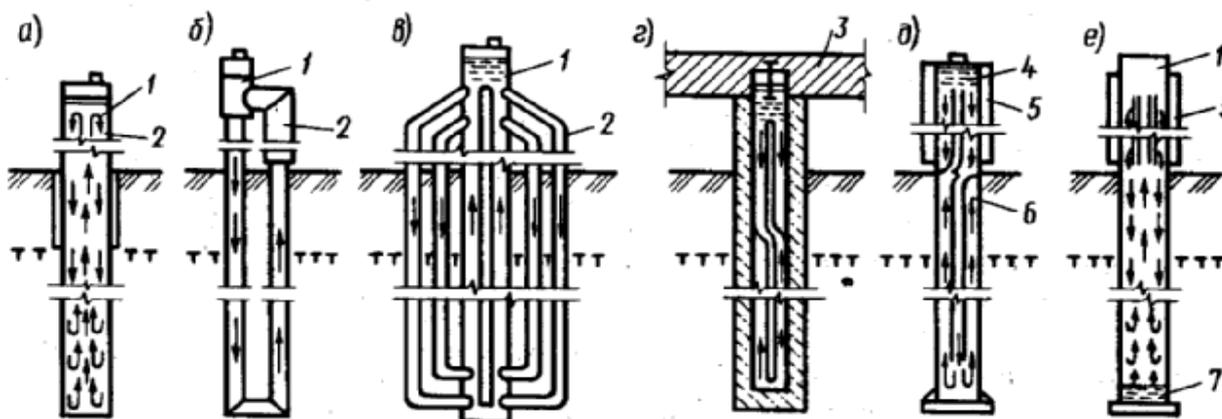


Рис. 45. Схемы жидкостных и парожидкостных установок для оттаивания массива мерзлого и вечномёрзлого грунта при возведении фундаментов по принципу II: а, б, в – одно-, двух- и многотрубная установка системы С.Н. Галеева; г, д – установка фирмы «Термодайнэмикс» (США); е – термосвая Е.Л. Лонга (Канада); 1 – керосин; 2 – труба; 3 – антифриз; 4 – ребра, повышающие интенсивность охлаждения; 5 – распределительное устройство; 6 – жидкий пропан; 7 – рандбалка

В случаях, когда в качестве грунтовых оснований представлены сильнольдистые грунты и подземные льды, а также при загрузении фундаментов при температуре многолетнемерзлых грунтов основания выше расчетных значений, принятых для установившегося эксплуатационного режима (пп. 7.2.5 и 7.2.17) [80], осадки таких оснований определяются 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 [80]. Здесь следует отметить, что передача проектных нагрузок на фундаменты должна осуществляться, как правило, при температуре многолетнемерзлых грунтов в основании сооружения не выше установленных на экс-

платационный период расчетных значений. При необходимости, в соответствии п. 6.3.5 [80], для сокращения сроков строительства и повышения расчетных нагрузок на фундаменты предусматриваются мероприятия по предварительному (до загрузки фундаментов) охлаждению пластично-мерзлых грунтов до установленных расчетом значений температуры. Для этого применяется технологический прием предварительного (до возведения здания или сооружения) охлаждения высоко-температурных 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 (табл. 8, рис. 45). Вместе с тем, при соответствующем обосновании расчетом основания по деформациям допускается загружать фундаменты при температурах мерзлого грунта выше расчетных. Температура начала замерзания грунта  $T$ , определяемая по (Б.5) [80], рассчитывается по формулам:  $T=T_{bf} - 0,5^{\circ}\text{C}$  – для песчаных и крупно-обломочных грунтов и  $T=T_{bf} - 1^{\circ}\text{C}$  – для глинистых грунтов, но не выше рассчитанных значений. В этом случае, несущая способность мерзлого основания определяется при расчетных температурах  $T_{m,z,e}$  грунта, устанавливаемого без учета теплового влияния сооружения по формуле (7.8) [80] или по формуле (14):

$$T_{m,z,e} = (T_0 - T_{bf}) \cdot \alpha_{m,z,e} + T_{bf} \quad (14)$$

где  $T_0$  – расчетная среднегодовая температура грунта,  $^{\circ}\text{C}$ , определяемая согласно приложению Г [80];

$T_{bf}$  – температура начала замерзания грунта,  $^{\circ}\text{C}$ , определяемая согласно приложению Б по данным табл. Б.1 и Б.2 [80] или табл. 10 и 11.

Таблица 10

Температура начала замерзания незасоленного грунта  $A$

Грунты	$A$ , $^{\circ}\text{C}$
Пески разных фракций	-0,10
Супеси и пылеватые пески	-0,15
Суглинок	-0,20
Глины	-0,25

Значение  $T_{bf}$ ,  $^{\circ}\text{C}$  для заторфованных грунтов выбирается по величине температуры начала замерзания того компонента (торфяного или минерального), у которого она выше. Величина  $T_{bf}$ ,  $^{\circ}\text{C}$  для торфа приведена в табл. Б.2 [32] или табл. 11.

Таблица 11

Расчетные значения температуры начала замерзания  $T_{bf}$  для торфа

Тип торфа	$W_{tot}$ , доли единицы	$T_{bf}$ , $^{\circ}\text{C}$
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

$\alpha_m, \alpha_z, \alpha_e$  – коэффициенты сезонного изменения температуры грунтов основания, применяемых по табл. 7.3 [32] или табл. 12, в зависимости от значения параметра  $z\sqrt{c_f/\lambda_f}, c^{0.5}(u^{0.5})$ , где  $z$  – глубина от кровли многолетнемерзлого грунта, м.

Таблица 12

Коэффициенты	Значения $z\sqrt{c_f/\lambda_f}, c^{0.5}(u^{0.5})$									
	0 (0)	1000 (25)	2000 (50)	3000 (75)	4000 (100)	6000 (125)	8000 (150)	10000 (175)	15000 (250)	20000 (300)
$\alpha_m$	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)
$\alpha_z$	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)
$\alpha_e$	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)

Расчетные температуры грунтов  $T_m, T_z$  и  $T_e$ , для мерзлых грунтовых оснований свайных, столбчатых и других типов и разновидностей фундаментов зданий и сооружений с холодным (вентилируемым) подпольем, опор трубопроводов, линий электропередачи, антенно-мачтовых сооружений, кроме оснований опор мостов, определяются по формулам 15, 16, 17, 18, в том числе:

– для сооружений с холодным подпольем:

$$\text{под серединой сооружения} - T_{m,z,e} = (T_0^I - T_{bf}) \cdot \alpha_{m,z,e} + (T_0 - T_0^I) k_i + T_{bf}; \quad (15)$$

$$\text{под краем сооружения} - T_{m,z,e} = (T_0^I - T_{bf}) \cdot \alpha_{m,z,e} + (T_0 - T_0^I) (0,5\alpha_{m,z,e} + k_2) + T_{bf}; \quad (16)$$

$$\text{под углами сооружения} - T_{m,z,e} = (T_0^I - T_{bf}) \cdot \alpha_{m,z,e} + (T_0 - T_0^I) (0,75\alpha_{m,z,e} + k_3) + T_{bf}; \quad (17)$$

– для опор линий электропередачи, антенно-мачтовых сооружений и трубопроводов –

$$T_{m,z,e} = (T_0 - T_{bf}) \cdot \alpha_{m,z,e} k_{ts} + T_{bf}; \quad (18)$$

где  $T_0^I$  – расчетная среднегодовая температура на верхней поверхности многолетнемерзлого грунта в основании сооружения, °С, определяемая согласно приложению Д [80];

$C_f$  – объемная теплоемкость, Дж/(м<sup>3</sup>·°С), определяемая согласно приложению Б [80];

$\lambda_f$  – теплопроводность мерзлого грунта, Вт/(м·°С), определяемая согласно приложению Б [80];

$k_1, k_2$  и  $k_3$  – коэффициенты теплового влияния сооружения, принимаемые по табл. 7.4 [80] или табл. 13, в зависимости от отношений  $z/B$  и  $L/B$ , где  $L$  и  $B$  – соответственно, длина и ширина м.

Таблица 13

Форма сооружения в плане		Коэффициенты $k$ для определения $T_m$ , $T_z$ и $T_e$											
		$k_1$ 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	–	–	–	–
<p><i>Примечания</i></p> <p>1. В числителе указаны значения коэффициентов <math>k</math> для температур <math>T_m</math> и <math>T_z</math>, в знаменателе – для температуры <math>T_e</math>.</p> <p>2. При <math>z/B = 0</math> коэффициенты <math>k_1</math>, <math>k_2</math> и <math>k_3</math> следует принимать равными 0</p>													

$k_{ts}$  – коэффициент теплового влияния изменения поверхностных условий при возведении фундаментов линейных сооружений, принимаемый по табл. 14, в зависимости от вида и глубины заложения фундаментов  $z$ ,  $m$ .

Таблица 14

Виды фундаментов	Коэффициент $k_{ts}$ при $z$ , $m$		
	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

Значения коэффициента  $\chi_c$ , приведенные в табл. 7.2 [80] или табл. 15, 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.

Таблица 15

Виды фундаментов и способы их устройства	Коэффициент $\chi_c$
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

### 3.1.4. Определение глубины сезонного оттаивания грунта и глубины заложения подошвы фундаментов в многолетнемерзлых грунтах

При проектировании зданий и сооружений в условиях многолетнемерзлых грунтов, глубина заложения подошвы фундаментов  $FL$ , считая от уровня планировки  $DL$  (подсыпки или срезки), назначается с учетом требований СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*» [78] с учетом принятого принципа использования многолетнемерзлых грунтов в качестве основания сооружения. Окончательное численное значение глубины заложения подошвы фундаментов  $FL$  принимается по результатам расчетов на устойчивость фундаментов от действия сил морозного пучения грунтов согласно указаниям пп. 7.4.2 и 7.4.6 [80]. При использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу I минимальная глубина заложения фундаментов  $d_{min}$  принимается по табл. 16 в зависимости от расчетной глубины сезонного оттаивания грунта  $d_{th}$ , определяемой согласно приложению Г [80].

Таблица 16

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

Значение нормативной глубины сезонного оттаивания грунта  $d_{th,n}$ , м определяется по данным натуральных наблюдений и рассчитывается с использованием формулы (19):

$$d_{th,n} = d_{th}^I \cdot \sqrt{\frac{(T_{th,m} - T_{bf})t_{th,m}}{(T_{th} - T_{bf})t_{th}}}, \quad (19)$$

где  $d_{th}^I$  – наибольшая глубина сезонного оттаивания грунта в годовом периоде, м, устанавливаемая по данным натуральных наблюдений;

$T_{bf}$  – температура начала замерзания грунта, °C, определяемая по приложению Б [80];

$T_{th,m}$  и  $t_{th,m}$  – соответственно, средняя по многолетним данным температура воздуха за период положительных температур, °C, и продолжительность этого периода, час., принимаемые по СП 131.13330.2012 «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99» [91], причем для климатических подрайонов IB и II значения  $T_{th,m}$  и  $t_{th,m}$  принимаются с коэффициентом 0,9;

$T_{th}$  и  $t_{th}$  – соответственно, средняя температура воздуха, °C за период положительных температур и продолжительность этого периода, час. в

год проведения наблюдений, принимаемые по метеорологическим данным.

Значение нормативной глубины сезонного промерзания грунта  $d_{f,n}$ , м, определяется по формуле (20):

$$d_{f,n} = d_f^I \sqrt{\frac{(T_{f,m} - T_{bf}) t_{f,m}}{(T_f - T_{bf}) t_f}}, \quad (20)$$

где  $d_f^I$  – наибольшая глубина сезонного промерзания грунта в годовом периоде, м, устанавливаемая по данным натурных наблюдений;

$T_{f,m}$  и  $t_{f,m}$  – соответственно, средняя по многолетним данным температура воздуха за период отрицательных температур, °С, и продолжительность этого периода, час., принимаемые по СП 131.13330.2012 [91];

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

В тех случаях, когда отсутствуют исходные данные, установленные метеорологическими службами натурные наблюдения, тогда величина нормативной глубины сезонного оттаивания грунта  $d_{th,n}$ , м рассчитывается по формулам (21, 22, 23):

$$d_{th,n} = \sqrt{\frac{2\lambda_{th}(T_{th,c} - T_{bf})t_{th,c}}{q_1} + \left(\frac{Q}{2q_1}\right)^2} - \frac{Q}{2q_1}, \quad (21)$$

где 
$$Q = \left(0,25 - \frac{t_{th,c}}{t_1}\right) (T_0 - T_{bf}) k_m \sqrt{\lambda_f C_f t_{th,c}}, \quad (22)$$

$$q_1 = L_v + \left(\frac{t_{th,c}}{t_2} - 0,1\right) [C_{th}(T_{th,c} - T_{bf}) - C_f(T_0 - T_{bf})], \quad (23)$$

$T_{bf}$  – обозначение то же, что в формулах (19–20);

$T_{th,c}$  – расчетная температура поверхности грунта в летний период, °С, определяемая по формуле (24):

$$T_{th,c} = 1,4 T_{th,m} + 2,4^0 \text{С}, \quad (24)$$

$t_{th,c}$  – расчетный период положительных температур, час., определяемый по формуле (25):

$$t_{th,c} = 1,15 t_{th,m} + 0,1 t_1, \quad (25)$$

$t_1$  – время, принимаемое равным  $1,3 \cdot 10^7$  секунд (3600 часов);

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

$T_0$  – расчетная среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта, °С, определяемая по формуле (26);

$\lambda_{th}$  и  $\lambda_f$  – теплопроводность, соответственно, талого и мерзлого грунта, Вт/(м·°С);

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

$k_m$  – коэффициент, принимаемый для песчаных грунтов равным 1,0, а для глинистых – по табл. 17 в зависимости от значения теплоемкости  $C_f$  и средней температуры грунта, °С, определяемой по формуле (26):

$$\bar{T} = (T_0 - T_{bf})(t_{th,c}/t_I - 0,22), \quad (26)$$

$L_v$  – теплота таяния (замерзания) грунта, Дж/м<sup>3</sup>, определяемая по приложению Б [80] при температуре грунта, равной  $0,5\bar{T}$ , °С.

Таблица 17

Коэффициент  $k_m$

Температура, °С	Значения коэффициента $k_m$ при объемной теплоемкости $C_f$ , Дж/(м <sup>3</sup> ·°С)			
	$1,3 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$
-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

Нормативная глубина сезонного промерзания грунта  $d_{f,n}$ , м определяется по формуле (27):

$$d_{f,n} = \sqrt{\frac{2\lambda_f (T_{bf} - T_{f,m}) t_{f,m}}{q_2}}, \quad (27)$$

где

$$q_2 = L_v - 0,5C_f(T_{f,m} - T_{bf}), \quad (28)$$

здесь  $L_v$  – теплота замерзания грунта, Дж/м<sup>3</sup>, определяемая по приложению Б [80] при температуре грунта, равной  $0,5(T_{f,m} - T_{bf})$ , °С. Остальные обозначения те же, что в формулах (21–23).

В соответствии с нормативными требованиями по организации строительства и технологической последовательностью возведения зданий или сооружений в любых природно-климатических, инженерно-геологических гидрогеологических условиях, весь строительный процесс делится на два периода: подготовительный и основной. В подготовительный период строительства выполняется вертикальная планировка территории строительной площадки методом срезки или подсыпки. Поэтому, в случаях, когда предусматривается 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 (20) и (21) принимаются по табл. 18 при влажности грунта  $w$ , доли единицы.

Таблица 18

№№ п/п	Наименование грунтов	Влажность грунта, $w$ , д.е. (%)
1	Крупнообломочные грунты	0,04 (4%)
2	Пески (кроме пылеватых)	0,07 (7%)
3	Пески пылеватые	0,10 (1%)
4	Глинистые грунты	$w_p + 0,5I_p$
5	Заторфованные грунты	$1,1 w_p$

где  $I_p$  и  $w_p$  – соответственно, число пластичности и влажности грунта на границе пластичности (раскатывания).

Расчетные значения глубины сезонного оттаивания  $d_{th}$  и расчетной глубины сезонного промерзания грунта  $d_f$  вычисляются по формулам (29) и (30):

$$d_{th} = k_h^I d_{th,n} \quad (29)$$

$$d_f = k_h d_{f,n} \quad (30)$$

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

$k_h^I$  и  $k_h$  – коэффициенты теплового влияния сооружения, принимаемые по табл. 19.

Таблица 19

Коэффициенты  $k_h^I$  и  $k_h$ 

Сооружения	$k_h^I$	$k_h$
Здания и сооружения без холодного подполья	–	В соответствии с требованиями СП 22.13330 [78]
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
<i>Примечания</i>		
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 $k_h^I$ и $k_h$ принимаются по данным теплотехнического расчета, но не менее 1,2		

Нормативное значение среднегодовой температуры многолетнемерзлого грунта  $T_{0,n}$  определяется по данным полевых измерений температуры грунтов на опытных площадках с естественными условиями. При этом допускается значение  $T_{0,n}$  принимать равным температуре грунта на глубине  $10\text{ м}$  от поверхности.

Расчетная среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$ , °C устанавливается на основании прогнозных расчетов изменения температурного режима грунтов на застраиваемой территории и определяется по формуле (31):

$$T_0 = \frac{1}{t_y} \left[ (T_{f,m} - T_{bf}) t_{f,m} + L_v d_{th,n} \left( \frac{d_{th,n}}{2\lambda_f} + R_s \right) \right] + T_{bf}, \quad (31)$$

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

$T_{f,m}$  и  $t_{f,m}$  – соответственно, средняя по многолетним данным температура воздуха в период отрицательных температур, °C, и продолжительность этого периода, с (ч), принимаемые по СП 131.13330 [91];

$d_{th,n}$  – нормативная глубина сезонного оттаивания, м, величина которой для предварительных расчетов принимается по рис. 46 и 47.

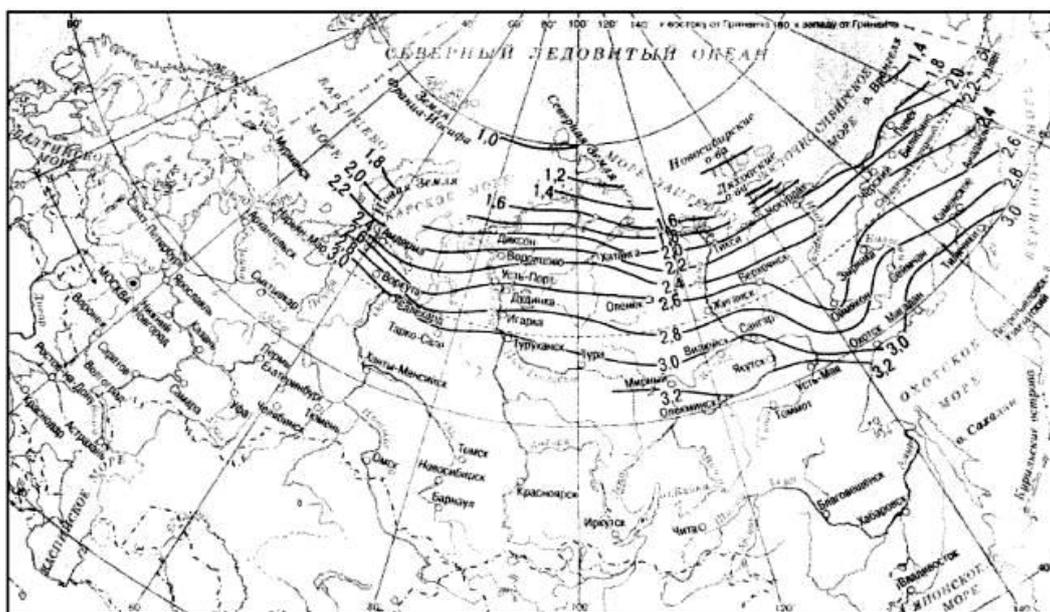


Рис. 46. Карта нормативных глубин сезонного оттаивания песчаных грунтов

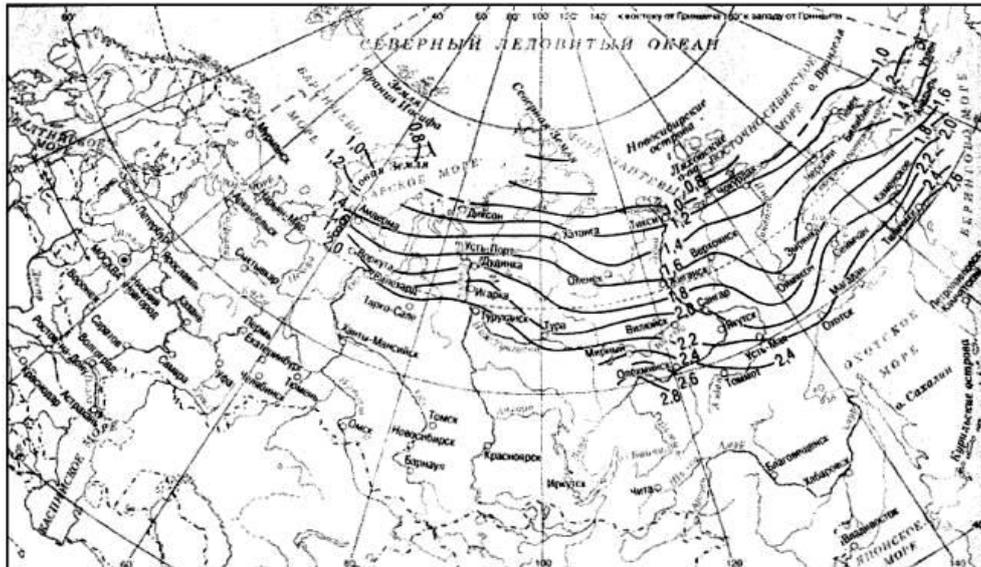


Рис. 47. Карта нормативных глубин сезонного оттаивания глинистых грунтов

$L_v$  – теплота таяния (замерзания) грунта,  $\text{Дж}/\text{м}^3$ , определяемая по приложению Б [80];

$R_s$  -термическое сопротивление снегового покрова,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , определяемое по формуле (32):

$$R_s = d_s / \lambda_s, \quad (32)$$

где  $d_s$  – средnezимняя высота снегового покрова,  $\text{м}$ , принимаемая по метеорологическим данным;

$\lambda_s$  – средnezимняя теплопроводность снегового покрова,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{°C}$  определяется по формуле (33):

$$\lambda_s = m_d (0,18 + 0,87 \rho_s), \quad (33)$$

где  $m_d$  – пересчетный множитель, принимаемый равным  $1,16 \text{ м}^2 \cdot \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ ;

$\rho_s$  – средnezимняя плотность снегового покрова,  $\text{т}/\text{м}^3$ , принимаемая по метеорологическим данным.

Здесь, следует отметить, что в районах со средней скоростью ветра в зимний период свыше  $5 \text{ м}/\text{с}$ , рассчитанное по формуле (32) значение  $R_s$  увеличивается в  $1,3$  раза. Вместе с тем, если при расчете по формуле (31)  $T_0 > T_{bf}$ , то следует принимать  $T_0 = T_{bf}$ .

## **3.2. Проектирования оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах различного генезиса**

### ***3.2.1. Особенности проектирования оснований и фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах***

В условиях Крайнего Севера встречаются территории, где в пределах выделенных под строительство строительных площадок залегают засоленные многолетнемерзлые грунты. На основании многолетних научных исследований и накопленного отечественного строительно-производственного опыта, установлено, что засоленные многолетнемерзлые грунты могут использоваться в качестве грунтового основания различных зданий и сооружений как по принципу I, так и по принципу II. При этом должно учитываться повышенное коррозионное воздействие засоленных грунтов на материал фундаментов. Следует отметить, что пылеватые грунты северного морского побережья с преобладанием солей натрий-калиевого состава относятся к засоленным грунтовым основаниям. Наряду со стандартным набором физико-механических характеристик для грунтов оснований, при проектировании фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах, материалы изысканий должны дополнительно содержать данные об условиях залегания засоленных грунтов, степени их засоленности, а также о химическом составе водорастворимых солей.

### ***3.2.2. Особенности проектирования оснований и фундаментов на заторфованных многолетнемерзлых грунтах***

Заторфованные многолетнемерзлые грунты, торфяные отложения и грунты с примесью органических остатков в условиях многолетней мерзлоты, имеющие распространение в пределах строительных площадок, относятся к категории грунтовых оснований с особыми условиями для фундаментирования и эксплуатации зданий и сооружений Крайнего Севера. Подготовка и устройство грунтового основания, и проектирование различных типов конструкций фундаментов на заторфованных многолетнемерзлых грунтах и торфах, а также на грунтах с примесью органических остатков выполняется в соответствии с указаниями раздела 7 [80], требованиями СП 22.13330 [78] и СП 28.13330 [81]. При проектировании и строительстве заторфованных многолетнемерзлых грунтов принимается особое внимание их большая сжимаемость под нагрузкой с проявлением пластических деформаций в широком диапазоне отрицательных температур, пониженная прочность смерзания с фундаментами, низкая теплопроводность и замедленная стабилизация осадок при оттаивании.

### 3.2.3. Особенности проектирования оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах в сейсмических районах

В районах с высокой сейсмической активностью, на площадках с расчетной сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов, проектирование и строительство зданий и сооружений, включая их грунтовые основания и фундаменты, возводимые на многолетнемерзлых грунтах, осуществляется с учетом современных требований СП 14.13330 [75], СП 22.13330 [78], СП 24.13330 [79], СП 25.13330 [80] и СП 35.13330 [83]. Принимая во внимание особенности работы различных конструктивных систем остовов (стеновой, каркасный, с неполным каркасом, каркасно-ядровый, ядрово-оболочковый и др.) в особых условиях сейсмической активности (7, 8 и 9 баллов) для зданий и сооружений, возводимых на многолетнемерзлых грунтах, проектирование оснований и различных типов фундаментов, как правило, осуществляется по принципу I (с сохранением грунтового основания в его многолетнемерзлом состоянии). Однако, в случае невозможности использования грунтов в качестве основания по принципу I, при соответствующем технико-экономическом обосновании допускается использование их по принципу II при обеспечении условия опирания фундаментов на скальные или другие малосжимаемые при оттаивании грунты или на предварительно оттаянные и уплотненные грунты.

При проектировании свайных фундаментов на многолетнемерзлых грунтах в условиях сейсмической активности, практикуется применение тех же видов различных конструкций свай, что и в несейсмических районах, за исключением конструкций свай без поперечного армирования. Отличительной и важной особенностью сейсмостойких и надежных свайных фундаментов в геокриологических условиях многолетней мерзлоты является условие, при котором глубина погружения (заделка или анкеровка лобовой части) свай в надежный грунт (исключая свайстойки) принимается не менее 4 м ( $l_{анк.} \geq 4м$ ).

Проектирование и расчет многолетнемерзлых грунтовых оснований и возводимых на них различных типов фундаментов, по несущей способности (I группа предельных состояний) и воспринимающих вертикальную нагрузку с учетом сейсмических воздействий, производится в соответствии с требованиями п. 7.2.1 [80]. При этом, расчет производится исходя из условия  $F \leq F_u / \gamma_n$ , где  $F$  – расчетная нагрузка на основание;  $F_u$  – несущая способность основания, определяемая расчетом (7.2.2) [80], а для оснований свайных фундаментов – дополнительно и по данным полевых испытаний свай (7.2.10) и статического зондирования (приложение Л);  $\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый в соответствии с требованиями СП 22.13330 [78], в зависимости от вида и уровня ответственности сооружения, а для оснований опор мостов – согласно СП 35.13330 [83]. 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 определяется в соответствии с требованиями п. 7.2.2 [80]. 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  $R$ , а также сопротивления мерзлого грунта под нижним концом  $R_c$  и по боковой поверхности смерзания  $R_{afc}$ , рассчитанные по данным статического зондирования, умножаются на коэффициент условий работы основания  $\gamma_{eq}$ , принимаемый по табл. 20.

Таблица 20

Значения коэффициента условий работы основания  $\gamma_{eq}$

Расчетная сейсмичность в баллах	Коэффициент условий работы $\gamma_{eq}$ для грунтов		
	тврдомерзлых	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 крупнооблочные грунты, значение коэффициента  $\gamma_{eq}$  принимается равным 1,0 ( $\gamma_{eq}=1,0$ )

При проектировании конструкций свай в пластично-мерзлых грунтах, значение расчетного сопротивления грунта или грунтового раствора сдвигу по поверхности смерзания с фундаментом  $R_{af}$  принимается равным нулю ( $R_{af}=0$ ) в пределах от верхней границы многолетнемерзлых грунтов до расчетной глубины  $h_d$ , м, определяемой по формуле (34):

$$h_d = 3/\alpha_\varepsilon, \quad (34)$$

где  $\alpha_\varepsilon$  – коэффициент деформации системы «свая-грунт»,  $m^{-1}$ , определяемый по результатам испытаний статической горизонтальной нагрузкой по формуле (35):

$$\alpha_\varepsilon = 1,34 \sqrt{\frac{F_h}{u_0 E_b I}}, \quad (35)$$

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 испытываемой 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 свай,  $m^4$ .

Проверочный расчет мерзлого грунтового основания под столбчатыми фундаментами на горизонтальную и внецентренно сжимающую нагрузку с учетом сейсмических воздействий при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве основания по принципу I производится на опрокидывание и сдвиг по подошве фундамента. При этом эксцентриситеты приложения равнодействующей всех нагрузок на уровне подошвы фундамента определяются с учетом смерзания грунта с боковой поверхностью нижней ступени фундамента по формулам (36) и (37):

$$e_a = (M_a - M_{af}) / F, \quad (36)$$

$$e_b = (M_b - M_{af}) / F, \quad (37)$$

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 (38):

$$M_{af} = \gamma_t \gamma_c R_{af} h_p ab, \quad (38)$$

где  $\gamma_t$  – температурный коэффициент, учитывающий изменения температуры грунтов основания из-за случайных изменений температуры наружного воздуха, определяется по указаниям приложения II [80];

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы основания, принимаемый по указаниям 7.2.4 [80];

$R_{af}$  – расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу, кПа, принимаемое по 7.2.3 [80].

В случае плоского нагружения фундамента, а следовательно, эксцентриситете нагрузки относительно одной из координационных осей фундамента равно нулю ( $e_a \neq 0$ , а  $e_b = 0$ ), тогда значение  $M_{af}$ , кН·м определяется по формуле (39):

$$M_{af} = \gamma_t \gamma_c R_{af} h_p a(b + 0,5a), \quad (39)$$

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

В случае нагружения фундамента вдоль цифровой и буквенной осей, а следовательно, эксцентриситете нагрузки относительно всех координационных осей фундамента с условием ( $e_a \neq 0$ , а  $e_b \neq 0$ ), тогда действие сейсмических нагрузок создают моменты сил в обоих направлениях подошвы фундамента, и расчет основания производится отдельно на действие сил и моментов в каждом направлении независимо друг от друга.

Проектирование и расчет многолетнемерзлых грунтовых оснований по принципу II (с предварительным оттаиванием мерзлого грунта) производится в соответствии с СП 22.13330 [78], СП 24.13330 [79] и п. 7.3.1–7.3.15 [80], 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.

#### ***3.2.4. Особенности проектирования оснований и фундаментов на склонах в районах распространения многолетнемерзлых грунтов***

С учетом особенностей пересеченного рельефа местности, расчет и проектирование оснований и фундаментов на склонах (откосах) в районах распространения многолетнемерзлых грунтов, выполняется по первой группе предельных состояний (по прочности и устойчивости), в соответствии с указаниями СП 22.13330 [78], с учетом снижения прочности мерзлых грунтов при увеличении температуры и длительности воздействия нагрузки, а также влияния геокриологических условий склонов местности. В таких особых условиях рассматривается термодинамическое равновесие системы «сооружение-основание-склон» с учетом нормативных документов по инженерно-геологическим изысканиям для строительства СП 47.13330 [85], а также комплекса геометрических, геодезических, геотехнических, физико-механических, литологических, геокриологических факторов и особенностей склоновых многолетнемерзлых грунтовых массивов, включая следующее.

1. Крутизна, высота, протяженность, ширина и экспозиция склона.
2. Условия проявления глубинных и солифлюкционных оползаний и нарушения растительного покрова, наледообразования, бугров пучения, термокарста, термоэрозии.
3. Мощность слоя и характер распространения многолетнемерзлых грунтов (сплошное, прерывистое, островное), наличие жильного и пластового льда, таликов, криопэгов.
4. Температура мерзлого грунта во времени по глубине и простиранию склона (изотермы) на стадии строительства, эксплуатации и ликвидации объектов.
5. Особенности природных криогенных форм рельефа (каменные глетчеры, курумы и др.), а также формирования техногенных форм (отвалы, карьеры, котлованы, выемки, насыпи и др.).
6. Геокриологические условия (текстура, влажность, льдистость физико-механические свойства мерзлых и оттаивающих грунтов), а также характер напластования пород.

7. Наличие сооружений на склонах, имеющиеся деформации сооружений, а также мероприятия по противооползневой защите.

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

В предпроектный период выполняется специализированный комплекс инженерно-геологических изысканий в соответствии с требованиями СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства» (Части I–IV) [74].

В отличие от талых грунтов, проектирование и расчет устойчивости склонов (откосов) и сооружений на них в районах распространения многолетнемерзлых грунтов осуществляется с учетом температурного состояния грунтового массива. При этом, в зависимости от температурного состояния грунтового массива, рассматриваются два основных типа криогенных оползней: 1 – мерзлые; 2 – оттаивающие. Вместе с тем следует отметить, что, существуют различные типы смешанных криогенных оползней. На основании выполнения прогнозных теплотехнических расчетов, инженерно-технического моделирования и схематизации природных условий, расчетного определения и построения круглоцилиндрических поверхностей скольжения в мерзлых породах, а также возможности возникновения и развития процессов солифлюкции, осуществляется прогноз устойчивости склонов и сооружений, возведенных и возводимых на их бровке, в основании склона и на склоновой части. Расчет местной и общей устойчивости системы «сооружение-основание-склон» производится методами, которые удовлетворяют условиям равновесия в предельном состоянии, с использованием специальных расчетных программных комплексов, разработанных на основе общепринятых «классических» методов расчета устойчивости грунтовых массивов. Практикуется применение методов расчета, результаты которых проверены опытом проектирования, строительства и эксплуатации. Все расчеты выполняются на основное и особое сочетание нагрузок.

В зависимости от того, какое литологическое наслоение, состав и строение массива многолетнемерзлого грунта расположено в зоне исследований и строительства, расчетная поверхность скольжения в массиве определяется с учетом однородности или неоднородности грунтов. Так в массиве мерзлых однородных грунтов поверхность скольжения определяется с учетом положения изотермы наиболее высокой отрицательной температуры грунта. А в массиве сложенном из неоднородных грунтов, поверхность скольжения определяется с учетом наименьших предельно-длительных значений сопротивления сдвигу мерзлого грунта. Для оттаивающего грунта (на солифлюкционных склонах и откосах), поверхность скольжения следует за границей оттаивания, которая практически параллельна поверхности склона. При этом, мощность оползающего слоя

равна глубине оттаивания и определяется при геокриологических изысканиях и уточняется теплотехническим расчетом. Кроме того, в расчетах по несущей способности оснований и при назначении противооползневых мероприятий, следует учитывать тот факт, что в теплое время календарного года в некоторых случаях одновременно могут развиваться процессы солифлюкции и глубинный оползень мерзлого грунта. Сила предельного сопротивления « $\tau$ » основания, сложенного дисперсными грунтами определяется, исходя из условия, что соотношение между нормальными и касательными напряжениями по всем поверхностям скольжения, соответствующее предельному состоянию основания, подчиняется зависимости (40):

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi + c, \quad (40)$$

где  $\varphi$  и  $c$  – расчетные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления. Для мерзлых грунтов определяются предельно-длительные значения угла внутреннего трения  $\varphi_L$  и удельного сцепления  $c_L$  при проведении испытаний на срез мерзлого грунта, для оттаивающих грунтов  $\varphi_{sh}$  и  $c_{sh}$  при проведении испытаний на неконсолидированный быстрый срез оттаивающего грунта по мерзлому слою.

Расчетные значения  $\varphi$  и  $c$  определяются по опытным данным. При проектировании и строительстве зданий и сооружений пониженного уровня ответственности и для предварительных расчетов устойчивости оснований, расчетные значения  $\varphi_L$ ,  $c_L$ ,  $\varphi_{sh}$  и  $c_{sh}$  принимаются по табл. В.13 и В.14 [80]. В соответствии с требованиями ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» [58], численные значения коэффициента надежности  $\gamma_n$  по ответственности сооружений принимаются равными:  $\gamma_n=1,2$ ;  $\gamma_n=0,95$  и  $\gamma_n=0,9$ , соответственно, для сооружений повышенного, нормального и пониженного уровней ответственности. Коэффициент условий работы  $\gamma_c$  принимается равным: для мерзлых дисперсных грунтов  $\gamma_c=1,0$ , а для оттаивающих грунтов  $\gamma_c=0,85$ .

С целью обеспечения требуемой прочности, надежности, устойчивости и длительной эксплуатационной пригодности зданий и сооружений, возводимых на склонах, сложенных многолетнемерзлыми грунтами, преимущественно применяется принцип I (с сохранением грунта в основании зданий или сооружений в их мерзлом состоянии) использования многолетнемерзлых грунтов, при соблюдении обязательного условия, что в течение всего периода эксплуатации будет обеспечена отрицательная температура, требуемая по расчету устойчивости склона и несущей способности оснований. В случаях применения принципа II (с предварительным оттаиванием мерзлого грунта в основании) использования многолетнемерзлых грунтов при строительстве на склонах, проектирование и возведение объектов осуществляется с учетом требований пп. 6.1.3, 6.1.4

и 6.1.6 [80]. При использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I выполняется прогноз температурного режима и, в случае необходимости, специальные мероприятия по обеспечению проектной температуры мерзлого грунта и обеспечивается контроль температуры в течение всего периода эксплуатации. С целью сохранения и понижения температуры мерзлых грунтов, практикуется применение различных инженерно-технических мероприятий, включая агролесомелиорацию, устройство теплозащитных экранов, водоотвод, водопонижение и др. Многолетнемерзлые грунты на склонах и присклоновой территории используются по одному из двух принципов, только I-ому принципу или только II-ому принципу. В соответствии с современными требованиями при проектировании и строительстве объектов различного назначения на склонах требуется 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, такими как термокарст, пучение, наледеобразование и др. Если предполагаемое строительство зданий или сооружений расположено в условиях Крайнего Севера на многолетнемерзлом грунтовом основании на склонах скальных и полускальных пород, то расчеты устойчивости и проектирования фундаментов выполняются в соответствии с требованиями СП 22.13330.2011 [78]. Принимая во внимание особенность природно-климатических условий Крайнего севера и пересеченность рельефа склонового участка строительной площадки, инженерная подготовка территории должна осуществляться в соответствии с комплексом требований, изложенных в п. 6.5 [80]. С учетом особенностей распространения и литологического строения многолетнемерзлых дисперсных грунтов основания на склонах и в присклоновой территории, в качестве конструктивных типов фундаментов зданий и сооружений, возводимых на склонах в условиях Крайнего Севера, практикуется применение отдельно стоящих столбчатых фундаментов, свай и рядов свай, которые должны прорезать 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. Требуемая прочность и устойчивость откосов и склоновых участков, сложенных многолетнемерзлыми дисперсными грунтами на склонах и присклоновой территории, обеспечивается при помощи комплекса специальных инженерно-технических и технологических мероприятий с возведением инженерных сооружений. Так в качестве инженерных сооружений, противодействующих оползанию мерзлых и оттаивающих грунтов, практикуется применение традиционных сооружений, включая контрфорсы, контрбанкеты, подпорные стены, ряды свай, которые проектируются в соответствии с требованиями,

изложенным в СП 116.13330.2012 [90]. При этом, расположение свай и конструктивных элементов 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.

Для стабилизации склонов и обеспечения их устойчивости на весь период эксплуатации при практической невозможности сохранения температуры грунта в его многолетнемерзлом состоянии, необходимой по расчету несущей способности основания, а также в случаях недостаточной эффективности других инженерно-криогенных мероприятий, практикуется применение сезонно действующих охлаждающих устройств (СОУ), перечень которых приведен в табл. 8 пособия. В тех случаях, когда проектирование и строительство линейных сооружений (линий электропередачи, трубопроводов, эстакад) осуществляется на пересеченной местности с распространением солифлюкционных мерзлых грунтов на склонах, то в качестве оснований таких сооружений, применяются конструкции обтекаемых фундаментов. К конструктивным типам обтекаемых фундаментов относятся свайные 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). Основные расчетно-теоретические параметры для проектирования обтекаемых типов конструкций свайных фундаментов, таких как: количество свай, геометрические размеры (длина, размеры поперечного сечения свай), глубина заделки свай в мерзлый грунт определяются расчетом с учетом оползневого давления оттаивающего грунта, горизонтальных нагрузок от сооружения, температуры и прочностных свойств мерзлого грунта. С точки зрения оптимально-рациональной организации строительно-монтажных работ (СМР) на склонах в условиях мерзлоты, рекомендуется все СМР выполнять в зимний период, когда грунт находится в его мерзлом состоянии. Однако выполнение СМР на склонах допускается и в теплое время календарного года, но только после выполнения работ по стабилизации склона и обязательного проведения теплотехнического прогноза и расчетов общей и местной устойчивости склонов и сооружений на них.

Важным и необходимым условием современного проектирования объектов в условиях Крайнего Севера и многолетнемерзлых грунтов является обеспечение надежной инженерной защиты и охраны окружающей среды. Поэтому в составе проектов в обязательном порядке предусматривается специальный раздел, посвященный мероприятиям по инженерной защите и охране окружающей среды (ИЗиООС). Комплекс мероприятий по ИЗиООС проектируется с учетом геокриологических условий и прогноза их изменения в процессе строительства (с учетом поэтап-

ности) и эксплуатации объектов. Вместе с тем, реализация проектных решений и фактическое осуществление комплекса мероприятий инженерной защиты не должно приводить к активизации опасных криогенных процессов на склонах и примыкающих территориях. Инженерно-техническая и технологическая эффективность и надежность сооружений и мероприятий инженерной защиты, предусмотренные проектом должны подтверждаться соответствующими расчетами, а в обоснованных случаях – моделированием (натурным, физическим, математическим). При комплексном подходе к вопросам обеспечения надежной и гарантированной стабилизации склонов, наряду с инженерными сооружениями в проектах предусматриваются и на строительных площадках реализуются (применяются) мероприятия, включая снижение температуры мерзлых грунтов и уменьшение глубины сезонного оттаивания (агролесомелиорация, устройство теплозащитных экранов, водоотвод); упрочнение грунта (замена и армирование) с учетом требований, изложенных в [80]. Важным условием с точки зрения обеспечения надежной инженерной защиты является правильная организация вертикальной планировки (организация рельефа) участка строительства и квалифицированные решения по обеспечению картограммы земляных работ (балансу земляных масс). Поэтому на склонах должен быть организован беспрепятственный сток поверхностных вод, исключено застаивание вод на бессточных участках, и попадание на склон вод с присклоновой территории.

В соответствии с требованиями, изложенными в разделе 15 [80], в процессе строительства, эксплуатации и ликвидации сооружений на склонах и присклоновой территории, в условиях мерзлоты, в обязательном порядке должен выполняться геодезический инструментальный мониторинг устойчивости склонов и сооружений по разработанному проекту. В проекте инструментального мониторинга предусматривается комплекс глубинных и поверхностных марок и тензометрических датчиков, которые позволяют наблюдать и контролировать в постоянном режиме все поверхностные и глубинные перемещения грунта и изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива склона с сохранением информации в памяти компьютера. Кроме того, зданий и сооружений, классифицируемые как объекты I-ой и II-ой степени ответственности, организовываются стационарные наблюдения за оползневыми процессами с установкой контрольно-измерительной аппаратуры в скважинах в нескольких створах по простиранию склона и выполняются инструментальные наблюдения за осадками и смещениями по глубине массива склона и его основания.

### 3.3. Расчет оснований и фундаментов в условиях многолетнемерзлых грунтов по I-ой группе предельных состояний

#### 3.3.1. Расчет оснований и фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I

Расчет оснований фундаментов по первой группе предельных состояний (по несущей способности), при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I, производится исходя из условия (41):

$$F \leq F_u / \gamma_n, \quad (41)$$

где  $F$  – расчетная нагрузка на основание;

$F_u$  – несущая способность основания, определяемая расчетом по формуле (42), а для оснований свайных фундаментов – дополнительно и по данным полевых испытаний свай и статического зондирования (приложение 5);

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый в соответствии с требованиями СП 22.13330 [78] в зависимости от вида и уровня ответственности сооружения, а для оснований опор мостов – согласно СП 35.13330 [83].

Несущая способность основания  $F_u$ , кН, вертикально нагруженной вишечей сваи или столбчатого фундамента определяется по формуле (42):

$$F_u = \gamma_t \gamma_c (RA + \sum_{i=1}^n R_{af,i} A_{af,i}), \quad (42)$$

где  $\gamma_t$  – температурный коэффициент, учитывающий изменения температуры грунтов основания из-за случайных изменений температуры наружного воздуха, определяется по указаниям приложения 8;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы основания, табл. 21.

Таблица 21

Виды фундаментов и способы их устройства	Коэффициент $\gamma_c$
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

$R$  – расчетное сопротивление мерзлого грунта под нижним концом сваи или под подошвой столбчатого фундамента,  $кПа$  определяется по формуле (43):

$$R=5,7c_n/\gamma_g + \gamma_1 d, \quad (43)$$

$A$  – 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 [80];

$A_{af,i}$  – 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.

Здесь необходимо отметить, что при расчете несущей способности основания столбчатого фундамента силы смерзания грунта, определяемые вторым слагаемым формулы (42), учитываются только при условии выполнения обратной засыпки пазух котлована влажным грунтом, что должно быть отмечено в проекте. В случаях, когда слой сезонного промерзания–оттаивания не сливается с многолетнемерзлым грунтом, несущая способность свай в пределах немерзлого слоя грунта определяется по СП 24.13330 [79]. При этом предусматриваются 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 [52; 79], принимаются с понижающими коэффициентами, соответственно: 0,8 – для глинистых грунтов; 0,9 – для песчаных водонасыщенных грунтов; для других грунтов понижающие коэффициенты определяют по опытным данным;

$c_n$  – 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. Нормативное значение  $c_n$  принимается согласно указаниям приложения Л [80];

$\gamma_1$  – расчетное значение удельного веса грунта,  $кН/м^3$ ;

$d$  – глубина заложения фундамента,  $м$ ;

$\gamma_g$  – коэффициент надежности по грунту.

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 [44], с учетом коэффициента надежности по грунту  $\gamma_g$ .

Численные значения коэффициента надежности по грунту  $\gamma_g$  устанавливаются в соответствии с ГОСТ 20522 [50] с учетом вида (назначения), определяемой расчетной характеристикой, состояния грунтов в основании сооружения и доверительной вероятности  $\alpha$ . При определении расчетных значений деформационных и прочностных характеристик грунтов, используемых в качестве основания в мерзлом состоянии (принцип I), коэффициент надежности по грунту  $\gamma_g$  устанавливается при доверительной вероятности  $\alpha$ , 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  $\gamma_g$  устанавливается:

а) для расчета оттаивающих оснований по деформациям с учетом совместной работы сооружения (фундаментов) и деформируемого основания исходя из условия (44) – при доверительной вероятности  $\alpha$ , принимаемой в соответствии с нормами проектирования конструкций сооружения, но не менее 0,95;

$$F_f \leq \frac{F_{fd}}{\gamma_c \gamma_n}, \quad (44)$$

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;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы системы «основание-сооружение», принимаемый равным 1,25;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый равным 1,2, 0,95 и 0,9, соответственно, для сооружений повышенного, нормального и пониженного уровней ответственности;

б) для расчета оттаивающих оснований по деформациям без учета совместной работы основания и сооружения исходя из условия  $S \leq S_u$  (где  $S$  – осадка основания фундаментов или 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 [78], а для мостов – СП 35.13330 [83], а также при предвари-

тельном оттаивании или замене льдистых грунтов до глубины  $h_{b,th}$  для уменьшения деформаций основания, а также в случаях, когда слой сезонного промерзания-оттаивания не сливается с многолетнемерзлым грунтом, когда осадка основания  $S$  определяется по формуле  $S=S_{p,th}+S_{ad}$  (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 [78];  $S_{ad}$  – дополнительная осадка основания при оттаивании многолетнемерзлых грунтов в процессе эксплуатации сооружения, определяемая по формуле (7.20) [80] для интервала глубин  $d_{th}-h_{b,th}$ , здесь  $d_{th}$  – расчетная глубина оттаивания грунта, считая от уровня планировки под зданием, устанавливаемая теплотехническим расчетом по приложению К [80];  $h_{b,th}$  – глубина предварительного оттаивания или замены грунтов основания, устанавливаемая исходя из условия  $S_{p,th} + S_{ad} \leq S_u$  – при доверительной вероятности  $\alpha$ , принимаемой согласно СП 22.13330 [78].

Численное значение коэффициента надежности по грунту  $\gamma_g$  при определении расчетных значений физических и теплофизических характеристик грунтов, принимается равным единице ( $\gamma_g = 1$ ).

