ВНИИОСП

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ,
ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
имени Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИМ РАСЧЕТАМ БУРОНАБИВНЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ СВАЙ В ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

МОСКВА-1990

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

I. Общие положения 3
2. Особенности проектирования и устройства свай. Требования к бетону 4
3. Укладка и уплотнение бетонных смесей в скважинах..... 8
4. Мероприятия по обеспечению твердения бетона в контакте с вечномерзлым грунтом 9
5. Теплотехнический расчет I4
6. Приложения 24

Всесоюзный научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова

Рекомендации по технологии устройства и теплотехническим расчетам буронабивных и комбинированных свай в вечномерзлых грунтах

Редактор Л.В.Пузанова

Подп.к печати 5/УI I990 г. Заказ 613 . Тираж 300 экз.

Формат 60х90 I/I6. Бумага офсетная. Набор машинописный.

Уч.-изд.л. I,8I. Усл.кр.-отт. 2,05. Цена 50 коп.

ПЭМ ВНИИНТПИ Госстроя СССР
I2I47I, Можайское шоссе, 25

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ,
ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
имени Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИМ РАСЧЕТАМ БУРОНАБИВНЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ СВАЙ В ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

МОСКВА-1990

УДК 624.139

Рекомендации содержат основные положения по технологии устройства и теплотехническим расчетам буронабивных и комбинированных свай, сооружаемых в вечномерзлых грунтах.

Теплотехнический расчет включает в себя определение относительной прочности бетона как функции температурного режима его твердения, толщины слоя оттаивающего грунта вокруг сваи и времени восстановления температурного режима основания, а также выбор технологических мероприятий по обеспечению оптимальных температурных условий твердения бетона. В работе излагаются основные требования к материалам для бетона и технологии выполнения строительных процессов: транспортирования, укладки, уплотнения и выдерживания бетона.

Рекомендации разработаны канд.техн.наук М.Р.Гохманом/ВНИИОСП/ инж.А.К.Комаровым и канд.техн.наук А.В.Петровым /Иркутский политехнический институт/, канд.техн.наук А.А.Гончаровым /МИСИ/ под общей научной редакцией канд.геол.-минерал.наук Д.И.Федоровича /ВНИИОСП/ и предназначены для специалистов, занимающихся вопросами проектирования и строительства буронабивных и комбинированных свай, сооружаемых на вечномерзлых грунтах.

Рекомендации рассмотрены на секции Научно-технического совета ВНИИОСП и рекомендованы к изданию.

Замечания и предложения следует направлять по адресу: 109389, Москва, 2-я Институтская ул., д.6, ВНИИОСП.

© Ордена Трудового Красного Знамени Всесоюзный научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова Госстроя СССР 1990

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Для ускорения внедрения в практику строительства последних достижений науки и техники и установления прямых связей между научно-исследовательскими и проектными организациями Госстрой СССР разрешил при разработке рабочих чертежей применять рекомендации головных институтов Госстроя СССР до включения их в нормативные документы. При этом соответствующая часть проекта, в которую вошли разработки научно-исследовательского института, должна быть выполнена с участием головного НИИ - автора работы (директивное письмо Госстроя СССР № ИИ-2410-15 от 14.05.88).

I.2. Настоящие рекомендации составлены в развитие положений глав СНиП II-15-76 "Бетонные и железобетонные конструкции монолитные. Правила производства и приемки работ" и СНиП II-18-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" и распространяются на устройство буронабивных и комбинированных сборно-монолитных свай большого диаметра при укладке бетона в распор с вечномерзлым грунтом.

I.3. К буронабивным и комбинированным сваям большого диаметра относятся сваи с диаметром монолитной части более 500 мм. При этом поперечные размеры сборных железобетонных элементов комбинированных свай не должны превышать 0,8 диаметра скважины.

I.4. Буронабивные и комбинированные сваи могут применяться при использовании вечномерзлых грунтов в качестве основания по принципу I (в мерзлом состоянии) и по принципу II (в оттаявшем состоянии). При этом предъявляются различные требования к технологии их устройства, что должно быть отражено в проектной документации.

I.5. Работы по устройству буронабивных и комбинированных свай в вечномерзлых грунтах должны выполняться на основе проекта производства работ, который составляется проектной или строительной организацией по данным изысканий с учетом принятого принципа использования вечномерзлых грунтов в качестве основания.

I.6. В проекте производства работ должны быть отражены:

рекомендуемая технология проходки скважин под сваи, включая очистку и подготовку их призабойной части;

способы армирования свай и способы устройства стыков отдельных элементов конструкции;

состав, технология укладки и уплотнения бетонной смеси в скважинах;

организация процесса транспортирования бетонной смеси, особенно в зимний период;

мероприятия по обеспечению оптимальных температурных условий твердения бетона в контакте с вечномерзлым грунтом;

способы бетонирования надземных частей фундаментов в зимний период.

I.7. При выполнении строительных работ должен быть организован систематический контроль за качеством бетонной смеси, температурой и прочностью бетона в процессе его твердения, а также наблюдения за температурным режимом грунтов основания. Контролю подлежит также соответствие объема уложенного бетона объему забетонированного участка скважины.

I.8. При использовании вечномерзлых грунтов по принципу I в проекте производства работ следует предусматривать меры, обеспечивающие восстановление нарушенного в процессе строительства температурного режима грунта до загружения фундаментов расчетной нагрузкой.

2. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УСТРОЙСТВА СВАЙ. ТРЕБОВАНИЯ К БЕТОНУ

2.I. Экономичность и надежность свай из монолитного бетона в вечномерзлых грунтах определяется выбором их рациональной конструкции, технологии работ и подбором состава бетона, обеспечивающих расчетную прочность, устойчивость и долговечность свай при минимальных затратах энергетических, материальных и трудовых ресурсов.

2.2. Сваи в вечномерзлых грунтах можно устраивать полностью из монолитного бетона /буронабивные/ или в виде комбинированной сборно-монолитной конструкции, включающей готовые железобетонные элементы. Конструкция свай устанавливается проектом в зависимости от характера нагрузки и мерзлотно-грунтовых условий района строительства (рис.I).