В соответствии с п. 7.2.6. [80], 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 грунтовых оснований по несущей способности и деформациям расчетные температуры грунтов  $T_m$ ,  $T_z$  и  $T_e$  принимаются 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;

$T_z$  – максимальной в годовом периоде средней по глубине заложения фундамента  $Z_d$  температуре многолетнемерзлого грунта в установившемся эксплуатационном режиме (эквивалентная температура грунта);

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

Расчетные значения температуры грунтов  $T_m$ ,  $T_z$  и  $T_e$  при проектировании грунтовых оснований свайных, столбчатых и других видов фундаментов сооружений с холодным (вентилируемым) подпольем, а также опор трубопроводов, линий электропередачи, антенно-мачтовых сооружений, за исключением грунтовых оснований опор мостов, определяются по формулам (45), (46), (47) и (48), том числе:

– для оснований сооружений с холодным подпольем под серединой сооружения

$$T_{m,z,e} = (T_0^I - T_{bf}) \alpha_{m,z,e} + (T_0 - T_0^I) k_1 + T_{bf}; \quad (45)$$

под краем сооружения

$$T_{m,z,e} = (T_0^I - T_{bf}) \alpha_{m,z,e} + (T_0 - T_0^I) (0,5\alpha_{m,z,e} + k_2) + T_{bf}; \quad (46)$$

под углами сооружения

$$T_{m,z,e} = (T_0^I - T_{bf}) \alpha_{m,z,e} + (T_0 - T_0^I) (0,75\alpha_{m,z,e} + k_3) + T_{bf}; \quad (47)$$

– для опор линий электропередачи, антенно-мачтовых сооружений и трубопроводов

$$T_{m,z,e} = (T_0^I - T_{bf}) \alpha_{m,z,e} + k_{ts} + T_{bf}, \quad (48)$$

где  $T_0^I$  – расчетная среднегодовая температура на верхней поверхности многолетнемерзлого грунта в основании сооружения, °С, определяемая согласно приложению Д [80];

$T_{bf}$  – температура начала замерзания грунта, °С, определяемая согласно приложению Б [80];

$T_0$  – расчетная среднегодовая температура грунта, °С, определяемая согласно приложению Г [80];

$\alpha_m$ ,  $\alpha_z$  и  $\alpha_e$  – коэффициенты сезонного изменения температуры грунтов основания, принимаемых по табл. 7.3 [80] в зависимости от значения параметра  $z \sqrt{c_f / \lambda_f}$ ,  $c^{0,5}$  ( $\psi^{0,5}$ ), где  $z$  – глубина от кровли многолетнемерзлого грунта, м;

$C_f$  – объемная теплоемкость, Дж/(м<sup>3</sup>·°С), определяемая согласно приложению Б [80];

$\lambda_f$  – теплопроводность мерзлого грунта, Вт/(м·°С), определяемая согласно приложению Б [80];

$k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$  – коэффициенты теплового влияния сооружения, принимаемые по табл. 7.4 [80] 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 табл. 7.5 [80] в зависимости от вида и глубины заложения фундаментов  $z$ , м.

Для случаев установления несущей способности грунтового основания  $F_u$  при помощи погружения одиночной сваи, по результатам полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой, расчет производится по формуле (49):

$$F_u = \gamma_t k \frac{F_{u,n}}{\gamma_g}, \quad (49)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий различие в условиях работы опытной и проектируемых свай и определяемый по формуле (50):

$$k = F_{u,p} / F_{u,t}, \quad (50)$$

где  $F_{u,p}$  и  $F_{u,t}$  – значение несущей способности, соответственно, проектируемой и опытной свай, рассчитанные по формуле (42) по значениям  $R$  и  $R_{af}$ , принимаемым по таблицам приложения В [80]: для проектируемой сваи – при расчетных температурах грунта, устанавливаемых согласно указаниям 7.2.3 и 7.2.6 [80], а для опытной сваи – при температурах, измеренных при испытании;

$F_{u,p}$  – нормативное значение предельно длительного сопротивления основания опытной сваи статической нагрузке, определяемое по данным испытания сваи;

$\gamma_g$  – коэффициент надежности по грунту, принимаемый  $\gamma_g = 1,1$ .

В зависимости от сложности инженерно-геокриологических условий, расчетных нагрузок, передаваемых на грунт основания и числа типоразмеров свай, при проведении натурных испытаний, число испытаний грунтов сваями устанавливается проектом. Поэтому, для сложных инженерно-геокриологических условий и сооружений повышенного уровня ответственности при проектировании, практикуется проведение полевых испытаний грунтов сваями на предпроектной стадии, во время выполнения инженерно-геологических изысканий. В отечественной практике исследований и изысканий многолетнемерзлых грунтов, для стадии инженерно-геологических изысканий, определение несущей способности грунтов сваями проводится при помощи:

а) эталонной сваи

– вдавливающей нагрузкой – не менее шести испытаний для каждого характерного геологического разреза;

– выдергивающей и горизонтальной (при значительных выдергивающих нагрузках и наличии сильнопучинистых грунтов, а также в сейсмических районах и наличии значительных горизонтальных нагрузок) не менее двух испытаний;

б) натурной сваи

– вдавливающей нагрузкой – не менее двух испытаний для каждого характерного геологического разреза;

– выдергивающей и горизонтальной – не менее одного испытания.

Перед массовой забивкой или погружением вдавливанием свай, с целью проверки соответствия несущей способности грунтов расчетным нагрузкам, установленным в проекте свайного фундамента, проводятся контрольные испытания устроенных свай. В зависимости от общего числа свай в свайном поле проектного фундамента, технологии погружения и вида приложения внешней нагрузки, контрольное число подлежащих испытанию однотипных свай принимается в соотношении:

– для вдавливающей нагрузки: до 200 свай – два испытания; 200–1000 свай – 1% из общего числа свай; более 1000 свай – 0,5% от общего числа свай, но не менее десяти испытаний;

– для выдергивающей и горизонтальной нагрузки: до 2000 свай – два испытания; более 2000 свай – 0,1% от общего числа свай.

На основе эмпирических или полуэмпирических зависимостей (таблиц), устанавливаемых в результате корреляционно-регрессионного анализа данных параллельных испытаний грунтов прямыми методами и методом статического зондирования, выполняется количественная оценка характеристик механических свойств и устанавливается несущая способность грунтовых оснований свай в многолетнемерзлых грунтах по данным статического зондирования, в соответствии с указаниями приложения 5. При приложении к столбчатому свайному фундаменту внешних сжимающих нагрузок (вертикальных, горизонтальных, моментов), вызывающих внецентренное их нагружение, несущая способность грунта основания, определяется в соответствии с требованиями СП 22.13330 [78]. Эксцентриситеты « $e_a$ » и « $e_b$ » приложения равнодействующей всех нагрузок на уровне подошвы фундамента определяются с учетом смерзания грунта с боковой поверхностью нижней ступени фундамента по формулам (51) и (52):

$$e_a = (M_a - M_{af}) / F; \quad (51)$$

$$e_b = (M_b - M_{af}) / F, \quad (52)$$

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 (53):

$$M_{af} = \gamma_t \gamma_c R_{af} h_p ab, \quad (53)$$

где  $\gamma_t$  – температурный коэффициент, учитывающий изменения температуры грунтов основания из-за случайных изменений температуры наружного воздуха, определяется по указаниям приложения П [80];

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы основания, принимаемый по указаниям 7.2.4 [80];

$R_{af}$  – расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу,  $кПа$ , принимаемое по 7.2.3 [80].

При эксцентриситете нагрузки относительно одной оси фундамента ( $e_b=0$ ) допускается  $M_{af}$ ,  $кН·м$  определять по формуле (54):

$$M_{af} = \gamma_t \gamma_c R_{af} h_p a (b+0,5a), \quad (54)$$

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

При расчете свайных фундаментов на действие горизонтальных нагрузок (сил и/или моментов) и воздействий (температурного расширения ростверка и пр.) производится с учетом инженерно-геокриологических условий из условия совместной работы свай и грунтового основания с использованием апробированных геотехнических программ. Расчетная схема принимается в соответствии с требованиями п. 7.1.2 СП 24.13330 [79]. При расчете фундаментов, воспринимающих значительные горизонтальные усилия, выполняется проверка на плоский сдвиг в соответствии с требованиями СП 22.13330 [78].

### 3.3.2. Расчет несущей способности свай-стоек при оттаивании массива грунта

При наличии в массиве оттаявшего грунта скальных или других малосжимаемых пород грунтов, как правило, проектируются свайные фундаменты со сваями-стойками. Несущая способность  $F$  свай-стоек, опирающихся их лобовой частью на скальные или другие малосжимаемые породы, при оттаивании массива грунта, определяется по условию (55):

$$F \leq \frac{F_u}{\gamma_k} - \gamma_p F_{neg}, \quad (55)$$

где  $F$  – расчетная нагрузка на сваю, кН;

$F_u$  – несущая способность основания сваи-стойки, кН, определяемая по формуле (56) для защемленных свай-стоек, заделанных в невыветрелый скальный (без слабых прослоек) грунт не менее, чем на 0,5 м

$$F_u = (R_{c,n} A / \gamma_g) (1+0,4 l_d / l); \quad (56)$$

– для незащемленных свай-стоек  $F_u$  определяется по формуле (57):

$$F_u = \frac{R_{c,n} A}{\gamma_g}, \quad (57)$$

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<sup>2</sup>, принимаемая для не защемленных 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;

$\gamma_g$  – коэффициент надежности по грунту, принимаемый: для не защемленных 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;

$1+0,4(l_d/d_r)$  – значение фактора заглубления, принимаемое не более 3;

$\gamma_k$  – коэффициент надежности, принимаемый в соответствии с указаниями СП 24.13330 [79] в зависимости от вида сооружения, конструкции фундаментов и принятого способа определения несущей способности свай;

$\gamma_p$  – 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:  $\gamma_p = 1,1$  – для забивных и бурозабивных;  $\gamma_p = 1$  – для буронабивных и буроопускных свай с цементно-песчаным заполнителем пазух и  $\gamma_p = 0,9$  – для буроопускных свай с пылевато-глинистым заполнителем пазух;

$F_{neg}$  – отрицательная (негативная) сила трения, кН оттаивающего грунта по боковой поверхности сваи, определяемая по формуле (58):

$$F_{neg} = u_p \sum_{i=1}^n f_{n,i} h_i, \quad (58)$$

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 [79];

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя оттаивающего грунта;

Для окончательных расчетов оснований сооружений, а также оснований, сложенных выветрелыми, размягчаемыми, со слабыми прослойками скальными грунтами, несущая способность  $F$  сваи-стойки принимается по результатам испытаний свай статической нагрузкой в полевых условиях.

### **3.3.3. Расчет оснований и фундаментов по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения**

Проектирование и расчет мерзлых грунтов оснований и различных типов фундаментов по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения грунтов при их замерзании производится для различных условий и периодов во времени, включая период строительства, если до передачи на фундаменты проектных нагрузок возможно промерзание грунтов слоя сезонного оттаивания (промерзания), при несливающейся мерзлоте – талого слоя со стороны многолетнемерзлых грунтов; условий эксплуатации здания или сооружения. В связи с этим в проекте предусматривается комплекс инженерно-технологических мероприятий по предотвращению выпучивания фундаментов в период строительства. С целью снижения касательных сил морозного пучения боковая поверхность свай и фундаментов в слое сезонного промерзания-оттаивания по-

крывается противопучинистыми смазками, устойчивыми к механическому воздействию со стороны выпучивающегося массива грунта. При проектировании буроопускных свай пазухи полостей скважин, в слое сезонного промерзания-оттаивания, заполняются непучинистым материалом (сухой песок, шлак, щебень и др.).

Проверочный расчет устойчивости фундаментов на действие касательных сил морозного пучения грунтов производится по условию (59):

$$\tau_{fh} A_{fh} - F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} F_r, \quad (59)$$

где  $\tau_{fh}$  – расчетная удельная касательная сила морозного пучения,  $\kappa\text{Па}$  определяется опытным путем по результатам полевых или лабораторных испытаний, а для зданий и сооружений II и III уровней ответственности значения  $\tau_{fh}$  принимать по табл. 22 в зависимости от состава, влажности и глубины сезонного промерзания и оттаивания грунтов  $d_{th}$ .

Таблица 22

Грунты и степень водонасыщения	Значения $\tau_{fh}$ , $\kappa\text{Па}$ при глубине сезонного промерзания-оттаивания $d_{th}$ , 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 $0,25 < I_L \leq 0,5$ , пески мелкие и пылеватые при $0,8 < S_r \leq 0,95$ , крупнообломочные с заполнителем (глинистым, мелкопесчаным и пылеватым) свыше 30%	100	90	70
Глинистые при $I_L \leq 0,25$ , пески мелкие и пылеватые при $0,6 < S_r \leq 0,8$ , а также крупнообломочные с заполнителем (глинистым, мелкопесчаным и пылеватым) от 10 до 30%	80	70	50
<p><i>Примечания</i></p> <p>1. Приведенные в таблице значения <math>\tau_{fh}</math> относятся к поверхности бетонного фундамента. Для фундаментов из других материалов табличные значения <math>\tau_{fh}</math> должны умножаться на коэффициент <math>\tau_{af}</math>, значения которого даны в приложении В [80].</p> <p>2. Для поверхностей фундаментов, покрытых специальными составами, уменьшающими силы смерзания, а также при применении других противопучинных мероприятий, значение <math>\tau_{fh}</math> следует принимать на основании опытных данных, полученных в полевых или лабораторных условиях</p>			

Касательные силы морозного пучения, действующие на сваю или фундамент по результатам лабораторных испытаний, определяются следующим образом.

1. В конце зимнего периода строятся графики изменения температуры грунта по глубине до границы фазовых переходов (глубины промерзания грунта  $d_f$ ). Значения температуры грунта определяют на площадке

строительства. Иногда температуру грунта по глубине определяют расчетным путем, в том числе численными методами.

2. График температуры разбивается на три участка: первый участок – от глубины промерзания грунта до глубины, на которой зафиксирована температура минус  $1^{\circ}\text{C}$ ; второй участок – от глубины, на которой зафиксирована температура минус  $1^{\circ}\text{C}$ , до глубины, на которой зафиксирована температура минус  $2^{\circ}\text{C}$ ; третий участок – от глубины, на которой зафиксирована температура минус  $2^{\circ}\text{C}$ , до поверхности грунта (рис. 32).

3. Касательная сила морозного пучения  $\tau_{fh}$ ,  $\text{кН}$  будет равна сумме произведений удельной касательной силы морозного пучения, полученной в лабораторных условиях для разных температур (минус  $1^{\circ}\text{C}$ , минус  $2^{\circ}\text{C}$ , минус  $6^{\circ}\text{C}$ ), и площади боковой поверхности фундамента,  $F_f$ , где температура грунта соответствует указанным выше значениям. Площадь боковой поверхности фундамента,  $F_f$  определяется по формуле (60):

$$F_f = \tau_{fh1} A_1 + \tau_{fh2} A_2 + \tau_{fh3} A_3, \quad (60)$$

где  $\tau_{fh1}$ ,  $\tau_{fh2}$ ,  $\tau_{fh3}$  – удельные касательные силы пучения,  $\text{кПа}$ , определяемые для следующих температур, соответственно, минус  $1^{\circ}\text{C}$ , минус  $2^{\circ}\text{C}$  и минус  $6^{\circ}\text{C}$ ;

$A_1$ ,  $A_2$ , – площади боковой поверхности фундамента для трех участков согласно данному перечислению;

$F_f$  – расчетное значение силы удерживающей фундамента от выпучивания,  $\text{кН}$ , определяемое по формулам (61) и (62):

– при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I

$$F_f = u \sum_{i=1}^n R_{af,i} h_i; \quad (61)$$

– при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II:

$$F_f = u \sum_{i=1}^n f_i h_i, \quad (62)$$

где  $U$  – периметр сечения поверхности сдвига,  $\text{м}$ , 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,  $\text{кПа}$ , принимаемое по испытаниям и таблицам приложения В [80];

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

$f_i$  – расчетное сопротивление  $i$ -го слоя талого грунта сдвигу по поверхности фундамента,  $\text{кПа}$ , принимаемое в соответствии с требованиями СП 24.13330 [79].

Схемы действия сил пучивания мерзлого грунта на фундамент мелко-го заложении (ФМЗ) и свайный фундамент (СФ) приведены на рис. 48.

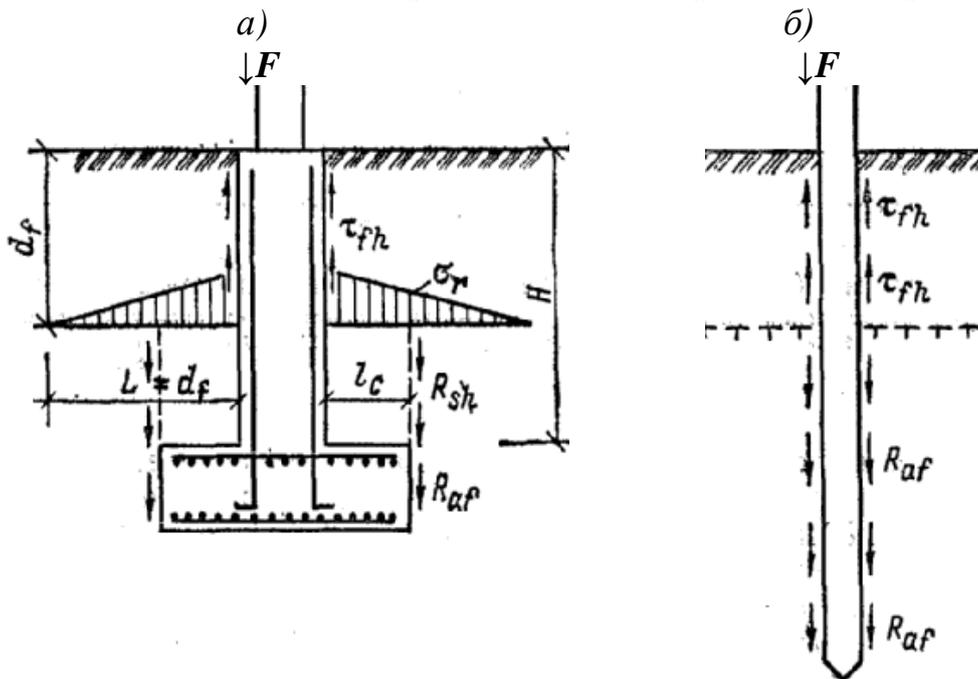


Рис. 48. Схемы действия сил при выпучивании мерзлого грунта (а) и свайного фундамента СФ (б): а – сваи; б – отдельного фундамента с анкером

Разрывающее усиление  $F_{fh}$ , кН заанкеренного столбчатого фундамента устанавливается проверочным расчетом на отрыв силами морозного пучения стойки фундамента от плитной части по формуле (63):

$$F_{fh} = \tau_{fh} A_{fh} - F, \quad (63)$$

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

При проектировании поверхностных, малозаглубленных фундамен-тов и свайных ростверков, закладываемых в слое сезонного промерзания-оттаивания грунтов, производится расчет по устойчивости на действие нормальных сил морозного пучения  $p_{fh}$  и по деформациям. При этом, ус-тойчивость фундаментов на действие нормальных сил морозного пуче-ния проверяется по формуле (64):

$$p_{fh} A_f \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} F, \quad (64)$$

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

$A_f$  – площадь подошвы фундамента и ростверка,  $m^2$ .

Остальные обозначения те же, что в формуле (60).

### 3.3.4. Расчет оснований и фундаментов на сильнольдистых многолетнемерзлых грунтах и подземных льдах по несущей способности

Строительные площадки, в пределах которых распространены сильнольдистые многолетнемерзлые грунты и подземные льды, представляют серьезные проблемы для строителей и в связи с этим учеными и специалистами выработаны и внедряется целый ряд особенностей при проектировании и строительстве. Так при проектировании многолетнемерзлых грунтовых оснований и фундаментов, возводимых на сильно льдистых многолетнемерзлых грунтах и подземных льдах, предусматривается использование таких грунтов в качестве основания по принципу I (с сохранением грунта в его многолетнемерзлом состоянии). Кроме того, в обоснованных расчетом и накопленным опытом случаях, сильно льдистые грунты используются в качестве основания по принципу II (с предварительным оттаиванием). В этом случае проектом обязательно предусматриваются специальные инженерно-технические и технологические мероприятия по их предварительному оттаиванию или замене льдистых грунтов на непросадочные на расчетную глубину согласно 6.1.6 и 7.3.10 [80]. С целью предотвращения формирования и развития деформаций поверхности планировки у зданий и сооружений, а также исключения развития явления термокарста, вследствие оттаивания подземных льдов или сильно льдистых грунтов, залегающих на небольшой глубине от поверхности, в проектах предусматриваются мероприятия по устройству 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 определяется по формуле (65):

$$h_s = d_{ths,n} \left( 1,2 - \frac{d'_{th}}{d_{th,n}} \right), \quad (65)$$

где  $d_{th,n}$  и  $d_{ths,n}$  – нормативные глубины сезонного оттаивания, соответственно, природного грунта и грунта подсыпки, м, определяемые согласно приложению Г [80];

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

Следует отметить, что при проектировании зданий или сооружений на искусственных основаниях (насыпях или подсыпках) предусматриваются, как правило, столбчатые, ленточные, плитные, с вентилируемыми

каналами и др. фундаменты мелкого заложения (ФМЗ). Такие фундаменты размещаются в пределах высоты подсыпки. 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 [80].

Обратная засыпка котлованов под фундаменты производится талым (непучинистым при промерзании) грунтом. При льдистости грунтов основания  $i > 0,2$  под подошвой фундаментов устраивается песчаная подушка толщиной не менее  $0,2$  м.

Высота (толщина) подсыпки определяется по результатам теплотехнического расчета с учетом дополнительных мероприятий по сохранению мерзлого состояния грунтов оснований, предусмотренных 6.3.3 и 6.3.13 [80]. Подсыпка устраивается из непучинистого песчаного или крупнообломочного грунта, которая укладывается после промерзания сезоннооттаивающего слоя. При соответствующем технико-экономическом обосновании (ТЭО), для устройства подсыпок применяются шлаки или другие отходы производства. Применимость таких подсыпок регламентируется условиями, при которых их осадки под нагрузками от зданий или сооружений не превышали расчетных, и если они не подвержены морозному пучению и разрушению, растворению и размоканию. При устройстве фундаментов на подсыпках грунтовые основания и фундаменты рассчитываются по несущей способности (по первой группе предельных состояний) и деформациям (по второй группе предельных состояний) в соответствии с требованиями СП 22.13330 [78], и с учетом результатов прогнозных теплотехнических расчетов. Если в проекте не предусматриваются мероприятия по укреплению грунтовых откосов подсыпки, то расстояние от цоколя сооружения до бровки откоса подсыпки принимается расстояние не менее  $3$  м, а крутизна откосов подсыпки принимается не более  $1:1,5$  для крупнообломочных грунтов,  $1:1,75$  – для песков и  $1:2$  – для прочих материалов.

В тех случаях, когда конструкции столбчатых или ленточных фундаментов устанавливаются на многолетнемерзлые грунты, которые содержат подземные льды, то между их подошвой ( $FL$ ) и кровлей слоя подземного льда, предусматривается прослойка природного грунта, искусственно уложенная с уплотнением грунтовая подушка и (или) несущий теплозащитный экран. При этом толщина прослойки (подушки)  $h_i$  принимается исходя из расчета основания по деформации, но не менее четверти ширины подошвы фундамента  $0,25b_f$  ( $h_i \geq 0,25b_f$ ). Параметры теплозащитного экрана определяются теплотехническим расчетом с учетом теплопередачи от здания к грунту основания по фундаменту.

Если на участках с сильнольдистыми грунтами и подземными льдами проектом предусматриваются свайные фундаменты, то предпочтение

отдается буроопускным сваям с заливкой полостей между боковой поверхностью сваи и поверхностью скважины известково-песчаным или цементно-песчаным растворами. Для исключения взаимовлияния между сваями, расстояние между ними в осях назначается не менее двух диаметров скважины. Конструкции сборных железобетонных буроопускных свай своей лобовой частью не должны опираться на прослойки льда. Под торцом свай устраивается уплотненная грунтовая подушка толщиной не менее диаметра сваи. При этом, оттаивание грунта вокруг сваи и под ее нижним торцом не допускаются.

Расчет оснований и фундаментов на сильнольдистых многолетнемерзлых грунтах и подземных льдах по несущей способности проводится с учетом изменения температур в течение всего периода эксплуатации зданий или сооружений в условиях Крайнего Севера.

При проектировании столбчатых фундаментов (ФМЗ) на сильнольдистых грунтах и подземных льдах, сила предельного сопротивления (несущая способность) основания столбчатого фундамента определяется по (20) данного издания, при этом значения  $R$  и  $R_{af}$  принимаются по табл. В.2 и В.3 [80].

Расчет и проектирование свайных фундаментов на площадках с распространением сильно льдистых грунтов и подземных льдов выполняется, как правило, по данным полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой и с учетом наименьшего расчетного значения несущей способности сваи  $F_U$  в соответствии пп. 7.2.2 и 7.2.3 [80]. Наиболее достоверное значение несущей способности основания свайного фундамента  $F_U$  в сильно льдистых грунтах определяется по данным полевых испытаний свай. Расчетное значение несущей способности сваи определяется в соответствии с требованиями пп. 7.2.2 и 7.2.3 [80] по наименьшему расчетному значению  $F_U$ , полученному по условиям ее сопротивления сдвигу по грунтовому раствору и сдвигу грунтового раствора по контакту с льдистым грунтом. Наименьшее расчетное значение  $F_U$ , кН определяется по формуле (66):

$$F_U = \gamma_t \gamma_c \left\{ R A_w + \sum_{j=1}^n [(1 - i_{i,j}) R_{sh,j} + i_{i,j} R_{sh,i,j}] A_{sh,j} \right\}, \quad (66)$$

где  $\gamma_t$  – температурный коэффициент, учитывающий изменения температуры грунтов основания из-за случайных изменений температуры наружного воздуха, определяется по указаниям приложения 8;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы основания, принимаемый по табл. 21;

$R$  – расчетное сопротивление сильно льдистого грунта или льда под нижним концом сваи, кПа, определяемое для сильно льдистых грунтов интерполяцией между значениями по табл. В.1 и В.7, а для льдов – по табл. В.7, приложения 3 данного издания;

$A_w$  – площадь поперечного сечения скважины, м<sup>2</sup>;

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

$R_{sh,i,j}$ ;  $R_{sh,i,j}$  – расчетные сопротивления сдвигу грунтового раствора по многолетнемерзлому грунту и грунтового раствора по льду для середины  $j$ -го слоя,  $\text{кПа}$ , принимаемые, соответственно, по табл. В.4 и В.7, приложения 3;

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

В тех случаях, когда прочность смерзания грунтового раствора с поверхностью сваи  $R_{af} < R_{sh}$ , то расчет несущей способности сваи  $F_U$ ,  $\text{кН}$  по формуле (66) производится при значениях  $R_{af} = R_{sh}$ , принимая площадь поверхности сдвига в  $j$ -м слое грунта  $A_{sh,j}$  равной площади поверхности сваи в этом слое. При варианте устройства под торцом сваи грунтовой подушки, значение в формуле (66) принимается для грунта подушки. При этом предельная нагрузка на торец сваи определяется по формуле (66), как для сваи, диаметр которой равен диаметру скважины, а длина – толщине подушки.

### **3.3.5. Расчет оснований и фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах по принципу I**

При использовании засоленных 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. Проектирование оснований и фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах выполняется в соответствии с требованиями пп. 6.3.1–6.3.14 [80] с учетом следующих особенностей, включая следующее.

1. 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 [80].

2. 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  $m_f$  с учетом указаний 5.3 [80]. К твердомерзлым грунтам относятся практически несжимаемые грунты с коэффициентом сжимаемости  $m_f \leq 0,01 \text{МПа}^{-1}$ , а к пластично-мерзлым – грунты с коэффициентом сжимаемости  $m_f > 0,01 \text{МПа}^{-1}$ .

3. Отличительной особенностью засоленных мерзлых грунтов является то, что они проявляют пониженную прочность и обладают малыми значениями сопротивлений сдвигу по поверхности смерзания с фундаментом.

4. 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 не мерзлом состоянии при отрицательной температуре (криопеги), вскрытие которых скважинами при погружении свай приводит к повышенному засолению грунтов по всей длине свай.

Принципиально важными условиями при проектировании и строительстве зданий и сооружений на засоленных грунтах является фактор правильного выбора и назначения типа фундамента, которые обеспечивают наиболее полное использование сопротивления мерзлых грунтов нормальному давлению.

К таким типам фундаментов относятся: плитные, столбчатые и ленточные фундаменты, сваи с уширенной пятой и др. При буроопускном способе погружения свай скважины выполняют диаметром не менее чем на 10 см большим поперечного сечения сваи и заполняются, как правило, известково-песчаным или цементно-песчаным раствором. Под нижним концом сваи устраивают уплотненную подушку из щебня (уширенную пяту).

Несущая способность оснований столбчатых и свайных фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах при использовании их по принципу I определяется по требованиям пп. 7.2.2–7.2.3 [80]. Расчетные значения сопротивления грунтов нормальному давлению и сдвигу по поверхности смерзания  $R$  и  $R_{af}$  в этих формулах принимаются по опытным данным. Для сооружений III уровня ответственности, а также при привязке типовых проектов к местным условиям, значения  $R$  и  $R_{af}$  принимаются по табл. В.5 и В.6 [80] или приложениям данного издания.

Одним из надежных типов фундаментов в особых инженерно-геологических и геокриологических условиях засоленных многолетнемерзлых грунтов являются свайные фундаменты, возводимые буроопускным методом. При расчетах несущей способности оснований буроопускных свай засоленность грунтового раствора и сопротивление сдвигу по поверхности сваи  $R_{af}$  принимается по засоленности и значениям  $R_{af}$ , прилегающего природного грунта.

Если несущая способность буроопускных свай определена по результатам полевых испытаний, то расчетная несущая способность таких свай принимается 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. При проектировании опускных и буроопускных свай расчетные значения  $R_{af}$  принимаются по средневзвешенным значениям засоленности грунтов вдоль длины сваи.

### 3.3.6. Расчет оснований и фундаментов на заторфованных многолетнемерзлых грунтах по принципу I

Проектирование оснований и фундаментов в условиях многолетней мерзлоты, при использовании заторфованных грунтов в качестве оснований по принципу I (с сохранением многолетнемерзлого состояния), осуществляется с использованием обоснованных расчетов и опытом типов фундаментов и методов подготовки надежных искусственных оснований. Практикуется применение плитных, столбчатых и свайных фундаментов. В случае использования малозаглубленных и поверхностных типов фундаментов, их проектируют на грунтовых подсыпках.

При проектировании свайных фундаментов на заторфованных многолетнемерзлых грунтах по принципу I, конструкции свай, как правило, погружаются буроопускным способом в предварительно пробуренные в мерзлом грунте скважины диаметром на 10 см большим поперечного сечения свободно погружаемой в скважину сваи с заполнением пазух цементно-песчаным раствором или другим раствором по проекту.

Длина сваи принимается такой, чтобы лобовая ее часть не опиралась на прослой торфа. Конструкции плитных и столбчатых фундаментов, проектируемых на заторфованных многолетнемерзлых грунтах по принципу I, устраиваются таким образом, чтобы под подошвой ФМЗ (FL) была выполнена распределительная песчаная подушка толщиной не менее: для плитных фундаментов –  $h_s \geq 0,3 \text{ м}$ , для столбчатых – половины ширины подошвы фундамента  $h_s \geq 0,5h_f \text{ м}$ . Если в соответствии с литологическим разрезом будет установлено, что покровный торфяной слой имеет относительно небольшую толщину, то практикуется его удаление с заменой на подушку.

На заторфованных грунтах при их использовании по принципу I, расчет несущей способности оснований столбчатых и свайных фундаментов производится в соответствии с требованиями пп. 7.2.2–7.2.3 [80]. Расчетные значения сопротивления этих грунтов нормальному давлению и сдвигу по поверхности смерзания с фундаментом  $R$  и  $R_{af}$  принимаются по опытными данным. Для сооружений пониженного уровня ответственности, а также для предварительных расчетов оснований значения  $R$  и  $R_{af}$  принимаются по табл. В.8 [80] или аналогичной таблице.

Основания фундаментов, возводимых на подсыпках, рассчитываются по несущей способности грунтов подсыпки с проверкой силы предельного сопротивления основания на уровне поверхности природных заторфованных грунтов. При этом учитывается расчетная глубина сезонного оттаивания.

В случае, когда расчетная глубина оттаивания по численному значению окажется больше толщины подсыпки, то такое основание рассчитывается по деформациям.

### 3.4. Расчет оснований и фундаментов в условиях многолетнемерзлых грунтов по II-ой группе предельных состояний

Расчет многолетнемерзлых грунтов оснований по второй группе предельных состояний (по деформациям) с использованием технологических принципов II (с предварительным оттаиванием мерзлого грунта), производится с учетом совместной работы оттаянного грунта основания и сооружения. В отдельных случаях допускается выполнять расчет мерзлых грунтовых оснований по деформациям без учета совместной работы основания и сооружения. Такие случаи регламентируются СП 22.13330 [78]. Расчеты оттаивающих грунтовых оснований по второй группе предельных состояний (по деформациям) производится в пределах расчетной глубины оттаивания грунтового массива в основании сооружения за заданный срок его эксплуатации  $t_u$  с учетом развития зоны оттаивания во времени. С учетом формы, размеров и теплового режима сооружения, температуры и теплофизических свойств многолетнемерзлых грунтов основания, на основании расчета теплового взаимодействия сооружения с многолетнемерзлым грунтом, определяется расчетная глубина « $H$ » оттаивания массива мерзлого грунта в основании сооружения. Расчетную глубину « $H$ » оттаивания мерзлых грунтов в их основании для простых по форме зданий или сооружений с равномерной по площади температурой, в том числе для заглубленных сооружений, определяется в соответствии с требованиями приложения К [80] или данного пособия.

#### 3.4.1. Расчет осадки оттаивающих грунтовых оснований

Оценка деформационных свойств многолетнемерзлых грунтов оснований по второй группе предельных состояний с использованием технологических принципов II, производится исходя из условия (67). Расчет оттаивающих грунтовых оснований по деформациям производится без учета совместной работы оттаивающего основания и сооружения.

$$S \leq S_u, \quad (67)$$

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 по требованиям СП 22.13330 [78], а для мостов – СП 35.13330 [83].

При расчете осадки оттаивающего в процессе эксплуатации здания или сооружения грунтового основания, применяется формула (68):

$$S = S_{th} + S_p, \quad (68)$$

где  $S_{th}$  – составляющая осадки основания, обусловленная действием собственного веса оттаивающего грунта, определяемая по указаниям 7.3.7 [80];

$S_p$  – составляющая осадки основания, обусловленная дополнительным давлением на грунт от действия веса сооружения, определяемая по указаниям 7.3.9 [80].

Значение составляющей осадки основания  $S_{th}$ ,  $m$  определяется по формуле (69):

$$S_{th} = \sum_{i=1}^n (A_{th,i} + m_{th,i} \sigma_{zg,i}) h_i, \quad (69)$$

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. Коэффициенты оттаивания  $A_{th}$  и сжимаемости оттаивающего грунта  $m_{th}$  устанавливаются по результатам полевых испытаний мерзлых грунтов горячим штампом. Если значения  $A_{th}$  и  $m_{th}$  получены по данным лабораторных испытаний грунтов, то их расчетные значения при определении осадок оттаивающего основания умножаются на поправочный коэффициент  $k_i = 1 + \Delta i_i$ , где  $\Delta i_i$  – 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;

$\sigma_{zg,i}$  – 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,  $m$ . При этом, взвешивающее действие воды при определении  $S_{th}$  учитывается для водопроницаемых грунтов, залегающих ниже расчетного уровня подземных вод, но выше водоупора.

Второе слагаемое  $S_p$  из составляющих осадки  $S$  оттаивающего грунтового основания,  $m$ , при расчетной схеме в виде линейно-деформируемого слоя конечной толщины, определяется по формуле (70):

$$s_p = p_0 b k_h \sum_{i=1}^n m_{th,i} k_{\mu,i} (k_i - k_{i-1}) \quad (70)$$

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

$b$  – ширина подошвы фундамента,  $m$ ;

$k_h$  – безразмерный коэффициент, определяемый по табл. 23 в зависимости от отношения  $z/b$ , где  $z$  – расстояние от подошвы фундамента до нижней границы зоны оттаивания или кровли непросадочного при оттаивании грунта,  $m$ ;

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

$k_{\mu,i}$  – коэффициент, определяемый по табл. 23 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 табл. 24 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. При этом, расчет развития осадок оттаивающего основания во времени производится по скорости протаивания грунтов под сооружением, определяемой теплотехническим расчетом.

Деформация осадки свайных фундаментах с висячими сваями, погруженными в предварительно оттаянные грунты (с использованием технологических принципов II), в том числе при их локальном оттаивании, определяется как для условного фундамента, границы которого принимаются согласно СП 24.13330 [79]. В расчете учитываются отрицательные (негативные) силы трения по периметру условного фундамента или по поверхности отдельных свай, а также воздействие горизонтальных усилий на фундаментах в периферийных частях зоны оттаивания.

Таблица 23

$z/b$	$k_h$	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 24

$z/b$	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

На оттаивающих в процессе эксплуатации сооружения грунтах проектирование и расчет гибких ленточных фундаментов производится с учетом переменной по длине фундамента осадки основания. Переменная по длине ленточного фундамента осадки грунта основания обусловлена неравномерным оттаиванием грунтов под сооружением. При определении реактивных давлений оттаивающего грунта на подошву фундамента рассматривается оттаивающий грунт, работающий как линейно-деформируемое основание, характеризуемое переменным по длине фундамента коэффициентом постели.

### 3.4.2. Расчет осадки при предварительном оттаивании или замене льдистых грунтов

Осадка основания  $S$  при предварительном оттаивании или замене льдистых грунтов до глубины  $h_{b,th}$  для уменьшения деформаций основания, а также в случаях, когда слой сезонного промерзания-оттаивания не сливается с многолетнемерзлым грунтом, рассчитывается по формуле (71).

$$S = S_{p,th} + S_{ad}, \quad (71)$$

где  $S_{p,th}$  – осадка уплотнения предварительно оттаянного, замененного или естественного не мерзлого слоя грунта толщиной  $h_{b,th}$  под воздействием веса сооружения, определяемая в соответствии [78];

$S_{ad}$  – дополнительная осадка основания при оттаивании многолетнемерзлых грунтов в процессе эксплуатации сооружения, определяемая по формуле (72) для интервала глубин  $d_{th} - h_{b,th}$ , где  $d_{th}$  – расчетная глубина оттаивания грунта, считая от уровня планировки  $DL$  под зданием, устанавливаемая теплотехническим расчетом по приложению К [80]:

$$S_{ad} = S_{th} = \sum_{i=1}^n (A_{th,i} + m_{th,i} \sigma_{zg,i}) h_i, \quad (72)$$

где  $n$  – число выделенных при расчете слоев грунта;

$A_{th,i}$  и  $m_{th,i}$  – коэффициент оттаивания, доли единицы, и коэффициент сжимаемости,  $\text{кПа}^{-1}$ ,  $i$ -го слоя оттаивающего грунта, принимаемые по экспериментальным данным. Коэффициенты оттаивания  $A_{th}$  и сжимаемости оттаивающего грунта  $m_{th}$  устанавливаются по результатам полевых испытаний мерзлых грунтов горячим штампом. Если значения  $A_{th}$  и  $m_{th}$  получены по данным лабораторных испытаний грунтов, то их расчетные значения при определении осадок оттаивающего основания умножаются на поправочный коэффициент  $k_i = 1 + \Delta i_i$ , где  $\Delta i_i$  – 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;

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

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя оттаивающего грунта,  $\text{м}$ . При этом, взвешивающее действие воды при определении  $S_{th}$  учитывается для водопроницаемых грунтов, залегающих ниже расчетного уровня подземных вод, но выше водоупора.

Глубина предварительного оттаивания или замены грунтов основания  $h_{b,th}$  устанавливается исходя из условия (73):

$$S_{p,th} + S_{ad} \leq S_u, \quad (73)$$

где  $S_u$  – предельно допустимая для данного сооружения осадка основания, принимаемая из расчета оснований по деформациям без учета совместной работы оттаивающего основания и сооружения, производимая по условию (74):

$$S \leq S_u, \quad (74)$$

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 [80], а для мостов – СП 35.13330 [83].

Значение нормативной глубины сезонного оттаивания грунта определяется по данным натурных наблюдений и рассчитывается с использованием формулы (75):

$$d_{th,n} = d_{th}^I \cdot \sqrt{\frac{(T_{th,m} - T_{bf})t_{th,m}}{(T_{th} - T_{bf})t_{th}}}. \quad (75)$$

При назначении и проектировании геометрических контуров зоны оттаивания или замены грунтов основания в плане предусматриваются условия, при которых границы участка оттаивания ( $L_{th,n}$  – длина,  $B_{th,n}$  – ширина) выходят за контуры проектируемого здания или сооружения не менее, чем на половину глубины предварительного оттаивания грунта  $d_{th,n}$  ( $L_{th,n} \geq 0,5d_{th,n}$  и  $B_{th,n} \geq 0,5d_{th,n}$ ). В тех случаях, когда выполнено технико-экономическое обоснование расчетом мерзлого грунтового основания по деформациям и устойчивости, допускается принимать меньшую площадь предварительного оттаивания или замены грунтов в плане. В отдельных случаях, при соответствующем обосновании, производится локальное предварительное оттаивание грунтов под фундаментами (вместо сплошного оттаивания под всей площадью сооружения). Строительно-

технологический процесс оттаивания мерзлых 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.

Для регулируемого и контролируемого процесса оттаивания мерзлых грунтов введено понятие – ограничение глубины оттаивания грунтов в основании зданий или сооружений. Поэтому для ограничения глубины оттаивания грунтов в основании сооружения предусматривается устройство теплоизолирующих подсыпок и экранов, увеличение сопротивления теплопередаче полов первых этажей и другие мероприятия по уменьшению теплового влияния сооружения на грунты основания. Кроме того предусматривается стабилизация верхней поверхности многолетнемерзлого грунта (в том числе при несливающимся сезоннопромерзающем слое) ниже глубины заложения подошвы фундаментов путем регулирования температуры воздуха в подпольях или технических этажах здания.

Расчет оснований при строительстве по способу стабилизации верхней поверхности многолетнемерзлых грунтов выполняется в соответствии с обязательным приложением Е [80]. При этом, глубина заложения фундаментов  $d$  при строительстве по способу стабилизации верхней поверхности многолетнемерзлого грунта назначается исходя из условия (76):

$$h_{th} - 2 \geq d \geq d_{f,n} + 1, \quad (76)$$

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

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

Для способа стабилизации верхней поверхности многолетнемерзлого грунта, расчет оснований фундаментов по несущей способности и деформациям производится в соответствии с требованиями СП 22.13330 [78], СП 24.13330 [79]. При использовании этого приема строительной технологии в многолетнемерзлых грунтах, расчет фундаментов по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения грунтов производится согласно 7.4.1–7.4.5 [80], принимая расчетную глубину сезонного промерзания грунта  $d_f = d_{f,n} + 1$ , м.

Требуемый температурный режим грунтов оснований обеспечивается холодным подпольем, модуль вентилирования которого  $M$  определяется по формуле (Д.3) приложения 2 к данному пособию, рассчитывая среднегодовую температуру воздуха в подполье  $T_{c,a}$ , °C по формуле (77):

$$T_{c,a} = \frac{\lambda_f}{\lambda_{th} \beta_f} (T_0 - T_{bf}) + 1, 1 + T_{bf}, \quad (77)$$

где  $\beta_f$  – коэффициент, определяемый по графикам (рис. 49) в зависимости от значений параметров  $\xi_f$  и  $\psi_f$ , определяемых по формулам (78) и (79):

$$\xi_f = \frac{d_{f,n+1}}{B}, \quad (78)$$

$$\psi_f = \frac{\lambda_f(T_{bf} - T_o)t_u}{L_v B^2}, \quad (79)$$

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

Остальные обозначения те же, что и в формулах приложения 2.

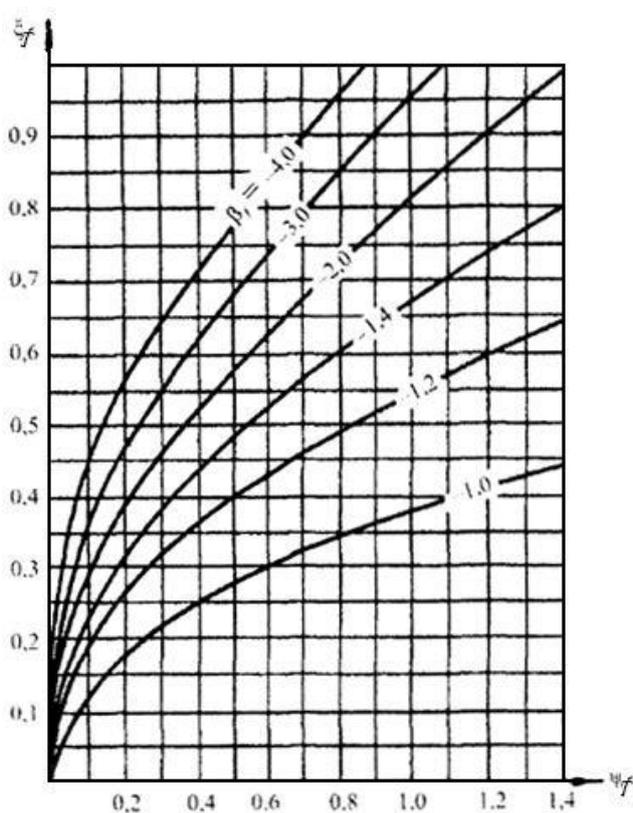


Рис. 49. Графики для определения коэффициента  $\beta_f$  «бета» ( $f$ )

Проектное положение верхней поверхности многолетнемерзлого грунта под сооружением при принятой расчетной температуре воздуха в подполье  $T_{c,a}$  проверяется расчетом по глубине оттаивания грунта под сооружением  $H$ , определяемой в соответствии с указаниями К.5 [80], принимая в формуле (77) значение  $T_{in} = T_{c,a} + 1,1$ , °С и коэффициент  $\alpha_R = 0$ .

В случае если при полученной расчетом глубине оттаивания грунта (считая от поверхности многолетнемерзлого грунта), осадка основания превысит предельно допустимое для данного сооружения значение, то предусматриваются дополнительные инженерно-технологические мероприятия по регулированию глубины оттаивания основания.

В процессе оттаивания мерзлого грунта происходят, как правило, неравномерные деформации массива грунта основания. Поэтому возникает необходимость в применении комплекса инженерно-технологических мероприятий с целью исключения или снижения возможных деформаций при оттаивании. Строителями практикуется метод возведения остовов зданий при помощи приспособления конструктивно-расчетных схем к

расчетным неравномерным деформациям. Нашли применение два взаимоисключающих принципа приспособления конструкций сооружений к неравномерным деформациям основания, которые обеспечиваются за счет:

1) увеличения прочности и пространственной жесткости здания или сооружения, которые достигаются при помощи устройства 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;

2) увеличения податливости и гибкости здания или сооружения путем разрезки его конструкций деформационными швами, устройством шарнирных сопряжений отдельных конструкций с учетом возможности их выравнивания и рихтовки технологического оборудования.

В обоснованных расчетом случаях предусматривается комбинация указанных инженерно-технологических мероприятий применительно к особенностям проектируемого здания или сооружения. По жесткой конструктивной схеме, как правило, проектируются бескаркасные жилые и общественные здания. Гибкие (податливые) и комбинированные конструктивные схемы применяются для промышленных сооружений. Конструкции фундаментов и цокольная часть зданий и сооружений в типовых проектах разрабатывается в нескольких сопоставимых вариантах, рассчитанных по прочности на разные пределы допустимых деформаций основания.

Проектирование зданий и сооружений при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве грунтовых оснований по принципу II практикуется применение жесткой и гибкой конструктивных схем.

Для зданий или сооружений с жесткой конструктивной схемой, возводимых на оттаивающих грунтах, предусматриваются инженерные мероприятия, включающие: усиление армированными поясами ленточных фундаментов, 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 применяются столбчатые, ленточные и другие виды фундаментов на естественном основании, а также свайные фундаменты, если это обусловлено грунтовыми условиями.

Для зданий или сооружений с гибкой конструктивной схемой проектируются столбчатые и отдельно стоящие фундаменты под колонны, гибкие ленточные фундаменты, а в необходимых случаях также свайные фундаменты.

Если в основании зданий или сооружений залегают скальные или другие мало сжимаемые при оттаивании грунты, то практикуется применение столбчатых фундаментов (ФМЗ), свайных фундаментов (СФ) из свай-стоек, в том числе из составных и буронабивных свай. Погружение свай в мерзлые грунты осуществляется, как правило, буро-опускным 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. Заделка лобовой части свай-стоек в скальные грунтовые породы производится в соответствии с требованиями СП 24.13330 [79].

### **3.4.3. Расчет осадки оснований, сложенных сильнольдистыми грунтами и подземным льдом**

Осадки оснований фундаментов, возводимых на пластично-мерзлых грунтах, рассчитываются по второй группе предельных состояний (по деформациям) исходя из условия (80), которые определяются с учетом:

а) для ленточных и столбчатых фундаментов – в соответствии с указаниями СП 22.13330 [78], применяя расчетную схему в виде линейно-деформируемого полупространства или линейно-деформируемого слоя конечной толщины;

б) для одиночных свайных фундаментов – по данным полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой, а для кустов или групп свай – согласно указаниям СП 24.13330 [79] с использованием расчетных схем, основанных на модели грунта как линейно-деформируемой среды:

$$S_f \leq S_u, \quad (80)$$

где  $S_f$  – деформация пластично-мерзлого основания под нагрузкой от сооружения;

$S_u$  – предельно допустимая деформация основания сооружения за расчетный срок его эксплуатации, которая определяется согласно СП 22.13330 [78].

Расчетные деформационные характеристики пластично-мерзлых грунтов (коэффициент сжимаемости  $m_f$  или модуль деформации  $E_f$ ) принимаются по данным компрессионных испытаний при расчетной температуре грунта, устанавливаемой по формуле (77), а также по результатам полевых статических испытаний пластично-мерзлых грунтов моделями фундаментов (штампами, сваями) и статического зондирования в соответствии с приложением Л [80]. Осадки оснований, сложенных сильнольдистыми грунтами и подземными льдами, а также в случаях загрузки фундаментов при температуре грунтов основания выше расчетных значений, принятых для установившегося эксплуатационного режима, определяются с учетом изменения деформационных характеристик грунтов в за-

висимости от температуры и времени, а также развития пластических деформаций льда.