2.3. В качестве сборных элементов комбинированных свай можно применять изготавливаемые на заводах ЖБИ сваи, столбы и трубобетонные вставки, стыкуемые с монолитной частью сваи. Сборные железобетонные конструкции устанавливают в верхней части сваи, расположенной в слое сезонного оттаивания грунта, и выше, где наиболее сильно проявляются процессы морозной деструкции бетона. Для обеспечения надежного стыка сборной и монолитной частей сваи элемент заводского изготовления целесообразно выполнять с выпусками арматуры.

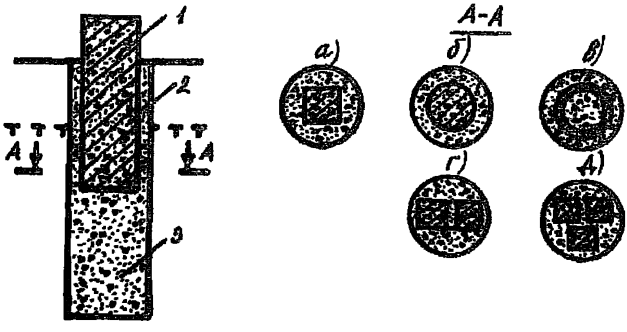

Рис.I. Конструктивные схемы комбинированных свай (а,б,в,г,д): I-сборный железобетонный элемент, 2-раствор, 3-монолитный бетон

2.4. Состав бетонов, применяемых для изготовления монолитной части сваи, должен подбираться с учетом принятой технологии бетонирования и конкретных температурно-влажностных условий, в которых находятся сваи или их отдельные участки, выделяемые по глубине сваи в зависимости от мерзлотно-грунтовых условий и принятого принципа использования вечномерзлых грунтов в качестве основания.

2.5. При устройстве свай в зоне сезонного оттаивания и промерзания грунта следует применять бетоны с морозостойкостью Мрз 300. К бетону свай на глубине более 2-3 м ниже подошвы слоя сезонного оттаивания требования по морозостойкости не предъявляются.

2.6. При строительстве с использованием вечномерзлых грунтов по принципу I проектную прочность бетона свай ниже глубины сезонного оттаивания грунта допускается назначать переменной по длине сваи с учетом разгружающего влияния сил смерзания боковой поверхности сваи с грунтом, находящимся в твердомерзлом состоянии.

2.7. Понижение фактической прочности бетона сверху вниз по стволу сваи может быть обеспечено:

термообработкой бетона только в верхней части буронабивных свай (в пределах деятельного слоя плюс два диаметра сваи) или зоны стыка комбинированных свай;

заданием разной по высоте скважины начальной температуры

укладываемого бетона;

снижением сверху вниз по высоте сваи проектной марки бетона по прочности.

2.8. При строительстве с использованием вечномерзлых грунтов по принципу II проектная прочность на сжатие бетона свай должна приниматься с учетом восприятия сваей значительных дополнительных нагрузок за счет сил негативного (нагружающего) трения оттаивающего грунта и ее следует принимать не менее 20-30 МПа, а в зоне заделки свай в грунт опорного горизонта – выше на одну марку по прочности на сжатие.

2.9. Проектная прочность бетона должна быть экономически обоснована с учетом условий твердения бетона, сроков загружения фундаментов и принятого принципа использования вечномерзлого грунта в качестве основания.

2.10. Замораживание бетона до набора им менее 50% марочной прочности на сжатие при температуре вмещающих грунтов ниже – 3°С не допускается. При температуре грунтов выше – 3°С, а также при строительстве с сохранением мерзлого состояния грунтов может быть допущено замерзание бетона свай ниже подошвы деятельного слоя плюс два диаметра скважины при достижении бетоном не менее 40% марочной прочности на сжатие, так как дополнительный прирост прочности происходит при длительном выдерживании бетона в диапазоне температур 0 ... – 3°С. При этом до передачи на сваю расчетной нагрузки должна быть обеспечена проектная прочность бетона.

2.11. Передача на сваю расчетных нагрузок при использовании вечномерзлых грунтов по принципу I до полного смерзания свай с грунтом не допускается.

2.12. Определение несущей способности свай с переменной по длине ствола прочностью бетона по данным полевых испытаний является обязательным и производится после восстановления природной температуры грунта по стандартной методике /ГОСТ 24546-81/. Количество и местоположение испытываемых свай на объекте указывается в проекте производства работ.

2.13. Увеличение расхода цемента, его активности, применение электротермообработки бетона или других методов интенсификации процесса твердения бетона могут быть предусмотрены в случае, если расчетная прочность бетона к моменту его замерзания не может быть обеспечена за счет термосного выдерживания бетонов экономичных составов.

2.I4. Материалы, применяемые для приготовления бетонных смесей, должны удовлетворять требованиям стандартов на нижние материалы, инертные заполнители и добавки для бетонов.

2.I5. Подбор состава бетонных смесей выполняется строительной лабораторией в соответствии с заданной проектной прочностью бетона на сжатие и морозостойкостью с учетом обеспечения требуемых технологических свойств смеси.

2.I6. Бетонная смесь должна быть однородной и не расслаиваться при транспортировании и укладке в скважину и обладать требуемой подвижностью /в соответствии с технологией бетонирования/ при минимальном водосодержании. При перевозках без автобетоносмесителей следует учитывать, что по условиям сохранения однородности смеси к моменту укладки время транспортирования не должно превышать 30 мин при средней температуре смеси 40^{0}С и 2 ч – при 5...I0^{0}С.

2.I7. При диаметре буронабивных свай более I000 мм и температуре вмещающих грунтов ниже -3^{0}С для приготовления бетонных смесей следует применять обычные портландцементы с умеренной экзотермией. При диаметре свай менее 800 мм и температуре грунта ниже -3^{0}С рекомендуется применять быстротвердеющие высокоалюминатные портландцементы.

2.I8. Целесообразно использование в составе бетона пластифицирующих и воздухововлекающих добавок. При этом проектирование состава бетона следует осуществлять с учетом требований соответствующих нормативных документов.

2.I9. В целях обеспечения твердения бетона при отрицательных температурах в состав бетонных смесей могут вводиться противоморозные добавки. При устройстве свай с использованием вечномерзлых грунтов в качестве основания по принципу II, а также в пределах слоя сезонного оттаивания грунта состав и количество химических добавок следует принимать согласно положениям СНиП II-I5-76 и других нормативных документов. При устройстве висячих свай с использованием вечномерзлых грунтов по принципу I введение противоморозных химических добавок в бетон, укладываемый ниже слоя сезонного оттаивания грунта, не рекомендуется, так как это приводит к существенному снижению несущей способности свай.

2.20. Для буронабивных, а особенно комбинированных свай, должен применяться крупный заполнитель размером не более 40 мм.

3. УКЛАДКА И УПЛОТНЕНИЕ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ В СКВАЖИНАХ

3.1. Укладка бетона в скважину производится в распор с вечномерзлым грунтом без обсадных труб в устойчивых грунтах и с обсадными трубами, извлекаемыми в процессе бетонирования, в неустойчивых грунтах. Бетонирование может производиться как традиционным методом ВПТ (вертикально перемещаемой трубы), так и наиболее прогрессивными методами – напорным бетонированием или методом свободного сброса (в устойчивых сухих скважинах).

3.2. Методом напорного бетонирования укладываются пластичные и литые смеси (ОК=8–20 см) в обводненные и сухие скважины. При этом достигается эффект самоуплотнения смеси. В зимнее время должны быть предусмотрены мероприятия по утеплению бетоноводов и другого технологического оборудования.

3.3. При методе свободного сбрасывания устье скважины необходимо оборудовать приемной воронкой, а высоту падения смеси ограничивать величиной 3–5 м посредством применения технологического оборудования – хоботов, виброхоботов.

3.4. Перед укладкой бетона скважина должна быть очищена от шлама, льда и вывалов грунта и оборудована армокаркасом и средствами термоконтроля согласно проекту, а в случае предусмотренного проектом электропрогрева должны быть установлены электроды и проверена схема их подключения.

3.5. При наличии в основании свай сильно-льдистых грунтов, используемых по принципу I, в забое скважины следует устраивать уплотненную грунтовую подушку толщиной не менее 0,5 м.

При устройстве свай с использованием вечномерзлых грунтов по принципу II грунты в забое скважины и в зоне заделки свай в скальные или малосжимаемые грунты следует предварительно оттаять и уплотнить на глубину не менее половины диаметра сваи.

3.6. Подготовленная к бетонированию скважина должна быть освидетельствована комиссией и принята по акту в соответствии с существующим положением по исполнительской документации в строительстве.

3.7. Укладку бетонной смеси в скважину осуществляют сразу после подготовки и очистки скважины. При наличии перерывов в бетонировании продолжительность их не должна превышать срока окончания схватывания цемента, используемого в бетоне, с учетом времени

транспортирования. Особенно тщательно следует придерживаться этого требования при термосном выдерживании бетона.

3.8. Уплотнение бетонных смесей в скважинах производится традиционными методами с учетом указаний СНиП III-15-76.

3.9. Верхняя отметка заполнения бетоном скважины при устройстве комбинированных свай устанавливается по проектной глубине погружения сборного элемента в монолитный бетон с учетом вытеснения бетона в кольцевой зазор в зоне стыка.

3.10. Погружение сборного элемента производится под собственным весом или вибропогружением с последующим закреплением его в проектном положении. Фиксация конструкции в проектном положении осуществляется клиньями или закреплением в кондукторе, или хомутами из уголковой стали.

3.11. Доставку бетонной смеси к скважинам следует производить в автобетоновозах (автобетоносмесителях), которые в зимнее время должны быть утеплены, при этом должны быть исключены перегрузки смеси. Температура бетонной смеси к моменту ее укладки в скважину должна быть не ниже расчетной.

4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА В КОНТАКТЕ С ВЕЧНОМЕРЗЛЫМ ГРУНТОМ

4.1. Качество монолитного бетона буронабивных и комбинированных свай в значительной степени определяется температурным режимом его выдерживания. Для создания оптимальных температурных условий твердения бетона применяются следующие методы: термосное выдерживание, предварительный электроразогрев бетонной смеси, электропрогрев уложенного бетона, введение противоморозных и комплексных добавок в бетон, а также сочетание указанных методов (приведенных в указанной последовательности по стоимостному критерию). Метод выдерживания бетона в вечномерзлом грунте определяется в первую очередь сроками загружения фундаментов проектной нагрузкой и принятым в проекте принципом строительства /I или II принципы/. Предпочтение следует отдавать методу термоса как менее трудо- и энергоемкому.

4.2. Метод выдерживания бетона свай устанавливается теплотехническим расчетом, исходя из условий теплообмена бетона с вечномерзлым грунтом основания.

Применение метода термоса ниже деятельного слоя грунта допускается: для свай диаметром 800 мм и более – при температуре вечно-

мерзлого грунта -3^{0}С и выше; для свай диаметром 1200 мм и более – при температуре вечномерзлого грунта выше -5^{0}С.

В деятельном слое грунта для буронабивных свай требуется электропрогрев бетона или модификация его состава.

Предварительный разогрев бетонной смеси до расчетной температуры (не более 50^{0}С в момент окончания укладки смеси в скважину) позволяет расширить область применения метода термоса: при температуре вечномерзлого грунта выше -5^{0}С для свай диаметром 1000 мм и более, при температуре выше -3^{0}С для свай диаметром 600 мм и более.

Вышеприведенные положения следует учитывать на предварительном этапе проектирования. Окончательное решение должно приниматься на основе теплотехнического расчета.