Осадка основания столбчатого фундамента на сильнольдистых грунтах и подземных льдах  $S$  определяется по формуле (81):

$$S = S_p + S_t, \quad (81)$$

где  $S_p$  – осадка, обусловленная уплотнением основания под нагрузкой, определяемая по формуле И.1 приложения 9;

$S_t$  – осадка, обусловленная пластично-вязким течением грунта за заданный срок эксплуатации сооружения, определяемая по формуле (82):

$$S_t = t_u v, \quad (82)$$

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

$v$  – скорость осадки, м/год, определяемая исходя из модели линейно- или нелинейновязкого полупространства и формуле (85).

Составляющая осадки  $S_p$ , м, обусловленная уплотнением оснований под нагрузкой, определяется по формуле (83):

$$S_p = \sum_{j=1}^n \xi_j h_j, \quad (83)$$

где  $n$  и  $h_j$  – соответственно, число выделенных слоев грунта и их толщина, м;

$\xi_j$  – относительное сжатие  $j$ -го слоя грунта, доли единицы, определяемое опытным путем; для прослоев льда значение  $\xi_{i,j}$  определять по формуле (84):

$$\xi_{i,j} = \frac{n_j \alpha_{m,j} p}{\sigma_a + \sigma_{g,j} + \alpha_{m,j} p}, \quad (84)$$

здесь  $n_j$  – пористость  $j$ -го слоя льда;

$p$  – среднее давление на грунт под подошвой фундамента, кПа;

$\sigma_a$  – атмосферное давление, принимаемое равным 10,0 кПа;

$\sigma_{g,j}$  – природное (бытовое) давление в середине  $j$ -го слоя, кПа;

$\alpha_{m,j}$  – безразмерный коэффициент, принимаемый по табл. 25 в зависимости от отношения сторон подошвы фундамента  $l/b$  и относительной глубины  $\frac{z^I}{b} = \frac{z_{j-1}^I + z_j^I}{2b}$  (здесь  $z_{j-1}^I$  и  $z_j^I$  – расстояния от подошвы фундамента,

соответственно, до кровли и подошвы  $j$ -го слоя льда).

Значения коэффициента  $\alpha_m$ 

$\frac{z^I}{b}$	Значения коэффициента $\alpha_m$ 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

Скорость осадки сильнольдистых грунтов  $v$ , м/год, обусловленная их пластично-вязким течением, определяется по формуле (85)б:

$$v = \sum_{j=1}^m v_j, \quad (85)$$

где  $m$  – число месяцев в году, в течение которых развиваются деформации ползучести грунтов;

$v_j$  – среднемесячная скорость осадки сильнольдистых грунтов основания м/мес. (см/мес.), определяемая по формуле (86):

$$v_j = 730 \sum_{k=1}^n h_k \xi_k, \quad (86)$$

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);

$\xi_k$  – скорость относительной деформации  $k$ -го слоя грунта,  $1/ч$  при среднемесячной температуре грунта  $T_{j,k}$ , определяемая по формуле (87):

$$\xi_k = \frac{1}{2\eta_k} \left( \sigma_k - \frac{2}{3} \sigma_{l,k} \right), \quad (87)$$

здесь  $\eta_k$  – коэффициент вязкости  $k$ -го слоя грунта основания,  $кПа \cdot ч$ , определяемый согласно указаниям И.5 [80];

$\sigma_{l,k}$  – предел текучести  $k$ -го слоя грунта основания,  $кПа$ , определяемый по И.5 [80].

$\sigma_k$  – напряжение,  $кПа$  в  $k$ -м слое грунта основания, определяемое по формуле (88):

$$\sigma_k = 0,59 (\sigma_{z,k-1} + \sigma_{z,k}), \quad (88)$$

где  $\sigma_{z,k-1}$  и  $\sigma_{z,k}$  – напряжения,  $\kappaПа$  на верхней и нижней границах  $k$ -го слоя, определяемые по формуле (89):

$$\sigma_z = \alpha_0 p_0, \quad (89)$$

где  $\alpha_0$  – безразмерный коэффициент, принимаемый по табл. 26 в зависимости от отношения сторон подошвы фундамента  $l/b$  и от значения  $z^l/b$  (здесь  $z^l$  – 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,  $\kappaПа$ ;

$p$  – среднее давление на грунт под подошвой фундамента от постоянной и длительных долей временных нагрузок,  $\kappaПа$ ;

$\sigma_g$  – природное (бытовое) давление в грунте на уровне подошвы фундамента от веса вышележащих слоев грунтов (до отметки природного рельефа),  $\kappaПа$ .

Таблица 26

Значения коэффициента  $\alpha_0$

$z^l/b$	Значения коэффициента $\alpha_0$ при $l/b$							
	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
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 должно удовлетворять условию (90):

$$p_0 \leq k_f \frac{2}{3} \sigma_u, \quad (90)$$

где  $k_f$  – безразмерный коэффициент, принимаемый по первой строке табл. 27 при  $h_s/b=0$ ,  $h_s$  – толщина прослойки под фундаментом;

$\sigma_u$  – наибольшее значение напряжения,  $\kappaПа$ , при котором сохраняется линейная зависимость скорости установившегося течения от напряжения на начальном участке реологической кривой, определяемое по И.5 [80].

Таблица 27

Значения коэффициента  $k_f$ 

$h_s/b$	Значения коэффициента $k_f$ при $l/b$							
	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

При инженерно-геологических изысканиях из испытаний образцов мерзлого грунта на одноосное сжатие, с учетом требований ГОСТ 12248 [44], определяются значения расчетных характеристик  $\eta$ ,  $\sigma_L$ ,  $\sigma_u$  сильнотельного грунта. Температуры  $T_{j,k}$ , в зависимости от которых устанавливаются значения  $\eta$  и  $\sigma_L$ , определяются по формулам (7.5)–(7.7) [80]. Значения коэффициента  $\alpha$  для определения температуры принимаются по табл. 28 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  $\sigma_u$  температура принимается равной температуре на глубине ниже подошвы фундамента на  $0,5b$  (здесь  $b$  – ширина подошвы фундамента).

Таблица 28

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

Скорость осадки подземного льда  $v$ , м/год, обусловленная его пластично-вязким течением, определяется по формуле (91):

$$v=4380p_0bk_i \sum_{j=1}^n (k_{t,j} + k_{t,j-1})(\omega_j - \omega_{j-1}), \quad (91)$$

где  $p_0$  – дополнительное (к природному) вертикальное давление на грунт под подошвой фундамента, кПа, определяемое по формуле  $p_0=p-\sigma_g$ ;

$b$  – ширина подошвы фундамента, м;

$k_i$  – параметр, характеризующий вязкость льда, определяемый из испытаний образцов льда на одноосное сжатие,  $^{\circ}\text{C}/(\text{кПа}\cdot\text{ч})$ ;

$n$  – число слоев, на которое разделяется толща льда (толщина слоя принимается не более  $0,4b$ );

$k_{t,i}$  и  $k_{t,i-1}$  – коэффициенты,  $1/^{\circ}\text{C}$ , принимаемые по табл. 29 в зависимости от температуры основания ( $T_0 - T_{b,f}$ ) и расстояний от верхней поверхности многолетнемерзлых грунтов до кровли  $z_{j-1}$  и  $z_j$  подошвы  $j$ -го слоя льда;

$\omega_{f-1}$ ,  $\omega_f$  – безразмерные коэффициенты, определяемые по табл. 30 в зависимости от отношения сторон подошвы фундамента  $l/b$  и соответственно относительных глубин (здесь  $z_{j-1}^l$  и  $z_j^l$ ) – расстояния от подошвы фундамента, соответственно, до кровли и подошвы  $j$ -го слоя льда.

Таблица 29

Значения коэффициента  $k_t$

$z, \text{ м}$	Коэффициент $k_t, 1/^{\circ}\text{C}$ при температуре $T_0 - T_{b,f}, ^{\circ}\text{C}$							
	-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 30

Значения коэффициента  $\omega$

$z^l/b$	Значения коэффициента $\omega$ при $l/b$								
	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 (90), при этом значение  $k_f$  определяется по табл. 27 в зависимости от толщины грунтовой прослойки под фундаментом  $h_s$  и размеров подошвы  $l$  и  $b$ . Значение  $\sigma_u$  определяется из испытаний образцов льда на одноосное сжатие при температуре  $T_m$  на уровне кровли льда.

#### **3.4.4. Расчет крена фундамента на оттаивающих грунтовых основаниях**

При приложении на фундамент внецентренных внешних нагрузок или нерегулярном изменении инженерно-геокриологических условий многолетнемерзлых грунтов основания, фундамент приобретает крен. Деформация крена фундамента, возведенного на оттаивающем грунтовом основании, вызванная внецентренными нагрузками, неравномерным оттаиванием и неоднородностью грунтов, а также влиянием близко расположенных на смежных участках соседних фундаментов (взаимовлияние), определяется по формуле (92):

$$I = (s_a - s_b) / b , \quad (92)$$

где  $s_a$  и  $s_b$  – осадка краев фундамента;  
 $b$  – размер фундамента в направлении крена.

#### **3.4.5. Расчет оснований и фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах по деформациям**

Проектирование и расчет оснований и фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах по деформациям (II группе предельных состояний) производится в соответствии с требованиями пп. 7.2.15, 7.2.16 [80], как на пластично-мерзлых грунтах.

Если расчетные значения деформации грунтовых оснований зданий и сооружений, сложенных мерзлыми засоленными грунтами, окажутся по численному значению больше предельных (нормативных) или недостаточной несущей способности основания, тогда предусматривается частичная или полная замена засоленных грунтов на незасоленные грунты.

Кроме частичной или полной замены засоленных грунтов на незасоленные, практикуется применение дополнительных инженерно-технологических мероприятий, включая: понижение температуры грунтов; прорезку засоленных слоев грунта глубокими фундаментами; устройство фундаментов на подсыпках, распределяющих нагрузки на мерзлые грунты оснований, и другие мероприятия.

В обоснованных случаях осуществляется строительство с использованием засоленных многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по принципу II (с предварительным оттаиванием мерзлого грунта).

В этом случае основания и фундаменты на засоленных многолетнемерзлых грунтах при использовании их в качестве оснований сооружений

по принципу II проектируются с учетом требований пп. 6.4.1–6.4.7 [32], а также требований СП 22.13330 [78], СП 24.13330 [79] и СП 28.13330 [81].

### ***3.4.6. Расчет оснований, сложенных биогенными грунтами по деформациям***

По второй группе предельных состояний (по деформациям), расчет оснований, сложенных многолетнемерзлыми биогенными грунтами под столбчатыми фундаментами, производится исходя из условия  $S_f \leq S_u$ , где  $S_f$  – деформация пластично-мерзлого основания под нагрузкой от сооружения, определяемая согласно указаниям 7.2.16 и 7.2.17 [80];  $S_u$  – предельно допустимая деформация основания сооружения за расчетный срок его эксплуатации, определяется согласно СП 22.13330 [78]. Проектирование оснований, сложенных многолетнемерзлыми биогенными грунтами по деформациям для свайных фундаментов, производится по результатам полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой.

## **Глава 4. Геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации сооружений на многолетнемерзлых грунтах**

В соответствии с п. 15.1 [80] под термином геотехнический мониторинг (далее мониторинг) на многолетнемерзлых грунтах подразумевается комплекс специальных видов работ, основанный на натуральных наблюдениях за состоянием грунтов основания (температурный режим), гидрогеологическим режимом, перемещением конструкций фундаментов вновь возводимого, реконструируемого и эксплуатируемого сооружения. С учетом особенностей природно-климатических, инженерно-геологических, гидрогеологических, опасных криогенных процессов, в районах распространения многолетнемерзлых грунтов мониторинг проводится для всех видов зданий и сооружений, в том числе подземных инженерных коммуникаций.

Геотехнический мониторинг, как обязательный строительнотехнологический процесс осуществляется в соответствии с проектом, который разрабатывается в процессе проектирования здания или сооружения в особых условиях распространения многолетнемерзлых грунтов. При разработке проекта геотехнического 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. К вопросам специфики рассматриваемого объекта строительства (реконструкции), относятся: результаты инженерных изысканий на площадке строительства; принцип использования многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований фундаментов; особенности проектируемого или реконструируемо-

го сооружения; конструктивные особенности зданий и сооружений окружающей застройки и т.п. Кроме того, в проекте геотехнического мониторинга учитываются факторы, которые оказывают влияние на вновь возводимое (реконструируемое) сооружение, его основание, окружающий грунтовый массив и окружающую застройку в процессе строительства и эксплуатации. Принимается во внимание то, что не исключается возможность проявления опасных геокриологических процессов (криогенное пучение, термокарст, оползневые процессы, оседание поверхности при оттаивании и др.), а также тепловые воздействия от строительных работ.

С целью проведения (осуществления) полноценного и достоверного инструментального геотехнического мониторинга зданий и в период их строительства, с привлечением специалистов и ученых, 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 табл. М.1, периодичность проведения замеров приведена в табл. М.2 приложения М [80] или приложения 10 данного издания. Кроме того, контролируется плотность грунтов, уложенных в насыпях, при замене грунтов в выемках и при намыве территории.

Геотехнический мониторинг в период эксплуатации здания или сооружения осуществляется в целях обеспечения проектного температурно-влажностного режима грунтов основания и технического состояния конструкций фундаментов здания или сооружения. При этом в состав геотехнического мониторинга входят специальные виды работ, в том числе:

- а)* текущий и контрольный осмотр состояния технических этажей, подполий зданий и расположенных в них коммуникаций и других устройств;
- б)* наблюдения за состоянием бетона фундаментов;
- в)* наблюдения за температурой грунта в основании сооружений;
- г)* наблюдения за температурой воздуха в подполье;
- д)* наблюдения за осадками фундаментов;
- е)* наблюдения за гидрогеологическим режимом основания.

Периодичность проведения замеров указана в табл. М.2 [80] или приложения 10 учебного пособия.

В зависимости от принятого в проекте принципа (I-й принцип или II-й принцип) использования многолетнемерзлых грунтов основания, устанавливается расчетная продолжительность геотехнического мониторинга для зданий или сооружений, возведенных по соответствующим принципам:

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.

При достоверном инструментальном установлении факта наступления стабилизации изменений контролируемых параметров, продолжительность мониторинга может быть изменена, в том числе сокращена – при наступлении стабилизации или увеличена – при отсутствии стабилизации изменений контролируемых параметров.

В процессе геотехнического мониторинга обеспечивается 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.

## **Глава 5. Экологические требования при проектировании оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах**

Вопросы экологии в современных условиях существования человечества на земном шаре имеют глобальное значение, и особое значение они приобретают в очень ранимой природной зоне Крайнего Севера с холодным климатом и в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов.

В связи с этим, при разработке проектно-сметной документации (ПСД) для объектов, расположенных в особых условиях на многолетнемерзлых грунтах, проект оснований и фундаментов в обязательном порядке предусматривает специальные инженерно-технические мероприятия, обеспечивающие предотвращение, минимизацию или ликвидацию вредных и нежелательных экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий.

Экологическим мероприятиям, предусматриваемым в проекте и реализуемым при строительстве, на предпроектной стадии, предшествуют инженерно-экологические изыскания, в которых дается оценка состояния окружающей среды и прогноз воздействия на нее объекта строительства. Основные положения и правила проведения инженерно-экологических и инженерно-геодезических изысканий для строительства изложены в действующих нормативных документах СП 11-102-97 [72] и СП 11-104-97 [73].

Возможный экологический прогноз естественных и техногенных воздействий на природные условия и окружающую среду осуществляется на весь период строительства и эксплуатации зданий или сооружений и должен устанавливать следующие основные негативные факторы, включая:

- а) возможность изменения теплового режима многолетнемерзлых грунтов района строительства и прилегающих территорий вследствие нарушений условий теплообмена в результате строительства и температурного воздействия в процессе эксплуатации;
- б) изменения гидрогеологических условий строительной площадки в результате производства земляных работ, включая пути разгрузки поверхностных и надмерзлотных вод по водоотводным каналам;
- в) степень активизации опасных криогенных процессов, в том числе: осадки и пучение грунтов, термокарст, солифлюкция, термоэрозия и др.;
- г) возможность возникновения склоновых процессов и заболачивания территории.

По результатам предпроектных криологических исследований, а также с результатов инженерно-геологических изысканий выбираются и назначаются принципиальные проектные решения, и разрабатывается комплекс мероприятий, включая: рекультивацию и восстановление почвенно-растительного слоя; засыпку выемок, траншей и карьеров; выполживание и одернование склонов и откосов; специальные виды работ по предупреждению эрозии, термокарста и процессов размыва грунта.

Принципиальные и основополагающие проектные решения по выполнению инженерно-технических мероприятий по охране окружающей среды при возведении оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах разрабатываются на стадии технико-экономического обоснования.

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

Только после получения положительного заключения от сертифицированного и независимого экспертного органа, на предусмотренный проектом комплекс мероприятий по охране окружающей среды при возведении оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах, осуществляется строительство.

При этом, приступить к производству работ по устройству оснований и фундаментов можно только при наличии раздела «Проект организации строительства» (ПОС) и разделов проекта «Инженерная подготовка территории» и «Защита от опасных криогенных процессов», в которых конкретно отражаются все особенности мерзлотно-грунтовых условий площадки строительства.

В ПОС обязательно предусматриваются точные сроки и особенности производства всех видов строительного-монтажных работ, а также меры по восстановлению поврежденных участков поверхности территории строительства.

## Раздел II. ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО СУХОГО КЛИМАТА

### Глава 6. Общие сведения

#### 6.1. История формирования и развития теории и практики строительства зданий и сооружений в условиях жаркого сухого климата

В многовековой практике градостроительства хорошо известны негативные и отрицательные свойства жаркого климата, влияющие на условия жизнедеятельности и здоровье человека. Жаркий и сухой климат характерен для районов земного шара, расположенных между 150 и 200 северной и южной широт, включая: южную часть Алжира, Египет, Судан, Мали, Нигерию, Чад, Мавританию, Юго-западную Африку, Эфиопию, Йемен, Оман, Саудовскую Аравию, Ирак, Иран, Пакистан, Афганистан, Монголию, Среднеазиатские республики СНГ (бывшего СССР), Австралию (внутренние районы), юго-запад США, Перу, Чили, Парагвай. К регионам с жарким климатом, относятся такие, где климат со среднемесячной температурой наиболее теплого месяца составляет  $+25\dots+30^{\circ}\text{C}$ , который в свою очередь разделяется на сухой с относительной влажностью 12–30% и влажный с относительной влажностью 40–60% в сухой зоне календарного года.

Для жаркого сухого климата характерны высокая температура воздуха, наивысшая – более  $+40^{\circ}\text{C}$  в тени, и большие суточные колебания температуры [98]. В период пыльных бурь и при наличии суховеев возрастает количество тепла от прямой и рассеянной солнечной радиации – лучеиспускания (от латинского слова *radiare* – испускать лучи) при весьма слабой относительной влажности воздуха  $W=15\%\dots50\%$  с незначительным выпадением осадков  $H=250$  мм. Температурно-термическая ситуация в районах жаркого сухого климата осложняется за счет отражения от поверхности большого количества солнечных лучей. По мере продвижения на юг и на север от экватора более заметны сезонные колебания температур. Для жаркого сухого климата свойственны яркость небосвода, очень жаркие дни, пыльные бури, безоблачное небо, иногда насыщенные пылью; минимальное количество осадков. Еще с древних времен в районах с жарким сухим климатом, с целью защиты от дневной жары и яркого солнечного света, зодчие применяют тяжелые ограждающие конструкции с большой теплоемкостью.

В качестве дополнительного комплекса по снижению термических и радиационных излучений в этих жарких районах используются замкнутая композиция и повышенная плотность застройки, которые обеспечивают максимальную затененность вертикальных и горизонтальных плоскостей [98; 101; 102; 103], широко применяется озеленение [101].

В районах с жарким сухим (аридным) климатом, с целью создания комфортных условий для населения с реализацией современных достижений науки, теоретических исследований и практики в области планировки и застройки городов и населенных мест, комплексно решаются градостроительные задачи, включая: социально-экономические; санитарно-гигиенические; архитектурно-строительные; архитектурно-художественные; транспортно-технические. Эффективному решению санитарно-гигиенических задач способствуют мероприятия по: созданию оптимального микроклимата внешней среды; устройству солнцезащиты, обеспечению обоснованной ориентации зданий по сторонам света; инсоляции помещений; осушению или обводнению территорий; созданию вентиляционно-ветрового режима.

На протяжении многих тысячелетий происходило формирование и развитие поселений человека в разных природно-климатических условиях. При этом каждая последующая эпоха преобразовывала и приспособляла те поселения, которые получала в наследство от предыдущих ей эпох, с учетом возрастающих потребностей людей в комфортности проживания в конкретных природно-климатических условиях.

На рис. 50а приведена карта с выделением соответствующим цветом границ климатических зон на поверхности земного шара. Отмечается, что в целом выделено шесть отличающихся друг от друга зон по климату, включая: тропический, обозначенный на карте – зеленым цветом; аридный или пустынный (жёлтый); умеренный (коричневый); прохладный умеренный (фиолетовый); полярный (голубой); высокогорный (серо-голубой). Особое место среди выделенных климатических зон занимает аридный или пустынный, который в современной терминологии градостроительства называется, как жаркий сухой климат.

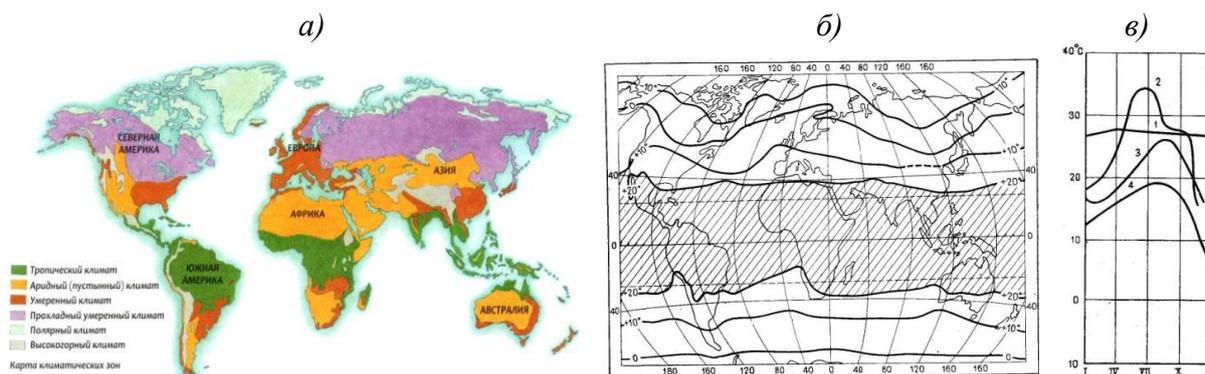


Рис. 50. Карты климатических зон и годовых изотерм на земном шаре:  
*а* – климатические зоны, выделенные цветом, включая: тропический (зеленый), аридный или пустынный (жёлтый), умеренный (коричневый), прохладный умеренный (фиолетовый), полярный (голубой), высокогорный (серо-голубой); *б* – карта годовых изотерм, где заштрихованная часть – это условная зона районов с жарким климатом;  
*в* – графики годовых колебаний средних температур в градусах (+<sup>0</sup>С) по месяцам, где 1 – Сингапур, 2 – Ашхабад, 3 – Гонконг, 4 – Мельбурн

Для получения общего представления о распределении тепла по земной поверхности в среднем, за целый год, пользуются картой годовых изотерм, приведенной на рис. 50б. Анализ этой карты позволяет констатировать, что распределение изотерм не совпадает с линией экватора.

На рис. 50в показана разница температур на морских побережьях и во внутренних частях континентов для городов, расположенных в зонах с жарким сухим климатом. Различные условия нагревания в связи с широтой места и влиянием моря создают картину распределения температур во времени по земной поверхности, выраженные изотермами.

Среди древних и первых поселений со зданиями и сооружениями, возведенными человеком с учетом особых природно-климатических условий сухого и жаркого климата, начиная с древних цивилизаций, можно отметить зафиксированные историческими исследованиями и археологическими раскопками поселения, приведенные на рис. 51.

На рис. 51а представлен вид древнего простого земледельческого поселения, расположенного в Европе около 12000 лет до н.э., где люди возводили и жили в одноэтажных хижинах, имевших оптимальную геометрическую форму наружных стен в виде цилиндра, выполненных из местной сырцово-глины, покрытых скатной крышей из соломы конической формы. Привлекательным, с точки зрения современных представлений по обеспечению комфортных температурно-влажностных условий в помещениях зданий, являются древние постройки, приведенные на рис. 51б, в, г.

Основанный около 7000 лет до н.э., древний город Чатал-Хююк в древней Турции, с целью защиты от палящего солнца (снижения инсоляции, температуры воздуха в помещениях, перегрева наружных ограждающих строительных конструкций) малоэтажных жилых и хозяйственных построек, был возведен скученно без улиц. Еще одной особенностью зданий древнего города Чатал-Хююк является то, что дома с кирпичными стенами, не имеющими оконные проемы за исключением сквозных вентиляционных продухов под потолком и плоскими крышами, были оборудованы входами в помещения, размещенными на плоской земляной крыше. Каждый дом имел приставную лестницу, ведущую на крышу, где находился вход (рис. 51б).

С целью создания микроклимата и оазисных зон на территориях с аридным климатом в Месопотамии (означает «между двух рек», между реками Тигром и Евфратом), возведены висячие сады Семирамиды, цивилизацией, возникшей более 6000 лет назад (рис. 51в). Древние террасные сады на территории, контролировавшейся в течение нескольких столетий Ассирийской и Вавилонской, а впоследствии Персидской империями, были возведены по заказу царя Навуходоносора. Полив зеленых насаждений террасных садов осуществлялся водой закачиваемой из реки на уровень верхних террас, откуда вода самотеком стекала на нижние уровни террас для полива.

Мечеть Дженне (Мали), возведенная в XIV веке в условиях аридного климата, расположенная в одноименном городе Дженне, имеет своеобразный архитектурный образ, обоснованный функциональными условиями эксплуатации монументально-религиозных объектов со скоплением большого числа молящихся.

Древний Дженне был важным городом, находившимся на главном торговом пути через пустыню Сахару, поэтому верующие регулярно посещали знаменитую мечеть перед тяжелым переходом через знойную пустыню.

С целью оптимизации микроклимата в помещениях мечети, расположенной в особых условиях с сухим и жарким климатом Мали, древними зодчими и строителями использованы традиционные для местных условий приемы, выработанные за многие тысячелетия. Мечеть защищена высоким забором по всему периметру объекта от переносимого ветром песка Сахары. Высокие стены мечети имеют минимально необходимые оконные проемы, что позволяет снизить инсоляцию, солнечную радиацию и перегрев внутреннего воздуха в помещениях сооружения.

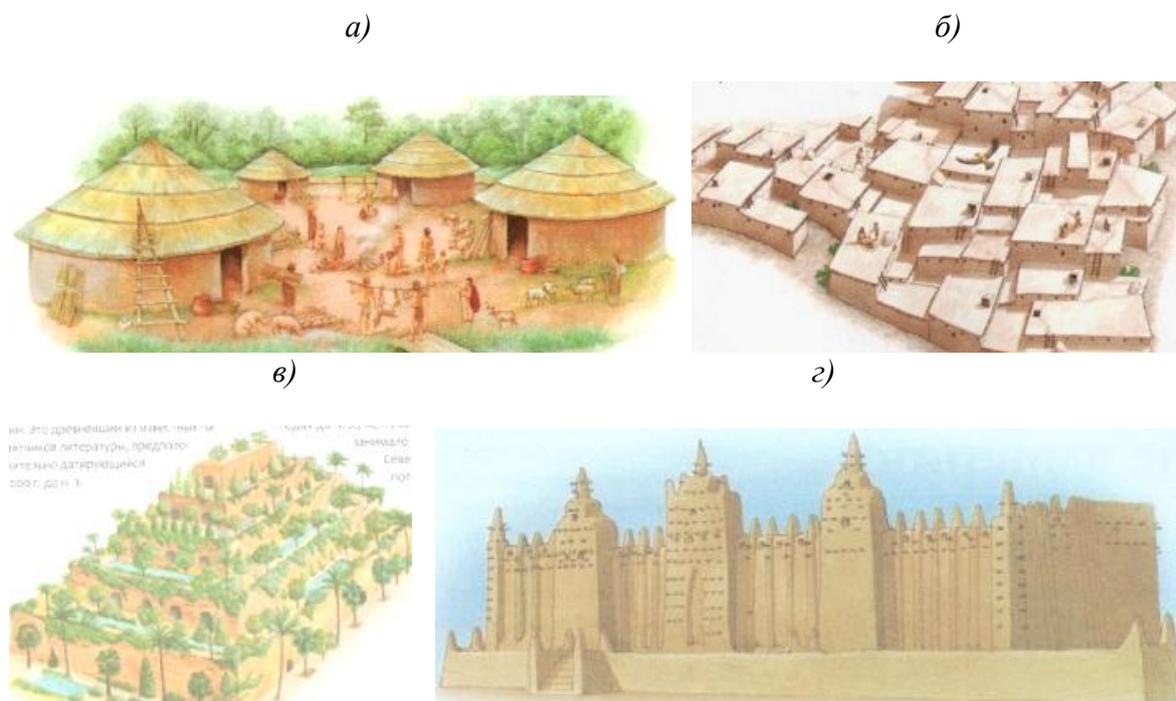


Рис. 51. Древние постройки различного функционального назначения, расположенные в зонах с аридным (пустынным) климатом (в условиях сухого и жаркого климата). *а* – простое земледельческое поселение в Европе около 12000 лет до н.э. Люди жили в хижинах из сырцово-глины и соломы; *б* – древний город Чатал-Хююк в древней Турции, основанный около 7000 лет до н.э., в котором кирпичные дома с плоскими крышами и минимальной проемностью в наружных стенах, были возведены скученно без улиц, при этом каждый дом имел приставную лестницу, ведущую на крышу, где находился вход; *в* – висячие сады Семирамиды в Месопотамии, основанной более 6000 лет назад, где террасные сады, устроенные по заказу царя Навуходоносора поливались водой закачиваемой из реки на верхние террасы, откуда она самотеком стекала на нижние террасы; *г* – мечеть Дженне (Мали. XIVв). Дженне город, находившийся на торговом пути через пустыню Сахару

Вертикальная и горизонтальная сквозная естественная система вентиляции, циркуляции и воздухообмена обеспечивалась за счет устройства сквозных отверстий на уровне низа и верха в наружных стенах. Для исключения перегрева наружных ограждающих конструкций стен и плоского покрытия от солнечной радиации, их однослойные конструкции выполнялись утолщенными (рис. 51z).

Одновременно с социальными и функциональными предпосылками существенным условием формирования первых поселений или городов является географическая среда и микроклимат.

Географическая среда, как естественная база общественного процесса, действует постоянно на человеческое общество, однако различный характер природных условий может существенно влиять на формирование среды, ускоряя или замедляя ее развитие [98]. Поэтому, с целью создания комфортной среды обитания, в современных условиях, значительное место занимают проблемы градостроительства в районах с особыми природно-климатическими условиями крайнего юга СНГ (бывшего СССР) и в зарубежных странах с сухим и жарким климатом. Здесь чрезмерная солнечная радиация, пыльные бури, зной пустыни и повышенная влажность создают дополнительные трудности при организации населенных мест. В связи с этим в проектных решениях предусматривается приближение природы к человеку путем создания городских и пригородных парков, расширение лесных массивов, устройство искусственных водохранилищ и в особенности применение всевозможных эффективных мер по оздоровлению и защите внешней и внутренней среды обитания.

Природно-климатические условия в жаркой местности, которой свойственно большое число теплых и жарких дней в календарном году, вызывают необходимость в целесообразности эффективного использования окружающего пространства вне стен жилища, работы или другой функциональной деятельности людей.

Меры по созданию оптимальных и комфортных условий для жизнедеятельности человека в зонах с аридным климатом предусматриваются и осуществляются потому, что факторы сухого и жаркого климата отрицательно влияют на организм человека и животный мир.

Великий среднеазиатский ученый, гуманист, известный древний врачеватель Абу Али ибн-Сина (Авиценна), рис. 52z, родившийся в 980 году в селении Афшана, близ Бухары (Узбекистан), в своих трудах по медицине «Канон врачебной науки» [99] и «Трактат по гигиене» [100] уделял большое внимание вопросам, связанным с учетом местных природно-климатических и микроклиматических особенностей, которые необходимо учитывать при выборе места для строительства городов и поселений, а также основам гигиены и особенностям жизнедеятельности в условиях жаркого сухого климата.

В своих трудах Авиценна отмечал: «Тому, кто выбирает себе местожительство, следует знать, какова там почва, насколько земля возвышена или низменна, открыта или закрыта, какова там вода, какова там субстанция воды, в какой степени она открыта и выходит наружу, находится ли она высоко или низко. Он должен знать, доступно ли данное место ветрам или находится в котловине и какие там ветры – здоровые ли они там или холодные, а также какие там по соседству моря, болота, горы и рудники...» и т.п.

Свои размышления по поводу создания микроклимата среды в условиях жаркого климата Абу Али ибн-Сина излагает следующим образом: «...совершенно обязательна инсоляция и проветривание помещений, чтобы окна и двери выходили на восток и на север, а также, чтобы восточные ветры могли бы проникать в здание и солнце достигло в них любого места, ибо солнце оздоравливает воздух».

Учение Абу Али ибн-Сина о гигиене жилища оказало существенное влияние на формирование типа застройки городов и поселений Востока.

Примеры поразительного совпадения теоретических положений Абу Али ибн-Сина, используемых при строительстве в аридных зонах на протяжении многовекового архитектурного и градостроительного опыта Средней Азии, показывают убедительную преемственность.

Еще с древних времен народные мастера Узбекистана, мудро учитывая особые природно-климатические условия аридного климата, выработали различные типы жилищ.

Многовековой мировой опыт поиска и реализации оптимальных решений при строительстве и эксплуатации поселений в условиях аридного климата, позволил выработать единые архитектурные, градостроительные и объемно-планировочные приемы, при которых национальные традиции переходят в интернациональные.

Примером этому могут служить практика возведения жилых усадебных домов и культовых объектов с перестильными замкнутыми дворами (рис. 52, 53).

Перестильные дворики с глубокой тенью в жилищном и культовом строительстве в аридных зонах, как результат интернационального многовекового опыта возведения зданий в древней Греции и Средней Азии, приведены на рис. 52а, б, в.

Древний город Бухара до настоящего времени сохранил в фрагментарном виде целостные планировочные группы, относящиеся в основном к XVI–XVIII вв. Анализ исторического формирования города в целом, его ансамблей, гузаров (районов) и строений свидетельствует о строгом учете древними зодчими специфики жаркого климата, выраженной в замкнутой композиции, устройстве пешеходных путей и организации внутренних затененных двориков, плоских кровель и т.п.

На примере медресе Бухары (рис. 53) представлено несколько различных композиций группировки зданий (парной и строенной группы) при формировании площади и улиц с учетом основных традиций.

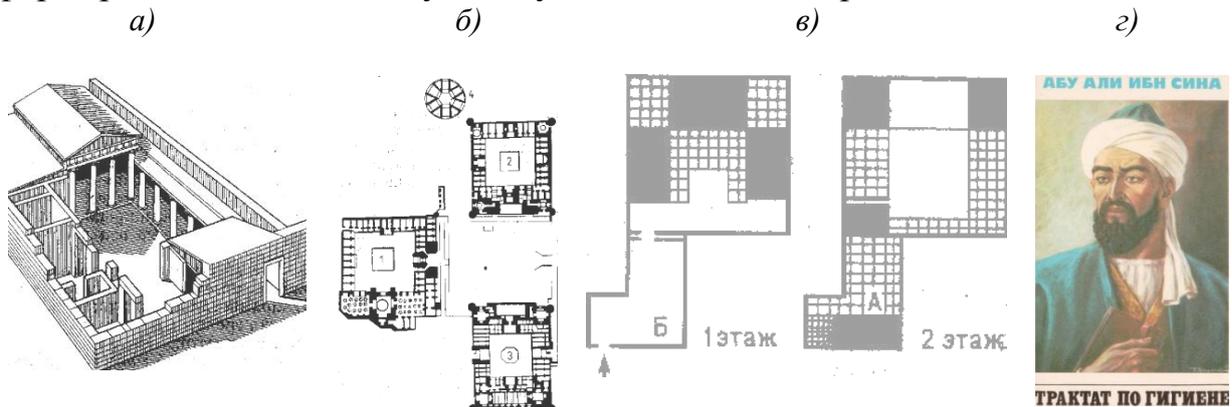


Рис. 52. Перестильные дворики с глубокой тенью в жилищном и культовом строительстве в аридных зонах, как результат интернационального многовекового опыта: *а* – схема затененного со всех сторон двора греческого жилого дома с перестильным двориком (IV век до н.э.); *б* – всемирно известный общественный ансамбль комплекса Регистан в г. Самарканде (Узбекистан) с его медресе, размещенным вокруг больших замкнутых дворов с комфортным микроклиматом, где 1 – медресе Тилля-Кори; 2 – медресе Улугбека; 3 – медресе Шир-Дор; 4 – Чор-Су; *в* – схематический план городской усадьбы XVI–XVIII вв., характерной для Средней Азии, с зимней группой жилых помещений, расположенных по бокам летних помещений (затушевана). Мужская часть дома (А) размещена на втором этаже над хозяйственным двором (Б); *г* – среднеазиатский ученый, гуманист, известный древний врачеватель Абу Али ибн-Сина (Авиценна)

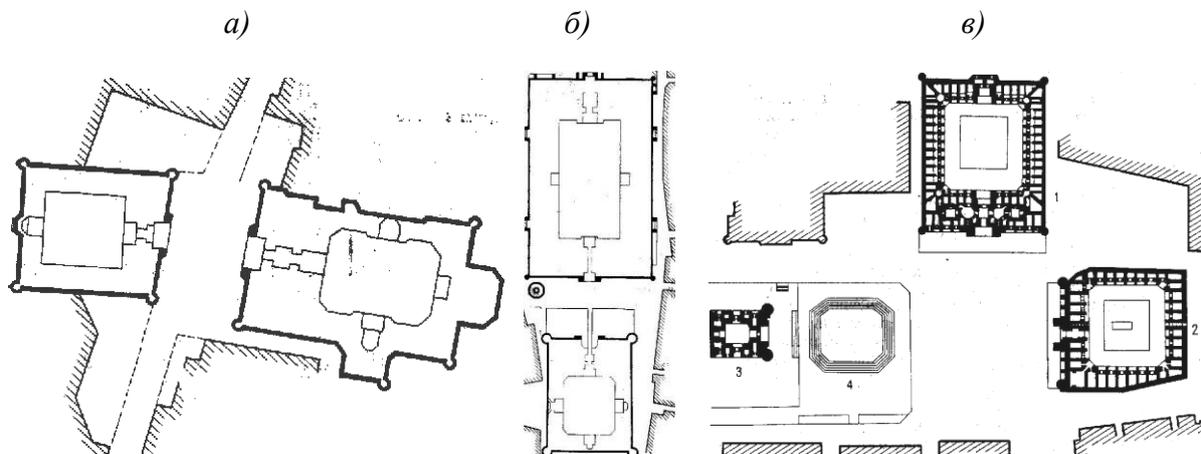


Рис. 53. Особенности традиционного для Средней Азии строительства культовых объектов: *а* – Бухара. Схема плана парной группы медресе Абдуллахана и Модерн-хан (Кош-медресе); *б* – Бухара. Схема плана парной группы медресе Мир-араб и мечети Калян; *в* – Бухара. Схема плана группы медресе на площади Лябихауз, где 1 – медресе Кукельташ; 2 – медресе Диван-беги; 3 – Ханака Диван-беги; 4 – водоем (хауз)

Современными учеными и специалистами при обосновании и оценке особых природно-климатических условий сухого и жаркого климата с целью принятия рациональных и эффективных методов и способов возведения зданий и сооружений на регулярной основе проводятся научные и экс-

периментальные исследования комплекса вопросов в области: климатологии, медицины, астрономии, материаловедении, архитектурной физики среды, технологии. На основании накопленного отечественного, международного опыта и достижений современного комплекса архитектурно-строительной и других смежных наук, становится возможным составить климатическую модель городской среды, а также выработать основные градостроительные и объемно-планировочные концепции, к которым относятся: карта микроклиматического районирования; характеристика биокомфорта для конкретной местности с аридным климатом; разработка основных принципов, правил и норм по эффективному применению солнцезащитных устройств, по борьбе со штилями, чрезмерной влажностью, пыльными бурями, установлению санитарно-гигиенических мер по нейтрализации отрицательно действующих на организм человека сухого и жаркого климата, а также вредных воздействий от промышленных предприятий.

## **6.2. Урбанизация среды в условиях жаркого сухого климата**

На основании исторических данных и результатов археологических раскопок установлено, что самыми ранними сохранившимися до наших дней свидетельствами о системных принципах застройки поселений и городов, в условиях жаркого сухого климата, следует считать старейший центр мировой цивилизации Древнюю Месопотамию. Еще в V веке до нашей эры, историк, первый градостроитель античности Гипподам Милетский рассказывал о крупнейшем на тот период городе древности – Вавилоне (рис. 54а).

Громадный город имел в плане форму квадрата. Прямые и широкие улицы Вавилона, ориентированные по сторонам света, пересекались под прямым углом. За счет прямоугольной планировки улиц обеспечивалось сквозное проветривание городской территории.

Прямоугольная планировочная система древнегреческого дорийского города Книд (рис. 54б) создана с учетом того, что главные его улицы соответствуют организующим город композиционным осям, при условии, что сам город расположен под защитой двух горных цепей – со стороны материка и с острова.

В 1898 году архитектор Э. Говард предложил новую идею создания структуры города-сада, расположенного в условиях жаркого сухого климата, с радиально-кольцевой планировочной системой размещения центра (1) города и его улиц (рис. 54в).

В соответствии с этой структурой из центральной части города, рассчитанного на 30 тысяч жителей, расходятся шесть радиальных проспектов, которые соединяют расположенный в центре парк (2) с внешней границей города, за пределами которой размещена промышленная зона (6). По периметру парковой зоны (2) с галереями для прогулок находится зона участков жилых домов (3) с инфраструктурой и садами.

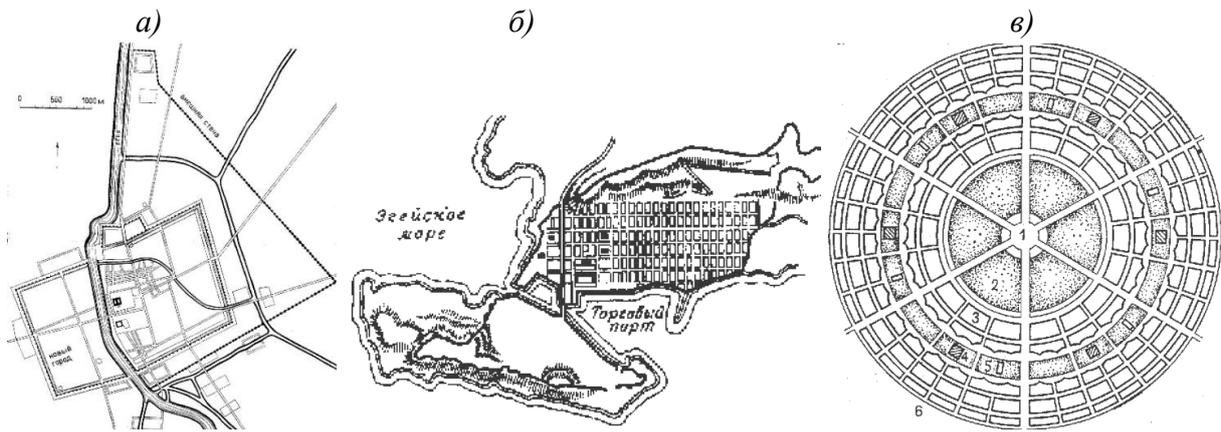


Рис. 54. Урбанизация городских территорий в аридных зонах.

*а* – план крупнейшего в древней Месопотамии города V века до н.э. Вавилон (2000 лет до н.э.) с прямоугольной планировочной структурой улиц, обеспечивавшей сквозное проветривание территории города в условиях сухого и жаркого климата; *б* – характерная планировочная композиция древнегреческих городов с учетом жаркого климата на примере дорийского города Книд, разместившегося под защитой двух горных цепей – со стороны материка и с острова; *в* – схема города-сада с радиально-кольцевой планировочной структурой, предложенная в 1898 году архитектором Э. Говардом, где 1 – центральный парк с общественными зданиями (театр, музей, концертный зал, библиотека, больница); 2 – хрустальные галереи для прогулок; 3 – жилая застройка; 4 – школа; 5 – церковь; 6 – промышленность

Радиально-кольцевая система организации уличной сети в градостроительстве аридных зон, получившая свое развитие в период феодализма, наложила свое влияние на планировочные решения отдельных цитаделей, в которых активно развивалось ремесленничество (рис. 55). Примерами этому служат: центр древнего города Баку с укрепленной цитаделью Ширваншахов (рис. 55*а*); город-крепость в Ингапирке, расположенный в Эквадоре (рис. 55*б*), где 1 – стена крепости; 2 – место для воинов; 3 – командный пункт.

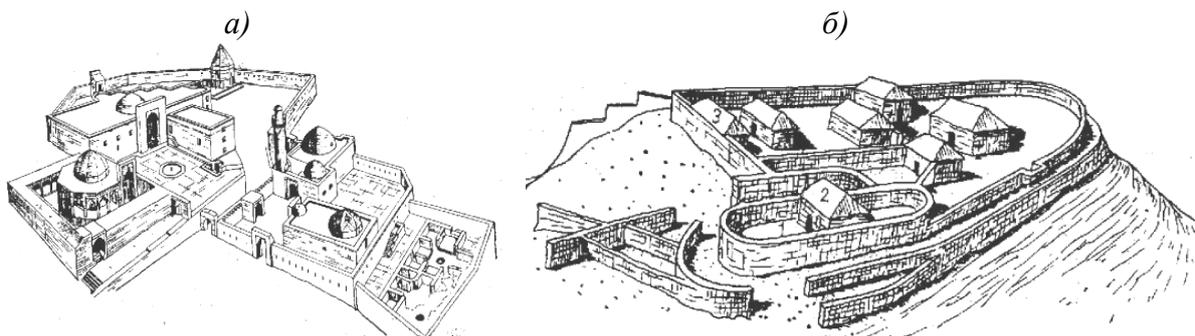


Рис. 55. Радиально-кольцевая система организации уличной сети в аридных зонах с учетом развития ремесленного поселения вокруг укрепленной цитадели:

*а* – центр древнего города Баку (укрепленная цитадель Ширваншахов); *б* – крепость в Ингапирке (Эквадор), где 1 – стена крепости; 2 – место для воинов; 3 – командный пункт

Обилие мелких земельных наделов между радиальными дорогами привело к необходимости вывода каждого двора на главную дорогу путем

устройства мелких переулков. Радиальные торговые дороги, системы переулков, дополненные кольцевыми укреплениями, образовали радиально-кольцевую структуру уличной сети, сохранившуюся во многих современных городах. Основными факторами, определяющими климатические условия, которые влияют на формирование и создание комфортных микроклиматических условий жизнедеятельности населения в городах и поселках с аридным климатом, относятся: характеристика температуры воздуха; солнечная радиация и инсоляция при ясном небе при различных ориентациях застройки; относительная влажность воздуха (среднесуточная в 13 и 0,7 ч.); ветровой режим (роза ветров), суммарной за год и отдельно за январь и июль; рельеф местности – гипсометрическая характеристика территории, существенно влияющая на температурный режим и аэрацию местности, так как неравномерный нагрев склонов различной ориентации и крутизны обуславливает циркуляцию воздушных масс. С учетом вышеперечисленных природных факторов можно моделировать микроклиматическое моделирование районирования конкретной урбанизированной местности.

В зонах жаркого климата пересеченный рельеф местности дает возможность реализовать оригинальное ландшафтно-планировочное зонирование местности по вертикали, с целью обеспечения наилучших условий для сквозного проветривания и инсоляции помещений. Известно, чем выше расположен город, тем ниже температура и атмосферное давление. В связи с этим, пересеченные условия рельефа изменяют направление и скорость ветра, предохраняют селитебную территорию от жарко-пыльных потоков воздуха и могут регулировать микроклимат нагорной местности. Пересеченный рельеф, горы и возвышенности, влияющие на формирование микроклимата местности, позволяют архитекторам и градостроителям реализовывать наиболее выразительные архитектурно-планировочные решения с помощью террасного строительства (рис. 56).

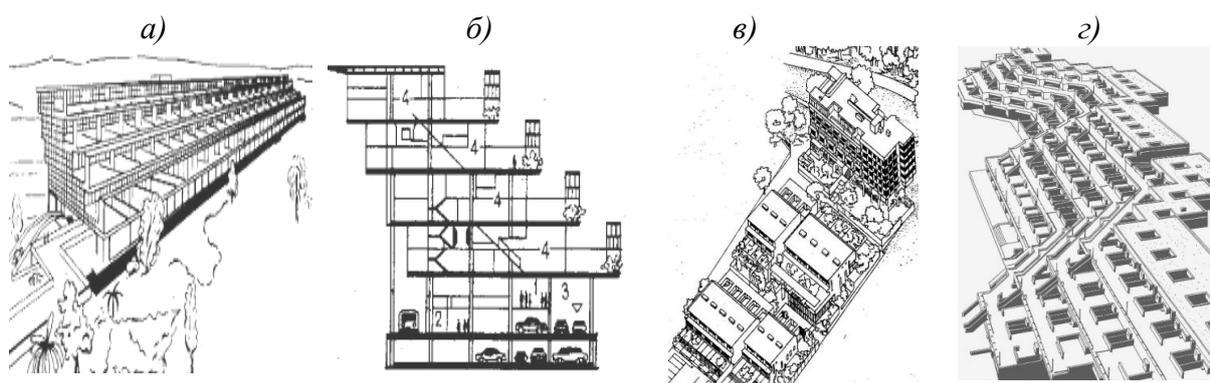


Рис. 56 . Террасное строительство в условиях жаркого климата на горизонтальной и пересеченной местности: *а, б* – жилой район Дюран (Алжир), где *а* – общий вид; *б* – поперечный разрез; *1* – общественное обслуживание; *2* – гостиница и ресторан; *3* – гаражи; *4* – двухуровневые квартиры; *в, г* – трехмерные изображения террасного строительства в условиях жаркого сухого климата

Положительный отечественный и зарубежный опыт террасного жилищного строительства позволяет констатировать, что объемно-планировочным решениям свойственно: разнообразная блокировка по горизонтали и вертикали; многообразие планировочных решений квартир с летними помещениями и эксплуатируемыми кровлями; размещение квартир на склонах различной крутизны. Например, многоярусное расположение жилых домов по склону, в жилом районе Дюран, в Алжире, дает им преимущества многоэтажной застройки (рис. 56а, б).