4.3. При устройстве стыков комбинированных свай с применением метода термоса в зимний период для предотвращения образования прослойки льда на контакте сборного элемента и монолитной части может быть предусмотрен нагрев замоноличиваемого участка сборного элемента до температуры не ниже начальной температуры укладываемого бетона.

4.4. Начальная температура бетона после укладки в скважину при выдерживании методом термоса определяется теплотехническим расчетом, исходя из обеспечения требуемых прочности бетона и сроков передачи на сваю расчетной нагрузки. В проекте производства работ следует предусматривать мероприятия по снижению теплопотерь бетона на всех этапах технологической цепи. Температура бетонной смеси в момент отгрузки рассчитывается с учетом теплопотерь при транспортировке, перегрузках и укладке.

4.5. Область применения метода термоса при соответствующем технико-экономическом обосновании может быть существенно расширена путем использования бетонов с повышенной прочностью за счет увеличения расхода цемента или снижения содержания воды.

4.6. В зимний период при необходимости сокращения сроков загружения свай-стоек расчетной нагрузкой допускается увеличение глубины электропрогрева бетона на 2–3 м по сравнению с расчетной, а при длине свай 6–8 м целесообразен прогрев конструкции на всю высоту.

4.7. При электропрогреве бетона его максимальная температура из условия обеспечения требуемой морозостойкости назначается не

выше 60°С. С целью снижения интенсивности деструктивных процессов в твердеющем бетоне вследствие температурных напряжений необходимо ограничивать скорость подъема температуры при разогреве до 8...5° С/час соответственно при диаметре свай 600-1400 мм.

4.8. Контроль температурного состояния твердеющего бетона производится термометрической аппаратурой, которая устанавливается в температурных трубках, расположенных в периферийных зонах по сечению конструкции (10...15 см от боковой поверхности), в центре сваи (только для буронабивных свай) и на границе двух сред - бетона и вмещающего грунта. Контрольные точки термометрических наблюдений по глубине назначаются:

при термосной технологии - от поверхности грунта (для буронабивных свай) или от стыка комбинированных свай до верхней границы условно стабильных температур вечномерзлого грунта;

при электропрогреве всей монолитной части сваи - лишь на расстоянии 1 м от дневной поверхности грунта.

4.9. Термометрические наблюдения в массиве окружающего сваю грунта основания производятся в обязательном порядке при строительстве по принципу I и служат целям контроля величины оттаиваемой локальной зоны грунта и сроков восстановления его природного температурного состояния. Результаты наблюдений дают возможность обоснованной оперативной корректировки режимов прогрева бетона. Такие наблюдения необходимы также для уточнения сроков загружения фундаментов расчетной нагрузкой. Наблюдения проводятся в зоне теплового влияния сваи, границы которой предварительно назначаются в пределах увеличенной в пять раз прогнозируемой толщины оттаивающего слоя грунта (см.раздел 5). Следует учитывать, что тепловые процессы между смежными сваями в ряду и непосредственно в контактной зоне сваи протекают более интенсивно, что определяет более частое размещение в этих зонах температурных трубок.

4.10. Электропрогрев бетона производится электродным способом с применением одно- или трехфазной схемы подключения. При однофазной схеме электродами служат арматурный каркас и дополнительные стальные стержни, укрепленные на армокаркасе или непосредственно на сборной железобетонной вставке с помощью диэлектрических материалов. При трехфазной схеме каждый из электродов подключается к отдельной фазе (рис.2).

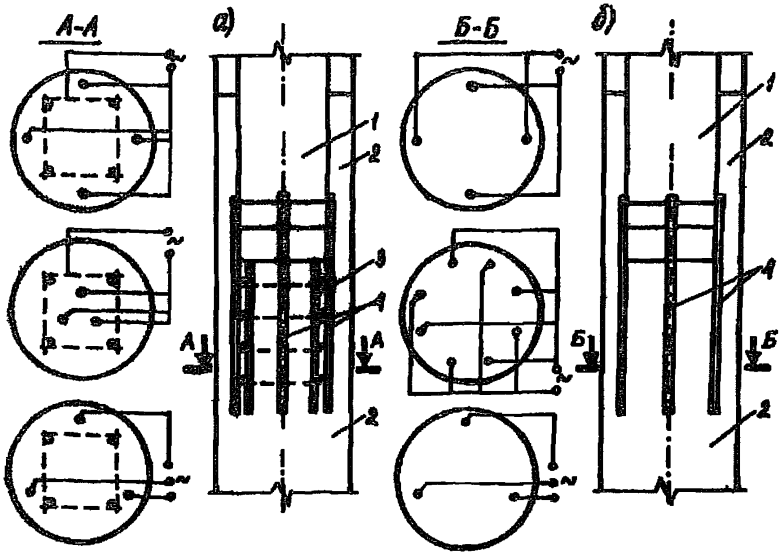

Рис.2. Схемы размещения и подключения электродов при прогреве бетона в стенке комбинированных свай при наличии выпусков арматуры в теле сборного железобетонного элемента (а) и без выпусков (б): I – сборный элемент, 2-монолитный бетон, 3 – выступающий арматурный каркас, 4 – стержневые электроды

Для свай диаметром 600, I000, I400 мм рекомендуется напряжение соответственно 95, I03 и I27 В.

4.II. Однофазная схема подключения рекомендуется:
для свай диаметром менее 800 мм, для свай диаметром более 800 мм при изотермическом режиме прогрева и для групп свай с равными нагрузками по фазам трансформатора.

4.I2. Прогрев бетона следует вести по двух- и трехстадийному режиму. Двухстадийный режим включает периоды разогрева и последующего остывания бетона и рекомендуется для участков свай диаметром 800-I600 мм ниже деятельного слоя грунта.

Трехстадийный режим, который включает также период изотермического прогрева, рекомендуется для участков свай диаметром 500 –

1600 мм, находящихся в деятельном слое грунта, для зоны стыка комбинированных свай при низкой температуре грунта.