Удачным примером оптимального использования территории со сложным рельефом местности, на которой возведены малоэтажные и многоэтажные жилые дома, органично вписавшиеся в сохраненный ландшафт, является жилой комплекс в Бругге, фрагмент его приведен на рис. 57.

По проекту известного японского архитектора Кикутаке в 1974 году, вблизи от города Мисима в Японии, где в условиях жаркого климата имеется недостаток территории для строительства при большой численности населения страны, возведен жилой комплекс (рис. 56б, и рис. 57), расположенный на холмистой территории со средним уклоном рельефа до 35%. Жилой комплекс на 120 квартир возведен в сейсмически активном районе, на участке площадью 3 га, со средней плотностью застройки более  $68 \text{ м}^2$ , в виде ступенчатой террасовидной структуры, с остовом из железобетона.

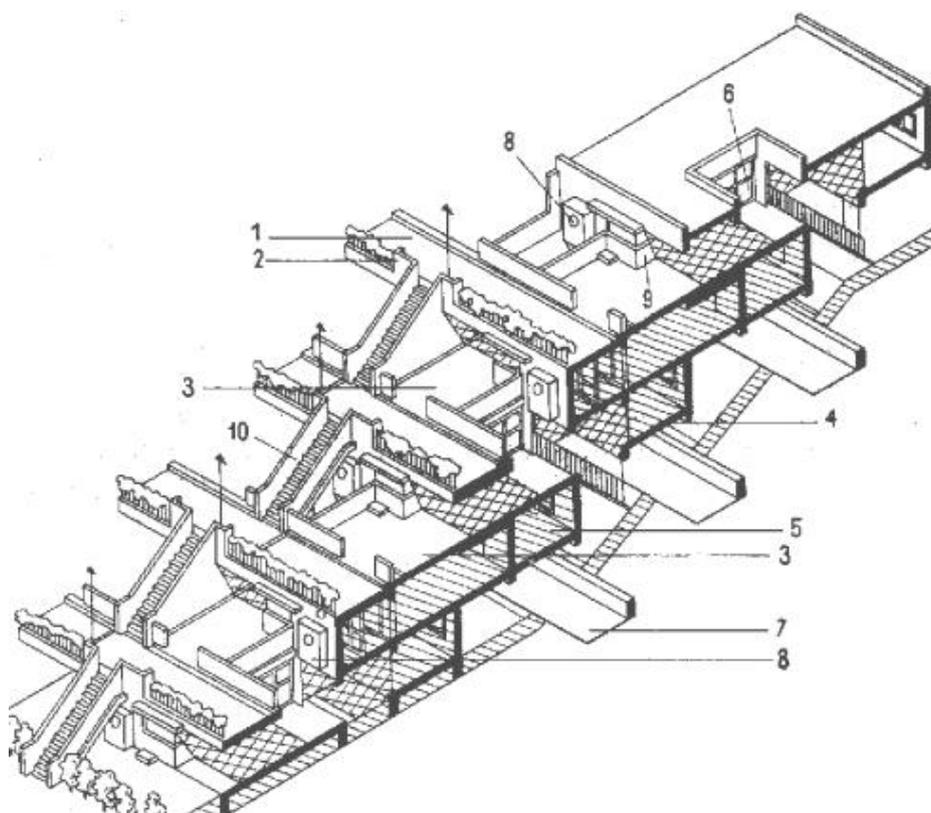


Рис. 57. Фрагмент террасного жилого комплекса: 1 – проход-терраса; 2 – ограждение с зелеными насаждениями; 3 – двор-сад при квартире; 4 и 5 – спальни; 6 – остекленная раздвигаемая система комнаты-столовой; 7 – служебный проход; 8 – панель стены ванной; 9 – кухня; 10 – лестница, соединяющая проходы-террасы

### 6.3. Особенности объемно-планировочных решений и застройки зданий и сооружений в условиях жаркого сухого климата

Многолетними исследованиями ученых и практическим опытом метеорологических служб во всем мире установлено, что наиболее благоприятной ориентацией жилых зданий для зоны жаркого пояса является ориентация продольной оси здания на «запад–восток» или широтное расположение зданий, а наименее желательной, ориентация продольной оси здания на «север–юг» или меридиональная ориентация, которая способствует перегреву жилых и общественных помещений зданий.

Характер оптимальной организации территории с формированием оазисного микроклимата, наряду с научно обоснованной ориентацией основных помещений по сторонам света, зависит от принципиальных особенностей, применяемых в застройке гражданских и промышленных зданий, включая: этажность; конфигурацию плана зданий; геометрические размеры и пропорции летних и вспомогательных помещений.

В качестве наглядного примера на рис. 58 представлены принципиальные схемы строительно-климатических характеристик и внешних температурных воздействий на гражданские (рис. 58а) и производственные (рис. 58б, в, г) здания для районов жаркого сухого климата.

Усадебный малоэтажный жилой дом (рис. 58а), где 1 – деревья с высокой кроной, способствующей образованию тени и свободному проникновению прохладного воздуха; 2 – широкий навес по периметру здания создает тень и охлаждает стены; 3 – жалюзи; 4 – газон для погашения отраженной радиации и яркости небосвода; 5 – вентилируемая крыша для снижения перегрева чердачного перекрытия жилого дома; 6 – покрытие скатной крыши окрашена в светлые тона, способствующие снижению солнечной радиации; 7 – легкие затененные стены защищают помещения от радиации вечером; 8 – приподнятый над поверхностью земли пол обеспечивает циркуляцию воздуха под полом первого этажа дома.

Примером научно обоснованного и эффективного использования практических навыков градостроительства современных городов в условиях жаркого сухого климата, является положительный опыт застройки центра г. Ташкента (рис. 59).

При восстановлении г. Ташкента, после разрушительного землетрясения в 1966 году, архитекторы и строители того времени (СССР) в особых условиях сухого жаркого климата использовали целый комплекс градостроительных и технических мер по улучшению микроклимата за счет сквозного продувания площади; устройства фонтана длиной 100 м с большой гладью воды для интенсивного испарения (увлажнения воздуха); оптимальной ориентации зданий; озеленения; эффективной солнцезащиты, являющейся элементами традиционной архитектуры Средней Азии.

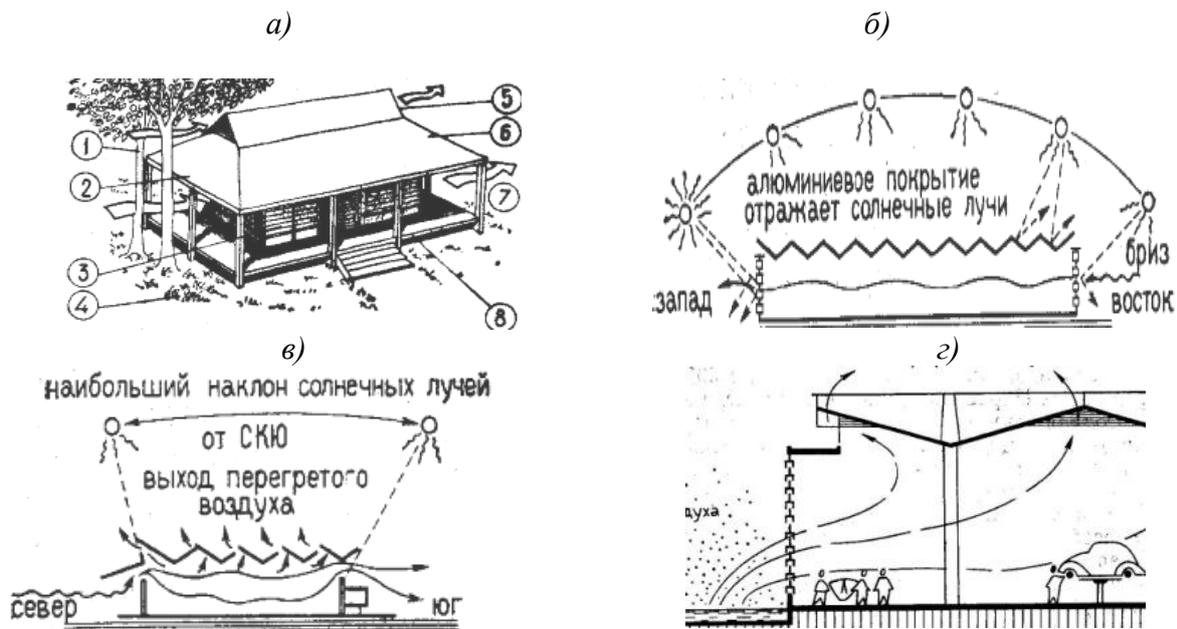


Рис. 58. Принципиальные схемы строительно-климатических характеристик и внешних температурных воздействий на гражданские (а) и производственные (б, в, г) здания для районов жаркого сухого климата: а – усадебный жилой дом, где 1 – деревья с высокой кроной, способствующей образованию тени и свободному проникновению прохладного воздуха; 2 – широкий навес по периметру здания создает тень и охлаждает стены; 3 – жалюзи; 4 – газон для погашения отраженной радиации и яркости небосвода; 5 – вентилируемая крыша для снижения перегрева чердачного перекрытия жилого дома; б – покрытие скатной крыши окрашена в светлые тона, способствующие снижению солнечной радиации; 7 – легкие затененные стены защищают помещения от радиации вечером; 8 – приподнятый над поверхностью земли пол обеспечивает циркуляцию воздуха под полом первого этажа дома; б, в, г – схемы испарения и охлаждения воздуха в производственных зданиях и сооружениях



Рис. 59. Современная застройка центральной части г. Ташкента (Узбекистан), восстановленного после разрушительного землетрясения в 1966 году в условиях сухого жаркого климата, с большим количеством зеленых насаждений и водных поверхностей с фонтаном длиной 100 м, инфраструктурой и широкими проспектами при сквозном проветривании (авторы: архитекторы Л. Адамов, С. Адылов, Б. Зарицкий, Ю. Пурецкий, Е. Розанов, Ф. Турсунов, Ю. Халдеев, В. Шестопалов, А. Якушев; инженеры В. Кричевский, К. Дудин, художник М. Усманов – лауреаты Гос. премии СССР, 1975 г.)

#### 6.4. Инсоляция зданий и территорий в условиях сухого жаркого климата

Создание, обеспечение и поддержание условий для оптимального микроклимата в помещениях зданий, сооружений и территорий различного назначения, в особых условиях сухого жаркого климата, в большой степени зависит от проведения специфических мероприятий, включающих: рациональную ориентацию оконных проемов по сторонам света; защиту помещений от избыточной солнечной радиации; снижение повышенной инсоляции; увлажнение сухого воздуха; обеспечение сквозной горизонтальной и вертикальной вентиляции всех помещений. На территории СНГ (Союз Независимых Государств), в нашей стране (бывший СССР), к особым условиям жаркого климата относятся в основном районы среднеазиатских республик, расположенные южнее 45-й параллели, а также некоторые районы Кавказа. С целью снижения уровня радиационных воздействий и повышенной инсоляции в регионах с жарким климатом применяется: наружная отделка и окраска стен и покрытий зданий и сооружений материалами светлых тонов; специальные теплоизоляционные, защитные и солнцезащитные устройства (СЗУ). Снижению инсоляции способствует устройство различных инженерных мероприятий, включая: увеличенные горизонтальные и наклонные свесы чердачных и плоских кровель; солнцезащитные экраны и козырьки над оконными проемами, витражами, лоджиями, балконами и т.п. Для углубленного освоения основных природных процессов, вызванных солнечной радиацией и инсоляцией, негативные факторы которых необходимо учитывать при проектировании конструкций оконных проемов и светоаэрационных фонарей, на рис. 60–68 приведены расчетно-графические схемы и поясняющие изображения. На рис. 60 представлена траектория движения солнца и направление лучей к наблюдателю в характерные дни года [102]. Совмещенная пространственная схема траектории движения солнца по отношению к кругу горизонта в характерные дни года, приведены на рис. 61. Теоретическое представление о движении солнца с пошаговым определением координат солнца на небесной полусфере при исчислении вертикальных координат по высоте стояния солнца в градусах ( $h_0=90^\circ-\varphi$ ) и горизонтальных координат по азимуту в градусах ( $A_0$ ), приведены на рис. 62. Принципиальные расчетные схемы, используемые при геометрическом построении теней от солнечных лучей, установления размера тени, и масштабная шкала теней приведены на рис. 63. Все материалы и изделия, применяемые в строительстве, делятся на непрозрачные и светопроницаемые (рис. 64 и 65). Построение углов затенения светопроема приведены на рис. 66. Относительная «активность» и освещенность проемов на разной высоте приведена на рис. 67 и 68. Для снижения перегрева помещений применяются слоистые конструкции стен и покрытий с продухами, расположенными за теплоотражающими экранами.

ми. В продухах обеспечивается движение воздуха, что способствует охлаждению конструкций в условиях летнего перегрева.

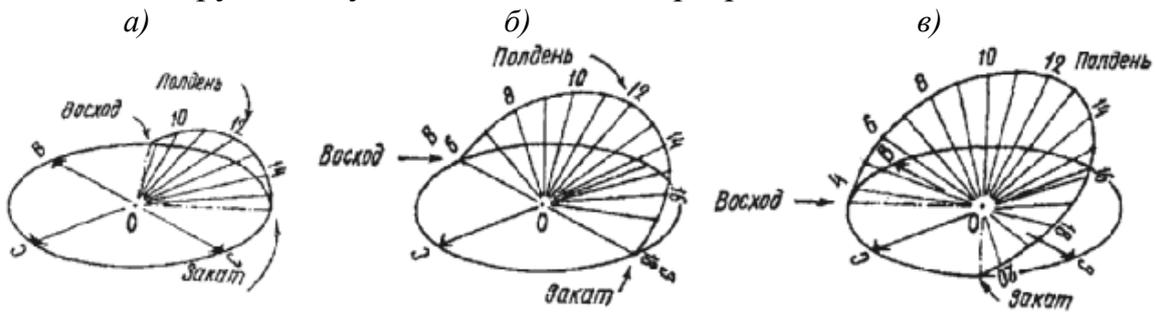


Рис. 60. Траектория движения солнца и направление лучей к наблюдателю, находящемуся в точке «0» в характерные дни года: а – зимнее солнцестояние; б – день весенне-осеннего равноденствия; в – летнее солнцестояние

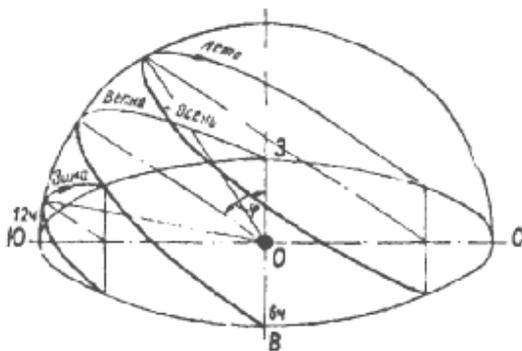


Рис. 61. Траектория движения солнца по отношению к кругу горизонта в характерные дни года

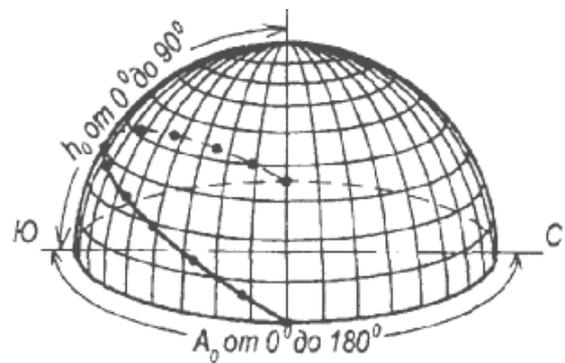


Рис. 62. Координаты солнца на небесной полусфере:  $h_0 = 90^\circ - \varphi$  – высота стояния солнца в градусах;  $A_0$  – азимут в градусах

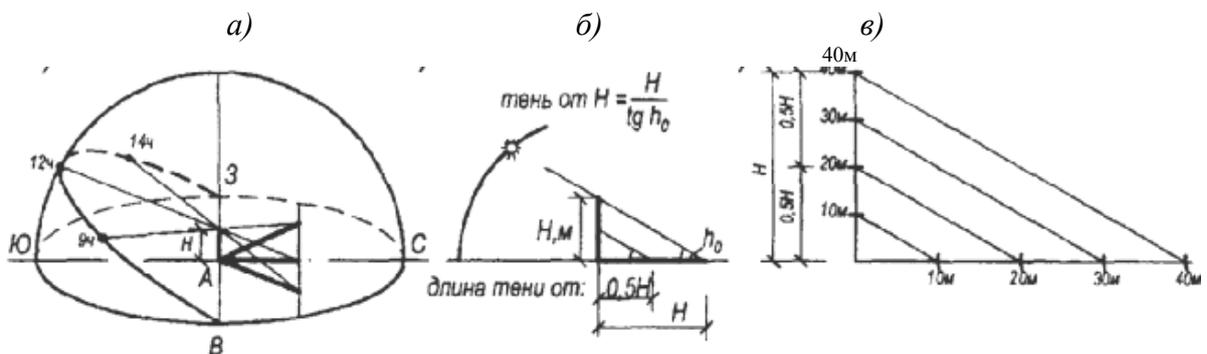


Рис. 63. Построение теней от вертикального стержня, стоящего в центре круга горизонта (а), принцип определения размера тени (б), масштабная шкала теней (в)

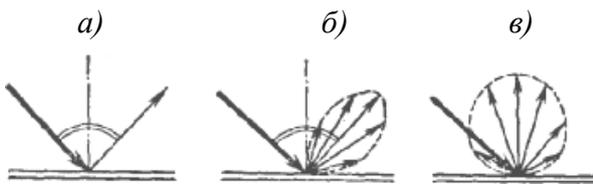


Рис. 64. Схема отражения света от непрозрачных поверхностей: а – направленное; б – направленно-рассеянное; в – диффузное

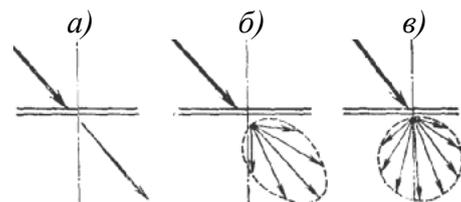


Рис. 65. Схема пропускания света различными средствами: а – направленное; б – направленно-рассеянное; в – диффузное

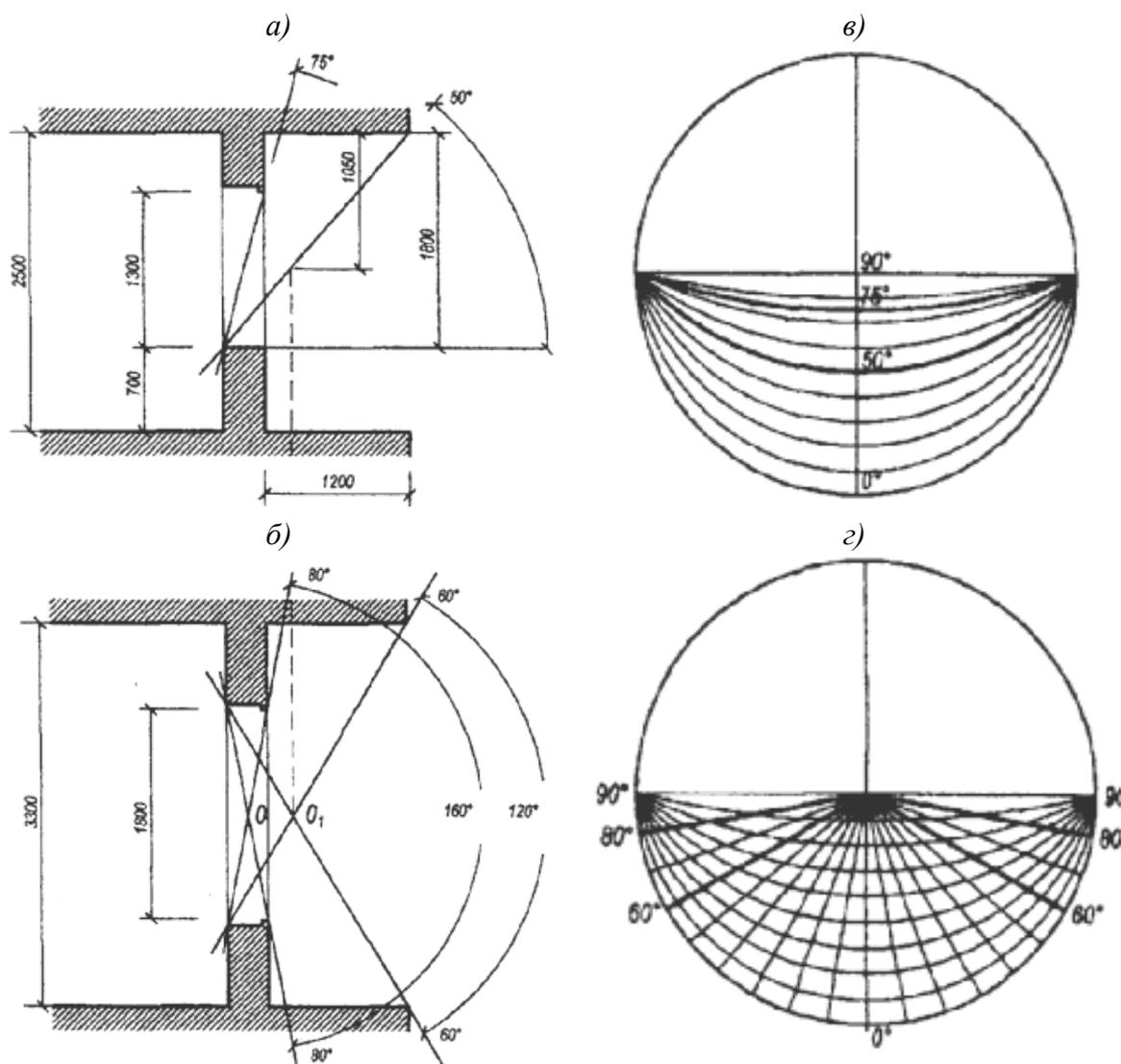


Рис. 66. Построение углов затенения светопроема: *a* – разрез; *б* – план; *в* – угол вертикального затенения; *з* – угол горизонтального затенения

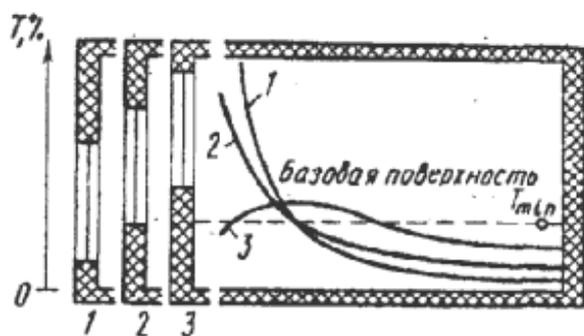


Рис. 67. Относительная «активность» светопроемов одинаковых размеров, расположенных на разной высоте

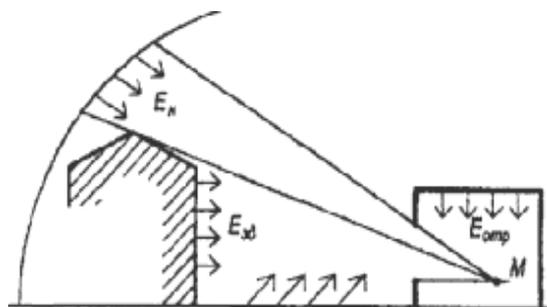


Рис. 68. Графическое представление об освещенности помещения

## 6.5. Солнцезащита гражданских и промышленных зданий

Первой задачей современной архитектуры, в условиях сухого жаркого климата, является создание комфортных условий пребывания жителей с целью сохранения здоровья и хорошего самочувствия, поддержания и восстановления работоспособности. Одним из основных факторов формирования микроклимата помещений, который может как улучшать, так и ухудшать условия пребывания, является инсоляция – облучение помещений прямой солнечной радиацией сквозь светопроницаемые конструкции. Инсоляция повышает температуру поверхностей и воздуха в помещениях в результате парникового эффекта, уничтожает патогенные микроорганизмы, но также создает избыточную освещенность на облучаемых рабочих поверхностях. Контроль процесса инсоляции особенно важен в помещениях, где выполняются точные работы, и в архитектуре с избыточными площадями остекления, которая является популярной тенденцией современной архитектуры. С целью терминологического обеспечения специального архитектурно-строительного текста в разделе 2 «Строительство зданий и сооружений в условиях жаркого сухого климата. Солнцезащита гражданских и промышленных зданий» пособия, автором предлагается использовать табл. 1.12 (приложение 12) с терминами и определениями и табл. 1.13 с обозначениями и сокращениями (приложение 13).

### 6.5.1. Классификация солнцезащитных устройств (СЗУ)

Все конструкции солнцезащитных устройств (СЗУ), применяемые в условиях сухого жаркого климата, в соответствии со сведениями, изложенными в [104; 105; 106], классифицируются, соответственно:

- по положению относительно светопроницаемой конструкции «А» (рис. 69);
- по конструкции затеняющих элементов «Б» (рис. 70);
- по положению направляющей затеняющих элементов «В» (рис. 71);
- по способу управления, конструкции «Г» (рис. 69, 70, 71).

В свою очередь, классификационный тип по положению относительно светопроницаемой конструкции, подразделяется (рис. 69):

- на внешние солнцезащитные устройства (СЗУ);
- межстекольные солнцезащитные устройства (СЗУ);
- внутренние солнцезащитные устройства (СЗУ).

*А.1.* Внешние СЗУ (рис. 69а), затеняющие элементы которых расположены снаружи относительно остекления, имеют наилучшую эффективность с точки зрения защиты от перегрева благодаря лучшей возможности теплоотдачи поглощенного тепла, но в тоже время подвержены негативному влиянию внешних факторов капризов погоды (ветровой и снеговой нагрузке и т.п.). Поэтому их конструктивные элементы требуют тщательных мер защиты.

А.2. Межстекольные СЗУ (рис. 69б, в), затеняющие элементы которых расположены между слоями стекла, в обслуживаемом пространстве или в камерах стеклопакетов, лучше защищены от негативных факторов внешней среды, просты в обслуживании, и в меньшей мере оказывают влияние на архитектуру внешнего облика зданий. Однако вариант применения конструктивной системы межстекольных СЗУ требует более тщательного и детального проектирования светопрозрачных конструкций с обязательным обеспечением режима вентиляции межстекольного пространства.

А.3. Внутренние СЗУ (рис. 69г), затеняющие элементы которых, расположены внутри помещений или изнутри относительно остекления, оцениваются как неэффективные для защиты от перегрева, поскольку солнечные лучи уже прошли через светопрозрачные конструкции внутрь помещения и вызывают парниковый эффект. Поэтому система внутренних СЗУ, как правило, рекомендуется только для защиты от избыточной освещенности помещений.

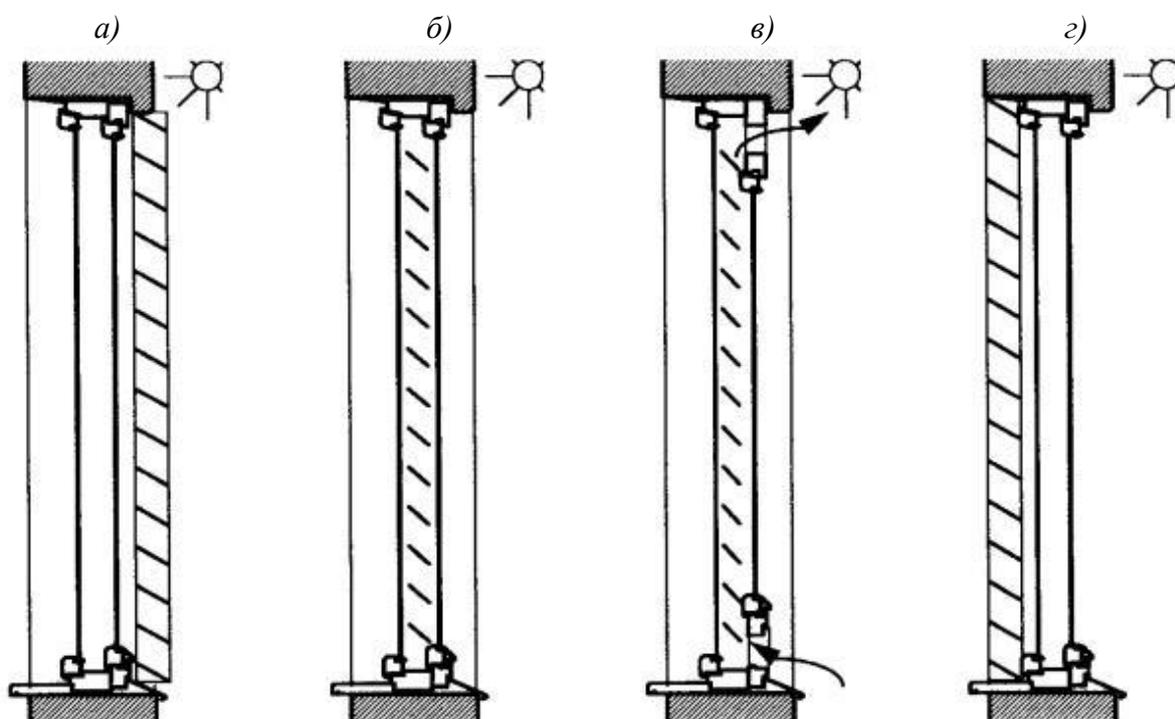


Рис. 69. Классификация солнцезащитных устройств по положению относительно светопрозрачной конструкции «А»: а – внешние; б – межстекольные без вентиляции межстекольного пространства; в – межстекольные с вентиляцией межстекольного пространства; г – внутренние

Б. Конструкции затеняющих элементов подразделяются на сплошные СЗУ и ламелярные СЗУ (рис. 70).

Б.1. Сплошные типы конструкций СЗУ (рис. 70а) представляют собой защитные системы, затеняющими элементами которых являются сплошные непрозрачные или частично прозрачные щиты.

Б.2. Ламелярные типы конструкций СЗУ (рис. 70б, в) представляют собой защитные системы, затеняющие элементы которых состоят из ряда

параллельных ламелей. Дискретные щиты позволяют обеспечить поставленные задачи, на предмет: уменьшения расхода строительных материалов; значительного снижения сопротивлением ветровым потокам; лучшей отдачей поглощенного тепла; гарантированного отвода дождевой воды с их поверхности. Отличительной особенностью ламелярных типов конструкций СЗУ является то, что если ламели одного СЗУ имеют одинаковый размер, тогда ламели устанавливают на равном расстоянии (рис. 70б). Если же ламели в составе одного щита отличаются размерами, тогда устанавливают их на расстояниях прямо пропорциональных ширинам ламелей (рис. 70в).

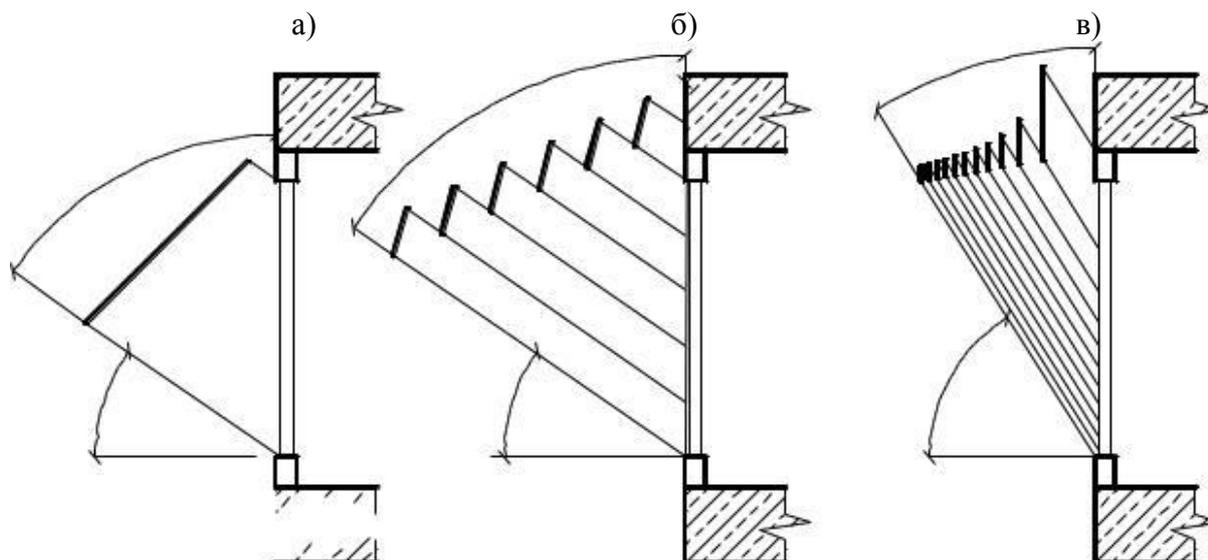


Рис. 70. Классификация солнцезащитных устройств по конструкции затеняющих элементов «Б»: *а* – сплошные типы конструкций СЗУ; *б* – ламелярные типы конструкций СЗУ, состоящие из ряда параллельных ламелей, когда ламели одного щита имеют одинаковый размер и ламели устанавливают на равном расстоянии друг от друга; *в* – то же, когда ламели в составе одного щита отличаются размерами и устанавливаются на расстояниях прямо пропорциональных ширинам ламелей

*В.* По положению направляющей затеняющих элементов СЗУ подразделяются на горизонтальные, вертикальные, общего положения и комбинированные (рис. 71).

*В.1.* Горизонтальные типы конструкций СЗУ (рис. 71а) представляют собой защитные системы, затеняющие элементы в которых расположены горизонтально. В качестве горизонтальных СЗУ могут рассматриваться жалюзи с горизонтальными ламелями, а также козырьки, летние помещения следующего этажа, такие как балконы и лоджии, и консоли над световыми проемами.

*В.2.* Вертикальные типы конструкций СЗУ (рис. 71б) представляют собой защитные системы, затеняющие элементы в которых расположены вертикально. В качестве вертикальных СЗУ могут рассматриваться жалюзи

с вертикальными ламелями, а также боковые стенки лоджий, ризалиты, и другие внешние выступающие элементы здания.

*В.3.* Типы конструкций СЗУ общего положения (рис. 71в) представляют собой защитные системы, затеняющие элементы в которых расположены под углом к горизонту. В качестве СЗУ общего положения в этом стандарте-установке рассматриваются жалюзи с наклоненными ламелями.

*В.4.* Комбинированные типы конструкций СЗУ (рис. 71г) представляют собой защитные системы, затеняющие элементы в которых состоят из двух или более систем затеняющих элементов разного положения. В этом стандарте-установке рассматриваются комбинированные СЗУ, состоящие из вертикальных и горизонтальных элементов.

Следует отметить, что относительно плоскости фасада в солнцезащитных устройствах, плоскости ламелей могут быть расположены как перпендикулярно, так и иметь определенный расчетный угол по отношению к плоскости фасада.

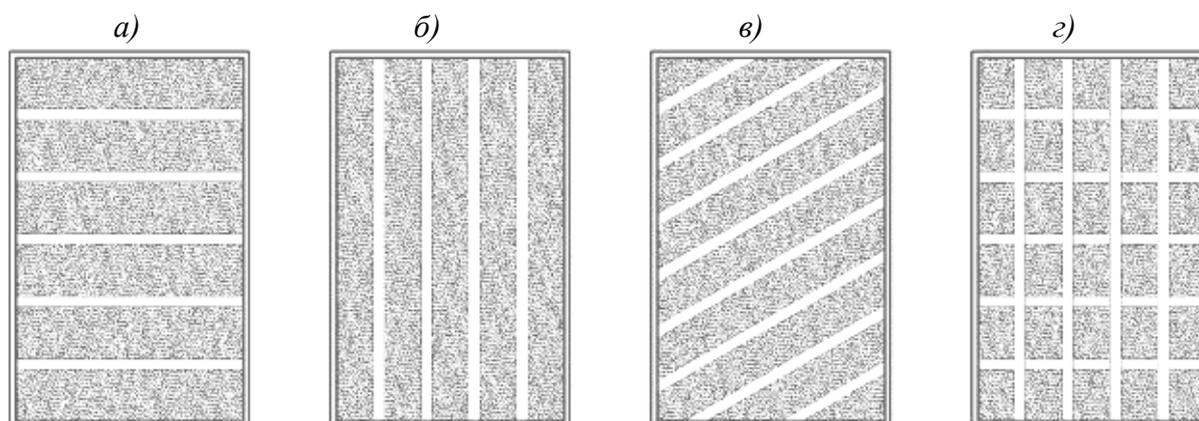


Рис. 71. Классификация солнцезащитных устройств по способу управления «В»:  
*а* – горизонтальные; *б* – вертикальные; *в* – общего положения; *г* – комбинированные

*Г.* По способу управления конструкции СЗУ подразделяются на стационарные, регулируемые, циклически регулируемые, адаптивно регулируемые, пассивно-адаптивные, активно-адаптивные (рис. 69, 70, 71).

*Г.1.* Стационарные типы конструкций СЗУ представляют собой защитные системы, геометрические параметры которых не меняются в течение всего срока эксплуатации (рис. 69, 71).

*Г.2.* Регулируемые типы конструкций СЗУ представляют собой защитные системы, геометрические параметры которых могут изменяться в процессе их эксплуатации (рис. 70).

*Г.3.* Активно регулируемые типы конструкций СЗУ представляют собой защитные системы, геометрические параметры которых могут быть изменены пользователем напрямую, или с использованием специальных систем управления согласно собственным пожеланиям (рис. 70).

*Г.4.* Циклически регулируемые типы конструкций СЗУ (рис. 70) представляют собой защитные системы, геометрические параметры которых

изменяются соответствующей системой управления согласно заданному пользователем или проектировщиком циклу (суточному или годовому).

*Г.5.* Адаптивно регулируемые типы конструкций СЗУ представляют собой защитные системы, геометрические параметры которых изменяются в зависимости от условий внешней среды, в частности температуры воздуха и интенсивности солнечной радиации (рис. 70).

*Г.5.1.* Пассивно-адаптивные типы конструкций СЗУ представляют собой защитные системы, геометрические параметры которых изменяются непосредственно условиями среды вследствие явлений температурной деформации или изменения агрегатного состояния материалов.

*Г.5.2.* Активно-адаптивные типы конструкций СЗУ представляют собой защитные системы, геометрические параметры которых изменяются соответствующей системой управления в зависимости от данных оборудования метеорологического наблюдения.

### ***6.5.2. Основы проектирования солнцезащитных устройств***

По общим условиям снижения инсоляции защищаемых от солнечных лучей помещений, конструкции солнцезащитных устройств должны обеспечивать эффективную защиту помещений от перегрева. Защита от перегрева способствует снижению электроэнергии и избыточной нагрузки на системы кондиционирования и централизованной системы приточно-вытяжной вентиляции в течение периода охлаждения и вентиляции помещений. Вместе с тем, научно обоснованно и рационально установленная система СЗУ позволяет решить вопросы избыточной освещенности на рабочих поверхностях (рабочих местах) в течение всего рабочего дня. В течение весенне-зимне-осеннего отопительного периода, системно запроектированные конструкции СЗУ, как правило, приводит к уменьшению влияния на инсоляцию и пассивное солнечное отопление помещений. Важным фактором создания комфортных условий эксплуатации помещений различного функционального назначения, является процесс обеспечения нормативной освещенности рабочих мест и помещений. Поэтому вопрос влияния СЗУ на освещенность рабочих поверхностей внутри помещений решается расчетом или назначается по результатам экспериментальных измерений. С целью обеспечения беспрепятственного стока дождевой воды и сползания снега, устройство солнцезащитных ламелей для СЗУ, располагаемые с наружной стороны от светопроницаемых устройств окон и виражей, проектируются с углом « $\alpha$ » линии наибольшего ската к плоскости горизонта, который принимается  $\alpha \geq 45^\circ$ .

Принятая в проекте и возведенная конструктивная система СЗУ должна обеспечивать требуемую прочность, надежную устойчивость и длительную эксплуатационную пригодность в течение всего расчетного периода эксплуатации солнцезащитных устройств. При проектировании СЗУ обязательным требованием является обеспечение устойчивости их

конструкций на воздействие внешних нагрузок природно-климатического происхождения, в частности ветровых, ледяных и снеговых нагрузок. Важным требованием при проектировании систем СЗУ следует считать то, чтобы их затеняющие элементы (ламели) имели требуемую и достаточную теплоотдачу. Также, для обеспечения лучшей теплоотдачи устройство солнцезащитных элементов проектируется на отnose от остекления. Кроме того, во избежание деформаций вследствие их расширения при нагревании прямой солнечной радиацией, затеняющие элементы (ламели) проектируются с подвижными или шарнирными соединениями в опорах с закрепленными к коробке рамы СЗУ. При проектировании варианта СЗУ с установкой затеняющих элементов (ламелей) в межстекольном пространстве (рис. 69б, в), с целью удаления избыточного тепла, обеспечивается вентиляция этого пространства с выходом нагретого воздуха наружу. При этом потоки воздуха в межстекольное пространство светопропускаемых конструкций окон и витрин могут поступать с наружной (фасадной) стороны, или из внутреннего пространства защищаемых помещений. Во втором случае должно быть обеспечено условие надежной работы центральной или локализованной приточной вентиляции. В порядке усовершенствования проектных решений с установкой затеняющих элементов в межстекольном пространстве, предусматриваются варианты с изменением направления потока удаляемого воздуха, в период отопления для обогрева помещений нагретым от элементов СЗУ воздухом. Различные варианты практикуемых режимов вентиляции межстекольного пространства светопропускаемых ограждений приведены на рис. 72.

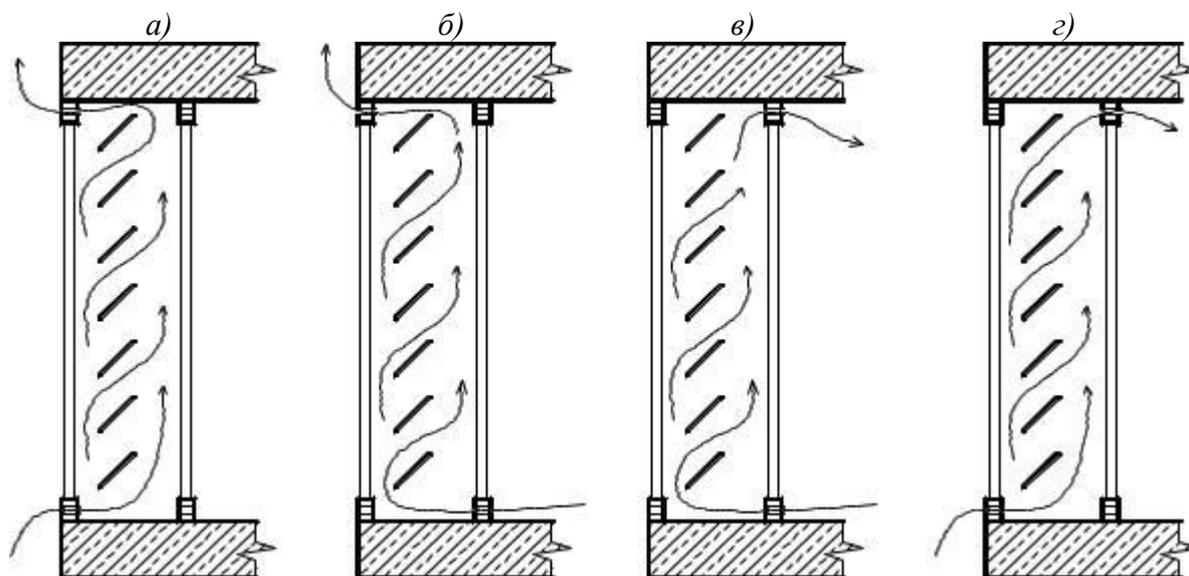


Рис.72. Режимы вентиляции межстекольного пространства светопропускаемых ограждений: *а* – с отдачей тепла наружному воздуху и удалением нагретого воздуха наружу; *б* – с использованием конвекционного потока для обеспечения естественной вытяжной вентиляции помещений; *в* – с пассивным обогревом воздуха в течение периода отопления в замкнутом режиме; *г* – с подогревом воздуха, поступающего в помещения

В тех случаях, когда проектируется вариант с расположением затеняющих элементов в неветилируемом пространстве, например, в замкнутой воздушной прослойке стеклопакета, то система СЗУ отгораживается от внутреннего помещения не менее, чем одной буферной прослойкой. Например, затеняющие элементы СЗУ устанавливаются во внешней воздушной прослойке двухкамерного стеклопакета. Принимая во внимание условия нормальной, безаварийной и ремонтно-пригодной эксплуатации конструкций систем СЗУ, ее конструктивные элементы проектируются таким образом, чтобы могла быть обеспечена возможность свободного доступа к ним для осмотра, контроля, возможного ремонта в случае повреждения или демонтажа, очистки стекол и затеняющих элементов от загрязнения и снега, удаление птичьих гнезд и льдообразований (сосулек). Для этих целей в проекте предусматриваются специальные галереи и проходы шириной не менее 500 мм между остеклением и СЗУ или внешние кронштейны для подвесных люлек. Принципиальные технологические схемы с возможностями свободного доступа для обслуживания внешних солнцезащитных устройств приведены на рис. 73.

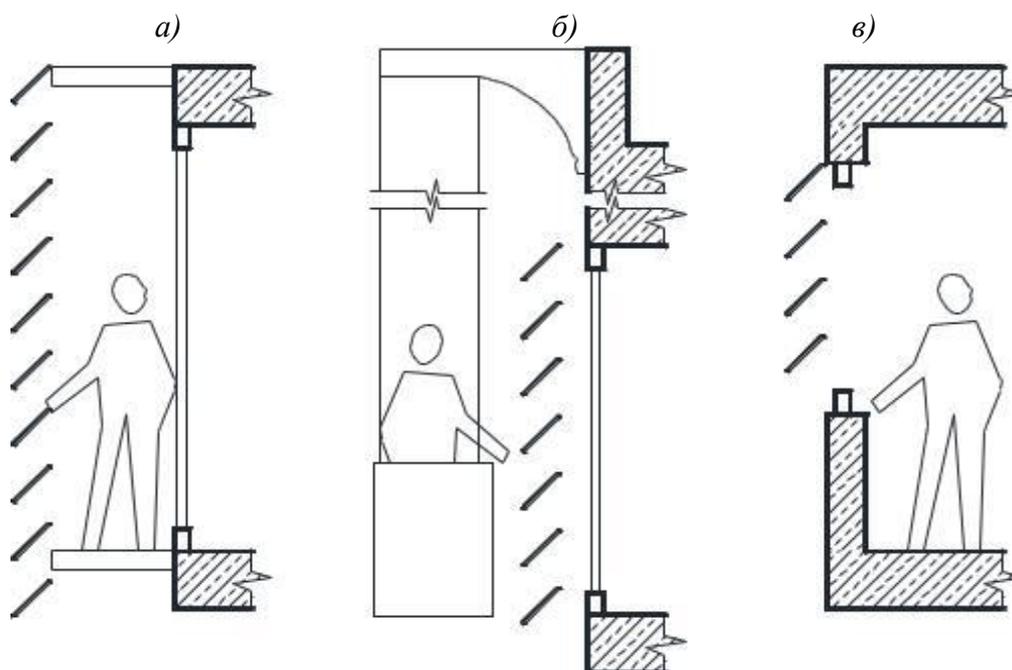


Рис. 73. Принципиальные технологические схемы с возможностями свободного доступа для обслуживания внешних солнцезащитных устройств:  
*а* – с галерей; *б* – из подвесной люльки; *в* – из внутренних помещений

В случаях, когда проектируются СЗУ для светопроницаемых конструкций окон и витражей имеют небольшие габаритные размеры со створками, открывающимися вовнутрь и СЗУ могут обслуживаться из помещений, без использования приведенных на рис. 73 конструктивно-технологических схем, например, для малоэтажных зданий или на первых двух этажах зданий, тогда СЗУ обслуживаются с земли с помощью лестниц или автовышек. Применяемые в качестве светозащитных элементов

(ламелей) и систем СЗУ строительные материалы различны и в зависимости от конкретных природно-климатических, технико-экономических и материально-технических условий проектируются из металлических, деревянных, железобетонных и стеклянных конструкций. Поэтому к каждому из этих строительных материалов предъявляются свои особые требования, с целью обеспечения нормативных требований по прочности, надежности, долговечности и длительной эксплуатационной пригодности.

Металлические конструкции и конструктивные элементы СЗУ, проектируемые с наружной стороны от светопроницаемого проема, должны быть защищены соответствующим образом от коррозии в соответствии с требованиями СП 28.13330.2012 «Защита строительных конструкций от коррозии» [81] и СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции» [76]. При этом электро- и газовая сварка и механическое сверление металлических конструкций СЗУ при их монтаже не допускаются.

Деревянные конструкции и конструктивные элементы СЗУ, проектируемые с наружной стороны от светопроницаемого проема, должны быть защищены соответствующим образом от возгорания с использованием антипиренов при помощи глубинной или поверхностной пропитки древесины; гниения и повреждения вредителями с использованием антисептиков в соответствии с современными требованиями СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции» [89].

Стеклянные конструкции и конструктивные элементы СЗУ, проектируемые с наружной стороны от светопроницаемого проема, изготавливаются из специального армированного, закаленного, огнестойкого, а следовательно, безопасного стекла расчетной толщины и светопрозрачности, включая, тонированное, матовое и т.д. (рис. 74).