4.13. Поддержание требуемого температурного режима бетона в процессе электропрогрева можно осуществить одним из следующих способов:

а) изменением величины напряжения, подводимого к электродам;

б) периодическим кратковременным отключением электродов (импульсный способ);

в) отключением и включением отдельных электродов или их групп.

4.14. Электропрогрев бетона в скважине необходимо начинать не позднее чем через 10-15 мин после заполнения скважины бетоном или установки оборного элемента комбинированной сваи. Температура бетонной смеси к началу электропрогрева должна быть не ниже 0°С. Требуемая продолжительность электропрогрева определяется теплотехническим расчетом.

4.15. Расчет требуемой мощности P, кВт, для электропрогрева бетона в скважине определяется по формулам:

$$P = \left[0{,}55 + \frac{P'}{4}\right] \pi d^2 \ell \qquad (4.1)$$

для периода разогрева бетона;

$$P = \frac{P'}{4} \pi d^2 \ell \qquad (4.2)$$

для периода изотермического прогрева,

где ℓ и d – длина и диаметр прогреваемого участка сваи, м;

P' – удельная мощность электропрогрева, кВт/м^3, определяется по таблице.

Удельная мощность изотермического прогрева бетона

Диаметр d, мм	1400	1000	600
Удельная мощность P', кВт/м^3	1,8	2,2	3,0

4.16. Выбор и расчет оборудования для электропрогрева бетона свай следует производить в соответствии с Руководством по произ-

водству бетонных работ в зимних условиях, районах Дальнего Востока, Сибири и Крайнего Севера (М., Стройиздат, 1982).

4.17. Бетонирование свай-стоек с применением противоморозных химических добавок следует производить в соответствии с Руководством по применению химических добавок в бетоне (М., Стройиздат, 1981).

5. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

5.1. Набор прочности бетонов буронабивных и комбинированных свай определяется температурным режимом его твердения в контакте с мерзлым грунтом. Температурный режим грунта и твердеющего бетона зависит от климатических и инженерно-геокриологических условий площадки строительства, конструкции и размеров сваи, состава бетона и принятой технологии устройства свай.

5.2. Технология выдерживания бетона, обеспечивающая достижение им заданной прочности к установленному сроку, а также расчетного температурного режима основания, назначается в соответствии с теплотехническим расчетом.

5.3. Теплотехническим расчетом оценивается взаимное влияние указанных в п.5.1 природно-климатических, конструктивных и технологических факторов на следующие основные показатели процесса теплового взаимодействия твердеющего бетона сваи с мерзлым грунтом:

а) прочность бетона в возрасте τ, сут – R_τ(% от $R_{28}^{нту}$);

б) максимальная толщина слоя оттаивания окружающего сваю мерзлого грунта – δ(см);

в) время смерзания грунта со сваей (время понижения температуры грунта в приконтактной со сваей зоне до 0^0С) – $\tau_{см}$(сут).

5.4. Прочность бетона R_τ определяется на момент времени τ в относительных показателях (в процентах к прочности бетона заданного состава, твердеющего в течение 28 сут в нормальных температурно-влажностных условиях). Величина R_τ определяет средне-интегральное значение прочности бетона по поперечному сечению буронабивной сваи или по поперечному сечению монолитного участка комбинированной сваи в зоне ее стыка со сборной частью.

5.5. Исходными данными для расчета величин R_τ, δ, $\tau_{см}$, являются следующие две группы факторов:

Группа А

диаметр монолитной части сваи $d_{св}$, м;

начальная температура уложенного бетона $t_{б.н.}$, °С, или время изотермического прогрева бетона $\tau_{гр.}$, час;

температура мерзлого грунта оснований $t_{гр.}$, °С;

объемная влажность мерзлого грунта $W_{об}$, кгм/м³.

Группа Б

удельный расход, вид и марка применяемого цемента;

температурный градиент в грунте по длине сваи;

соотношение диаметров сборного элемента и монолитного участка комбинированной сваи.

5.6. Оценка влияния факторов группы А на искомые величины R_{τ_i}, δ и $\tau_{сн}$ производится путем нахождения их промежуточных значений $R^{\circ}_{\tau_i}$, δ° и $\tau^{\circ}_{сн}$ с использованием соответствующих таблиц (см. прил. I-3) при следующих фиксированных значениях факторов группы Б:

рассматривается бетон без химических добавок на среднеалюминатном портландцементе марки Мц 400, при расходе цемента 400 кг на I м³ бетона и суммарном тепловыделении I м³ бетона, равном I35·I0³кДж (при твердении в течение 28 сут в нормальных условиях);

для комбинированных свай в зимний период значение температурного градиента в грунте по вертикали составляет 0,5-I,5°С /м на глубине 3-5 м и I,5-4° С /м на глубине до 3 м;

для буронабивных свай температурный градиент в грунте по вертикали условно отсутствует;

соотношение диаметров сборного элемента и монолитного участка комбинированной сваи равно 0,65.

Здесь τ_i = I4 и 28 сут соответственно при термосном выдерживании и электропрогреве уложенного бетона.

5.7. Расчет величин $R_{\tau i}$, δ и $\tau_{сн}$ с учетом влияния факторов группы Б производится по следующим формулам:

$$R_{\tau i} = K_{iR} \cdot K_{2R} \cdot K_{3R} \cdot K_{4R} \cdot R^{\circ}_{\tau i} \quad ; \qquad (5.1)$$

$$\tau_{сн} = K_{i\tau} \cdot K_{2\tau} \cdot K_{3\tau} \cdot K_{4\tau} \cdot \tau^{\circ}_{сн} \quad ; \qquad (5.2)$$

$$\delta = K_{i\delta} \cdot K_{2\delta} \cdot K_{3\delta} \cdot K_{4\delta} \cdot \delta^{\circ} \quad . \qquad (5.3)$$

Здесь K_{iR}, $K_{i\tau}$ и $K_{i\delta}$ – поправочные коэффициенты (см. п.п. 5.I6-5.2I).

5.8. При расчете величин $R^{\circ}_{\tau i}$, $\tau^{\circ}_{сн}$, δ° с использованием таб-

лиц прил.I-3 принят приведенный в пп.5.9-5.I3 порядок задания значений исходных факторов группы А.

5.9. За начальную температуру бетона $t_{н.б.}$ принимается температура бетона на момент завершения укладки смеси в скважину и ее уплотнения. Для комбинированных свай предполагается, что установка сборного элемента в проектное положение производится сразу после выполнения бетонных работ.

5.I0. За время изотермического прогрева бетона $\tau_{пр.}$, час, принимается условное время поддержания в нем постоянной температуры, равной 45°С при разогреве бетона от 5°С в течение I2 час.

Приведение общей длительности электропрогрева $\tau_{пр.э}$ в режиме, близком к изотермическому, в диапазоне температур 30-60°С к величине $\tau_{пр.}$ производится по формуле:

$$\tau_{пр.} = \frac{Q' + 240}{45} , \qquad (5.4)$$

где $Q' = \int_{\tau_н}^{\tau_{пр.э}} t_{пр}(\tau)\, d\tau$, °С·час, – интегральная характеристика режима электропрогрева бетона, численно равная площади под кривой фактического температурного состояния бетона, построенной в координатах $\tau_{пр} - t_{пр.}$;

45 – расчетная температура изотермического электропрогрева бетона, °С;

240 – сумма градусочасов, необходимая для равномерного подъема температуры бетона от 5 до 45°С в течение I2 час.

5.II. Температура мерзлого грунта $t_{гр.}$ для буронабивных свай определяется послойно в соответствии с выделенными по глубине сваи участками (см.п.2.4), что предполагает возможность применения различной технологии выдерживания бетона в выделяемых зонах по глубине сваи. Для комбинированных свай за температуру грунта принимается его средняя температура в зоне стика монолитного и сборного участков свай. Ниже этой зоны располагается монолитная часть сваи для которой справедливы все положения настоящих Рекомендаций, относящихся к буронабивным сваям ниже деятельного слоя грунта.

5.I2. Температура грунта $t_{гр}$ для предварительных расчетов принимается по данным метеорологических и мерзлотных станций и уточняется по результатам температурных наблюдений за фактическим термическим состоянием грунта на площадке строительства. Температурные наблюдения являются обязательными, если перед бетонирова-

ем предусмотрено проведение технологических мероприятий по охлаждению или оттаиванию грунта, а также при наличии длительных перерывов между окончанием буровых работ и бетонированием скважины.

5.13. Тепловыделения при фазовых переходах воды при оттаивании и промерзании грунта учитываются в расчетах через величину объемной влажности грунта $W_{об}$, определяемой по формуле

$$W_{об} = \gamma_{ск} (W_c - W_н) , \qquad (5.5)$$

где $\gamma_{ск}$ – плотность скелета грунта, кг/м³;
W_c – суммарная влажность грунта, доли единицы;
$W_н$ – весовое содержание незамерзшей воды в грунте, доли единицы, определяемое согласно п.2.12 главы СНиП II-18-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" для температуры, равной 0,5 $t_{гр}$.

5.14. Таблицы величин R_c^o, δ^o и $\tau_{сн}^o$ в зависимости от факторов $d_{об}$, $t_{б.н.}$, $\tau_{пр.}$, $t_{гр.}$, W_c приведены в прил.1 и 3 для буронабивных свай и в прил.2 и 3 для комбинированных свай.

5.15. Таблицы построены при фиксированных значениях перечисленных факторов. При значениях этих факторов, отличных от приведенных в таблицах, значение искомого параметра определяется методами линейной интерполяции и экстраполяции. Метод экстраполяции может быть применен при отклонении значений факторов от нижней и верхней границ расчетного диапазона их изменения не более чем на 10–15%.

5.16. Отклонение значений факторов группы Б от принятых в п.5.6 учитывается введением в формулы (1)–(3) поправочных коэффициентов K_{iR}, K_{ic}, $K_{i\delta}$ (где $i = 1...4$).

5.17. Изменение состава бетона приводит к изменению суммарного тепловыделения бетона, что в случае термосного остывания бетона существенно влияет на величины $\tau_{сн}$ и δ и в меньшей степени влияет на R_c. Это влияние учитывается введением коэффициентов K_{iR}, K_{ic}, $K_{i\delta}$ (рис.3 и 4 прил.4). При этом для буронабивных свай: $K_{iR} = 1,0$; $0,75 \leq K_{ic} = K_{i\delta} \leq 1,25$, для комбинированных свай: $K_{iR} = 1,0$ при $R_c^o < 50\% R_{28}^{нт}$ и $0,95 \leq K_{iR} \leq 1,05$ при $R_c^o \geqslant 50\% R_{28}^{нт}$; $0,85 \leq K_{ic} = K_{i\delta} \leq 1,15$.

При электропрогреве бетона буронабивных свай в отличие от метода термоса изменение суммарного тепловыделения бетона мало по сравнению с общим количеством тепла, вносимого в систему свая-

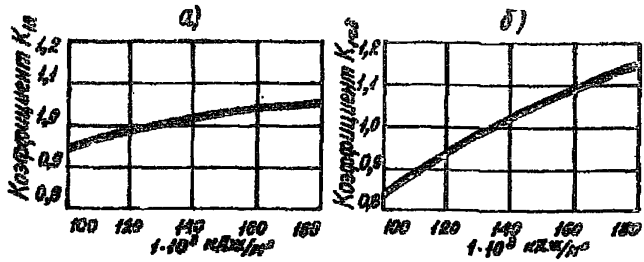

Рис.3. Значение коэффициента K_I для показателей R (а) и τ, δ (б) комбинированных свай, где I00–I80 – суммарное тепловыделение бетона за период 28 сут твердения в нормальных условиях ($I \cdot 10^6$ кДж/м²). Показатели R, δ, τ приведены в табл.I–3.