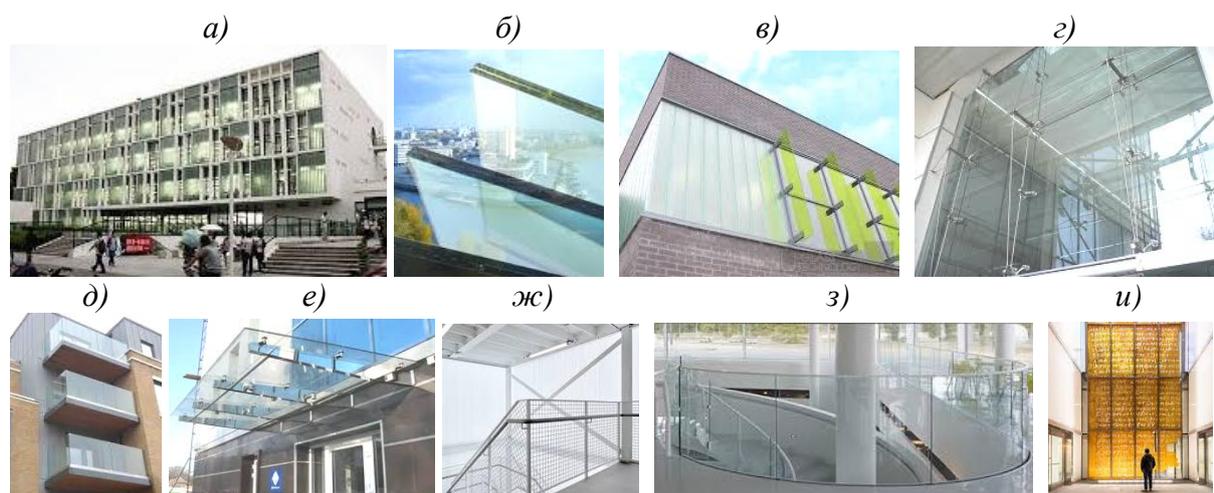


Рис. 74. Стеклянные СЗУ и ограждения из армированного и закаленного стекла: а – фасад здания с СЗУ из армированного стекла; б – фрагмент конструкции СЗУ; в – фрагмент фасада с СЗУ из тонированного армостекла; г – то же, из закаленного стекла со спайдерными креплениями; д – ограждение балконов армированным стеклом; е – козырек из закаленного стекла; ж, з – ограждения лестниц из армированного и закаленного стекла; и – цветной витраж из армированного стеклопакета

Специальные типы стекол, применяемые для СЗУ, позволяют исключить возможное разрушение стеклянных элементов от термических воздействий при неравномерном нагревании и остывании, и как следствие, обрушения падения крупных обломков в случае повреждения. Общий вид и специфические свойства армированного светопрозрачного, тонированного и цветного стекла приведены на рис. 75.

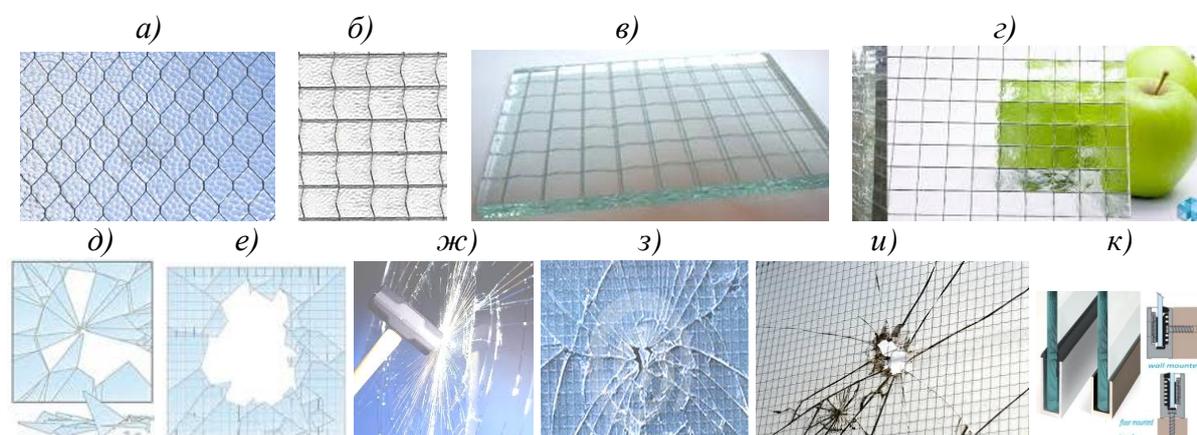


Рис. 75. Общий вид и специфические свойства армированного светопрозрачного, тонированного и цветного стекла, применяемого для окон и витражей:  
*а, б, в* – образцы армированных стекол с разной формой арматурных сеток и цветом стекла; *г* – светопрозрачный эффект искажения формы через армированное стекло; *д, е* – характер разрушения стекол, соответственно, обычное стекло; *ж* – испытание армированного стекла на ударную нагрузку молотком; *з, и* – результаты испытания армированного стекла на внешние воздействия, соответственно, удар твердым предметом и пулевое воздействие; *к* – узлы крепления стекла к металлическому переплету

Проектирование, возведение и эксплуатация различных типов СЗУ должно осуществляться таким образом, чтобы их наличие не приводило к нарушению беспрепятственной эвакуации людей и животных в случае возникновения любых чрезвычайных ситуаций (пожар, наводнение, ураган, оползень, сель, землетрясение и другие стихийные бедствия).

### 6.5.3. Исходные данные для проектирования СЗУ

Для проектирования эффективных, рациональных и оптимизированных конструкций и систем СЗУ необходимы полноценные исходные данные, к числу которых следует относить:

*а)* проектные данные исследуемого объекта (ориентация и геометрические параметры светопрозрачных конструкций, геометрические параметры солнцезащитных устройств);

*б)* комплексную солнечную карту.

В свою очередь, для построения комплексной солнечной карты исходными данными являются:

*в)* географическая широта местности;

2) климатические данные (средняя температура воздуха и среднесуточная амплитуда температуры воздуха, или средние минимум и максимум температуры для каждого месяца).

Построение комплексных солнечных карт осуществляется по результатам исследований для конкретного региона с жарким сухим климатом (рис. 67–71). Комплексные солнечные карты являются полезным инструментом для исследования местных особенностей климата и разработки рекомендаций для архитектурного проектирования.

#### 6.5.4. Построение солнечной карты

Солнечная карта представляет собой графический инструмент для инсоляционных расчетов. Она получается проецированием на горизонтальную плоскость видимой небесной полусферы. На ней отражены солнечные траектории, часовые линии и координатная сетка, состоящая из азимутальных линий и альмукантарат. В зависимости от вида проецирования солнечная карта может быть ортогональной, стереографической и др. Солнечные карты строятся для конкретной географической широты. В качестве примера в данном издании используется стереографическая проекция, с центром проецирования в надире небесной сферы (рис. 76).

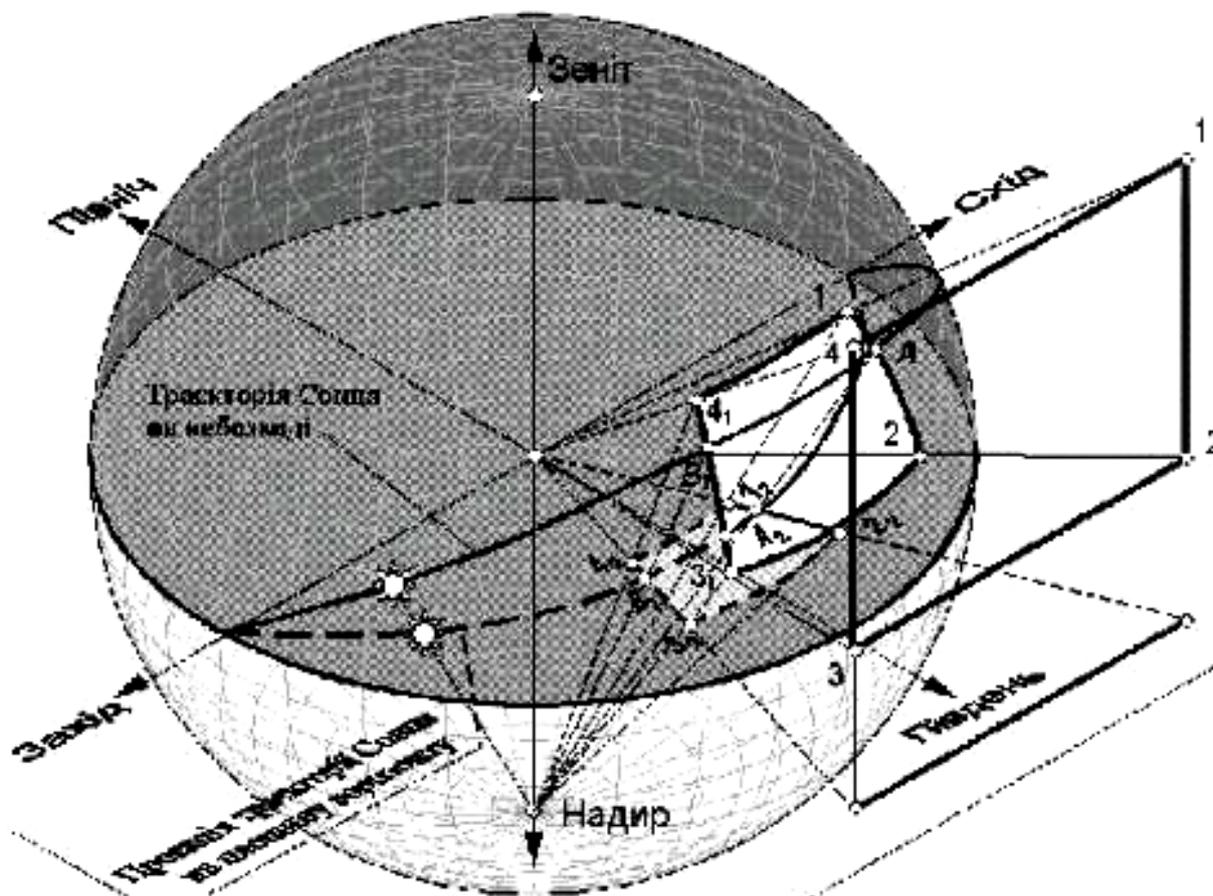


Рис. 76. Двойное проецирование

Такая проекция наиболее удобна при ручном построении, так как может быть выполнена при помощи линейки и циркуля, сохраняет на рабочей плоскости углы между линиями на небесной сфере и наглядно отображает окружающее пространство. Каждая точка солнечной карты соответствует одному направлению из расчетной точки и определяется двумя углами: азимутальным в горизонтальной плоскости и вертикальным между вектором направления и плоскостью горизонта.

Для построения координатной сетки солнечной карты изображаем две окружности равного диаметра, соответствующие сечениям небесной сферы плоскостью горизонта (*NOSW*) и меридиана (*NZSNd*), рис. 77.

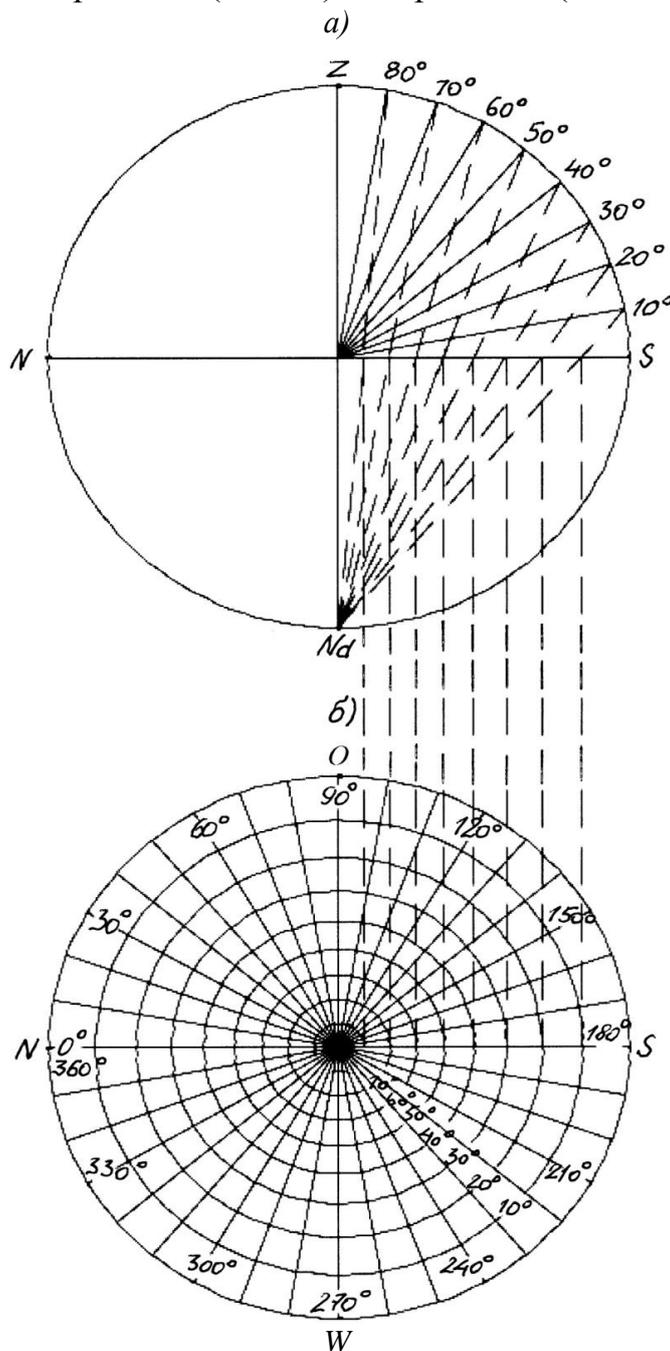


Рис. 77. Построение траекторий хода солнца:  
*a* – плоскость меридиана; *б* – плоскость горизонта



Для населенных пунктов северного полушария угол «ф» откладывается по часовой стрелке, а для населенных пунктов южного полушария угол «ф» откладывается против часовой стрелки. Полученный диаметр E1E2 является плоскостью экватора и траекторией хода солнца в дни равноденствия. От диаметра E1E2 откладываем по часовой стрелке и против часовой стрелки угол  $23,5^\circ$ . Через концы полученных диаметров E3E4 и E5E6 проводим хорды E3E5 и E4E6, которые параллельны диаметру E1E2. Хорды E3E5 и E4E6 являются траекториями хода солнца в дни летнего и зимнего солнцестояния, соответственно. Вокруг центра проводим окружность, касательную к хордам E3E5 и E4E6. Обозначим точки касания как E7 и E8. Полученную окружность разделим радиусами на 12 секторов по  $30^\circ$  каждый, начиная от точек E7 и E8. Через точки пересечения радиусов с окружностями проводим хорды, параллельные диаметру E1E2. Три из них совпадут с имеющимися хордами, а четыре будут новыми. Полученные хорды являются траекториями хода солнца по небесной сфере для 22 числа следующих месяцев (в порядке, начиная от траектории близкой к северу «N»: VI; V и VII; IV и VIII; III и IX; II и X; I и XI; XII). Каждая из хорд характеризуется четырьмя точками, в том числе: самая низкая точка, соответствующая положению солнца в полночь; самая высокая точка, соответствующая положению солнца в полдень; точки пересечения траектории хода солнца с плоскостью горизонта диаметром «NS», которые соответствуют восходу и заходу и на данном эпюре совпадают. Переносим на эпюр, соответствующий плоскости горизонта «NOSW» точку рассвета и захода на окружность горизонта. Полученная в восточной части горизонта точка будет точкой рассвета «S1», а в западной части горизонта – точкой заката «S3». Полуденную точку соединяем отрезком с точкой надира «Nd». Из точки пересечения отрезка с плоскостью горизонта (диаметр «NS») переносим на эпюр горизонта на линию меридиана (отрезок «NS»). Полученная точка является положением солнца в полдень «S2». Соединяем точки S1, S2, S3 дугой окружности, которая будет представлять собой траекторию хода солнца в соответствующий день. При выполнении построения при помощи циркуля, точки S1 и S2 соединяются отрезком, середина которого обозначается точкой «M». В точке «M» проводится перпендикуляр к отрезку S1S2. Пересечение перпендикуляра с осью NS (точка «SC») является центром дуги S1S2S3. Вышеописанные технологические операции построения при помощи циркульных кривых повторяются для каждой из семи траекторий, обозначенных на рис. 78б. На эпюре рис. 79а – плоскости меридиана проводим через точки E7 и E8 диаметр PN PS, концы которого являются, соответственно, северным и южным полюсами небесной сферы. Эти точки одновременно являются полюсами часовых линий на небесной сфере, а любые две соседние часовые линии выделяют на небесной сфере сегмент, подобный сегменту между линиями на арбузе. Между соседними часовыми линиями угловое расстоя-

ние  $15^\circ$  – за 1 час солнце описывает на небесной сфере дугу в  $360^\circ/24=15^\circ$ . Через точки PN и PS проводим прямые в надир «Nd». Точки пересечения прямых с плоскостью горизонта обозначаем, как P/N и P/S и переносим их на эюр – плоскость горизонта, на линию меридиана «NS».

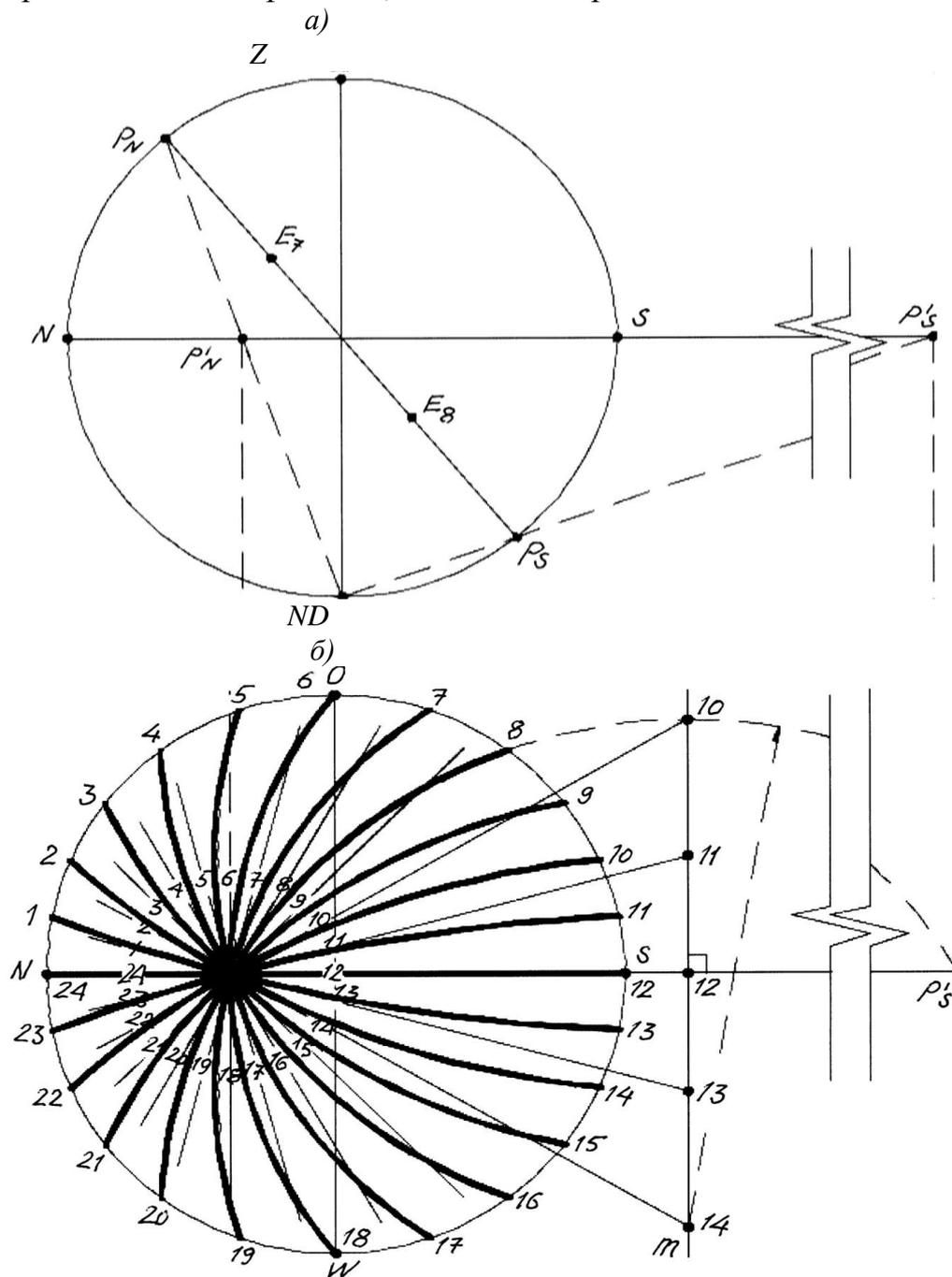


Рис. 79. Построение часовых линий: а – плоскость меридиана; б – плоскость горизонта

Из полюса, расположенного внутри окружности горизонта (P/N для населенных пунктов северного полушария, P/S – для южного полушария) начиная от направления на север «N» проводятся лучи через каждые  $15^\circ$ . Луч, который проходит через зенит «Z», обозначаем номером 12. Нумеруем остальные лучи в направлении востока (O): 11, 10, 9..., а в направлении запада «W»: 13, 14, 15... . Луч, противоположный лучу 12, будет одновре-

менно лучом 0 и 24. Эти лучи будут касательными к одноименным часовым линиям на солнечной карте. Часовые линии строим как дуги окружностей по двум точкам – проекциям часовых полюсов P/N и P/S и одноименной касательной. Следует отметить, что при построении часовых линий при помощи циркуля, отрезок P/NP/S разделяется посередине прямой «m». Лучи с 7 по 17 продлеваются до пересечения с прямой «m». Точки пересечения становятся центрами дуг часовых линий. При этом номер часовой линии отличается от номера точки-центра на 6. Так, точка, образованная лучом 10, является центром для дуг часовых линий 4 и 16. На любой широте дуга 6 должна проходить через точку востока «O», а дуга 18 – через точку запада «W». Причем, часовые линии указывают солнечное время, а не поясное. Объединяем координатную сетку (рис. 79), траектории хода солнца (рис. 78) и участки часовых линий (рис. 79), лежащие в пределах траекторий на одной солнечной карте (рис. 80).

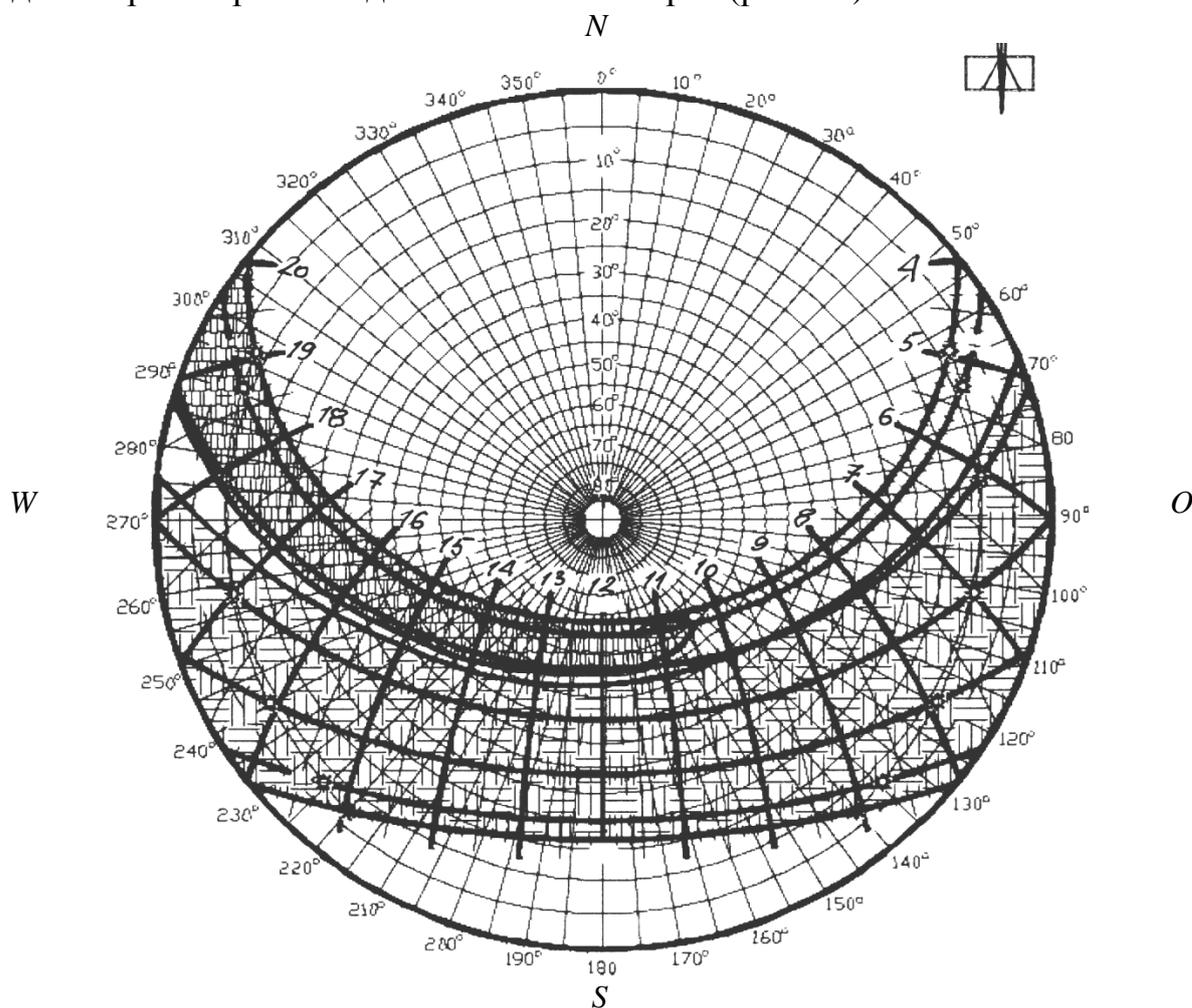


Рис. 80. Солнечная карта, построенная для г. Киева (50,5° с.ш.)

При необходимости можно построить траектории хода солнца для других дат, промежуточные координатные и минутные линии. На каждой траектории отмечаем положение солнца через 1 час после восхода и за 1 час до заката (значок ☀). Соединяем полученные точки кривой. Область первого и последнего часа дня, лежащую между кривыми и окружность

горизонта, на рис. 80 отмечена серым, в дальнейших расчетах можно не рассматривать, поскольку в это время солнце находится слишком близко к горизонту и солнечные лучи проходят слишком большую толщину атмосферы.

#### **6.5.5. Нанесение зон желательной и нежелательной инсоляции на комплексную солнечную карту**

Каждому моменту (дате и времени) светлой части календарного года соответствует определенная точка на солнечной карте, что позволяет проанализировать эту солнечную карту с точки зрения современной климатологии. При наличии данных о средней температуре воздуха « $t$ » и среднесуточной ее амплитуде « $A$ » для каждого месяца, можно найти ее минимум и « $t_{min}$ » и максимум « $t_{max}$ » по формулам (93) и (94):

$$t_{min}=t-A/2, \quad (93)$$

$$t_{max}=t+A/2. \quad (94)$$

Время минимальной температуры « $t_{min}$ » принимается на 15 минут позже рассвета. Время рассвета определяется по солнечной карте (рис. 83). Время максимальной температуры « $t_{max}$ » принимается в 15 часов по солнечному времени. Для месяцев, когда суточный ход температуры воздуха пересекает отметку  $8^{\circ}\text{C}$  и/или  $21^{\circ}\text{C}$ , вычисляются продолжительности периода повышения температуры ( $T_{incr}$ ) и понижения ( $T_{decr}$ ) по формулам (95) и (96):

$$T_{incr} = t_{max} - t_{min}, \quad (95)$$

$$T_{decr} = 24 \text{ ч} - T_{incr}. \quad (96)$$

Изменение температуры от минимума до максимума и наоборот происходит по синусоидальному закону. Для определения текущих значений температуры « $t_{год}$ » для каждого месяца, в котором суточный ход температуры воздуха пересекает отметку  $8^{\circ}\text{C}$  и/или  $21^{\circ}\text{C}$ , строятся соответствующие графики, примеры которых приведены на рис. 81а, б и 82а, б. Время начала и конца периодов для каждого месяца фиксируется в таблице (табл. 31). Время начала и конца периода отопления и перегрева наносится на траектории хода солнца для соответствующих месяцев. Если у одного из двух месяцев, которым отвечает на солнечной карте одна траектория хода солнца (например, V и VII), продолжительность периода является длиннее чем в другом (обычно продолжительности периодов отопления длиннее в зимнем полугодии, а перегрева – в летнем), то на солнечную карту наносятся границы более длинного. Нанесенные точки соединяются линиями-изоплетами (рис. 83). Периоды отопления образуют на солнечной карте зону желательной инсоляции, а периоды перегрева – зону нежелательной инсоляции.

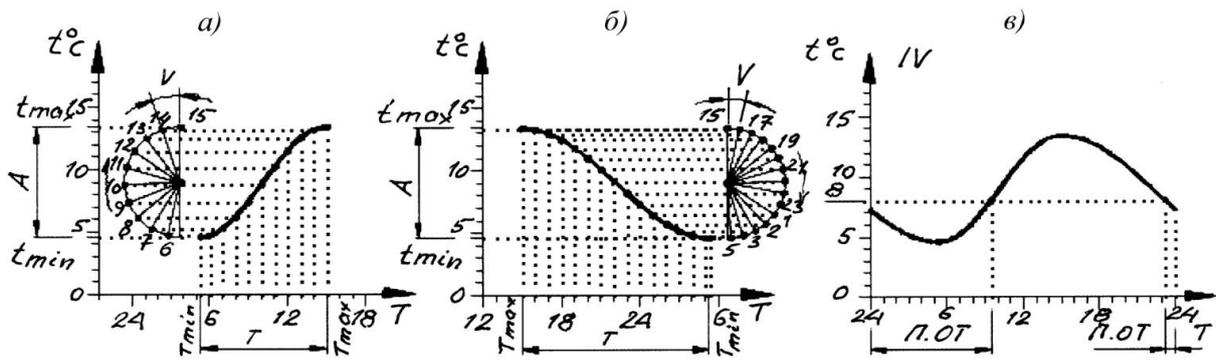


Рис. 81. Анализ суточного изменения температуры в апреле на примере г. Киева:  
 а – период повышения температуры; б – период понижения температуры;  
 в – определение периода отопления

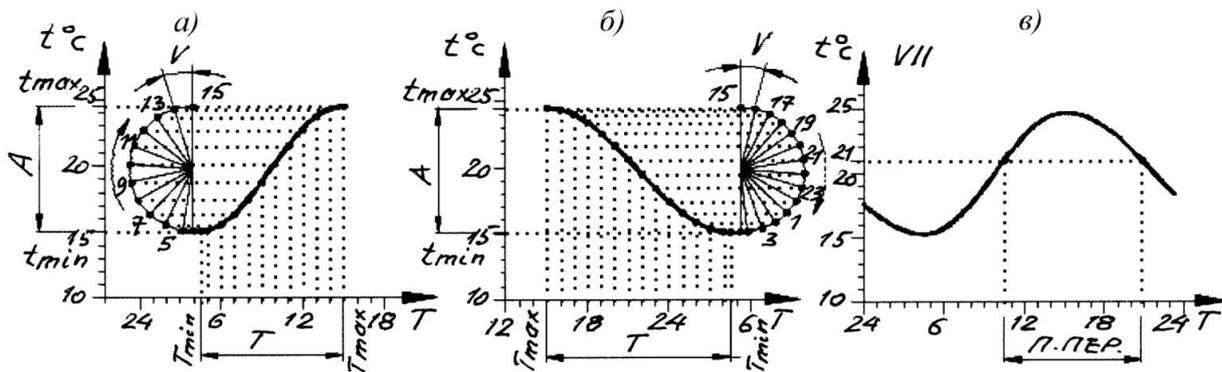


Рис. 82. Анализ суточного изменения температуры в июле на примере г. Киева:  
 а – период повышения температуры; б – период понижения температуры;  
 в – определение периода перегрева

Таблица 31

Границы периодов отопления и перегрева в различные месяцы  
 на примере г. Киева

Месяц		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Период отопления	Конец	–	–	–	9,30	–	–	–	–	–	–	–	–
	Начало	–	–	–	23,10	–	–	–	–	–	–	–	–
Период перегрева	Конец	–	–	–	–	–	11,40	10,30	11,30	–	–	–	–
	Начало	–	–	–	–	–	20,05	20,40	20,10	–	–	–	–

Дуга с диаметром равным амплитуде «А» колебания температуры с угловой мерой в  $180^\circ$  делится на продолжительность периодов повышения и понижения температуры « $T_{incr}$ » и « $T_{decr}$ ». Градусная мера, соответствующая 1 часу, равняется, соответственно:

- для периода повышения температуры  $\gamma = 180 / T_{incr}$ ,
- для периода понижения температуры  $\gamma = 180 / T_{decr}$ .

Часовые отметки проецируются с дуги и со шкалы времени, образуя точки графика хода температуры. Текущие значения температуры сравниваются с отметками  $8^{\circ}\text{C}$  и  $21^{\circ}\text{C}$  (рис. 81в, рис. 82в). Время, когда  $t_{\text{год}} < 8^{\circ}\text{C}$ , считается периодом отопления. Время, когда  $t_{\text{год}} > 21^{\circ}\text{C}$ , считается периодом перегрева.

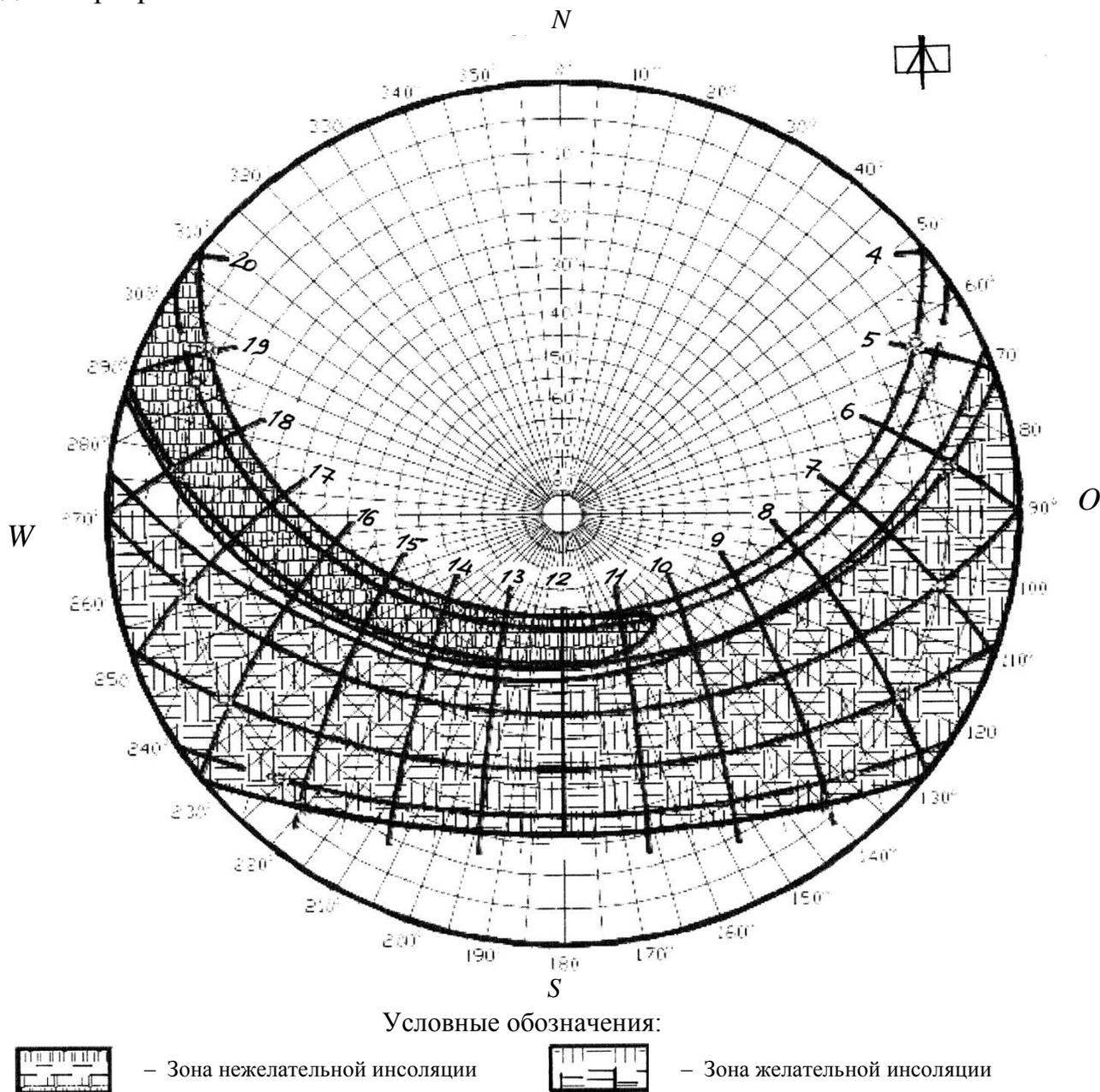


Рис. 83. Комплексная солнечная карта на примере г. Киева

### 6.5.6. Выбор оптимальных СЗУ для светопроемов заданной ориентации

Чтобы проанализировать эффективность применения СЗУ различной конфигурации, необходимо знать ориентацию фасада, которому принадлежат исследуемые светопроницаемые конструкции окон, витражей. Ори-

ентация фасада обозначается азимутальным углом, который вычисляется как угол между меридианом и перпендикуляром к фасаду (рис. 84а).

Для фасадов восточной ориентации азимут записывается углом от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . Для фасадов западной ориентации азимут может быть обозначен как положительным углом от  $180^\circ$  до  $360^\circ$ , так и отрицательным от  $-180^\circ$ , до  $0^\circ$ . Азимут светопроницаемой конструкции и плоскость фасада переносятся на плоскость горизонта.

Часть плоскости по противоположную от азимута сторону называется теневой маской фасада и обозначается, как непрозрачная для солнечных лучей (рис. 84б). Теневая маска фасада масштабируется до соответствия ее диаметра диаметру солнечной карты и накладывается на комплексную солнечную карту.

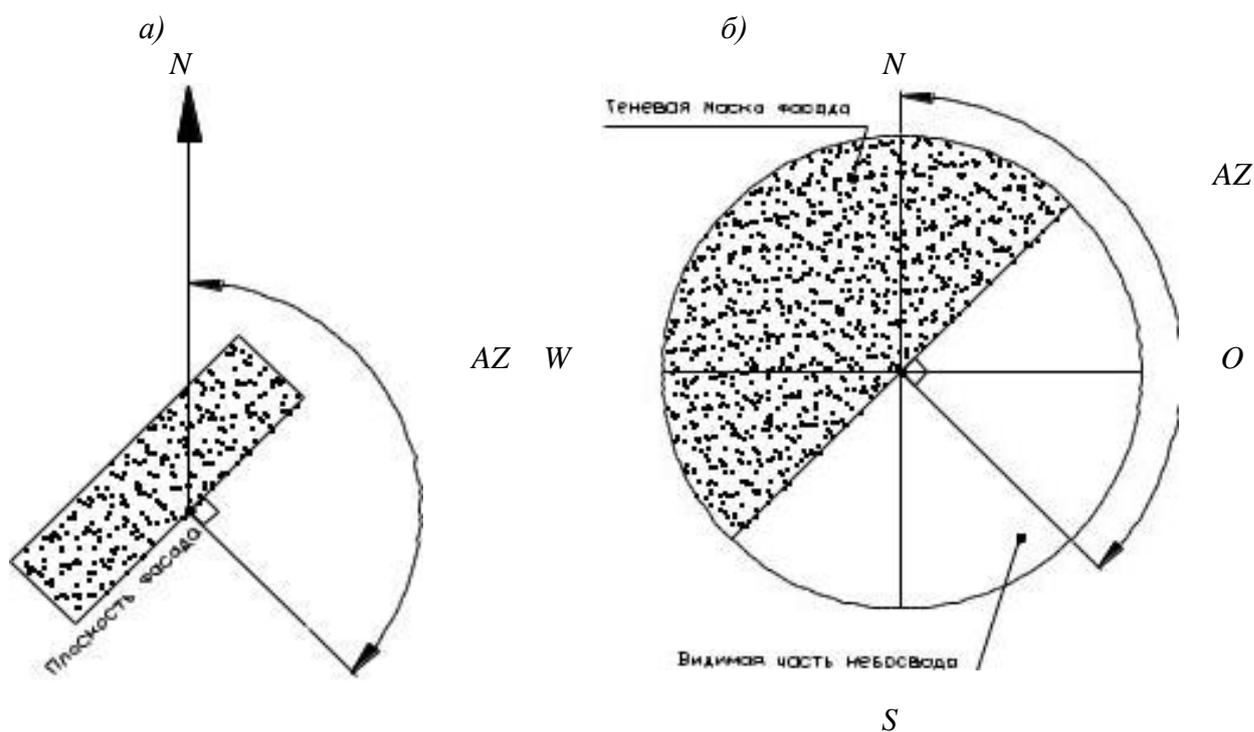


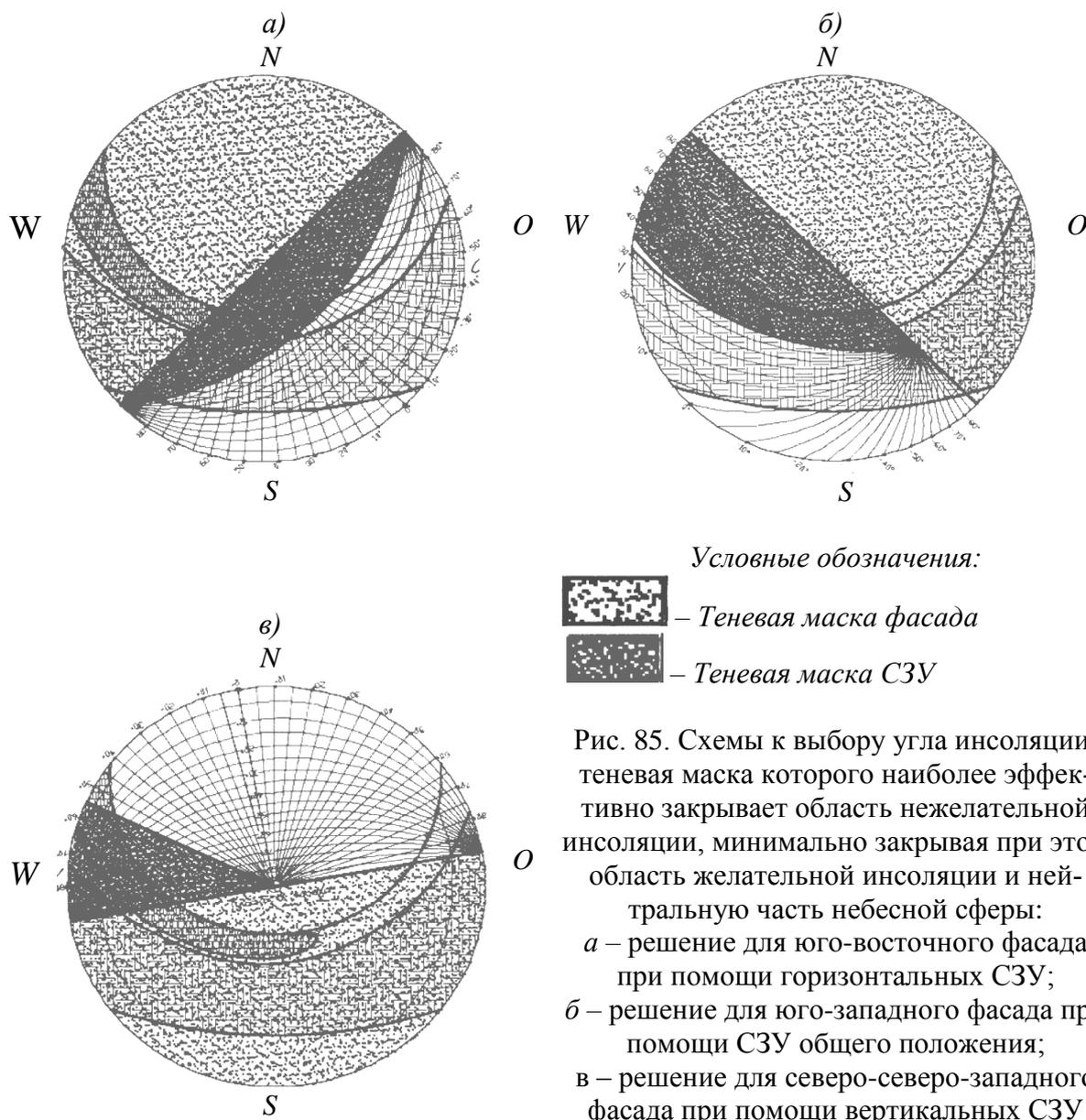
Рис. 84. Построение теневой маски фасада:  
а – определение азимутального угла; б – теневая маска фасада

На комплексную солнечную карту с наложенной теневой маской фасада накладываются теневые угломеры (рис. 79, 84, 85) так, чтобы плоскость фасада на угломере совпадала с плоскостью фасада на теневой маске.

Часть небесной сферы между кривой выбранного угла инсоляции и плоскостью фасада называется теневой маской СЗУ. Выбирать следует тот угол инсоляции, теневая маска которого наиболее эффективно закрывает область нежелательной инсоляции, минимально закрывая при этом область желательной инсоляции и нейтральную часть небесной сферы (рис. 85). Следует отметить, что при прочих равных или сопоставимых показателях используются горизонтальные, вертикальные или комбинированные СЗУ

вследствие их высокой технологичности по сравнению с СЗУ общего положения.

В тех случаях, когда не представляется возможным обеспечить эффективную солнцезащиту с углом инсоляции  $\delta \geq 40^\circ$ , используются регулируемые СЗУ. Если зона нежелательной инсоляции не попадает в видимую часть небосвода или отсутствует на комплексной солнечной карте и единственными задачами СЗУ являются защита от избыточной яркости и визуальная защита, практикуется применение конструктивных систем с внутренними СЗУ.



Для негоризонтальных СЗУ уточняется положение солнцезащитных ламелей, в частности угол между плоскостью остекления и ламелями « $\Theta$ ». Определяющие СЗУ углы задаются в натуральную величину на характерном сечении СЗУ – плоскости, перпендикулярной направляющей ламелей (рис. 86).

Для этого на плоскости характерного сечения СЗУ, на прямой, параллельной плоскости остекления, изображается ряд оснований ламелей ( $L1, L2\dots$ ) с равным интервалом. Угол « $\Theta$ » откладывается от плоскости остекления, угол « $\delta$ » откладывается от перпендикуляра к плоскости стекла. Построенные углы « $\Theta$ » и « $\delta$ » позволяют определить обратный угол инсоляции « $\delta Z$ ». Если затеняющие ламели перпендикулярны плоскости остекления, т.е.  $\Theta=90^\circ$ , тогда угол  $\delta=\delta Z$ . С целью оптимизации и минимизации расхода строительных материалов для конструкций ламелей рекомендуется принимать угол  $\Theta=\delta$ . Определив по рис. 84 угол « $\delta Z$ », производится нанесение его на теневую маску в виде обратной теневой маски, в соответствии со схемами на рис. 85а, б, в.

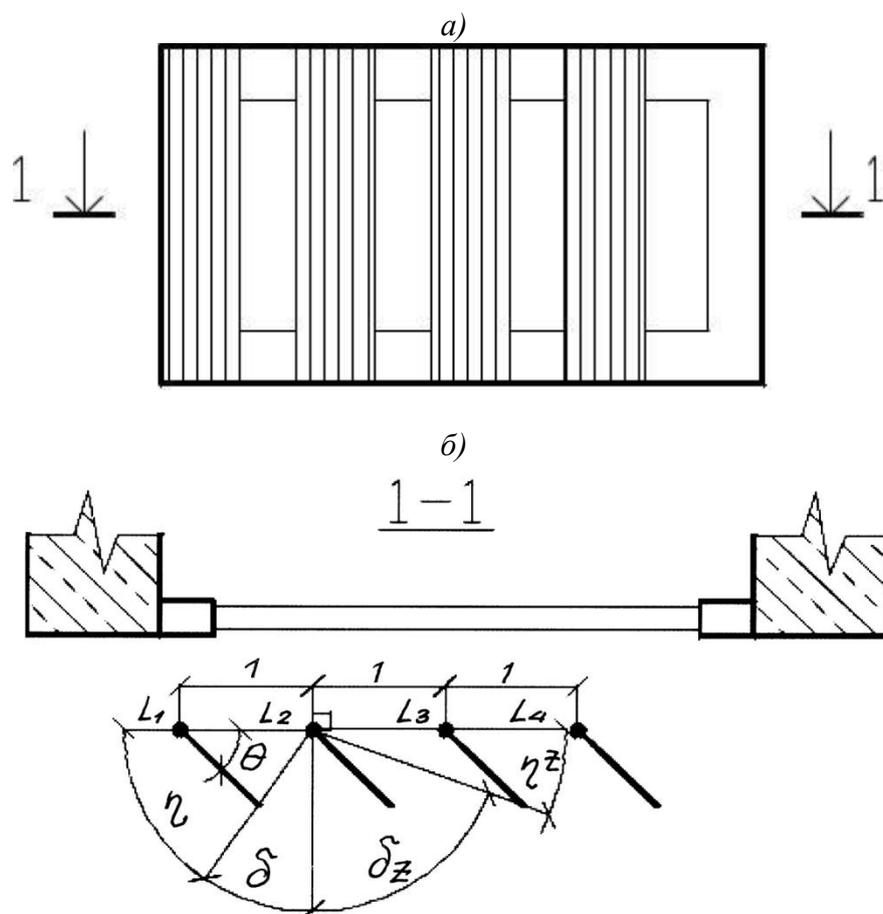


Рис. 86. Параметры солнцезащитного устройства:  
а – фасад; б – разрез 1–1

### 6.5.7. Проектирование солнцезащитных устройств на заданной местности

Определив по вышеприведенной методике оптимальную конфигурацию СЗУ для фасада заданной ориентации, разрабатываются мероприятия по конструированию СЗУ для строительства в заданном районе. Вначале строится комплексная солнечная карта для конкретного района строитель-

ства (рис. 80). Затем строятся теневые маски для фасадов, ориентированных на 8 сторон света, включая:  $N$  ( $Az=0^\circ$ ),  $NO$  ( $Az=45^\circ$ ),  $O$  ( $Az=90^\circ$ ),  $SO$  ( $Az=135^\circ$ ),  $S$  ( $Az=180^\circ$ ),  $SW$  ( $Az=225^\circ$ ),  $W$  ( $Az=270^\circ$ ),  $NW$  ( $Az=315^\circ$ ). Определяется оптимальная конфигурация СЗУ для фасадов каждой из 8 исследуемых ориентаций по сторонам света. Результаты исследований обобщаются в виде круговой диаграммы, представленной на рис. 87. Следует отметить, что для повышения точности построения диаграммы можно провести исследования для фасадов промежуточной ориентации.