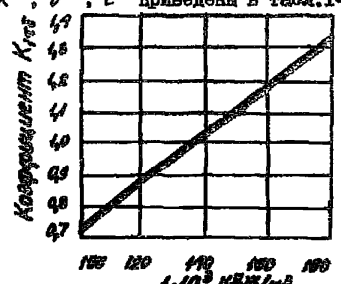

Рис.4. Значение коэффициента K_I для показателей τ и δ буронабивных свай, где I00–I80 – суммарное тепловыделение бетона за период 28 сут твердения в нормальных условиях ($I \cdot 10^6$ кДж/м³)

мерзлый грунт, при этом принимается

$$K_{IR} = K_{I\tau} = K_{I\delta} = 1,0 .$$

5.I8. Наличие температурного градиента в грунте по вертикали при устройстве буронабивных свай методом термоса учитывается с помощью коэффициента K_z. Величине температурного градиента I,5–3°С/м соответствуют следующие значения коэффициента K_z:

$K_{zR} = 0,95–0,9$; $K_{z\tau} = 0,85–0,7$ и $K_{z\delta} = I,0$.

При устройстве комбинированных свай принимаются

$$K_{zR} = K_{z\tau} = K_{z\delta} = 1,0 .$$

5.19. Изменение соотношения диаметров сборного элемента и монолитного участка комбинированной сваи по сравнению с величиной 0,65 учитывается в расчетах с помощью коэффициента K_3 (рис.5 приложения 4). При использовании в верхней части комбинированной сваи железобетонного элемента некруглого поперечного сечения в расчетах учитывается диаметр эквивалентного по площади круглого сечения.

В расчетах буронабивных свай коэффициент K_3 принимается равным единице

5.20. Коэффициентом K_4 оцениваются конкретные технологические условия производства работ, уменьшающие R_τ, δ и τ, к которым относятся: снижение фактической активности цемента в результате длительного хранения, несоблюдение дозировки составляющих при приготовлении бетонной смеси и другие возможные незначительные нарушения технологии производства работ.

При термосном выдерживании бетона $K_{4R} = K_{4\tau} = K_{4\delta} = 0{,}7$–$0{,}95$, при электропрогреве $K_{4R} = K_{4\tau} = K_{4\delta} = 0{,}85$–$1{,}0$.

5.21. При электротермообработке бетона выходные показатели процесса теплового взаимодействия сваи с грунтом подлежат уточнению только с помощью коэффициента K_4. Коэффициенты K_1, K_2, K_3 в этом случае принимаются равными единице.

5.22. При расчете показателей R_τ и τ_{cm} следует учитывать повышенное охлаждение нижней части сваи на высоту 1–$1{,}5\,d_{cв}$, вследствие которого бетон в этой зоне сваи отстает в наборе прочности к 14 сут на 5–10% по сравнению с основной частью сваи, а срок смерзания сваи с грунтом уменьшается на 15–25%.

5.23. В том случае, когда время смерзания буронабивной сваи с грунтом τ_{cm} превышает 14 сут при термосном выдерживании и 28 сут при электропрогреве бетона, определение относительной прочности бетона в возрасте τ, где $14(28) < \tau < \tau_{cm}$, производится по формулам

$$R_\tau = R_{14} + \Delta R_{\tau-14} \quad ; \qquad (5.6)$$

$$R_\tau = R_{28} + \Delta R_{\tau-28} \quad , \qquad (5.7)$$

где $\Delta R_{\tau-14}$ ($\Delta R_{\tau-28}$) – прирост прочности бетона за период τ-14 (τ-28), сут, определяется по графикам набора бетоном данного состава прочности при нормальных условиях твердения с учетом достигнутой прочности за период 14(28) сут и средней температуры твердения за время τ–14(τ - 28). Время твердения бетона в указанный

период приводится к эквивалентному времени твердения при нормальных условиях посредством коэффициента α. Графики набора прочности бетона различных составов и значения коэффициента α приводятся в Руководстве по зимнему бетонированию с применением метода термоса (М., Стройиздат, 1975). Для упрощения расчета значение коэффициента α рекомендуется принимать равным 3,12, что соответствует температуре твердения бетона $0^{\circ}C$. Тогда эквивалентное время твердения бетона при нормальных условиях за период τ -14 (τ-28) сут определяется из выражений

$$\tau_э = \frac{\tau - 14}{3.12} \quad ; \qquad (5.8)$$

$$\tau_э = \frac{\tau - 28}{3.12} \quad . \qquad (5.9)$$

5.24. В прил.1 и 2 приведена относительная прочность бетона в возрасте 14 сут при его термосном выдерживании. Прочность бетона в более позднем возрасте (28, 90, 180 сут), помимо указаний п.5.23, может быть также рассчитана по формулам:

$$R_{28} = R_{14} \cdot n_1 \; ; \quad R_{90} = R_{14} \cdot n_2 \; ; \quad R_{180} = R_{14} \cdot n_3 \, , \qquad (5.10)$$

где n_1, n_2, n_3 – коэффициенты, учитывающие увеличение прочности бетона за соответствующий период времени по сравнению с прочностью в двухнедельном возрасте R_{14}.

Значения коэффициентов n_1, n_2, n_3 приводятся в прил.5 в зависимости от диаметра сваи $d_{св.}$, температуры грунта $t_{гр.}$, температуры свежеуложенного бетона $t_{б.с.}$

5.25. Теплотехническим расчетом по формулам (1)-(9) с использованием прил.1,2,3,5 могут быть решены два вида задач:

а) определение показателей R_c, δ и $\tau_{сн}$ по заданным значениям факторов $d_{св}$, $d_{об.э}$, $t_{нв.}$ ($\tau_{гр}$), $t_{гр.}$, $W_{об}$ с учетом реальных условий производства работ и применяемой технологии строительных процессов;

б) назначение технологии выдерживания бетона, параметров технологических процессов ($t_{б.с.}$, расход Ц и марка цемента $M_ц$, $\tau_{гр.}$ и схемы подключения) в зависимости от значения факторов $d_{св.}$, $d_{св.э}$, $t_{гр.}$, $W_{об.}$ и требуемых значений показателей $R_т$, δ, $\tau_{сн.}$.