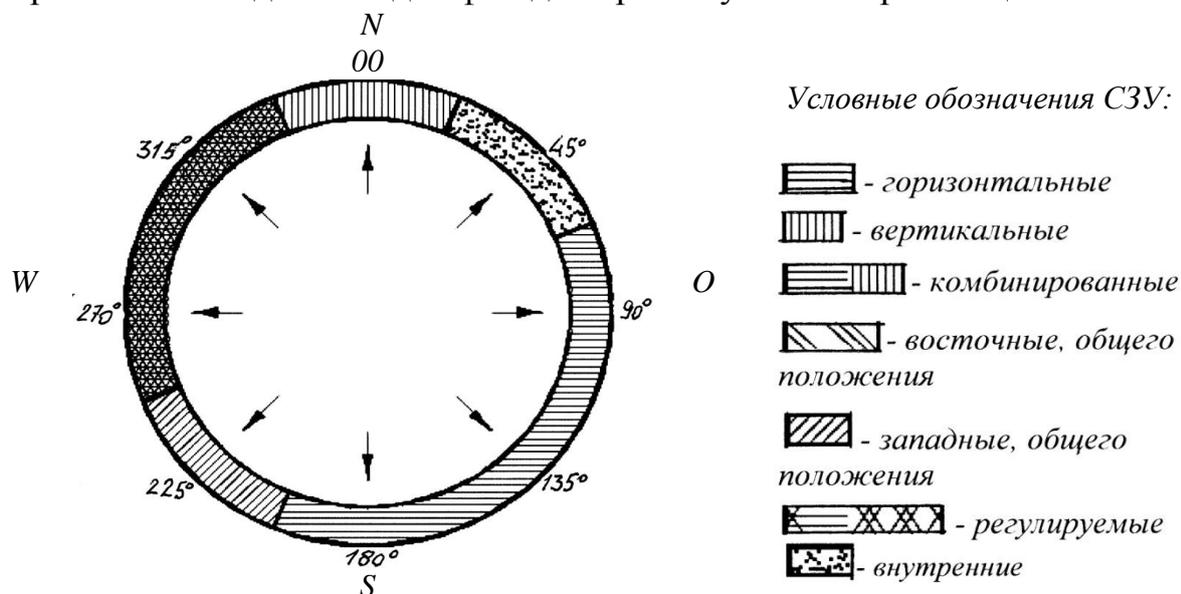


Рис. 87. Диаграмма для выбора типа СЗУ в зависимости от ориентации светопропускаемой конструкции

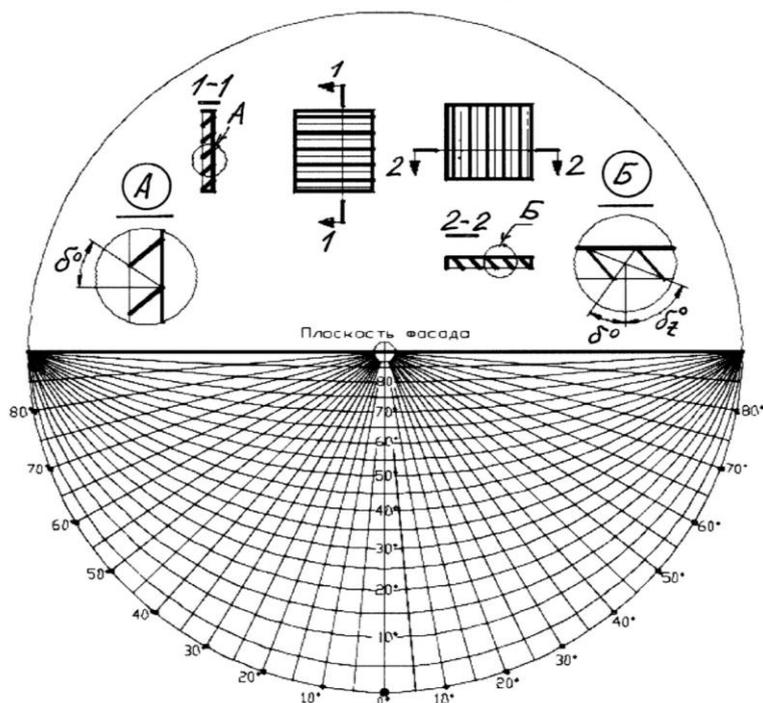


Рис. 88. Теневой угломер для расчета горизонтальных и вертикальных солнцезащитных устройств (при пользовании схемой необходимо скопировать и отмасштабировать до соответствия диаметра теневого угломера диаметру солнечной карты)

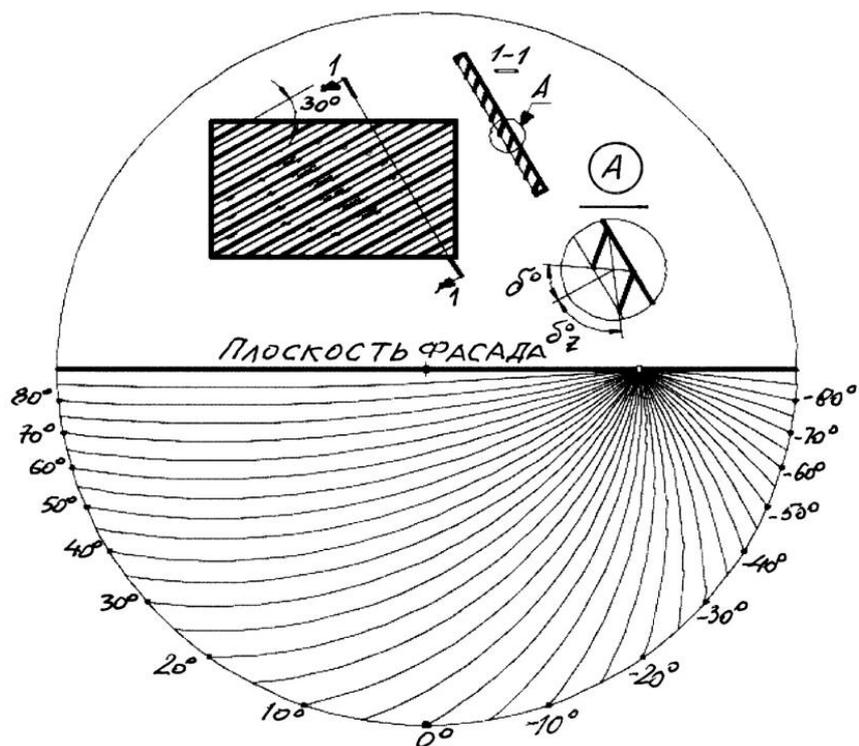


Рис. 89. Теневые угломеры для расчета солнцезащитных устройств общего положения. Теневой угломер для расчета СЗУ общего положения западной ориентации при угле наклона направляющей lamелей  $15^\circ$  (при использовании схемой необходимо скопировать и отмасштабировать до соответствия размера диаметра теневого угломера размеру диаметра солнечной карты)

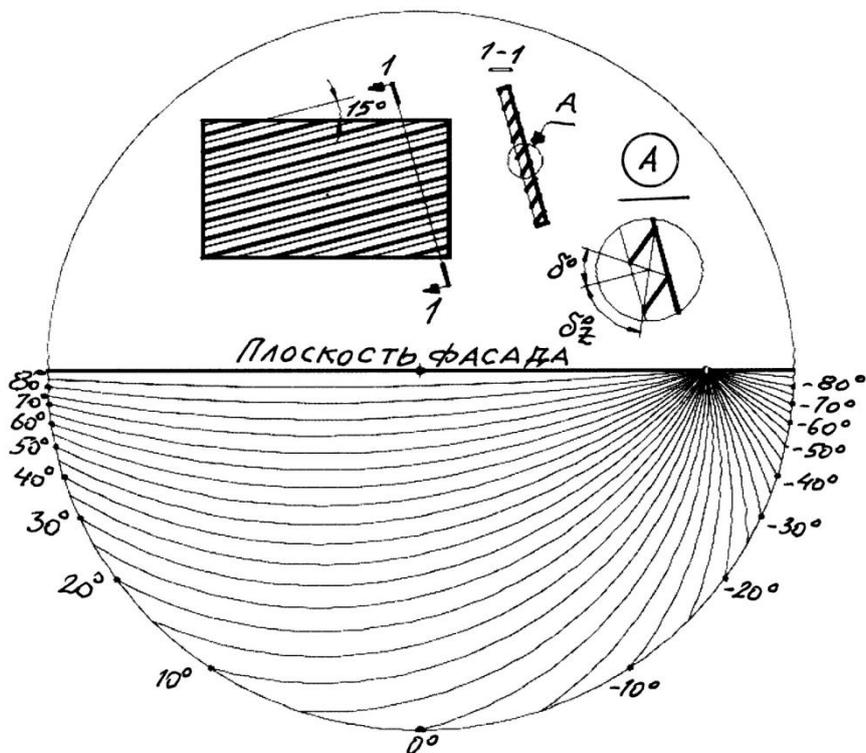


Рис. 90. Теневой угломер для расчета СЗУ общего положения западной ориентации при угле наклона направляющей lamелей  $30^\circ$

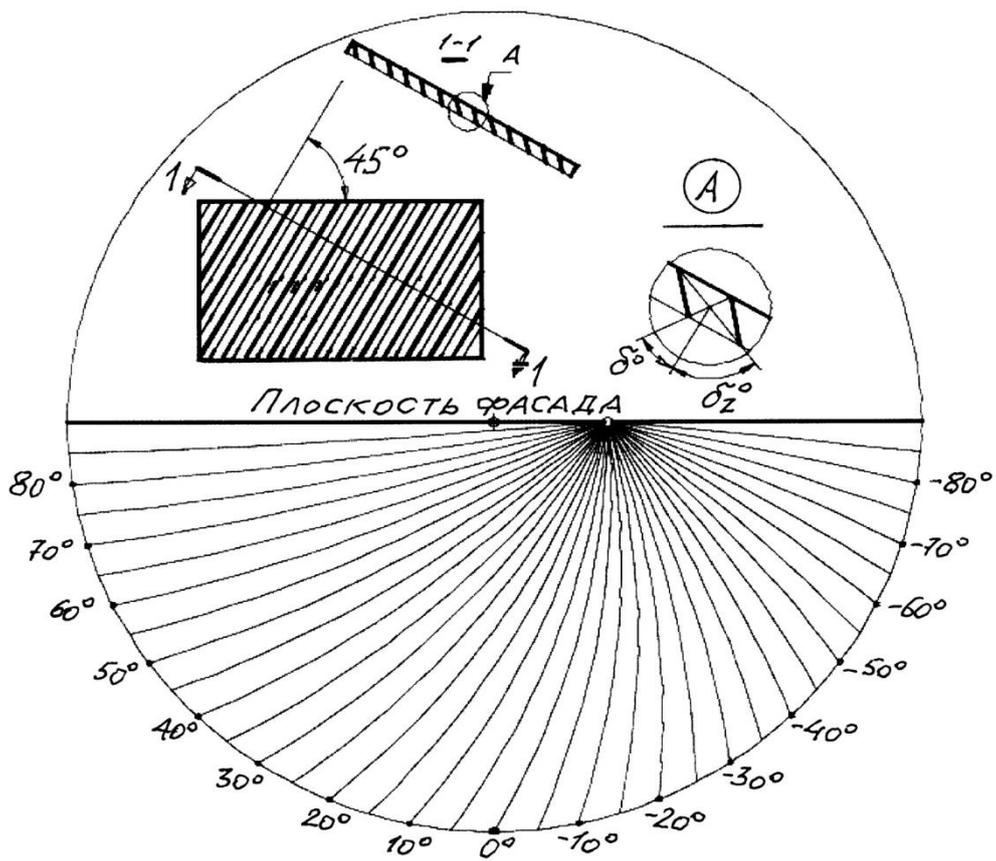


Рис. 91. Теневой угломер для расчета СЗУ общего положения западной ориентации при угле наклона направляющей ламелей  $45^\circ$

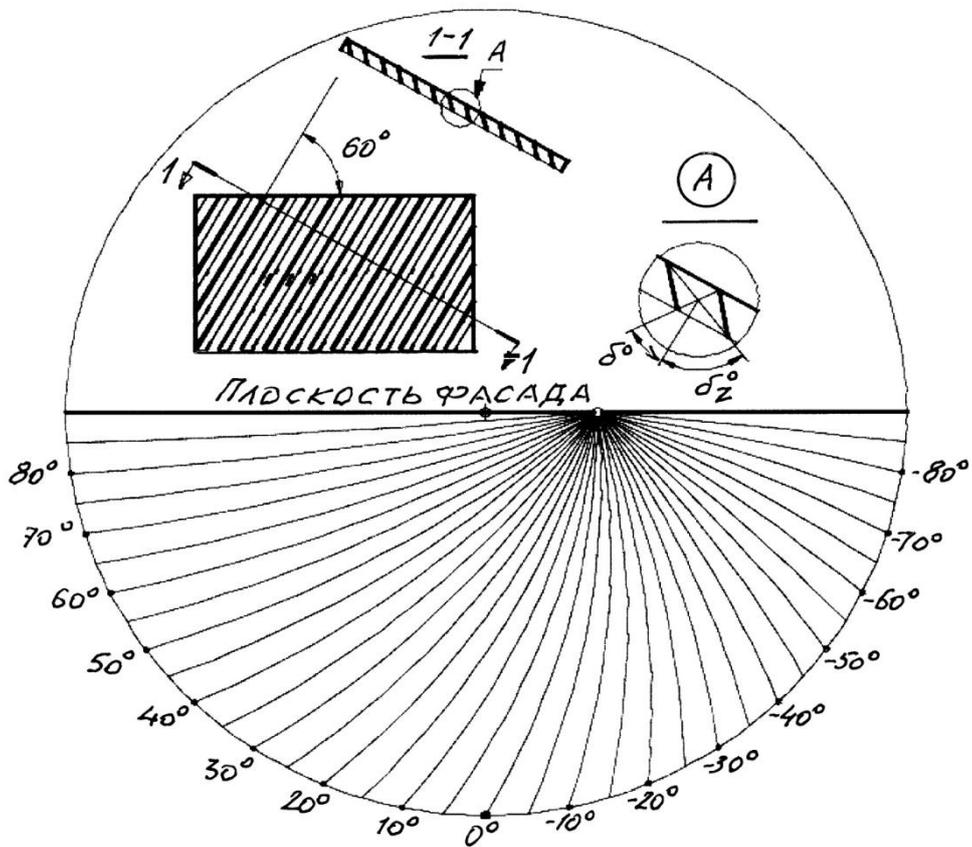


Рис. 92. Теневой угломер для расчета СЗУ общего положения западной ориентации при угле наклона направляющей ламелей  $60^\circ$

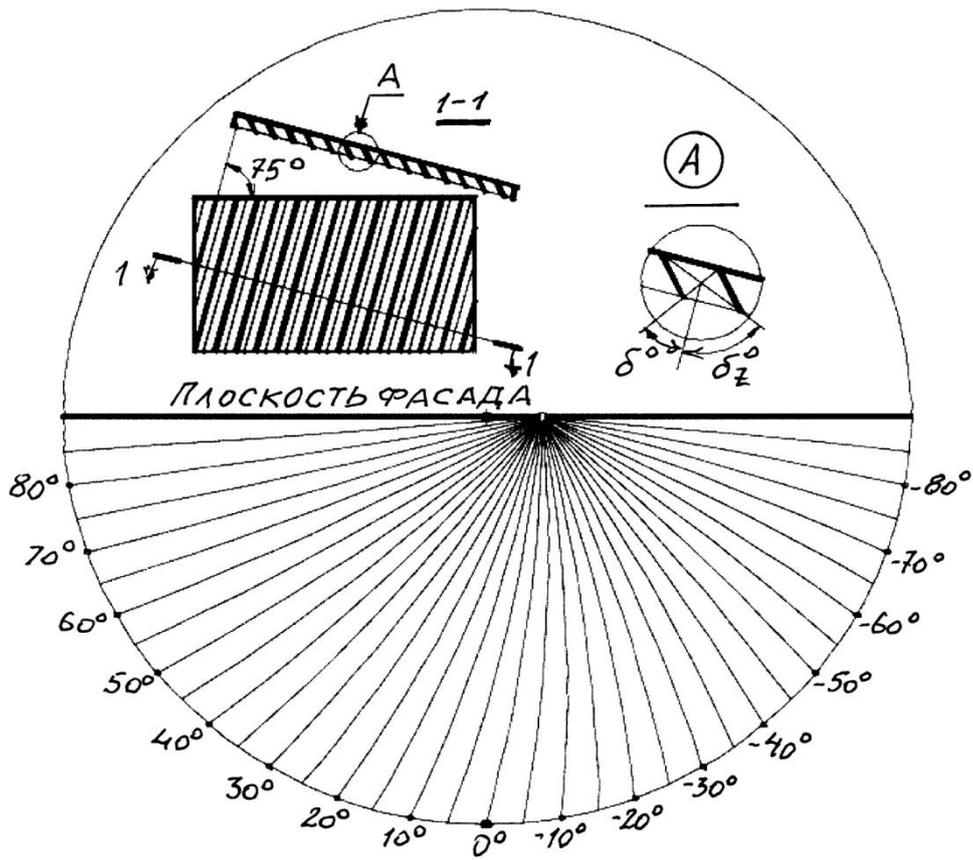


Рис. 93. Теневой угломер для расчета СЗУ общего положения западной ориентации при угле наклона направляющей ламелей  $75^\circ$

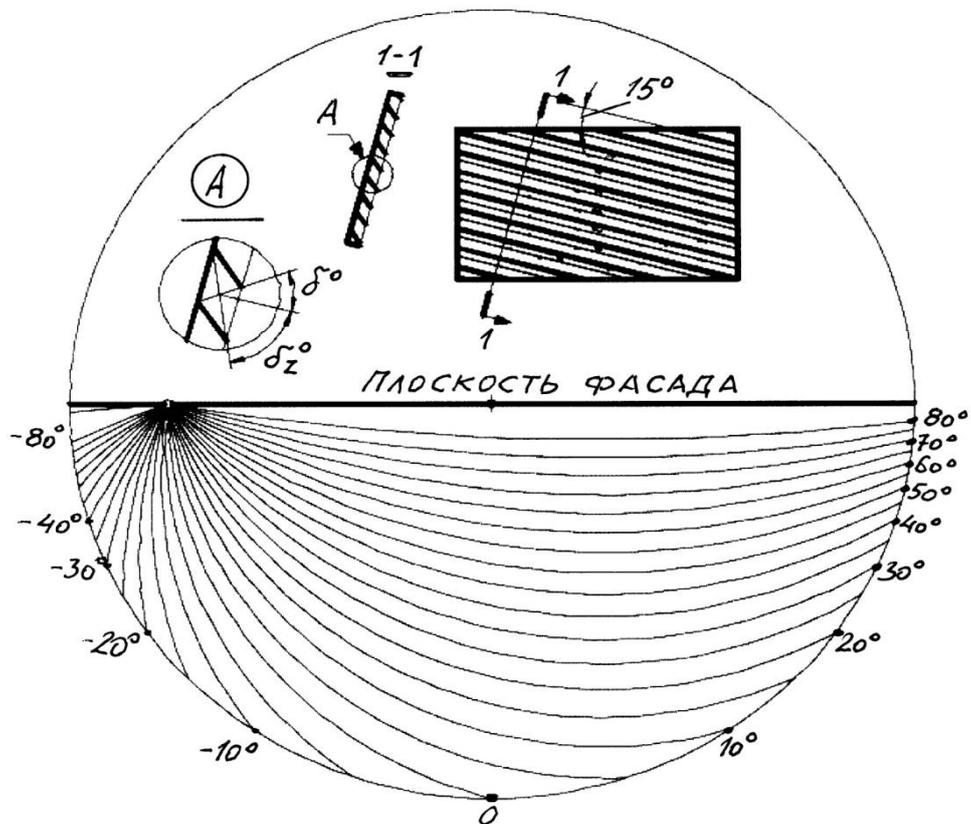


Рис. 94. Теневой угломер для расчета СЗУ общего положения восточной ориентации при угле наклона направляющей ламелей  $15^\circ$

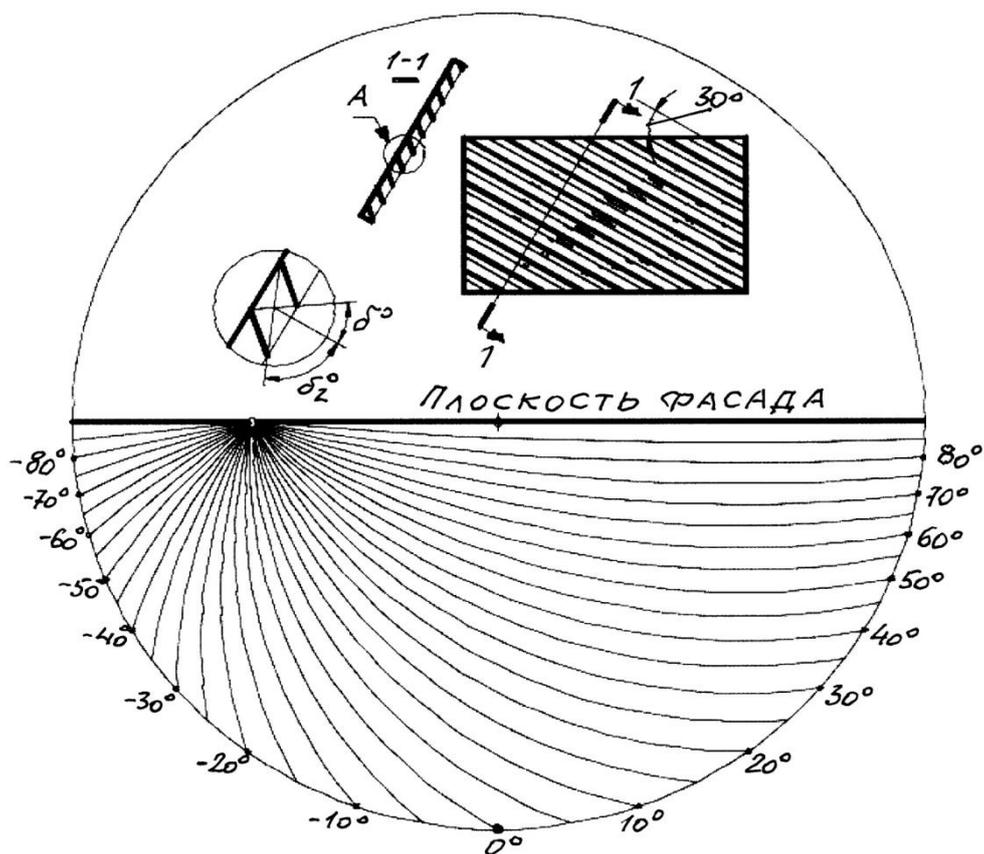


Рис. 95. Теневой угломер для расчета СЗУ общего положения восточной ориентации при угле наклона направляющей lamели 30°

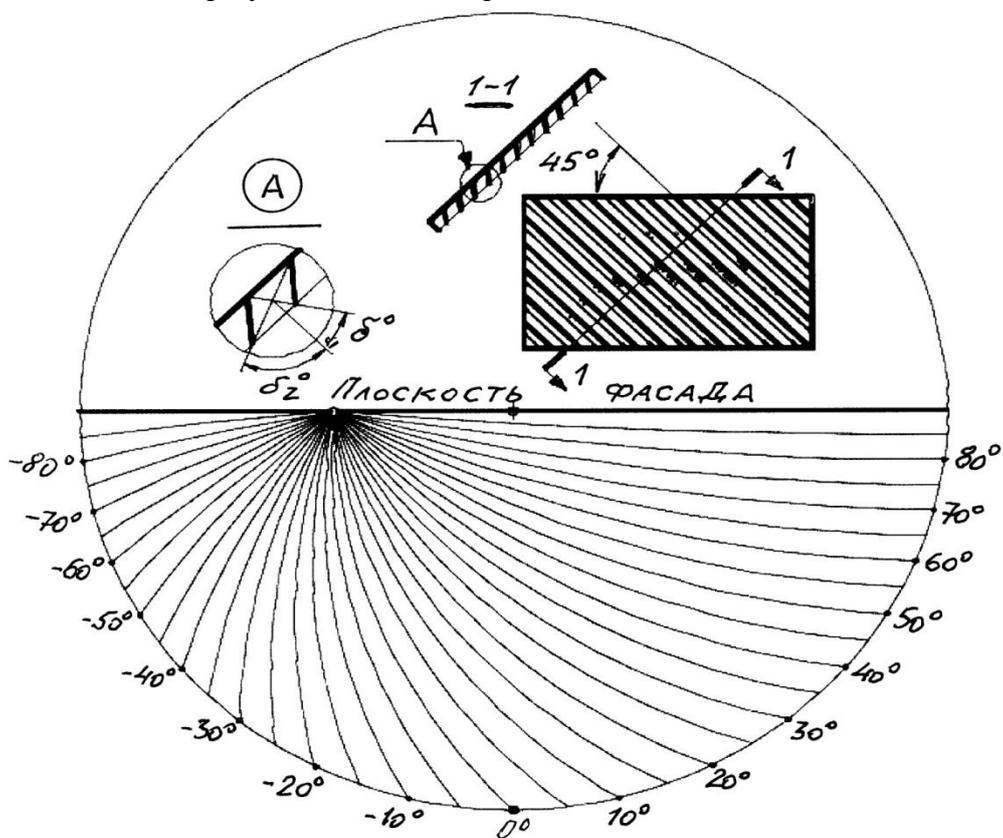


Рис. 96. Теневой угломер для расчета СЗУ общего положения восточной ориентации при угле наклона направляющей lamели 45°

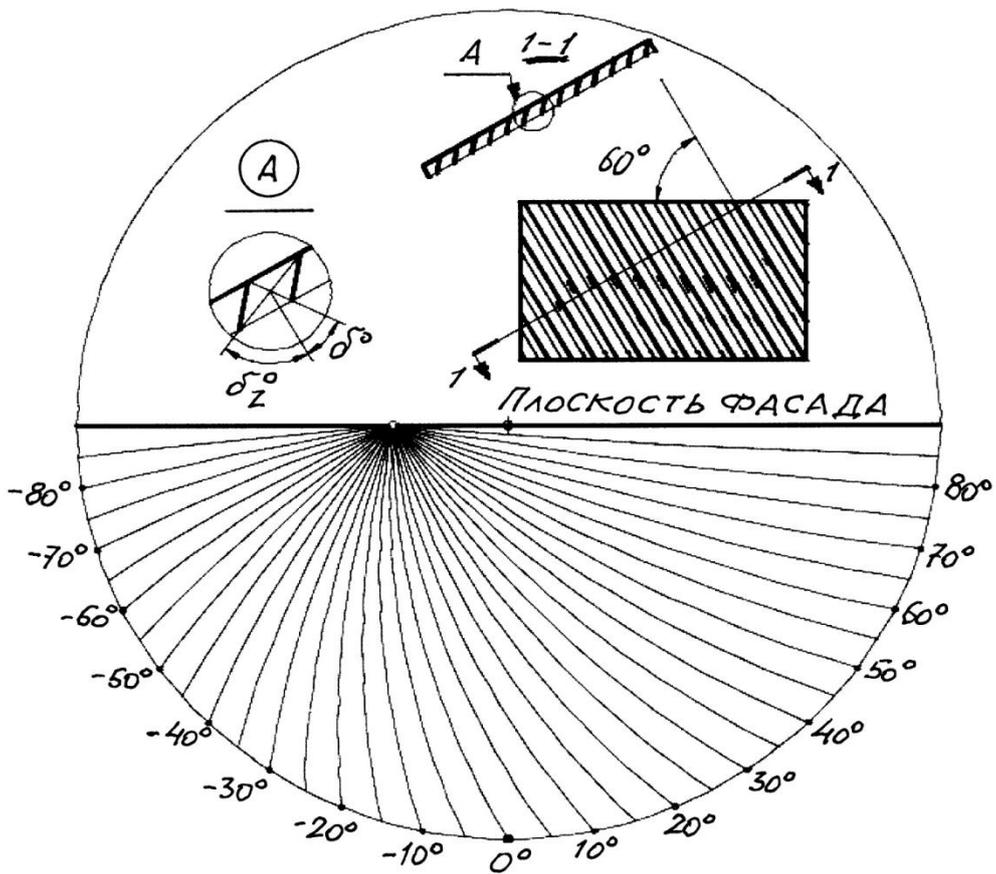


Рис. 97. Теневой угломер для расчета СЗУ общего положения восточной ориентации при угле наклона направляющей ламелей  $60^\circ$

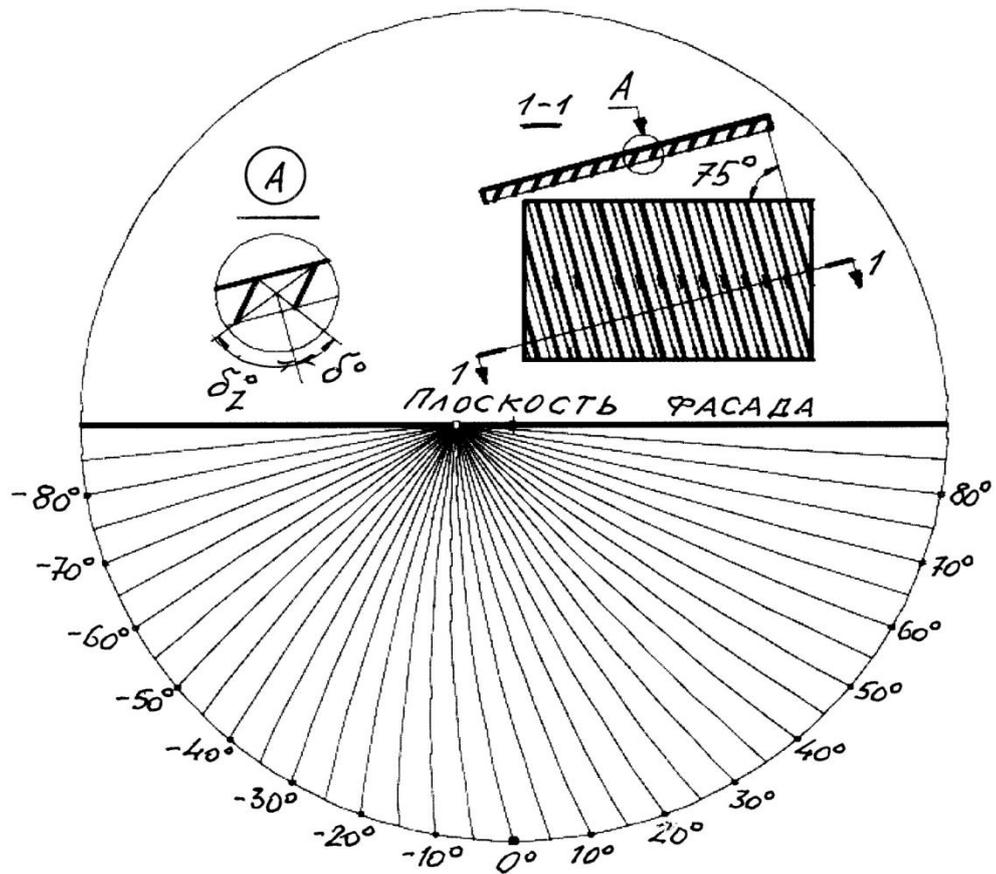


Рис. 98. Теневой угломер для расчета СЗУ общего положения восточной ориентации при угле наклона направляющей ламелей  $75^\circ$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высш. шк., 1973. – 446 с.
2. Общее мерзлотоведение (геокриология) / под ред. В.А. Кудрявцева. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 464 с.
3. Руководство по проектированию оснований и фундаментов на вечномёрзлых грунтах / НИИОСП. – М.: Стройиздат, 1980. – С. 303.
4. Сиротюк В.В., Якименко О.В., Захаренко А.А. Плюсы автозимников // Автомобильные дороги. – Томск, 2009. – № 11(936), ноябрь. – С 64–67.
5. Якименко О.В., Сиротюк В.В. Лабораторные испытания ледяных балок, армированных геосинтетическими материалами // Вестник СибАДИ. – Омск, 2008. – Вып 3(9). – С. 45–49.
6. Сиротюк В.В. Строительство и испытание опытного участка ледовой переправы, армированной геосинтетическими материалами / В.В. Сиротюк, О.В. Якименко, Е.Ю. Крашенинин, А.Н. Щербо // Вестник ТГАСУ. – 2008. – Вып.4. – С. 157–165.
7. Малофеев А.Г. Несущая способность ледяных переправ / А.Г. Малофеев, О.Г. Якименко // Вестник СибАДИ. – 2009. – Вып 1(11). – С. 32–36.
8. Теплофизические свойства мерзлых пород / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 204 с.
9. Миронов В.А. Проектирование оснований и фундаментов сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. – Калинин: КГУ, 1988. – 95 с.
10. Лабораторные методы исследования мерзлых пород / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Изд-во МНУ, 1985. – 350 с.
11. Ершов Э.Д. Физико-химия и механика мерзлых пород. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 336 с.
12. Ершов Э.Д. Общая геокриология. – М.: Недра, 1990. – 559 с.
13. Савельев Б.А. Физико-химическая механика мерзлых пород. – М.: Недра, 1989. – 11 с.
14. Карлов В.Д. Основания и фундаменты в районах распространения вечномёрзлых грунтов. – М., СПб.: Изд-во АСВ, 1997. – 176 с.
15. Невзоров А.Л. Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах: учебное пособие. – М.: Изд. АВС, 2000. – 152 с.
16. Farouki O.T. Thermal properties of soils // Trans. Tech. publications, 1986. – 136 p.
17. Sundberg J. Thermal properties of soil and rock / Sweden Geotechn. Inst. Rep. – № 35. – 1988. – P. 65.
18. Ravaska O., Kujala K. Prediction of frost penetration depth by heat transfer analysis // 2nd European Spec. Conf. on Numerical in Geotechn. Eng. – Santander, 1990. – P. 293–302.
19. McFadden T.T., Bennett F.L. Construction in cold regions. – New York: John Wiley & sons, 1991. – 615 p.
20. Frost in geotechnical engineering: Proc. of 2nd Int. Symp. on frost in geotechn. Eng / Edited by A. Phukan.-Rotterdam: A.A. Balkema, 1993.
21. Kujala K., Ravaska O. Soil water content measurement with a time domain reflectometer//XIII ICSMFE Conf.–New Delhi, India, 1994. – P. 219–224.
22. Andersland O.B., Ladanyi B. An introduction to frozen ground engineering. – New York: Chapman and Hall, 1994. – 352 p.
23. Маркизов Л.П. Здания на подсыпках из дренирующих материалов. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1991. – 120 с.
24. Черкасов И.И. Устройство фундаментов на вечномёрзлых грунтах: учебное пособие / МВиССО СССР, ЦМИПКС. – М., 1985. – 51 с.

25. <https://geografyofrussia.com/что-такое-вечная-мерзлота/>.
26. Роман Л.Т., Цернант А.А., Полещук В.Л., Цеева А.Н., Леванова Н.И. Строительство на намывных грунтах в криолитозоне. – М., 2008. – 323 с.
27. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии). – 2-е изд. перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – С. 57–72.
28. Киселев М.Ф. Мероприятия против деформации зданий и сооружений от воздействия сил морозного выпучивания фундаментов. – М.: Стройиздат, 1971. – 220 с.
29. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов / ПНИИС. – М.: Стройиздат, 1986. – 72 с.
30. Основания и фундаменты: Справочник / Г.И. Швецов, Г.И. Носков, А.Д. Слободян, А.Д. Госькова; под ред. Г.И. Швецова. – М.: Высш. шк., 1991. – С. 271–298.
31. Швецов К.К. Проектирование зданий для районов с особыми природно-климатическими условиями. – М., 1986.
32. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов на современном этапе (по материалам II Международного симпозиума по статическому зондированию) // ОФМГ. – 2012. – № 1. – С. 28–32.
33. Proceedings of the Second International Symposium on Cone Penetration Testing, CPT 10, Huntington Beach, USA, 2010.
34. Proceedings 1st European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-1, Stockholm, 1974.
35. Proceedings 2nd European Symposium on Penetration Testing, ESOPT-II, Amsterdam, 1982.
36. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов. – М.: АСВ, 2010. – 496 с.
37. Трофименков Ю.Г. Статическое зондирование грунтов в строительстве (зарубежный опыт). – М.: ВНИИТПИ, 1995. – 127 с.
38. Архитектурные конструкции / З.А. Казбек-Казиев, В.В. Беспалов, Ю.А. Дыховичный и др.: учеб. для вузов по спец. «Архитектура»; под ред. З.А. Казбек-Казиева. – М.: «Архитектура-С», 2006. – С. 330–332.
39. Механика грунтов, основания и фундаменты: учебник / С.Б. Ухов и др. – М., 1994. – 527 с.
40. Ким Н.Н., Маклакова Т.Г. Архитектура гражданских и промышленных зданий: спец. курс: учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1987. – 287 с.
41. Рекомендации по проектированию и расчету малозаглубленных фундаментов на пучинистых грунтах / НИИОСП. – М., 1985. – 60 с.
42. Рекомендации по учету и предупреждению деформаций и сил морозного пучения грунтов / ПНИИС. – М.: Стройиздат, 1986. – 72 с.
43. <https://geografyofrussia.com/что-такое-вечная-мерзлота/>.
44. ГОСТ 12248-2010. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости (введен в действие Приказом Росстандарта от 19.04.2011 № 46-ст).
45. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения.
46. ГОСТ 19912-2012. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием.
47. ГОСТ 19281-2014. Прокат повышенной точности. Общие технические условия.
48. ГОСТ 20276-2012. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости.

49. ГОСТ 20295-85. Трубы стальные сварные для магистральных газонефтепроводов. Технические условия.
50. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
51. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений.
52. ГОСТ 24847-81. Грунты. Методы определения глубины сезонного промерзания.- М.: Госстандарт, 1981. – 10 с.
53. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация (с поправкой). – М.: Госстандарт, 1982. – 18 с.
54. ГОСТ 25358-2012. Грунты. Метод полевого определения температуры.
55. ГОСТ 26262-2014. Грунты. Методы полевого определения глубины сезонного оттаивания.
56. ГОСТ 26263-84. Грунты. Метод лабораторного определения теплопроводности мерзлых грунтов. – М.: Госстандарт, 1985. – 9 с.
57. ГОСТ 27217-2012. Грунты. Метод полевого определения удельных касательных сил морозного пучения.
58. ГОСТ 27751-2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения, ГОСТ от 11 декабря 2014 г. № 27751-2014 ГОСТ 27751-2014.
59. ГОСТ 27772-2015. Прокат для строительных стальных конструкций. Общие технические условия.
60. ГОСТ 28622-90. Грунты. Метод лабораторного определения степени пучинистости. – М.: Госстандарт, 1990. – 10 с.
61. ГОСТ 30416-2012. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения.
62. ГОСТ 30672-2012. Грунты. Полевые испытания. Общие положения.
63. ГОСТ 5180-84. Грунты. Метод лабораторного определения физических характеристик. – М.: Госстандарт, 1985. – 24 с.
64. ГОСТ Р 52544-2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.
65. ГОСТ Р 53582-2009. Грунты. Метод определения сопротивления сдвигу оттаивающих грунтов.
66. ГОСТ Р 56726-2015. Грунты. Метод лабораторного определения удельной касательной силы морозного пучения.
67. ГОСТ 5686-2012. Грунты. Методы полевых испытаний сваями.
68. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.
69. ГОСТ 6727-80. Проволока из низкоуглеродистой стали холоднотянутая для армирования железобетонных конструкций. Технические условия.
70. ГОСТ 8732-78. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные. Сортамент.
71. ГОСТ 8734-75. Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные. Сортамент.
72. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства.
73. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства.
74. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства (Ч. I–VI).
75. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах СНиП II-7-81\* (актуализированного СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах» (СП 14.13330.2011)) (с Изменением № 1).
76. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81.

77. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*.
78. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*.
79. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85.
80. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88.
81. СП 28.13330.2012. Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85 (с Изменениями № 1, 2).
82. СП 32-101-95. Проектирование и устройство фундаментов опор мостов в районах распространения вечномерзлых грунтов.
83. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84\*.
84. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85\*.
85. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.
86. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
87. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры.
88. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. С изменением № 1, 2. – М., 2015.
89. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (с Изменением № 1).
90. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003.
91. СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99 (с Изменением № 2).
92. А.с. 389211 СССР, МКИ Е02Д 27/34. Способ защиты фундамента зданий, сооружений от воздействия сил морозного пучения / Г.И.Соболев и др. – Оpubл. 05.07.73 // Бюл. изобретений. – № 29.
93. А.с. 643594 СССР, МКИ Е02Д 27/34. Фундамент зданий, сооружений, возводимых на пучинистых грунтах / Г.И. Соболев, Ю.Г. Чернышев. – Оpubл. 25.01.79 // Бюл. изобретений. – № 3.
94. А.с. 885445 СССР, МКИ Е02Д 27/34. Фундамент зданий, сооружений / В.А. Кузюрин и др. – Оpubл. 30.11.81 // Бюл. изобретений. – № 44.
95. А.с. 1019059 СССР, МКИ Е02Д 27/35. Фундамент зданий, сооружений, возводимых на пучинистых грунтах / П.С. Пинчук, Г.П. Протодьяконов. – Оpubл. 23.05.83 // Бюл. изобретений. – № 19.
96. А.с. 1043266 СССР, МКИ Е02Д 27/35. Противопучинное покрытие фундамента здания, сооружения /А.М. Пчелинцев и др. – Оpubл. 23.09.83 // Бюл. изобретений. – № 35.
97. А.с. 1551778, МКИ Е02Д 27/35. Фундамент сооружения, возводимого на пучинистых грунтах / В.Ю. Петухов. – Оpubл. 23.03.903 // Бюл. изобретений. – № 11.
98. Римша А.И. Градостроительство в условиях жаркого климата: учебник для вузов. – М.: Стройиздат, 1979. – 312.
99. Абу Али ибн-Сина. Канон врачебной науки. – Ташкент, 1954.

100. Абу Али ибн-Сина. Трактат по гигиене. – Ташкент: Изд-во ЦК КП Узбекистана, 1982. – 112 с.
101. Фирсанов В.М. Архитектура гражданских зданий в условиях жаркого климата. – М., 1971.
102. Куприянов В.Н. Строительная климатология и физика среды: учебное пособие. – Казань: КГАСУ, 2007. – 114 с.
103. Благовещенский Ф.А., Букина Е.Ф. Архитектурные конструкции: учебник для строит. техникумов по спец. «Архитектура». – М.: Высш. шк., 1985. – 230 с.
104. Солнцезащита гражданских и промышленных зданий. Методические указания к выполнению работ по дисциплине «Эффективные современные материалы и конструкции» для студентов-иностранцев специальностей 7.120101 «Архитектура зданий и сооружений», 7.120102 «Градостроительство», 7.120103 «Дизайн архитектурной среды». Министерство образования и науки Украины Киевский национальный университет строительства и архитектуры. – Киев, 2015.
105. Світлопрозорі огороження будинків. Навч. Посібник / О.Л. Підгорний., І.М. Щепетова, О.В. Сергейчуктаін. – К.: Видавець Домашевська О.А., 2005. – 282 с.
106. Штейнберг А.Я. Солнцезащита зданий / А.Я. Штейнберг; под ред. д-ра техн. наук А.Л. Подгорного. – К.: Будівельник, 1986. – 84 с.

*Примечание к списку литературы.* При пользовании вышеприведенным списком рекомендуемой литературы целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 01 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании данным списком литературы следует руководствоваться заменяющим (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение I

### Алгоритм расчета оснований, сложенных многолетнемерзлыми грунтами

Последовательность расчета оснований, сложенных многолетнемерзлыми грунтами	
↓	↓
<p><b><u>I принцип</u></b> (с сохранением многолетнемерзлого состояния грунта)</p>	<p><b><u>II принцип</u></b> (с допущением оттаивания многолетнемерзлого грунта)</p>
→ Анализ инженерно-геологических условий (АИГУ) а, б.	→ Анализ инженерно-геологических условий (АИГУ) а, б.
→ <b>А. Теплотехнические расчеты</b> , включающие: <p><b>А.И.1.</b> Выбор мероприятий, обеспечивающих сохранение грунтов в многолетнемерзлом состоянии (данные мероприятия должны не только сохранять мерзлое состояние грунтов основания, но и обеспечивать поддержание заданной температуры этих грунтов, например применением вариантов, приведенных в табл. 8, п. 2.2, рис. Т.8.3 данного издания.</p> <p><b>А.И.2.</b> Определение расчетной глубины сезонного оттаивания и глубины заложения фундаментов (расчетная глубина сезонного оттаивания грунтов находится в зависимости от способа охлаждения; минимальная глубина заложения фундаментов принимается по табл. 6.1 СП 25.13330.2012 [80] или по таблице данного издания.</p> <p><b>А.И.3.</b> Назначение исходных данных для теплотехнических расчетов (расчетные теплотехнические характеристики грунта, определение параметров, входящих в расчетные формулы; определение <math>T</math> – температуры многолетнемерзлого грунта (<math>^{\circ}\text{C}</math>) на глубине 10 м.</p> <p><b>А.И.4.</b> Теплотехнический расчет вентилируемых подполий.</p> <p><b>А.И.5.</b> Теплотехнический расчет холодного первого этажа.</p> <p><b>А.И.6.</b> Теплотехнический расчет охлаждающих труб и каналов; вычис-</p>	→ <b>А. Теплотехнические расчеты</b> , включающие: <p><b>А.И.1.</b> Определение расчетной глубины сезонного промерзания и глубины заложения фундаментов.</p> <p><b>А.И.2.</b> Определение исходных данных для расчета глубины оттаивания грунтов.</p> <p><b>А.И.3.</b> Выбор расчетного периода оттаивания грунтов основания; определение необходимости расчета оттаивания с учетом времени (глубина зоны оттаивания рассчитывается либо на срок службы сооружения, либо для стационарного теплового состояния – максимально возможная глубина).</p> <p><b>А.И.4.</b> Определение глубины оттаивания многолетнемерзлого грунта под зданием или сооружением по разным методикам в зависимости от допущений, включая: оттаивание грунтов допускается в процессе эксплуатации здания или сооружения; оттаивание грунта производится предварительно до начала возведения здания или сооружения.</p>
	→ <b>Б. Статические расчеты</b> (по деформациям для II-го принципа), включающие:

ление глубины границы промерзания подсыпки и среднегодовой температуры многолетнемерзлого грунта на этой границе; вычисление расчетной глубины оттаивания материала подсыпки, после чего определяется ее (подсыпки) толщина.

**А.І.7.** Теплотехнический расчет по ограничению зоны оттаивания с заданными пределами (определяется максимальная глубина оттаивания и расчетная температура многолетнемерзлого грунта).

**А.І.8.** Составление расчетной схемы основания.

**А.І.9.** В зависимости от выбранного типа фундаментов – свайного фундамента (СФ) или фундаментов мелкого заложения (ФМЗ) в соответствии СП 25.13330.2012 [80] вычисляются расчетные температуры грунта.

→ **Б.** Статические расчеты (по несущей способности для I-го принципа), включающие:

**Б.І.1.** Предварительное назначение размеров фундаментов и определение коэффициента условий работы.

**Б.І.2.** Определение расчетных характеристик прочности грунта ( $R$ ,  $R_{см}$ ,  $R_{сд}$  по СП 25.13330.2012 [80]).

**Б.І.3.** Определение несущей способности основания при вертикальной нагрузке.

**Б.І.4.** Определение несущей способности оснований, сложенных особыми видами мерзлых грунтов, например: засоленных, сильно льдистых и подземных льдов, заторфованных грунтов;

**Б.І.5.** Учет горизонтальных и внецентренных нагрузок.

**Б.І.6.** Проверка условий расчета по несущей способности  $F \leq F_u / \gamma_n$ , где  $F$  – расчетная нагрузка на основание в наиболее невыгодной комбинации, включая массу фундамента, а при столбчатом фундаменте и массу грунта, лежащего на его уступах;  $F_u$  – несущая способность основания, определяемая по СП 25.13330.2012 [80];  $\gamma_n$  – коэффициент надежности.

**Б.ІІ.1.** Составление схемы для расчета по деформациям.

**Б.ІІ.2.** Определение расчетных деформационных характеристик оттаивающих грунтов, необходимых для расчета деформаций основания.

**Б.ІІ.3.** Предварительное определение размеров фундамента.

**Б.ІІ.4.** Выбор расчетной схемы при определении осадок, включая:

– в виде линейно деформированного слоя конечной толщины;

– в виде линейно деформированного полупространства.

**Б.ІІ.5.** Определение вертикальных давлений, передаваемых зданием или сооружением на грунтовое основание.

**Б.ІІ.6.** Корректировка размеров фундаментов;

**Б.ІІ.7.** Вычисление конечной осадки фундамента, если расчет основания принят по схеме линейно деформированного слоя конечной толщины.

При этом последовательность расчета будет зависеть от того, что оттаивание грунтов допускается в процессе эксплуатации здания или сооружения, или оттаивание мерзлого грунта производится предварительно до начала возведения объекта.

**Б.ІІ.8.** Определение конечной осадки фундамента, если расчет основания принят по схеме линейно деформируемого полупространства.

**Б.ІІ.9.** Определение крена фундаментов.

**Б.ІІ.10.** Проверка соблюдения условия  $S \leq S_u$ , где  $S$  – деформация основания;  $S_u$  – предельно допустимая деформация основания.

**Б.ІІ.11.** Расчет реактивных давлений грунта на фундамент, который необходим для вычисления дополнительных усилий, возникающих в конструкциях здания от не-

<p><b>Б.1.7.</b> Проверка устойчивости и прочности фундаментов на действие сил пучения.</p> <p>→ <b>В.</b> Статические расчеты (по деформациям для I-го принципа), включающие:</p> <p><b>В.1.1.</b> Определение исходных данных, необходимых для расчета по деформациям оснований, сложенных пластично мерзлыми грунтами.</p> <p><b>В.1.2.</b> Определение расчетных характеристик грунтовых оснований по данным полевых и лабораторных испытаний.</p> <p><b>В.1.3.</b> Определение осадки.</p> <p><b>В.1.4.</b> Определение осадок оснований, сложенных особыми видами грунтов, например: засоленных мерзлых, сильно льдистых и подземных льдов, заторфованных мерзлых грунтов.</p> <p><b>В.1.5.</b> Проверку условия <math>S \leq S_u</math>, где <math>S</math> – деформация основания; <math>S_u</math> – предельно допустимая деформация основания</p>	<p>равномерных осадок оснований, а также в целях последующего расчета как самого фундамента, так и надфундаментных конструкций</p>
---	--

Приложение 2

**Алгоритм расчета  
температурного режима вентилируемого подполья  
по обязательному приложению «Д» СП 25.13330.2012 [80]**

<p><b>Д.1. и Д.2. Температурный режим вентилируемого подполья</b></p> $T_{c,a} = k_0 \cdot T^I_0, \quad (Д.1)$ <p>где <math>T_{c,a}</math>, °С – среднегодовая температура воздуха в вентилируемом подполье, устанавливаемая расчетом в зависимости от предусмотренного проектом значения среднегодовой температуры многолетнемерзлого грунта на его верхней поверхности;</p> <p><math>T^I_0</math>, °С – среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта на его верхней поверхности, теплового режима сооружения и режима вентилирования подполья;</p> <p><math>k_0</math> – коэффициент, принимаемый по табл. Д.1 в зависимости от <math>t_{f,n}</math> и значений <math>\lambda_f/\lambda_{tf}</math></p> <p align="right">Таблица Д.1</p>					
<p align="center">Коэффициент <math>k_0</math></p>					
$\lambda_f / \lambda_{tf}$	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
<p><math>t_{f,n}</math> – продолжительность периода с отрицательной среднесуточной температурой воздуха, сут., принимаемая по СП 131.13330 [91];</p> <p><math>\lambda_f</math> и <math>\lambda_{tf}</math> – теплопроводность, соответственно, мерзлого и талого грунтов</p>					

↓

**Д.3. Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта на поверхности  $T'_0$**   

$$T'_0 = T_0 + \Delta T, \quad (\text{Д.1a})$$

где  $T'_0$ , °С – среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта на его верхней поверхности, устанавливаемая при эксплуатации зданий или сооружений, назначается из условия обеспечения требуемых расчетных температур грунта охлаждающими устройствами;

$T_0$  – температура многолетнемерзлого грунта, °С;

$\Delta T$  – понижение температуры, которое должно быть обеспечено охлаждающими устройствами, °С, принимается по табл. Д.2.

Таблица Д.2

**Понижение температуры  $\Delta T$**

Среднегодовая температура грунта с учетом температуры начала замерзания ( $T_0 - T_{bf}$ ), °С	Понижение температуры $\Delta T$ , °С
$T_0 - T_{bf} > -0,5$	-2,5
$-0,5 \geq T_0 - T_{bf} > -1,0$	-1,5
$-1,0 \geq T_0 - T_{bf} > -1,5$	-0,5
$-1,5 \geq T_0 - T_{bf} > -6,0$	0

*Примечание.* При  $T_0 - T_{bf}$  ниже минус 6°С допускается повышение природных температур многолетнемерзлых грунтов до значения  $T'_0$ , °С, которое обеспечивает требуемую несущую способность основания

↓

**Д.4. Подбор модуля естественного вентилирования подполья  $M$**

С учетом установленной расчетом по (Д.2) среднегодовой температуры воздуха в подполье  $T_{c,a}$ , °С, при естественном вентилировании подполья за счет ветрового напора, обеспечивается подбором модуля его вентилирования  $M$ , определяемого соотношением:

$$M = A_y / A_b, \quad (\text{Д.2})$$

где  $A_y$  – 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<sup>2</sup>;

$A_b$  – площадь здания в плане по наружному контуру, м<sup>2</sup>.

*Примечание.* При отношении высоты подполья  $h_c$  к ширине здания  $B$  менее 0,02, применяется система вентиляции с механическим побуждением

↓

**Д.5. Расчет модуля вентилирования  $M$**

Модуль вентилирования  $M$ , необходимый для обеспечения расчетной температуры воздуха в подполье  $T_{c,a}$ , °С при его естественном вентилировании, вычисляем по формуле (Д.3):

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

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,  $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ ;  
 $C_v$  – объемная теплоемкость воздуха, принимаемая равной  $1300 \text{ Дж}/(m^3 \cdot ^\circ C)$ ;  
 $k_a$  – 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,  $m/c$  ( $m/ч$ );

$\chi$  – безразмерный параметр; для открытых подполий принимается равным 0; для подполий с продухами определяется по формуле (Д4):

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

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

$R_z$  – сопротивление теплопередаче цоколя,  $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ ;

$\xi$  – параметр, учитывающий влияние расположенных в подполье коммуникаций на его тепловой режим,  $^\circ C$ , определяемый по формуле (Д5):

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

где  $n$  – число трубопроводов;

$l_{p,j}$  – длина  $j$ -го трубопровода,  $m$ ;

$T_{p,j}$  – температура теплоносителя в  $j$ -м трубопроводе,  $^\circ C$ ;

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

$t_y$  – продолжительность года, равная  $365 \text{ сут.}$ ;

$R_{p,j}$  – сопротивление теплопередаче теплоизоляции  $j$ -го трубопровода  $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ ;

$\chi_i$  – коэффициент потери напора на отдельных участках подполья, принимаемый по табл. Д.3.

Таблица Д.3

Коэффициент  $\chi_i$

Участок подполья	$\chi_i$
Вход с сужением потока	0,50
Жалюзийная решетка	2,00
Поворот потока на $90^\circ$	1,32
Вход с расширением потока	0,64

**Расчетные значения прочностных характеристик мерзлых грунтов по рекомендуемому приложению «В» СП 25.13330.2012 [80]**

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 производятся 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 с ней образца грунта, должна быть такой же, как фундаментов, в строительстве.

2. При отсутствии опытных данных допускается принимать значения  $R$ ,  $R_{af}$ ,  $R_{sh}$  по табл. 1–11 данного приложения. При этом расчетные давления на мерзлые грунты под нижним концом сваи принимаются по табл. 1, под подошвой столбчатого фундамента – по табл. 2 для мерзлых грунтов с континентальным типом засоления – по табл. 5, для мерзлых грунтов с морским типом засоления – по табл. 7 и 8, для льда – по табл. 10, для заторфованных мерзлых грунтов – по табл. 11. Расчетные сопротивления мерзлых грунтов и грунтовых растворов сдвигу по поверхностям смерзания с фундаментом принимаются по табл. 3, для мерзлых засоленных грунтов с континентальным типом засоления – по табл. 6, для мерзлых грунтов с морским типом засоления – по табл. 9, мерзлых заторфованных грунтов – по табл. 11. Расчетные сопротивления мерзлых грунтов сдвигу по грунту или грунтовому раствору  $R_{sh}$  принимаются по табл. 4, льдов по грунтовому раствору  $R_{shi}$  – по табл. 10, мерзлых заторфованных грунтов по грунту или грунтовому раствору – по табл. 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 табл. 4.

3. Значения  $R_{af}$  в табл. 3, 6, 9 и 12 следует умножать на коэффициент  $\gamma_{af}$ , зависящий от вида поверхности смерзания и принимаемый равным:

–	для бетонных поверхностей фундаментов, изготавливаемых 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

4. Значения  $R_{sh}$  в табл. 4 и 9 следует умножать на коэффициент  $\gamma_{sh}$ , равный:

–	для буронабивных свай с добавлением в бетон противоморозных химических добавок	0,7
–	для всех видов свай при льдистости грунта $0,2 \leq i_i \leq 0,4$	0,9
–	в остальных случаях	1,0

Примечание. При сочетании двух перечисленных в 4 условий, коэффициент  $\gamma_{sh} = 0,6$ .

5. Мерзлые засоленные грунты в зависимости от преобладающего химического состава солей выделяются по типу засоления – континентальному или морскому – в соответствии с ГОСТ 25100 «Грунты. Классификация» [53].

Таблица В1

Расчетные давления на мерзлые незасоленные грунты  $R$   
под нижним концом свай

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 $i_i < 0,2$													
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 $0,2 \leq i_i \leq 0,4$	35	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 В2

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 $i_i < 0,2$												
1. Крупнообломочные 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
3. Супеси	300	500	700	800	1050	1150	1300	1400	1500	1900	2250	2500
4. Суглинки и глины	250	450	550	650	800	900	1000	1100	1200	1550	1900	2200
При льдистости грунтов $i_i \geq 0,2$												
5. Все виды грунтов, указанные в поз.1-4	200	300	400	500	600	700	750	850	950	1250	1550	1750

Таблица В3

Расчетные сопротивления мерзлых незасоленных грунтов и грунтовых растворов сдвигу по поверхности смерзания  $R_{af}$  с фундаментом

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

Таблица В4

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 В5

Расчетные давления на мерзлые засоленные грунты с континентальным типом засоления  $R$  под нижним концом свай

Засоленность грунта $D_{sab}$ %	Расчетные давления $R$ , кПа при температуре грунта, °С											
	-1			-2			-3			-4		
	Глубина погружения свай, 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
<b>Пески мелкие и средние</b>												
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
<b>Супеси</b>												
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
<b>Суглинки</b>												
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 данной таблице как для свай глубиной погружения 3–5 м.

Таблица В6

Расчетные сопротивления мерзлых засоленных грунтов с континентальным типом засоления сдвигу по поверхностям смерзания  $R_{af}$

Засоленность грунта $D_{sab}$ %	Расчетные сопротивления $R_{af}$ , кПа при температуре грунта, °С			
	-1	-2	-3	-4
<b>Пески мелкие и средние</b>				
0,1	70	110	150	190
0,2	50	80	110	140
0,3	40	70	90	120
0,5	–	50	80	100
<b>Супеси</b>				
0,15	80	120	160	210
0,3	60	90	130	170
0,5	30	60	100	130
1,0	–	–	50	80
<b>Суглинки</b>				
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 В7

Расчетные давления  $R$  на мерзлые засоленные грунты с морским типом засоления под нижним концом свай

Засоленность грунта $D_{sab}$ , %	Глубина погружения свай, м	Расчетные давления $R$ , кПа при температуре грунта, °С				
		-1	-2	-3	-4	-6
<b>Пески мелкие и пылеватые</b>						
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
<b>Супесь</b>						
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
<b>Суглинки тяжелые и глины</b>						
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
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

Расчетные давления  $R$  на мерзлые засоленные грунты с морским типом засоления под подошвой столбчатого фундамента

Засоленность грунта, $D_{sab}$ , %	Расчетные давления $R$ , $кПа$ при температуре грунта, $^{\circ}C$				
	-1	-2	-3	-4	-6
<b>Пески мелкие и пылеватые</b>					
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
<b>Супеси</b>					
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
<b>Суглинки легкие</b>					
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
<b>Суглинки тяжелые и глины</b>					
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 В9

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
<b>Пески</b>					
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	–	–	–	–	–
<b>Супеси</b>					
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
<b>Суглинки тяжелые и глины</b>					
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 В10

Расчетные давления на лед  $R$  под нижним концом сваи и расчетные сопротивления льда сдвигу по поверхности смерзания с грунтовым раствором  $R_{shi}$

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

**Расчетные давления на мерзлые заторфованные грунты  $R$   
под нижним концом сваи**

Грунты (при относительном содержании органических веществ – $I_{om}$ )	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
<b>Песчаные:</b>													
$0,03 < I_{om} \leq 0,1$	3–5	180	230	300	400	600	750	950	1050	1250	1550	1750	1950
$0,1 < I_{om} \leq 0,3$		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
$0,03 < I_{om} < 0,1$	10	230	280	350	450	650	800	1000	1100	1300	1600	1800	2000
$0,01^* < I_{om} \leq 0,3$		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
$0,03 < I_{om} \leq 0,1$	15	360	420	490	590	790	940	1100	1200	1400	1700	1900	2100
$0,1 < I_{om} \leq 0,3$		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
<b>Пылевато-глинистые:</b>													
$0,05 < I_{om} < 0,1$	3–5	130	170	250	370	530	640	750	900	1050	1150	1350	1550
$0,1 < I_{om} < 0,3$		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
$0,05 < I_{om} < 0,1$	10	180	220	300	420	580	690	800	950	1100	1200	1400	1600
$0,1 < I_{om} < 0,3$		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
$0,05 < I_{om} < 0,1$	15	300	350	430	550	710	820	930	1080	1230	1330	1530	1730
$0,1 < I_{om} < 0,3$		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 В12

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:												
$0,03 < I_{om} \leq 0,1$	130	180	250	350	550	700	900	1000	1200	1500	1700	1900
$0,1 < I_{om} \leq 0,3$	80	120	190	300	430	500	600	700	860	1000	1150	1300
$0,3 < I_{om} \leq 0,5$	60	90	130	220	310	400	460	550	650	750	850	970
Глинистые:												
$0,05 < I_{om} \leq 0,1$	80	120	200	320	480	590	700	850	1000	1100	1300	1500
$0,1 < I_{om} \leq 0,3$	60	90	150	250	350	420	540	620	700	820	940	1050
$0,3 < I_{om} \leq 0,5$	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:												
$0,03 < I_{om} \leq 0,1$	50	70	90	100	130	160	160	180	210	250	280	320
$0,1 < I_{om} \leq 0,3$	30	40	50	70	90	110	120	140	160	190	220	240
$0,3 < I_{om} \leq 0,5$	20	30	40	60	70	80	90	110	130	150	170	190
Глинистые:												
$0,05 < I_{om} \leq 0,1$	20	40	60	80	100	110	130	150	180	200	230	270
$0,1 < I_{om} \leq 0,3$	10	20	30	50	60	70	90	100	120	140	160	180
$0,3 < I_{om} \leq 0,5$	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:												
$0,03 < I_{om} \leq 0,1$	30	60	100	140	160	190	230	250	270	310	330	350
$0,1 < I_{om} \leq 0,3$	10	30	50	70	110	120	130	150	180	200	230	260
$0,3 < I_{om} \leq 0,5$	8	20	40	60	80	90	100	120	140	150	180	210
Глинистые:												
$0,05 < I_{om} \leq 0,1$	20	50	70	90	110	120	140	170	200	250	270	300
$0,1 < I_{om} \leq 0,3$	5	30	40	50	70	80	100	110	130	180	190	200
$0,3 < I_{om} \leq 0,5$	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

где  $I_{om}$  – относительное содержание в грунте органических веществ.

Таблица В13

Нормативные предельно длительные значения удельного сцепления  $C_L$  (кПа) и угла внутреннего трения  $\varphi_L$  (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 (гравелистые пески с содержанием пылевой фракции более 8%)	$C_L$	80	110	140	170	200	230	250	300	360	420	520
	$\varphi_L$	28	28	30	30	32	32	32	32	33	33	33
Контакт песчаных грунтов со скалой (скальные образцы с размерами выступов 0,5–2,0 мм)	$C_L$	70	90	120	150	180	200	220	270	280	330	410
	$\varphi_L$	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
	$\varphi_L$	14	16	18	20	22	23	24	25	26	27	28

Таблица В14

Нормативные значения удельного сцепления  $C_{sh}$  (кПа) и угла внутреннего трения  $\varphi_{sh}$  (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
$\varphi_L$ , град	32	28	23	19	14	5

#### Приложение 4

### Физические и теплофизические характеристики многолетнемерзлых грунтов по рекомендуемому приложению «Б» СП 25.13330.2012 [80]

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;

з) температура начала замерзания грунта –  $T_{bf}$ , °C;

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

е) теплофизические характеристики грунта (теплопроводность  $\lambda$ , Вт/(м·°C) и удельная теплоемкость  $C$ , Дж/(кг·°C));

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.

2. Суммарная влажность мерзлого грунта –  $W_{tot}$  и влажность мерзлого грунта, расположенного между ледяными включениями –  $W_m$ , определяются в соответствии с ГОСТ 5180-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» [63].

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 25100-2011 «Грунты. Классификация» [53].

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 [53], как отношение массы солей  $g_s$  к массе сухой навески грунта  $g_d$  (включая массу содержащихся в нем солей) по формуле (Б.1):

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

По степени засоленности  $D_{sal}$  грунты подразделяют согласно ГОСТ 25100 [53]. Концентрация порового раствора  $C_{ps}$  характеризует степень минерализации грунтовой влаги и определяется по формуле (Б.2):

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

где  $W$  – влажность засоленного грунта, принимаемая для грунтов с льдистостью  $i_{tot} \leq 0,4$  равной  $W_{tot}$ , а с  $i_{tot} \geq 0,4$  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 [53].

5. Температура начала замерзания грунта  $T_{bf}$ , °C характеризует температуру перехода грунта из талого в мерзлое состояние. Температура начала замерзания незасоленных, засоленных и заторфованных грунтов определяется опытным путем, а в случаях, предусмотренных в 5.9 [80], температура начала замерзания незасоленных и засоленных грунтов принимается по формуле (Б.3) в зависимости от вида грунта и концентрации порового раствора  $C_{ps}$ :

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

где  $A$  – коэффициент, характеризующий температуру начала замерзания незасоленного грунта, принимается по табл. Б.1

Таблица Б.1

Температура начала замерзания незасоленного грунта

Грунты	Коэффициент $A$ , °C
Пески разных фракций	-0,10
Супеси и пылеватые пески	-0,15
Суглинок	-0,20
Глины	-0,25

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

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

Таблица Б.2

Расчетные значения температуры начала замерзания  $T_{bf}$  для торфа

Тип торфа	$W_{tot}$ , доли единицы	$T_{bf}$ , °C
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

6. Влажность незасоленного, засоленного и заторфованного мерзлого грунта за счет незамерзшей воды  $W_w$  определяется опытным путем. В случаях, предусмотренных в 5.9 [80] для незасоленного и засоленного грунта, находящегося в охлажденном состоянии, когда температура грунта выше температуры начала замерзания ( $0^\circ\text{C} > T > T_{bf}$ ), 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 ( $T \leq T_{bf}$ ), где  $T_{bf}$  находится по формуле (Б.3):

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

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

Таблица Б.3

Расчетные значения коэффициента  $k_w$

Грунты	Число пластичности $I_p$ , доли единицы	Коэффициент $k_w$ при температуре грунта $T$ , °C									
		-0,3	-0,5	-1	-2	-3	-4	-6	-8	-10	-15
Пески	–	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Супеси	$I_p \leq 0,02$										
	$0,02 < I_p \leq 0,07$	0,60	0,50	0,40	0,35	0,32	0,30	0,27	0,26	0,25	0,23
Суглинки	$0,07 < I_p \leq 0,13$	0,70	0,65	0,58	0,50	0,46	0,44	0,42	0,41	0,40	0,38
	$0,13 < I_p \leq 0,17$	0,80	0,75	0,65	0,55	0,51	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43
Глины	$I_p > 0,17$	0,98	0,92	0,80	0,68	0,63	0,60	0,57	0,56	0,55	0,53

$W_p$  – влажность грунта на границе пластичности, доли единицы;  
 $D_{sal}$  – степень засоленности грунта, доли единицы;  
 $\eta$  – коэффициент, принимаемый равным 0 для незасоленных грунтов и по табл. Б.4 для засоленных грунтов, в зависимости от числа пластичности  $I_p$  и температуры грунта  $T$  °C, для температур  $T < -15$  °C величина  $\eta$  принимается равной значению  $\eta$  при  $T = -15$  °C; если величина  $W_w$ , определенная по формуле (Б.4), превысит значение  $W_{tot}$ , тогда  $W_w = W_{tot}$ .

Таблица Б.4

Расчетные значения коэффициента  $\eta$

Грунты	Число пластичности $I_p$ , доли единицы	Величина коэффициента $\eta$ при температуре грунта $T$ , °C									
		-0,3	-0,5	-1	-2	-3	-4	-6	-8	-10	-15
Пески и супеси	$I_p \leq 0,02$	210	160	75	34	20	14	9	6,5	5	4
Супеси	$0,02 < I_p \leq 0,07$	150	130	57	24	15	11	7	5	4,5	3,5
Суглинки	$0,07 < I_p \leq 0,13$	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 ( $0^\circ C > T > T_{bf}$ ), принимаются 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 мерзлых торфа и заторфованных грунтов значения  $W_w$  определяются 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 ( $T \leq T_{bf}$ ):

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

где  $\Psi$  – параметр, зависящий от объемной степени заторфованности  $J$ , принимается по табл. Б.5.

Таблица Б.5

Расчетные значения коэффициента  $\Psi$

Тип грунта	$\Psi$ , град. <sup>4</sup>
Торф	1,6
Супесчаные заторфованные грунты	1,67 $J$ -0,1
Суглинистые заторфованные грунты	1,6 $J$

7. Теплофизические характеристики грунтов: коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , объемная теплоемкость  $C$  и коэффициент температуропроводности  $a$  определяются опытным путем. В случаях, предусмотренных в п.5.9 [80], 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 незамерзшей воды  $C_w$  и льда  $C_i$ , влажности  $W_{tot}$ , температурной и концентрационной зависимости влажности за счет незамерзшей воды  $W_w$ , плотности сухого 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):

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

где  $C_p$  – принимается по табл. Б.6; для незасоленных грунтов и торфа  $C_w = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , а  $T_{bf}$  находится по табл. Б.2; для засоленных грунтов в охлажденном состоянии ( $0^\circ C > T > T_{bf}$ ),  $T_{bf}$  определяется по формуле (Б.3), а величина  $C_w$  рассчитывается по формуле (Б.7):

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

где  $C_{wt}$  – удельная теплоемкость порового раствора,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , определяется по табл. 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
$C_p, Дж/(кг \cdot ^\circ C)$	750	850	950	1920	1680

Таблица Б.7

Расчетные значения температурной зависимости удельной теплоемкости порового раствора  $C_{wt}$

$T, ^\circ C$	$C_{wt}, Дж/(кг \cdot ^\circ C)$
0,0	4210
-0,2	4150
-0,4	4110
-0,6	4060
-0,8	4030
-1,0	4010
-1,2	3990
-1,4	3970
-1,6	3950
-1,8	3930
-2,0	3920
-2,4	3900
-2,8	3890
-3,2	3860
-3,6	3840
-4,0	3820
-5,2	3800
-6,0	3700
-6,8	3670
-8,0	3630
-8,8	3600
-10,0	3570
-11,0	3550
-12,0	3520
-13,0	3510
-14,0	3490
-15,0	3470
-16,0	3450
-17,0	3440
-18,0	3430
-19,0	3410
-20,0	3400
-21,0	3390
-22,0	3380

Для незасоленных грунтов и торфа в мерзлом состоянии при условии, что температура грунта ниже или равна температуре начала замерзания ( $T \leq T_{bf}$ ), величина  $C_f$  находится по формуле (Б.8):

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

где  $W_w$  рассчитывается по формуле (Б.4), а  $C_i$  – по формуле (Б.9):

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

Для засоленных грунтов в мерзлом состоянии при условии, что температура грунта ниже или равна температуре начала замерзания ( $T \leq T_{bf}$ ), величина  $C_f$  находится по формуле (Б.10):

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

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 рассчитываются 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 незамерзшей 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 (Б.11):

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

где удельная теплоемкость минерального скелета  $C_{\rho m}$  и торфа  $C_{\rho g}$  находится по табл. Б.6;  $C_w = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ .

Для заторфованных грунтов, находящихся в мерзлом состоянии, когда температура грунта ниже или равна температуре начала замерзания ( $T \leq T_{bf}$ ), величина  $C_f$  находится по формуле (Б.12):

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

где  $W_w$  рассчитывается по формуле (Б.5),  $C_w = 4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ , а  $C_i$  – по формуле (Б.9).

В случаях, предусмотренных в п. 5.9 [80], значение коэффициента теплопроводности незасоленных, засоленных и заторфованных грунтов в талом  $\lambda_{th}$  и мерзлом  $\lambda_{fm}$  (для диапазона температур ниже  $T \leq -15^\circ\text{C}$ ) со-

стоянии, приведены в табл. Б.8, в зависимости от влажности  $W_{tot}$ , плотности скелета грунта  $\rho_{d,th,f}$  и степени засоленности согласно [53].

Таблица Б.8

Расчетные значения коэффициента теплопроводности грунта в талом  $\lambda_{ch}$ , мерзлом  $\lambda_f$  ( $T \leq -15^\circ\text{C}$ ) состоянии

Плотность сухого грунта, $\rho_{d,th}$ , г/см <sup>3</sup>	Суммарная влажность грунта, $W_{tot}$ , д.е.	Коэффициент теплопроводности грунтов $\lambda$ , 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					
$\lambda_{th}$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda_{th}$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda_{th}$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda_{th}$	$\lambda_f$		
0,1	9,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,81	1,34
0,1	6,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40	0,70
0,1	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,41
0,1	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12	0,23
0,2	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,81	1,33
0,2	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23	0,52
0,3	3,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,93	1,39
0,3	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41	0,70
0,4	2,0	-	-	-	-	-	-	2,16	-	-	-	-	2,10	-	-	-	0,93	1,39
0,7	1,0	-	-	-	-	-	-	2,14	-	-	-	-	2,00	-	-	-	-	-
1,0	0,60	-	-	-	-	-	-	2,10	-	-	-	-	1,90	-	-	-	-	-
1,2	0,40	-	-	-	-	-	-	2,02	-	-	-	1,57	1,80	-	-	-	-	-
1,4	0,35	-	-	-	-	-	1,80	2,00	-	-	-	1,57	1,76	1,68	1,65	1,59	-	-
1,4	0,30	-	-	-	-	-	1,74	1,98	1,95	1,91	1,88	1,45	1,65	1,59	1,56	1,50	-	-
1,4	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	-	-
1,4	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	-	-
1,4	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	-	-
1,4	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	-	-
1,4	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	-	-
1,6	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,68	1,94	1,80	1,74	1,65	-	-
1,6	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	-	-
1,6	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	-	-
1,6	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	-	-
1,6	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	-	-
1,6	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	-	-
1,8	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	-	-
1,8	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	-	-
1,8	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	-	-
1,8	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	-	-
2,0	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,28	1,46	1,35	1,30	1,25	-	-

Для нахождения величины  $\lambda_f$  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 (Б.13):

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

где  $\lambda_{th}$  и  $\lambda_{fm}$  находятся по табл. 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 п. 5.9 [80], значение коэффициента температуропроводности  $a$  ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) для незасоленных, засоленных и заторфованных грунтов находится по формуле (Б.14):

$$a = \lambda / C_p, \quad (\text{Б.14})$$

где величины коэффициента теплопроводности  $\lambda$  и объемной теплоемкости  $C_p$  находятся в соответствии с указаниями, приведенными в п. 7.

8. Величина объемной теплоты замерзания (таяния) грунта  $L_v$  ( $\text{Дж}/\text{м}^3$ ) принимается равной количеству теплоты, необходимой для замерзания воды (таяния льда) в единице объема грунта и определяется по формуле (Б.15):

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

где  $L_0 = 3,35 \cdot 10^5$  ( $\text{Дж}/\text{кг}$ ) – значение удельной теплоты фазовых превращений вода-лед; величина  $W_w$  для незасоленных, засоленных и заторфованных грунтов находится в соответствии с указаниями, приведенными в п. 6 при условии  $T_{bf} \geq T$ , здесь  $T_{bf}$  находится в соответствии с указаниями, приведенными в п. 5 приложения 4.

## Приложение 5

### Определение состояния, свойств и несущей способности оснований свай в многолетнемерзлых грунтах по результатам статического зондирования по рекомендуемому приложению «Л» [80]

**Л.1.** На территории распространения многолетнемерзлых грунтов статическим зондированием испытывают мерзлые и талые дисперсные грунты, состав и состояние которых позволяет выполнять непрерывное внедрение зонда. Для испытаний используется специальный электрический зонд II типа по ГОСТ 19912-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием» [46], дополнительно оснащенный датчиком температуры, расположенным в конусе наконечника зонда. В соответствии с [46], испытания выполняются установками тяжелого типа, которые обеспечивают усилие вдавливания и извлечения зонда не менее 100 кН.

Схемы конструкций зондов и их основные параметры представлены на рис. Л.1 и в табл. Л.1 и Л.2. На рис. Л.2 приведены образцы графического оформления результатов испытания грунта методом статического зондирования.

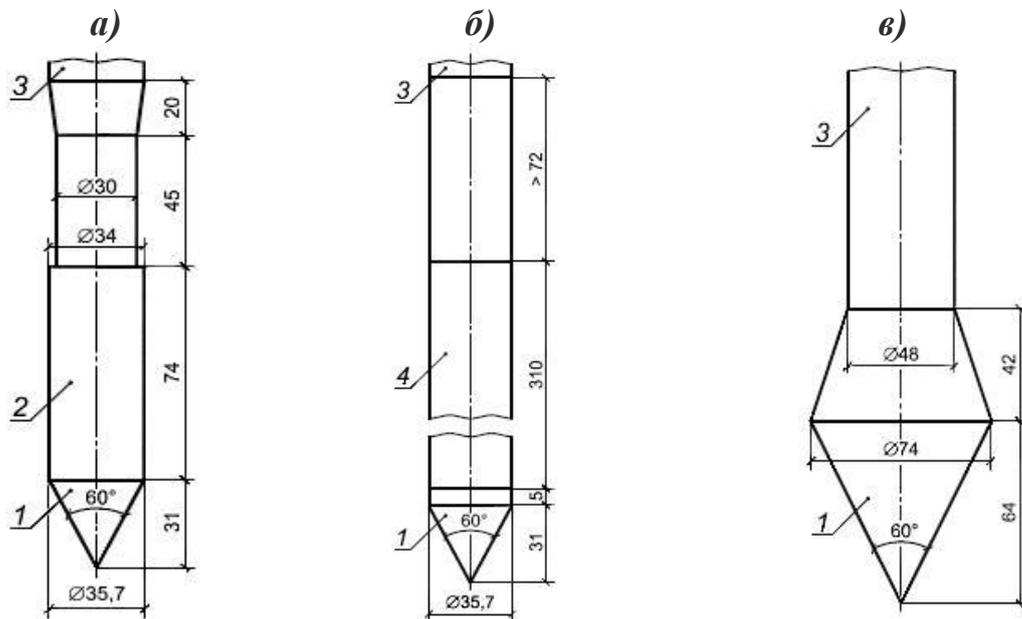


Рис. Л.1. Схемы конструкций зондов:

*a* – механический зонд (тип I) для статического зондирования; *б* – электрический зонд (тип II) для статического зондирования; *в* – зонд для динамического зондирования (ударный); 1 – конус; 2 – кожух; 3 – штанга; 4 – муфта трения

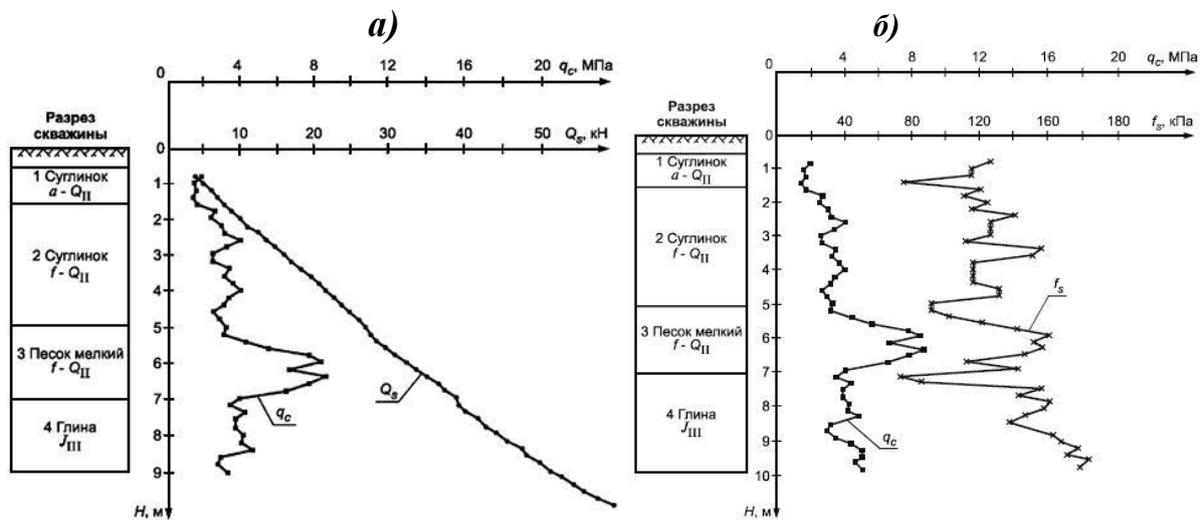


Рис. Л.2. Образцы графического оформления результатов испытания грунта методом статического зондирования: *a* – графики изменения  $q_c$  и  $Q_s$  в зависимости от глубины погружения  $H$  механического зонда. Масштаб графиков: по вертикали: для  $H$  1 см – 1 м; по горизонтали: для  $q_c$  1 см – 2 МПа ( $q_c \geq 1$  МПа); 1 см – 0,2 МПа ( $q_c < 1$  МПа), для  $Q_s$  1 см – 5 кН; *б* – графики изменения  $q_c$  и  $f_s$  в зависимости от глубины погружения  $H$  электрического зонда. Масштаб графиков: по вертикали: для  $H$  1 см – 1 м; по горизонтали: для  $q_c$  1 см – 2 МПа ( $q_c \geq 1$  МПа); 1 см – 0,2 МПа ( $q_c < 1$  МПа), для  $f_s$  1 см – 20 кПа

Таблица Л.1

## Основные параметры зондов для статического зондирования

Части зондов	Основные параметры	
	механического зонда	электрического зонда
Конус: – угол при вершине конуса, град – диаметр основания конуса, мм	60 35,7	60 35,7
Муфта трения: – наружный диаметр муфты, мм – длина муфты, мм	– –	35,7 310,0
Кожух: – наружный диаметр кожуха по низу, мм – длина кожуха, мм	35,7 74,0	– –
Штанги зондов; – наружный диаметр, мм – длина звеньев, м, не менее	36,0 1,0	34,0 1,0
<p><i>Примечания</i></p> <p>1. Наконечник электрического зонда должен иметь над муфтой трения цилиндрическую часть длиной не менее 72 мм наружным диаметром, равным диаметру муфты трения.</p> <p>2. По специальному заданию на изыскания допускается использовать электрический зонд с диаметром основания конуса 25-50 мм. При изысканиях под здания и сооружения пониженного уровня ответственности поправочные коэффициенты для показателей сопротивлений грунта зондированию допускается не применять.</p> <p>3. По специальному заданию на изыскания допускается использовать электрический зонд с длиной муфты трения 124,9–142,8 мм. Замеренные удельные сопротивления грунта на муфте трения необходимо использовать с поправочным коэффициентом, учитывающим пониженную «проработку» грунта вдоль укороченной муфты.</p> <p>4. Для электрического зонда допускается назначать другой наружный диаметр штанг, но не более 55 мм. Штанга с диаметром, превышающим диаметр зонда, должна располагаться не ближе 300 мм от муфты трения</p>		

Таблица Л.2

## Основные параметры зондов для динамического зондирования

Части зондов	Основные параметры зондов	
	ударного	ударно-вибрационного
Конус: – угол при вершине конуса, град. – диаметр основания конуса, мм	60 74,0	60 100,0
Штанги зондов: – наружный диаметр, мм – длина звеньев, м, не менее	42,0 1,0	62,5 1,5
<p><i>Примечание</i></p> <p>По специальному заданию на изыскания допускается использовать зонды с другими параметрами. Интерпретацию результатов испытаний в этом случае следует проводить на основе включенных в действующие нормативные документы статистически обоснованных зависимостей (таблиц) между условным динамическим сопротивлением грунта и результатами определения характеристик грунта другими стандартными методами</p>		

Метод статического зондирования в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов применяется в комплексе с другими методами инженерно-геокриологических изысканий:

- для выделения инженерно-геологических элементов;
- оценки пространственной изменчивости состава, состояния и свойств грунтов;
- определения глубины залегания кровли мерзлых грунтов;
- определения температуры грунтов;
- определения состояния (талое, мерзлое) грунтов;
- определения границ зон оттаивания (замораживания) при оттаивании (замораживании) грунтов;
- определения характеристик механических свойств грунтов;
- оценки возможности забивки свай;
- определения сопротивлений грунта под нижним концом и по боковой поверхности свай;
- определения степени уплотнения (разуплотнения) и упрочнения (снижения прочности) грунтов во времени и пространстве при их оттаивании (замораживании);
- контроля качества геотехнических работ.

**Л.2.** По отработанной отечественными специалистами технологии, статическое зондирование выполняется путем статического вдавливания зонда с постоянной скоростью  $0,5 \pm 0,1$  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 предусматривается выполнение других режимов статического зондирования мерзлых грунтов. При испытании измеряют и фиксируют:

- удельные сопротивления грунта под конусом  $q_{cv}$ , кПа и вдоль боковой поверхности  $f_{sv}$ , кПа муфты трения при вдавливании зонда;
- удельные сопротивления грунта при 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  $T_c$ , °C конуса зонда;
- глубину и скорость вдавливания  $V_c$ , м/мин., зонда;
- время  $t_c$ , прошедшее после начала режима «стабилизации» зонда.

Если изменение температуры конуса зонда за последние 5 мин. составляет не более  $0,05^\circ\text{C}$ , то принято считать, что процесс вмерзания зонда в грунт – завершённым.

**Л.3.** При выполнении предварительных расчетов оснований зданий и сооружений I–II уровней ответственности, а также для окончательных расчетов оснований сооружений III уровня ответственности в глинистых пластично-мерзлых (кроме засоленных и заторфованных) грунтах, нормативные значения характеристик механических свойств грунтов определяются согласно п. Л.6 приложения Л [80], а сопротивлений грунтов под нижним концом и по боковой поверхности вертикально нагруженных висячих забивных и бурозабивных свай согласно п. Л.8 приложения Л [80].

Нормативные величины предельно длительных значений эквивалентного сцепления  $c_{eq}$ , кПа, и компрессионного модуля деформации  $E_f$ , МПа пластично-мерзлых грунтов определяются по табл. Л.3.

Таблица Л.3

Нормативные величины предельно длительных значений удельного сопротивления грунта под конусом  $q_{cv}$  эквивалентного сцепления  $c_{eq}$ , и компрессионного модуля деформации  $E_f$  пластично-мерзлых грунтов

$q_{cv}$ , 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				

Расчетные значения характеристик определяются в соответствии с требованиями ГОСТ 20522-96 «Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний» [50] с учетом п. Л.8 приложения Л [80].

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 табл. Л.3, на поправочный температурный коэффициент (определяется на основе региональных корреляционных зависимостей между значениями характеристик  $c_{eq}$  и  $E_f$  и температурой грунта).

**Л.4.** Расчет несущей способности грунта основания  $F_u$ , кН вертикально нагруженной висячей свай в пластично-мерзлых грунтах по результатам статического зондирования определяют по формуле (Л.1):

$$F_u = \gamma_t \sum F_{ui} / n \gamma_g \gamma_m, \quad (\text{Л.1})$$

где  $\gamma_t$  – температурный коэффициент, учитывающий изменения температуры грунтов основания из-за случайных изменений температуры наружного воздуха, определяется по указаниям приложения П [80];

$F_{ui}$  – частное значение предельно длительного сопротивления основания вертикально нагруженной висячей сваи в пластично-мерзлых грунтах в точке зондирования, определяемое по формуле (Л.2):

$$F_{ui} = k(R_c A + \gamma_{af} \sum R_{af,i} A_{af,i}), \quad (\text{Л.2})$$

$\gamma_g$  – коэффициент надежности по грунту, определяемый в соответствии с требованиями ГОСТ 20522-2012 [50];

$\gamma_m$  – 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  $\gamma_m = 1,25$ ;

б) при проведении на ключевом участке в зоне проектируемого объекта сопоставительных испытаний грунтов сваей статической вдавливающей нагрузкой и статическим зондированием  $\gamma_m$ , рассчитывается по формуле (Л.3):

$$\gamma_m = F_{ui} / F_{u,n} + 0,1, \quad (\text{Л.3})$$

где  $F_{u,n}$  – предельно длительное сопротивление основания опытной сваи на ключевом участке, определенное по данным испытания сваи статической нагрузкой;

$n$  – число точек зондирования;

$k$  – коэффициент, учитывающий различие в состоянии многолетне-мерзлых грунтов в период статического зондирования (при природной температуре грунта) и эксплуатации (при расчетной температуре грунта) проектируемого сооружения, определяемый согласно указаниям п. 7.2.10 [80]; 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 ( $d$  – 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,  $\text{кПа}$ ;

$A$  – площадь поперечного сечения сваи,  $\text{м}^2$ ;

$\gamma_{af}$  – коэффициент, зависящий от вида поверхности смерзания, принимаемый равным:

– для бетонных поверхностей фундаментов, изготовляемых в металлической опалубке  $\gamma_{af} = 1,0$ ;

– для деревянных поверхностей, не обработанных масляными антисептиками  $\gamma_{af} = 1,0$ ;

– для деревянных поверхностей, обработанных масляными антисептиками  $\gamma_{af} = 0,9$ ;

– для металлических поверхностей из горячекатаного проката  $\gamma_{af} = 0,7$ ;

$R_{afc,i}$  – 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 (Л.4):

$$R_c = \beta_1 q_{cv}, \quad (Л.4)$$

где  $\beta_1$  – коэффициент перехода от  $q_{cv}$  к  $R_c$ , принимаемый для забивных и бурозабивных свай по табл. Л.4

Таблица Л.4

Коэффициент перехода  $\beta_1$  от  $q_c$  к  $R_c$

$q_{cv}$ , $кПа$	5000	10000	15000	20000
$\beta_1$	0,42	0,31	0,25	0,22
<i>Примечания</i>				
1. Приведенные значения коэффициента $\beta_1$ могут использоваться при глубине заложения сваи <b>5–10 м</b> и погружении ее нижнего конца глубже забоя лидерной скважины не менее, чем на четыре диаметра сваи.				
2. Для промежуточных значений $q_{cv}$ , значения $\beta_1$ определяют интерполяцией				

$q_{cv}$  – 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.

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 (Л.5):

$$R_{afc,i} = \beta_2 f_{si}, \quad (Л.5)$$

где  $\beta_2$  – коэффициент, принимаемый для забивных и бурозабивных свай по табл. Л.5

Таблица Л.5

Коэффициент  $\beta_2$  для забивных и бурозабивных свай

$f_{si}$ , $кПа$	Значения $\beta_2$ 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
<i>Примечания</i>					
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 $\beta_2$ определяют интерполяцией					

$f_{si}$  – 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 вмержания в грунт в процессе испытания в режиме «стабилизации».

Для несливающегося типа мерзлоты сопротивление участка талого грунта сдвигу по боковой поверхности сваи по данным статического зондирования рассчитывается согласно указаниям СП 24.13330 [79].

### Приложение 6

#### Расчет глубины оттаивания грунтов под сооружениями по рекомендуемому приложению «К» СП 25.13330.2012 [80]

Расчет глубины оттаивания грунтов в основании здания или сооружения  $H$ ,  $м$  (считая от планировочной поверхности грунта  $DL$  под сооружением), за время его эксплуатации  $t$ , секунд (час.), производится по формулам (К.1) и (К.2), в том числе:

$$- \text{ под серединой здания или сооружения } H_c = k_n(\zeta_c - k_c)B; \quad (К.1)$$

$$- \text{ под краем сооружения } H_e = k_n(\zeta_e - k_e - 0,1\beta\sqrt{\psi})B, \quad (К.2)$$

где  $k_n$  – коэффициент, определяемый по табл. К.1 в зависимости от отношения  $L/B$  (соответственно, длина и ширина сооружения,  $м$ ) и значений параметров  $\beta$  и  $\psi$

Таблица К.1

Значения коэффициента  $k_n$

Параметр $\psi$	Значение коэффициента $k_n$														
	для круглых в плане сооружений при $\beta$ , равном					для прямоугольных в плане сооружений, при									
						$L/B = 1$ и $\beta$ , равном					$L/B = 2$ и $\beta$ , 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

$\zeta_c$  и  $k_c$  – коэффициенты, определяемые по графикам (рис. К.1 а) в зависимости от значений параметров  $\alpha_R$ ,  $\beta$  и  $\psi$ ; вычисляемые по формулам (К.3), (К.4), (К.5);

$\zeta_e$  и  $k_e$  – коэффициенты, определяемые по графикам (рис. К.1 б) в зависимости от значений параметров  $\alpha_R$ ,  $\beta$  и  $\psi$ ; вычисляемые по формулам (К.3), (К.4), (К.5);

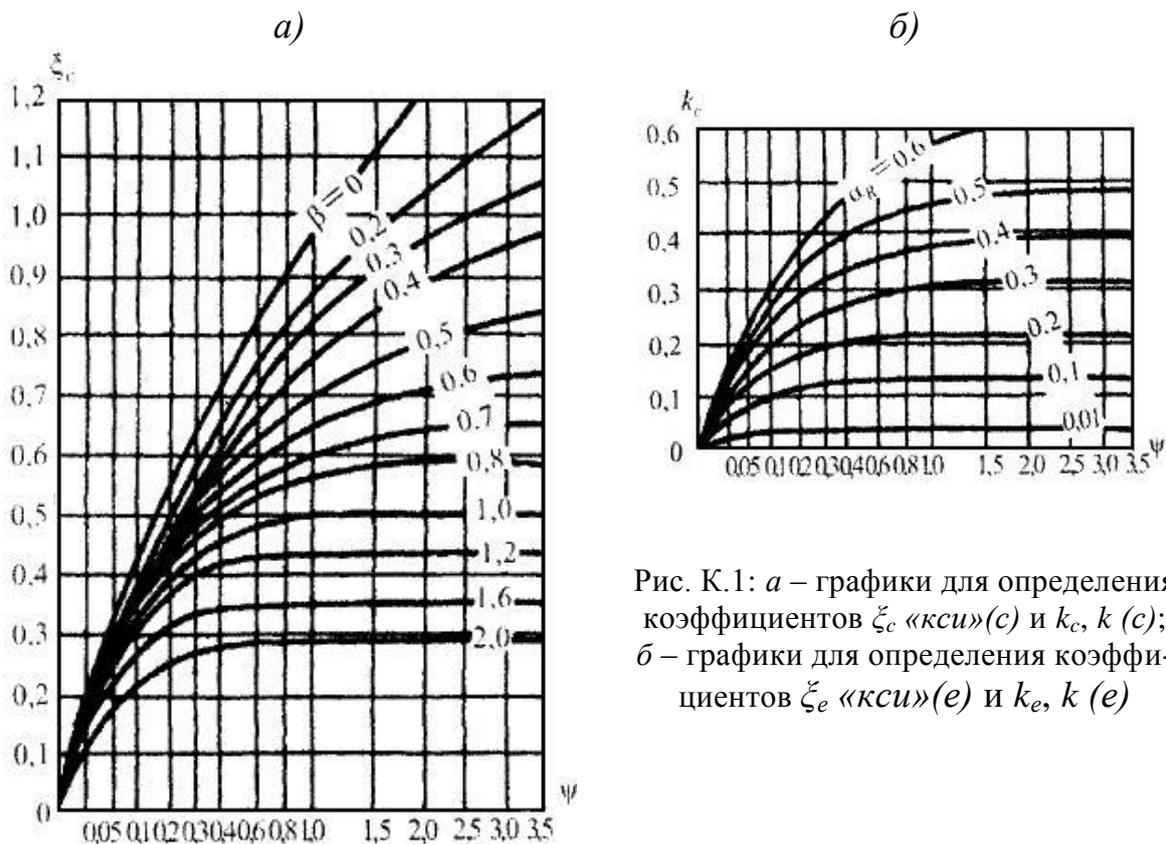


Рис. К.1: а – графики для определения коэффициентов  $\xi_c$  «кси»(с) и  $k_c, k$  (с); б – графики для определения коэффициентов  $\xi_e$  «кси»(е) и  $k_e, k$  (е)

$$\alpha_R = \lambda_{th} R_0 / B, \quad (K.3)$$

$$\beta = - \frac{\lambda_f (T_0 - T_{bf})}{\lambda_{th} (T_{in} - T_{bf})}, \quad (K.4)$$

$$\psi = \lambda_{th} T_{int} / L_v B^2, \quad (K.5)$$

здесь  $\lambda_{th}$  и  $\lambda_f$  – соответственно, теплопроводность талого и мерзлого грунтов,  $Bm/(m \cdot ^\circ C)$ , принимаемые по табл. Б.8 [80];

$R_0$  – сопротивление теплопередаче пола первого этажа или подвала сооружения,  $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ , определяемое в соответствии с СП 50.13330 «Тепловая защита зданий» [86];

$T_0$  – расчетная среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта,  $^\circ C$ , определяемая в соответствии с Г.8 [80];

$T_{bf}$  – температура начала замерзания грунта,  $^\circ C$ , определяемая по Б.5 [80];

$T_{in}$  – расчетная температура воздуха внутри сооружения,  $^\circ C$  [80];

$L_v$  – теплота таяния мерзлого грунта,  $Дж/м^3$ , определяемая по формуле (Б.20) [80].

Отмечается, что если  $\alpha_R = 0$ , то значения  $H_e$  вычисляются по формуле (К.6):

$$H_e = k_n \xi_e B. \quad (K.6)$$

Если вычисленные по формуле (К.2) значения  $H_e$  получаются меньше нормативной глубины сезонного оттаивания грунта  $d_{th,n}$ , то расчет производится по формуле (К.7):

$$H_e = 1,5d_{th,n}. \quad (К.7)$$

Максимальная глубина оттаивания грунта  $H_{max}$ , м (считая от планировочной поверхности грунта  $DL$  под сооружением), соответствующая установившемуся предельному положению границы зоны оттаивания, определяется по формулам (К.8) и (К.9), в том числе:

$$\text{– под серединой сооружения} \quad H_{c,max} = k_s \xi_{c,max} B; \quad (К.8)$$

$$\text{– под краем сооружения} \quad H_{e,max} = k_s \xi_{e,max} B, \quad (К.9)$$

где  $k_s$  – коэффициент, определяемый по табл. К.2

Таблица К.2

Значения коэффициента  $k_s$

Форма сооружения	$L/B$	Значения коэффициента $k_s$ при $\beta$ , равном				
		0,2	0,4	0,8	1,2	2,0
Круглая	–	0,40	0,49	0,56	0,59	0,61
	1	0,45	0,55	0,63	0,66	0,68
	2	0,62	0,74	0,82	0,85	0,87
Прямоугольная	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

$\xi_{c,max}$  и  $\xi_{e,max}$  – коэффициенты, определяемые по графикам рис. К.2а и К.2б.

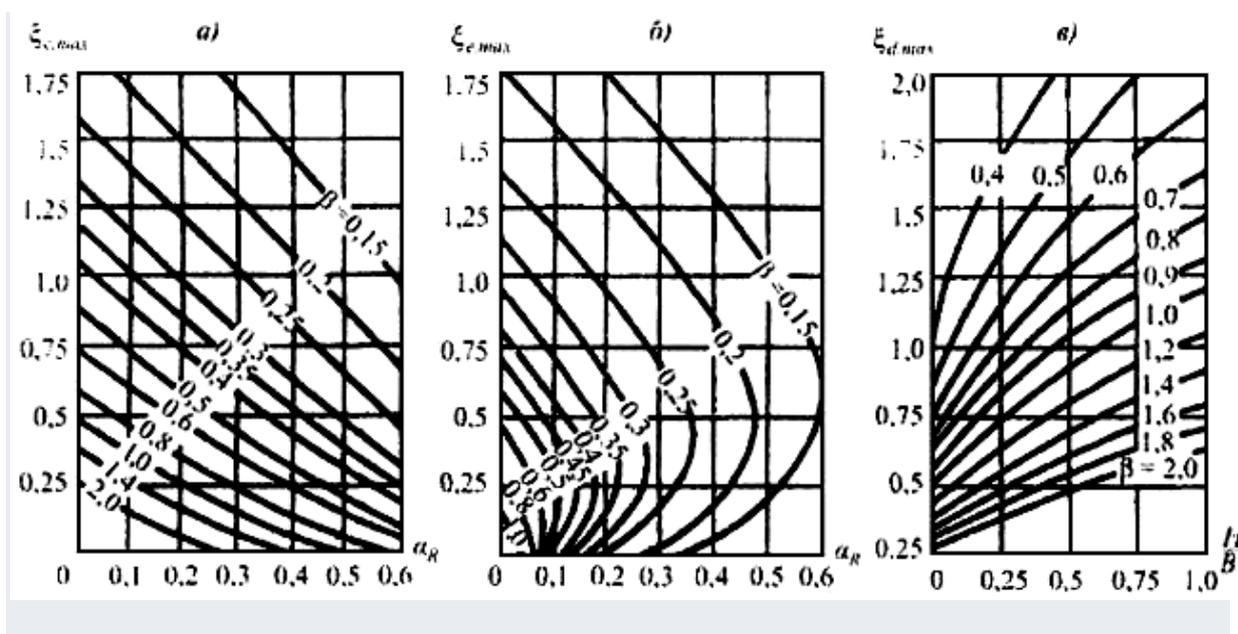


Рис. К.2. Графики для определения коэффициентов: а –  $\xi_{c,max}$ ; б –  $\xi_{e,max}$ ; в –  $\xi_{d,max}$

Для заглубленного сооружения глубина оттаивания грунта  $H$ , м, считая от поверхности грунта  $DL$  под заглубленной частью сооружения, за время  $t$ , с ( $\nu$ ), определяется по формулам (К.10) и (К.11):

– под серединой сооружения  $H_c = k_n(\zeta_d - \alpha_R)B;$  (К.10)

– под краем сооружения  $H_e = k_d H_c,$  (К.11)

где  $k_d$  – коэффициент, определяемый по табл. К.3

Таблица К.3

Значения коэффициента  $k_d$

$H/B$	Значения коэффициента $k_d$ при $\beta$ , 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

$\zeta_d$  – коэффициент, определяемый по графикам (рис. К.3) в зависимости от отношения заглубления сооружения к его ширине  $H/B$ , параметра  $\beta$  и коэффициента  $\psi_d$ , определяемого по формуле (К.12):

$$\psi_d = \frac{\lambda_{\tau h} T_{in} t}{L_v B^2} + \psi_0, \quad (К.12)$$

где  $\psi_0$  – коэффициент, определяемый по графикам (рис. К.3) в зависимости от параметров  $H/B$  и  $\beta$  при  $\zeta_d = \alpha_R$ .

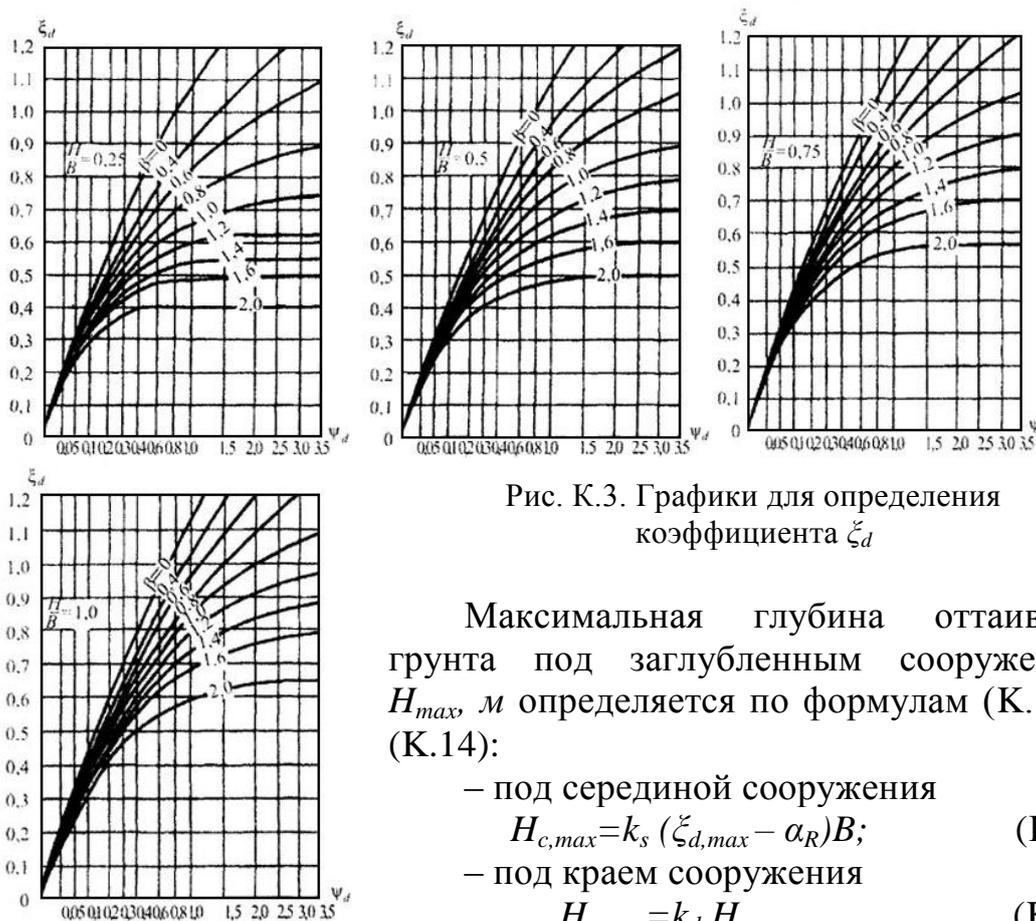


Рис. К.3. Графики для определения коэффициента  $\zeta_d$

Максимальная глубина оттаивания грунта под заглубленным сооружением  $H_{max}$ , м определяется по формулам (К.13) и (К.14):

– под серединой сооружения  $H_{c,max} = k_s (\zeta_{d,max} - \alpha_R)B;$  (К.13)

– под краем сооружения  $H_{e,max} = k_d H_{c,max},$  (К.14)

где  $\zeta_{d,max}$  – коэффициент, определяемый по графикам рис. К.2в.

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 планировочной поверхности  $DL$  многолетнемерзлого грунта) за время  $t$ , с ( $\psi$ ) определяется по формулам (К.15) и (К.16):

$$\text{— под серединой сооружения } H_c = k_n \xi_c^I B; \quad (\text{К.15})$$

$$\text{— под краем сооружения } H_e = k_n \xi_e^I B, \quad (\text{К.16})$$

где  $k_n$  — коэффициент, определяемый по табл. К.1 в зависимости от отношения  $L/B$  (соответственно, длина и ширина сооружения, м) и значений параметров  $\beta = 0$  и  $\psi = \psi_{th}$ ;

здесь значение коэффициента  $\psi_{th}$  рассчитывается по формуле (К.17):

$$\psi_{th} = \frac{\lambda_{th} T_{in} t}{L \nu B^2} \frac{1}{1 + 0,64 \alpha_R \lg 2,5B}, \quad (\text{К.17})$$

$\xi_c^I$  и  $\xi_e^I$  — коэффициенты, определяемые, соответственно, по графикам (рис. К.4а и К.4б) в зависимости от значения параметров  $\xi_0 = h_{th}/B$  и  $\psi_{th}$ ;

$h_{th}$  — глубина залегания верхней поверхности многолетнемерзлого грунта, м.

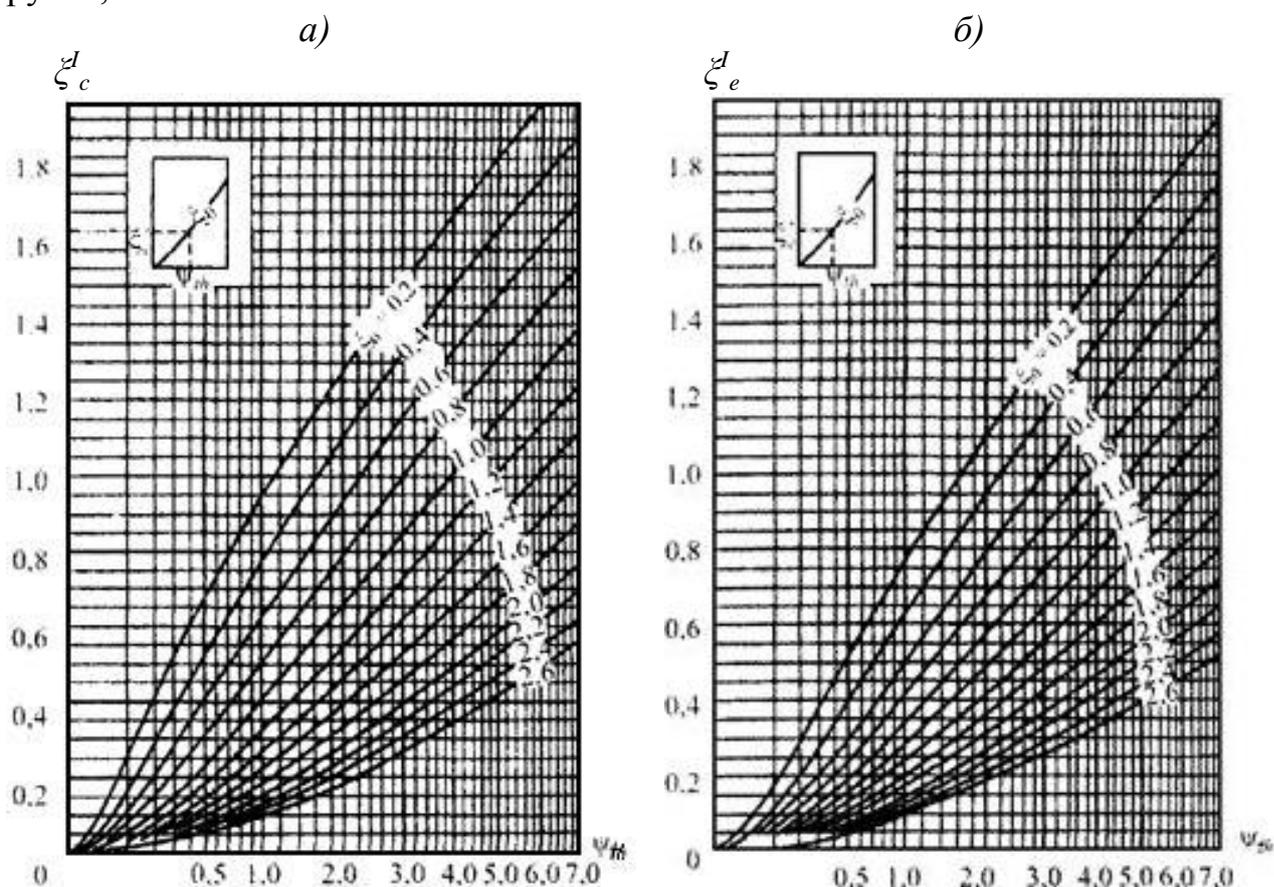


Рис. К.4. Графики для определения коэффициентов: а —  $\xi_c^I$ ; б —  $\xi_e^I$

При проведении геотехнических мероприятий по предварительному оттаиванию или замене грунтов до глубины  $h_{b,th}$  (6.4.3) [80] расчетная глубина оттаивания  $H$ , м (считая от отметки поверхности грунта  $DL$  под сооружением) за время  $t$ , с ( $\tau$ ) определяется по формуле (К.18):

$$H = h_{b,th} + h_{c,e} \quad (\text{К.18})$$

где  $h_{c,e}$  – глубина оттаивания грунта под подошвой предварительно оттаянного или замененного слоя грунта, определяемая по формулам (К.15) или (К.16), принимая значения  $\xi_c^d$  и  $\xi_e^d$  по графикам рис. К.4а и К.4б при значении параметра  $\xi_0 = h_{b,th}/B$ .

Приложение 7

### Расчет температурного режима вентилируемого подполья по обязательному приложению «Д» СП 25.13330.2012 [80]

Расчет температурного режима вентилируемого подполья в условиях многолетнемерзлых грунтов Крайнего Севера проводится в соответствии приложения Д [80]. На основании нормативных требований, температурный режим «холодного» вентилируемого подполья зданий или сооружений, 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 (7.2.8) [80], теплового режима сооружения и режима вентилирования подполья.

Расчет численного значения среднегодовой температуры наружного холодного воздуха  $T_{c,a}$ , °С, в объеме вентилируемого подполья, которая должна обеспечивать предусмотренную в проекте среднегодовую температуру многолетнемерзлого грунта на его верхней поверхности, °С, выполняется по формуле (Д.1):

$$T_{c,a} = k_0, \quad (\text{Д.1})$$

где  $k_0$  – коэффициент, принимаемый по табл. Д.1 в зависимости от значений  $t_{f,n}$  и  $\lambda_f/\lambda_{th}$

Таблица Д.1

Коэффициент  $k_0$

$\lambda_f/\lambda_{th}$	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

здесь  $t_{f,n}$  – продолжительность периода с отрицательной среднесуточной температурой воздуха, сут., принимаемая по [91];

$\lambda_f$  и  $\lambda_{th}$  – теплопроводность, соответственно, мерзлого и талого грунтов.

Для зданий и сооружений значение среднегодовой температуры многолетнемерзлого грунта на его верхней поверхности  $T_0^I, ^\circ\text{C}$ , устанавливаемая при их эксплуатации и назначаемая из условия обеспечения требуемых расчетных температур грунта охлаждающими устройствами, определяется по формуле (Д.2):

$$T_0^I = T_0 + \Delta T, \quad (\text{Д.2})$$

где  $T_0$  – температура многолетнемерзлого грунта,  $^\circ\text{C}$ ;

$\Delta T$  – понижение температуры, которое должно быть обеспечено охлаждающими устройствами,  $^\circ\text{C}$ , принимается по табл. Д.2.

Таблица Д.2

Понижение температуры  $\Delta T$

Среднегодовая температура грунта с учетом температуры начала замерзания ( $T_0 - T_{bf}$ ), $^\circ\text{C}$	Понижение температуры $\Delta T$ , $^\circ\text{C}$
$(T_0 - T_{bf}) > -0,5$	-2,5
$-0,5 \geq (T_0 - T_{bf}) > -1,0$	-1,5
$-1,0 \geq (T_0 - T_{bf}) > -1,5$	-0,5
$-1,5 \geq (T_0 - T_{bf}) > -6,0$	0
<i>Примечание.</i> При $T_0 - T_{bf}$ ниже минус $6^\circ\text{C}$ допускается повышение природных температур многолетнемерзлых грунтов до значения $T_0^I$ , которое обеспечивает требуемую несущую способность основания	

Среднегодовая температура воздуха в подполье  $T_{c,a}$  при естественном вентилировании подполья за счет ветрового напора обеспечивается подбором модуля его вентилирования  $M$ , определяемого соотношением (Д.3):

$$M = A_v / A_b, \quad (\text{Д.3})$$

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,  $\text{м}^2$ ;

$A_b$  – площадь здания в плане по наружному контуру,  $\text{м}^2$ .

Следует отметить, что при отношении высоты подполья к ширине здания менее  $0,02$  применяется вентиляция с механическим побуждением. Модуль вентилирования  $M$ , необходимый для обеспечения расчетной температуры воздуха в подполье  $T_{c,a}$  при его естественном вентилировании, вычисляется по формуле (Д.4):

$$M = k_c \frac{T_{in} - T_{c,a} - (T_{c,a} - T_{out})\chi + \xi}{0,77 R_0 C_v k_a V_a (T_{c,a} - T_{out})} \chi \sqrt{1 + \sum_1^n \chi_i}, \quad (\text{Д.4})$$

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,  $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ ;

$C_v$  – объемная теплоемкость воздуха, принимаемая равной 1300 Дж/( $m^3 \cdot ^\circ C$ );

$k_a$  – 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);

$X$  – безразмерный параметр; для открытых подполий принимается равным 0; для подполий с продухами определяется по формуле (Д.5):

$$\chi = \frac{A_z R_0}{A_b R_z}, \quad (Д.5)$$

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

$R_z$  – сопротивление теплопередаче цоколя,  $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ ;

$\xi$  – параметр, учитывающий влияние расположенных в подполье коммуникаций на его тепловой режим, °С, определяемый по формуле (Д.6):

$$\xi = \frac{R_0}{A_b t_y} \sum_{j=1}^{j=n} \frac{l_{p,j}}{R_{p,j}} (T_{p,j} - T_{c,a}) t_{p,j}, \quad (Д.6)$$

где  $n$  – число трубопроводов;

$l_{p,j}$  – длина  $j$ -го трубопровода, м;

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

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

$t_y$  – продолжительность года, равная 365 сут.;

$R_{p,j}$  – сопротивление теплопередаче теплоизоляции  $j$ -го трубопровода,  $m^2 \cdot ^\circ C / Bm$ ;

$\chi_i$  – коэффициент потери напора на отдельных участках подполья, принимаемый по табл. Д.3.

Таблица Д.3

Коэффициент  $\chi_i$

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

**Определение температурного коэффициента по обязательному приложению «П» СП 25.13330.2012 [80]**

Температурный коэффициент  $\gamma_t$  определяется по формуле (П.1):

$$\gamma_t = 1,15(1+v^2) - 1,61v \sqrt{\ln\left(\frac{\tau}{v}\right)}, \quad (\text{П.1})$$

где  $\tau$  – длительность эксплуатации сооружения, лет;

$v$  – коэффициент вариации несущей способности, безразмерный, вычисляемый по формуле (П.2).

Если  $\gamma_t < 0$ , то принимается  $\gamma_t = 0$ , в данном случае применять принцип I при проектировании основания фундаментов не допускается. В таком случае предусматривается дополнительное охлаждение мерзлых грунтов или используется II принцип строительства.

Коэффициент вариации несущей способности  $v$  основания вычисляется по формуле (П.2):

$$v = 0,45[(T_{bf} - T_0^I) / A]^{1/3} \sigma D_{m,e} / [T_{bf} - T_{m,e} - C \sqrt{(T_{bf} - T_{m,e})}], \quad (\text{П.2})$$

где  $T_{bf}$  – температура начала замерзания грунта, °С, определяемая согласно приложению Б [80];

$T_0^I$  – расчетная среднегодовая температура на верхней поверхности многолетнемерзлого грунта в основании сооружения, °С, определяемая согласно приложению Д [80], для оснований опор линий электропередачи, антенно-мачтовых опор и трубопроводов  $T_0^I$  принимается равной среднегодовой температуре многолетнемерзлого грунта  $T_0$ , определяемой согласно приложению Г [80];

$A$  – амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха, °С, определяемая как полуразность значений среднемесячной температуры самого теплого и самого холодного месяца по СП 131.13330 [91];  $D_{m,e}$  – коэффициент затухания случайных колебаний температуры с глубиной, безразмерный, определяемый по табл. П.1 и принимаемый равным  $D_m$  для столбчатых и ленточных фундаментов и  $D_e$  – для свайных;

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,  $m$ ;  $c_f$  – объемная теплоемкость мерзлого грунта,  $Дж/(м^3 \cdot ^\circ C)$ ;  $\lambda_f$  – теплопроводность мерзлого грунта,  $Вт/(м \cdot ^\circ C)$

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха, °С, определяемое по табл. П.2;

$T_{m,e}$  – расчетная температура многолетнемерзлого грунта, °С, определяемая по указаниям 7.2.7 [80]: для оснований сооружений с холодным подпольем по формуле (7.4) [80], для оснований опор линий электропередачи, антенно-мачтовых опор и трубопроводов по формуле (7.7) [80] и принимаемая равной  $T_m$  для столбчатых и ленточных фундаментов и  $T_e$  для свайных;

$C$  – коэффициент, град.<sup>1/2</sup>, 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.2

Среднее квадратическое отклонение средней годовой температуры наружного воздуха  $\sigma$

Метеостанция	Широта, град.	Долгота, град.	$\sigma$ , °С	Метеостанция	Широта, град.	Долгота, град.	$\sigma$ , °С
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Амурская область</b>							
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
<b>Архангельская область</b>							
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
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Иркутская область</b>							
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 Гугара	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

<b>Камчатский край</b>							
Ича	55,6	155,6	0,75	Петропавловск-Камчатский	53,0	158,7	0,55
Никольское	55,2	166,0	0,50	Семячки	54,1	160,0	0,54
Озерная	51,5	156,5	0,63	Усть-Камчатск	56,2	162,7	0,74
<b>Республика Карелия</b>							
Кемь	65,0	34,8	1,19	Гридино	65,9	34,8	1,31
<b>Республика Коми</b>							
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
<b>Красноярский край</b>							
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
<b>Магаданская область</b>							
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
<b>Мурманская область</b>							
Кола	68,8	33,0	1,29	Мурманск	69,0	33,0	1,17
<b>Ненецкий автономный округ</b>							
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
<b>Пермская область</b>							
Бисер	58,5	58,9	0,89	Чердынь	60,4	56,5	1,08
<b>Красноярский край</b>							
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
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Ханты-Мансийский автономный округ</b>							
Сургут	61,4	73,5	1,16	Ханты-Мансийск	61,1	69,1	1,10
<b>Хабаровский край</b>							
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

<b>Забайкальский край</b>							
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
<b>Чукотский автономный округ</b>							
Анадьрь	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	Эгвекино	66,4	179,1	1,04
<b>Республика Саха (Якутия)</b>							
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-Виллой)	64,3	126,5	1,04
Делянكير	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
1	2	3	4	5	6	7	8
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
<b>Ямало-Ненецкий автономный округ</b>							
Гыдояма	70,9	78,5	1,40	Салехард	66,6	66,6	1,46
Марре-Сале	69,7	66,8	1,39	Газовский	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

**Расчет осадок оснований, сложенных сильнольдистыми грунтами и подземным льдом по рекомендуемому приложению «И» СП 25.13330.2012 [80]**

Осадка основания столбчатого фундамента на сильнольдистых грунтах определяется согласно 7.2.16, 7.2.17 и 8.8 [80]. При этом, составляющую осадки  $S_p$ , м, обусловленную уплотнением оснований под нагрузкой, определяется по формуле (И.1):

$$s_p = \sum_{j=1}^n \xi_j h_j, \quad (\text{И.1})$$

где  $n$  и  $h_j$  – соответственно, число выделенных слоев грунта и их толщина, м;

$\xi_j$  – относительное сжатие  $j$ -го слоя грунта, доли единицы, определяемое опытным путем; для прослоев льда значение  $\xi_j$  определяется по формуле (И.2):

$$\xi_{i,j} = \frac{n_j \alpha_{m,j} p}{\sigma_a + \sigma_{g,j} + \alpha_{m,j} p}, \quad (\text{И.2})$$

здесь  $n_j$  – пористость  $j$ -го слоя льда;

$p$  – среднее давление на грунт под подошвой фундамента, кПа;

$\sigma_a$  – атмосферное давление, принимаемое равным 10,0 кПа;

$\sigma_{g,i}$  – природное (бытовое) давление в середине  $j$ -го слоя, кПа;

$\alpha_{m,j}$  – безразмерный коэффициент, принимаемый по табл. И.1 в зависимости от отношения сторон подошвы фундамента  $a/b$  и относительной глубины  $\frac{z^I}{b} = \frac{z_{j-1}^I + z_j^I}{2b}$  (здесь  $z_{j-1}^I$  и  $z_j^I$  – расстояния от подошвы фундамента, соответственно, до кровли и подошвы  $j$ -го слоя льда).

Таблица И.1

Значения коэффициента  $\alpha_m$

$\frac{z^I}{b}$	Значения коэффициента $\alpha_m$ 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

Скорость осадки сильнольдистых грунтов  $v$ ,  $m/год$ , обусловленная их пластично-вязким течением, определяется по формуле (И.3):

$$v = \sum_{j=1}^m v_j, \quad (И.3)$$

где  $m$  – число месяцев в году, в течение которых развиваются деформации ползучести грунтов;

$v$  – среднемесячная скорость осадки сильнольдистых грунтов основания  $m/мес$  ( $см/мес$ ), которая определяется по формуле (И.4):

$$v_j = 730 \sum_{k=1}^n h_k \xi_k, \quad (И.4)$$

где  $n$  – число слоев грунта, в пределах которых определяется среднемесячная температура  $T_{i,k}$ ;

$h_k$  – толщина  $k$ -го слоя грунта,  $m$ , принимается не более  $0,2b$  ( $b$  – меньший размер подошвы фундамента);

$\xi_k$  – скорость относительной деформации  $k$ -го слоя грунта,  $1/ч$ , при среднемесячной температуре грунта  $T_{i,k}$ , определяемая по формуле (И.5):

$$\xi_k = \frac{1}{2\eta_k} \left( \sigma_k - \frac{2}{3} \sigma_{L,k} \right), \quad (И.5)$$

здесь  $\eta_k$  – коэффициент вязкости  $k$ -го слоя грунта основания,  $кПа \cdot ч$ , определяется как расчетная характеристика сильнольдистого грунта при инженерных изысканиях из испытаний образцов мерзлого грунта на одноосное сжатие в соответствии с ГОСТ 12248 [44];

$\sigma_k$  – напряжение,  $кПа$ , в  $k$ -м слое грунта основания, определяемое по формуле (И.6):

$$\sigma_k = 0,5(\sigma_{z,k-1} + \sigma_{z,k}), \quad (И.6)$$

где  $\sigma_{z,k-1}$  и  $\sigma_{z,k}$  – напряжения,  $кПа$ , на верхней и нижней границах  $k$ -го слоя, определяемые по формуле (И.7):

$$\sigma_z = \alpha_0 p_0, \quad (И.7)$$

где  $\alpha_0$  – безразмерный коэффициент, принимаемый по табл. 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,  $\text{кПа}$ ;

$p$  – среднее давление на грунт под подошвой фундамента от постоянной и длительных долей временных нагрузок,  $\text{кПа}$ ;

$\sigma_z$  – природное (бытовое) давление в грунте на уровне подошвы фундамента от веса вышележащих слоев грунтов (до отметки природного рельефа),  $\text{кПа}$ .

Таблица И.2

Значения коэффициента  $\alpha_0$

$z'/b$	Значения коэффициента $\alpha_0$ 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
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 (И.8)^

$$p_0 \leq k_f \frac{2}{3} \sigma_u, \quad (\text{И.8})$$

где  $k_f$  – безразмерный коэффициент, принимаемый по первой строке табл. И.3 при  $h_s/b=0$ ,  $h_s$  – толщина грунтовой прослойки под фундаментом

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

$\sigma_u$  – наибольшее значение напряжения,  $\text{кПа}$ , при котором сохраняется линейная зависимость скорости установившегося течения от напряжения на начальном участке реологической кривой, по И.5 [80].

$\sigma_{L,k}$  – предел текучести  $k$ -го слоя грунта основания,  $\text{кПа}$ , по И.5 [80].

Все расчетные характеристики сильнольдистого грунта, включая:  $\eta$ ,  $\sigma_L$ ,  $\sigma_u$  определяются при инженерных изысканиях из испытаний образцов мерзлого грунта на одноосное сжатие в соответствии с ГОСТ 12248 [44].

Значения температур  $T_{j,k}$ , в зависимости от которых устанавливаются значения  $\eta$  и  $\sigma_L$ , определяются по формулам (7.5)–(7.7) [80]. Значения коэффициента  $\alpha$  для определения температуры принимаются по табл. 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  $\sigma_u$  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

Скорость осадки подземного льда  $v$ ,  $м/год$ , обусловленная его пластично-вязким течением, определяется по формуле (И.9):

$$v = 4380 p_0 b k_i \sum_{j=1}^n (k_{t,j} + k_{t,j-1})(\omega_j - \omega_{j-1}), \quad (И.9)$$

где  $p_0$  – дополнительное (к природному) вертикальное давление на грунт под подошвой фундамента,  $кПа$ , определяемое по (И.7);

$b$  – ширина подошвы фундамента,  $м$ ;

$k_i$  – параметр, характеризующий вязкость льда, определяемый из испытаний образцов льда на одноосное сжатие,  $°C/(кПа \cdot ч)$ ;

$n$  – число слоев, на которое разделяется толщина льда (толщина слоя принимается не более  $0,4b$ );

$k_{t,j}$ ,  $k_{t,j-1}$  – коэффициенты,  $1/°C$ , принимаемые по табл. 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;

$\omega_{j-1}, \omega_j$  – безразмерные коэффициенты, определяемые по табл. И.6 в зависимости от отношения сторон подошвы фундамента  $a/b$ , соответственно, относительных глубин и (здесь  $z_{j-1}^I$  и  $z_j^I$ ) – расстояния от подошвы фундамента, соответственно, до кровли и подошвы  $j$ -го слоя льда.

Таблица И.5

Значения коэффициента  $k_t$

$z, м$	Коэффициент $k_t, 1/°C$ при температуре $T_0-T_{bf}, °C$							
	-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  $w$

$z^I/b$	Значения коэффициента $w$ 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 табл. И.3 в зависимости от толщины грунтовой прослойки под фундаментом  $h_s$  и размеров подошвы  $a$  и  $b$ . Значение  $\sigma_u$  определяется из испытаний образцов льда на одноосное сжатие при температуре  $T_m$  (7.2.7) [80] на уровне кровли льда.

**Контролируемые параметры при геотехническом мониторинге по обязательному приложению «М» СП 25.13330.2012 [80]**

Контролируемые параметры, параметры устройств контроля, применяемые при геотехническом мониторинге сооружений в зависимости от принципа строительства, представлены в табл. М.1.

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		

\* 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.

Периодичность измерений контролируемых параметров при проведении геотехнического мониторинга в период строительства и эксплуатации в зависимости от принципа строительства представлены в табл. М.2.

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	
<p><i>Примечание.</i> 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 грибка и плесени. При контрольных осмотрах следует применять неразрушающие методы контроля состояния бетона фундаментов.</p> <p>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, грибка или плесени, если они не связаны с протечкой санитарно-технических сетей, рекомендуется усилить вентиляцию подполий в летний период года.</p> <p>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.</p> <p>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 табл. 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</p>			

При мониторинге в сложных геокриологических условиях, а также для уникальных вновь возводимых и реконструируемых сооружений, допускается дополнительно производить фиксацию контролируемых параметров, не указанных в табл. М.1, М.2.

## Приложение 11

### Основные буквенные обозначения величин по справочному приложению «Т» СП 25.13330.2012 [80]

#### Коэффициенты надежности и условий работы:

$\gamma_g$  – по грунту;  
 $\gamma_n$  – по назначению сооружения;  
 $\gamma_k$  – по виду фундаментов;  
 $\gamma_c$  – коэффициент условий работы;  
 $\gamma_t$  – температурный коэффициент условий работы;  
 $\gamma_{eq}$  – сейсмический коэффициент условий работы;  
 $\gamma_{af}$  – коэффициент условий смерзания грунтов с фундаментом;  
 $\gamma_p$  – коэффициент условий работы оттаивающего грунта.

#### Физические и теплофизические характеристики грунтов:

$\chi_n$  – нормативные значения характеристик;  
 $\chi$  – расчетные значения характеристик;  
 $\bar{\chi}$  – средние значения характеристик;

$\alpha$  – 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;

$i_j$  – 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;  
 $\rho$  – плотность грунта;  
 $\rho_f$  – плотность мерзлого грунта;  
 $\rho_{df}$  – плотность мерзлого грунта в сухом состоянии (плотность скелета мерзлого грунта);  
 $\rho_{d,th}$  – плотность талого грунта в сухом состоянии (плотность скелета грунта);  
 $\rho_s$  – плотность частиц грунта;  
 $\rho_i$  – плотность льда;  
 $\rho_w$  – плотность воды;  
 $e_f$  – коэффициент пористости мерзлого грунта;  
 $\lambda_f$  – теплопроводность грунта в мерзлом состоянии;  
 $\lambda_{th}$  – 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;  
 $\varphi_L$  – предельно длительное значение угла внутреннего трения мерзлого грунта;  
 $\varphi_{sh}$  – угол внутреннего трения оттаивающего грунта;  
 $m_f$  – коэффициент сжимаемости мерзлого грунта;  
 $m_{th}$  – коэффициент сжимаемости оттаивающего грунта;  
 $\xi_i$  – относительное сжатие льда;  
 $\xi_{th}$  – относительная деформация оттаивающего грунта;  
 $\eta$  – коэффициент вязкости мерзлого грунта;  
 $\sigma_L$  – предел текучести мерзлого грунта;  
 $A_{th}$  – коэффициент оттаивания мерзлого грунта;  
 $R$  – расчетное давление на мерзлый грунт (сопротивление мерзлого грунта нормальному давлению);  
 $R_c$  – сопротивление мерзлого грунта под нижним концом сваи, рассчитанное по данным статического зондирования;  
 $R_{af}$  – сопротивление мерзлого грунта сдвигу по поверхности смерзания с фундаментом;

$R_{afc}$  – сопротивление мерзлого грунта сдвигу по поверхности смерзания со свай, рассчитанное по данным статического зондирования;

$R_{sh}$  – сопротивление мерзлого грунта сдвигу по грунту или грунтовому раствору;

$R_{shi}$  – сопротивление сдвигу льда по поверхности смерзания с грунтом или грунтовым раствором;

$\tau_{fh}$  – удельная касательная сила пучения промерзающего грунта;

$p_{fh}$  – удельное нормальное давление морозного пучения грунта;

$f_n$  – удельное отрицательное трение оттаивающего грунта на поверхности фундамента;

$\alpha_\varepsilon$  – 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);

$F_{fd}$  – предельные усилия в элементах конструкции;

$F_{up}$  и  $F_{ut}$  – 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;

$\sigma_g$  – природное (бытовое) давление в грунте;

$\sigma_{z,p}$  – дополнительное вертикальное напряжение в грунте (от веса сооружения);

$\sigma_a$  – 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;  
 $T_0^I$  – 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;  
 $T_{im}$  – 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 свай;  
 $e$  – 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.

Приложение 12

Таблица 1.12

### Термины и определения

№№ п/п	Термины и определения	Краткое описание и расшифровка терминов и определений
1	Светопроницаемые конструкции	Участки наружных ограждающих конструкций здания (окна, балконные и входные двери, витражи, фасадные системы, витрины, фонари и т.д.), пропускающие видимый свет
2	Естественное освещение	Освещение помещений светом неба (прямым или отраженным), проникающий через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях
3	Замкнутый воздушный слой	Слой, надежно огражденный от воздуха помещения и улицы листами стекла и специальной герметизацией притворов и швов
4	Инсоляция помещений	Прямое солнечное облучение внутреннего пространства помещений
5	Расчетная точка инсоляции	Точка, в которой рассчитывается продолжительность инсоляции помещения, через отдельный световой проем или его часть

6	Угол инсоляции	Максимальный угол между нормалью к плоскости остекления и лучом в заданной плоскости, достигающим ее. В зависимости от положения плоскости можно выделить горизонтальный угол отклонения (у.о.), вертикальный (у.о.) и т.д.
7	Горизонтальный угол затенения	Наименьший угол в горизонтальной плоскости между плоскостью остекления и лучом, достигающим ее
8	Вертикальный угол затенения	Угол в вертикальной плоскости между плоскостью светопроницаемой конструкции и лучами, которые достигают ее
9	Солнцезащита	Комплекс мероприятий по уменьшению вредного воздействия прямой солнечной радиации в помещениях, в частности, перегрева
10	Солнцезащитное устройство	Стационарный или регулируемый элемент конструкции здания, предназначенный для экранирования светопроницаемых конструкций от воздействия прямой солнечной радиации
11	Зенит	Наивысшая точка небесной сферы. Надир – низшая точка небесной сферы
12	Небесная сфера	Сфера единичного радиуса с центром в расчётной точке, на которую переносятся методом центрального проецирования астрономические объекты и объекты окружающего пространства. Она разделяется на видимую полусферу, которая находится выше горизонта и невидимую – которая находится ниже горизонта
13	Пассивное солнечное отопление	Комплекс мероприятий по использованию тепловой энергии прямой солнечной радиации для отопления зданий без использования дополнительных инженерных систем
14	Солнечная карта	Проекция на горизонтальную плоскость дневной небесной полусферы, на которой отражены солнечные траектории, часовые линии и координатная сетка, состоящая из азимутальных линий и альмукантараты, может быть ортогональной, стереографические и др. Строятся для конкретной географической широты
15	Комплексная солнечная карта	Солнечная карта с нанесенными на нее данными о местных особенностях климата – зонами желательной и нежелательной инсоляции, которые соответствуют периодам отопления и перегрева в году
16	Теневая маска	Графическое отображение на солнечной карте зоны экранирования небосвода определенным непрозрачным объектом

## Обозначения и сокращения

№№ п/п	Обозначения и сокращения	Описание и расшифровка	№№ п/п	Обозначения и сокращения	Описание и расшифровка
1	<i>N</i>	Север	14	<i>Tmin</i>	Среднемесячное время суточного минимума температуры воздуха
2	<i>O</i>	Восток	15	<i>Tmax</i>	Среднемесячное время суточного максимума температуры воздуха
3	<i>S</i>	Юг	16	<i>Tincr</i>	Период повышения температуры от минимальной до максимальной; период понижения температуры от максимальной до минимальной
4	<i>W</i>	Запад	17	$\delta$	Угол инсоляции
5	<i>Z</i>	Зенит	18	$\delta Z$	Обратный угол инсоляции
6	<i>Nd</i>	Надир	19	$\delta H, \delta HZ$	Горизонтальный угол инсоляции и обратный горизонтальный угол инсоляции
7	<i>PN</i>	Северный полюс	20	$\delta V$	Вертикальные углы инсоляции
8	<i>PS</i>	Южный полюс	21	$\eta$	Угол затенения
9	$\phi$	Географическая широта местности	22	$\eta H1, \eta H2$	Горизонтальные углы затенения
10	<i>t</i>	Среднемесячная температура воздуха	23	$\eta V$	Вертикальные угол затенения
11	<i>A</i>	Среднемесячная суточная амплитуда температуры воздуха	24	$\theta$	Угол пересечения солнцезащитных щитов с плоскостью остекления
12	<i>tmin</i>	Среднемесячный суточный минимум температуры воздуха	25	<i>Az</i>	Азимут светопрозрачной конструкции
13	<i>tmax</i>	Среднемесячный суточный минимум температуры воздуха	26	<i>C3У</i>	Солнцезащитное устройство

## Ключевые слова

Промерзание, оттаивание, теплотехнические свойства, физико-механические свойства, вертикальная планировка, планировочная отметка, многолетнемерзлый, сезонномерзлый, льдистость, армированный лед, статическое зондирование, несущая способность, геотехнический мониторинг, жаркий, сухой, урбанизация, солнцезащитные устройства, инсоляция, солнечная карта.

## Обложка

Обложка – коллаж автора: в центре, сверху – распространение многолетней мерзлоты на земном шаре и в России; в центре снизу – карта годовых изотерм, где заштрихованная часть – это условная зона районов с жарким климатом; слева, сверху вниз – жилье из снега и льда древних народов Севера; современные дома на Крайнем Севере; многоэтажный жилой дом с холодным подпольем; узел здания на сваях с холодным подпольем; схема перемещения верхней границы слоя многолетнемерзлого грунта в процессе его оттаивания под фундаментом наружной стены; схема регулирования процесса оттаивания основания под зданием; справа, сверху вниз – древние постройки в зонах с аридным (пустынным) климатом; современная планировка центра Ташкента; солнцезащита здания музея в Ташкенте; кафе-чайхана у воды; теневой угломер для расчета горизонтальных и вертикальных СЗУ; координаты солнца на небесной полусфере.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
Введение.....	4
Раздел I. ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ХОЛОДНОГО КЛИМАТА И МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ.....	6
Глава 1. Общие сведения.....	6
1.1. История формирования и развития теории и практики строительства зданий и сооружений в условиях холодного климата Крайнего Севера и многолетней мерзлоты.....	6
1.2. Отечественный и зарубежный опыт использования льда и снега в качестве материала для возведения зданий и сооружений.....	11
1.2.1. Сооружения из снега для проживания северных народностей....	11
1.2.2. Ледяные переправы и зимники из льда и армированного льда.	13
1.2.3. Ледяные отели « <i>Icehotel</i> », возводимые из льда и снега .....	16
1.2.4. Ледяной аквариум « <i>Kori no Suizokukan</i> » в г. Кесеннума (Япония)....	20
1.2.5. Антимагнитные свойства конструктивных элементов сооружений из снега и льда.....	21
Глава 2. Основы проектирования и строительства зданий и сооружений в условиях холодного климата и многолетней мерзлоты.....	22
2.1. Опыт проектирования и строительства зданий и сооружений, возводимых на территории распространения многолетнемерзлых грунтов.....	22
2.1.1. Общие принципы строительства надземной части зданий, расположенных в особых природно-климатических условиях Крайнего Севера с отрицательной температурой наружного воздуха.....	24
2.1.2. Общие принципы устройства конструктивных типов фундаментов и подземных частей зданий и сооружений на многолетнемерзлых грунтах.....	27
2.1.3. Полевые методы исследований многолетнемерзлых грунтов статическим зондированием.....	33
2.1.4. Физико-механические характеристики, теплотехнические свойства и особенности напряженно-деформированного состояния (НДС) в многолетнемерзлых грунтах.....	36
2.1.5. Инженерная подготовка территории площадки строительства..	41
2.1.6. Вертикальная планировка при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по принципу I.....	42
2.1.7. Вертикальная планировка при использовании многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по принципу II.....	43
2.2. Устройство оснований и возведение фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципам I и II.	45
2.2.1. Фундаменты мелкого заложения (ФМЗ) на естественном многолетнемерзлом основании.....	45
2.2.2. Свайные фундаменты (СФ) на естественном многолетнемерзлом основании.....	55

2.2.3.	Устройство оснований и возведение фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I.....	58
2.2.4.	Устройство оснований и возведение фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу II.....	58
Глава 3.	Расчет и проектирование оснований и фундаментов в условиях многолетнемерзлых грунтов.....	59
3.1.	Принципы проектирования оснований и выбор типов фундаментов на многолетнемерзлых грунтах.....	61
3.1.1.	Проектирование фундаментов с использованием многолетнемерзлых грунтов по принципу I (с сохранением многолетнемерзлого состояния грунтов).....	62
3.1.2.	Проектирование фундаментов с использованием многолетнемерзлых грунтов по принципу II (с предварительным оттаиванием многолетнемерзлых грунтов).....	69
3.1.3.	Назначение глубины заложения подошвы фундаментов при использовании многолетнемерзлых и сезонно мерзлых грунтов в качестве основания зданий и сооружений.....	72
3.1.4.	Определение глубины сезонного оттаивания грунта и глубины заложения подошвы фундаментов в многолетнемерзлых грунтах.....	79
3.2.	Проектирования оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах различного генезиса.....	85
3.2.1.	Особенности проектирования оснований и фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах.....	85
3.2.2.	Особенности проектирования оснований и фундаментов на заторфованных многолетнемерзлых грунтах.....	85
3.2.3.	Особенности проектирования оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах в сейсмических районах.....	86
3.2.4.	Особенности проектирования оснований и фундаментов на склонах в районах распространения многолетнемерзлых грунтов.....	89
3.3.	Расчет оснований и фундаментов в условиях многолетнемерзлых грунтов по I-ой группе предельных состояний.....	95
3.3.1.	Расчет оснований и фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I.....	95
3.3.2.	Расчет несущей способности свай-стоек при оттаивании массива грунта.....	102
3.3.3.	Расчет оснований и фундаментов по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения.....	103
3.3.4.	Расчет оснований и фундаментов на сильнольдистых многолетнемерзлых грунтах и подземных льдах по несущей способности.....	107
3.3.5.	Расчет оснований и фундаментов на засоленных многолетнемерзлых грунтах по принципу I.....	110
3.3.6.	Расчет оснований и фундаментов на заторфованных многолетнемерзлых грунтах по принципу I.....	112

3.4.	Расчет оснований и фундаментов в условиях многолетне-мерзлых грунтов по II-ой группе предельных состояний.....	113
3.4.1.	Расчет осадки оттаивающих грунтовых оснований.....	113
3.4.2.	Расчет осадки при предварительном оттаивании или замене льдистых грунтов.....	116
3.4.3.	Расчет осадки оснований, сложенных сильнольдистыми грунтами и подземным льдом.....	121
3.4.4.	Расчет крена фундамента на оттаивающих грунтовых основаниях.....	127
3.4.5.	Расчет оснований и фундаментов на засоленных многолетне-мерзлых грунтах по деформациям.....	127
3.4.6.	Расчет оснований, сложенных биогенными грунтами по деформациям.....	128
Глава 4.	Геотехнический мониторинг при строительстве и эксплуатации сооружений на многолетнемерзлых грунтах.....	128
Глава 5.	Экологические требования при проектировании и устройстве оснований и фундаментов на многолетнемерзлых грунтах.....	130
Раздел II.	<b>ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО СУХОГО КЛИМАТА.....</b>	<b>132</b>
Глава 6.	Общие сведения.....	132
6.1.	История формирования и развития теории и практики строительства зданий и сооружений в условиях жаркого сухого климата.....	132
6.2.	Урбанизация среды в условиях жаркого сухого климата.....	139
6.3.	Особенности объемно-планировочных решений и застройки зданий и сооружений в условиях жаркого сухого климата.....	143
6.4.	Инсоляция зданий и территорий в условиях сухого жаркого климата.....	145
6.5.	Солнцезащита гражданских и промышленных зданий.....	148
6.5.1.	Классификация солнцезащитных устройств (СЗУ).....	148
6.5.2.	Основы проектирования солнцезащитных устройств.....	152
6.5.3.	Исходные данные для проектирования СЗУ.....	156
6.5.4.	Построение солнечной карты.....	157
6.5.5.	Нанесение зон желательной и нежелательной инсоляции на комплексную солнечную карту.....	163
6.5.6.	Выбор оптимальных СЗУ для светопроемов заданной ориентации.....	165
6.5.7.	Проектирование солнцезащитных устройств на заданной местности.....	168
	Литература.....	175
Приложение 1.	Алгоритм расчета оснований, сложенных многолетне-мерзлыми грунтами.....	180
Приложение 2.	Алгоритм расчета температурного режима вентилируемого подполья по обязательному приложению «Д» СП 25.13330.2012 [80].....	182

Приложение 3.	Расчетные значения прочностных характеристик мерзлых грунтов по рекомендуемому приложению «В» СП 25.13330.2012 [80].....	185
Приложение 4.	Физические и теплофизические характеристики многолетнемерзлых грунтов по рекомендуемому приложению «Б» СП 25.13330.2012 [80].....	194
Приложение 5.	Определение состояния, свойств и несущей способности оснований свай в многолетнемерзлых грунтах по результатам статического зондирования по рекомендуемому приложению «Л» [80] .....	202
Приложение 6.	Расчет глубины оттаивания грунтов под сооружениями по рекомендуемому приложению «К» СП 25.13330.2012 [80] .....	209
Приложение 7.	Расчет температурного режима вентилируемого подполья по обязательному приложению «Д» СП 25.13330.2012 [80].....	214
Приложение 8.	Определение температурного коэффициента по обязательному приложению «П» СП 25.13330.2012 [80].	217
Приложение 9.	Расчет осадок оснований, сложенных сильнольдистыми грунтами и подземным льдом по рекомендуемому приложению «И» СП 25.13330.2012 [80].....	221
Приложение 10.	Контролируемые параметры при геотехническом мониторинге по обязательному приложению «М» СП 25.13330.2012 [80].....	226
Приложение 11.	Основные буквенные обозначения величин по справочному приложению «Т» СП 25.13330.2012 [80].....	228
Приложение 12.	Термины и определения.....	232
Приложение 13.	Обозначения и сокращения.....	234

Мустакимов Валерий Раифович

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ В ОСОБЫХ ПРИРОДНО-  
КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Учебное пособие

Том I