5.26. Назначенная на основании теплотехнического расчета технология строительных процессов подлежит уточнению в реальных усло-

виях строительной площадки на опытных сваях.

5.27. Методика прогнозирования показателей R_τ, $\tau_{см}$, δ и выбора технологии производства работ иллюстрируется в приводимых ниже примерах.

Пример I

Бетон, характеризующийся марочной прочностью на сжатие М300, с расходом портландцемента Мц400 в количестве 480 кг/м^3, укладывается в скважину $d_{св}$ = 1000 мм и глубиной I2 м в распор с вечномерзлым грунтом основания при устройстве буронабивных свай.

Температурное состояние вечномерзлого грунта при ненарушенном режиме на период времени, соответствующий срокам производства работ, показано на рис.6. Основная толща прорезаемого грунта представлена суглинком с объемной влажностью $W_{об}$ = 290 кг/м^3. Температура свежеуложенного бетона $t_{бн.}$ = I2^{0}C. Электропрогрев бетона производится на глубину 2,5 м, ниже бетон выдерживается методом термоса.

Требуется определить время смерзания буронабивной сваи с грунтом $\tau_{см.}$, толщину слоя оттаивания вечномерзлого грунта основания δ и относительную прочность бетона R в возрасте I4 сут и в возрасте $\tau_{сн}$.

Расчет проводится в следующей последовательности.

По таблице прил.I данных рекомендаций находятся величины $R^{\circ}_{м}$, $\tau^{\circ}_{сн}$, δ°.

$R^{\circ}_{м}$ = 68,5% $R^{ну}_{28}$; δ° = 0,I9 м; $\tau^{\circ}_{сн}$ = 58 сут.

По рис.4 находятся значения поправочных коэффициентов K_i, учитывающих удельный расход цемента Ц = 480 кг/м^3;

K_{IR} = I,0; $K_{I\tau}$ = $K_{I\delta}$ = I,2.

Так как температурный градиент в грунте по вертикали на глубине ниже 2,5 м от дневной поверхности практически отсутствует, поправочные коэффициенты $K_{2R} = K_{2\tau} = K_{2\delta} = 1,0$.

Согласно п.5.I9, поправочные коэффициенты K_3 для буронабивных свай равны I.

Технологические коэффициенты K_4 в соответствии с п.5.20 принимаются равными: $K_{4R} = K_{4\tau} = K_{4\delta} = 0,9$.

Расчетные значения параметров $R_м$, $\tau_{сн}$, δ определяются по формулам (I)-(3):

$R_м$ = I,0·I,0·I,0·0,9·68,5 = 6I,7% $R^{ну.}_{28}$;

$\tau_{сн}$ = I,2·I,0·I,0·0,9·58 = 63 суток;

δ = I,2·I,0·I,0·0,9·0,I9 = 0,2I м.

В запас надежности расчета принимаем, что в период времени от I4 до 63 сут температура бетона близка к 0^{0}С. Эквивалентное время твердения бетона при 20^{0}С определяется по формуле (8):

$$\tau_э = \frac{63 - I4}{3,I2} = I5,7 \text{ сут.}$$

Учитывая R_{I4} и $\tau_э$ по соответствующим графикам (см.п.5.23), определяется прирост прочности бетона за период 63–I4 = 49 сут:

$$\Delta R^{\circ}_{63-I4} = 32,8\%.$$

По формуле (6) определим относительную прочность бетона сваи в возрасте 63 сут:

$$R_{63} = 6I,7 + 0,9 \cdot 32,8 = 9I,2\% R^{н.у.}_{28},$$

т.е. к моменту смерзания сваи с грунтом бетон имеет практически проектную прочность.

При прорезании сваей горизонтов вечномерзлых грунтов с различной объемной влажностью вышеприведенный расчет производится отдельно для каждого горизонта.

Пример 2

Условия задачи те же, что и в примере I. Требуется определить возможность термосного выдерживания бетона ниже зоны электропрогрева и температурный режим бетонирования, позволяющий через 30 сут после укладки бетона загрузить фундамент нагрузкой, составляющей 80% расчетной.

Задача подобного типа решается в следующей последовательности.

Определяется эквивалентное время твердения бетона при нормальных условиях (20^{0}С при соответствующей влажности) за период с I4 по 30 сут:

$$\tau_э = \frac{30 - I4}{3,I2} = 5,I \text{ сут.}$$

По графику набора прочности бетона данного состава определим прочность бетона сваи на I4 сут при $R_{30} = 80\% R^{н.у.}_{28}$ и $C = \tau_э \cdot K_t = 4,6$ сут:

$$R_{I4} = 62\% R^{н.у.}_{28}, \text{ отсюда } R^{\circ}_{I4} = \frac{R_{I4}}{K_{4R}} = \frac{62}{0,9} = 68,9\% R^{н.у.}_{28}.$$

Значению относительной прочности бетона $R^{\circ}_{I4} = 68,9\%$ соответствует найденная путем интерполяции по таблице прил.I начальная температура бетона $t_{б.н.} = I3^{0}$С.

Таким образом, получение 80% проектной прочности бетона на 30 сут после бетонирования возможно при начальной температуре бетона, уложенного в скважину, не ниже $I3^{0}$С.

Пример 3

Установить возможность передачи на опору в виде комбинированной сваи проектной нагрузки 170 т через 2 месяца после ее изготовления. Комбинированная свая выполнена по приведенной ниже схеме. Нижняя часть выполнена из бетона с маркой по прочности на сжатие 300. Расход цемента М400 на 1 м^3 бетона составляет 440 кг.

Температура бетонной смеси после укладки в скважину 35^{0}С. Температурный режим грунта на период производства работ и конструкция сваи приведены на рис.7. Грунт – мергелистый суглинок с объемной влажностью $W_{об}$= 250 кг/м^3.

Ход решения задачи следующий.

Первоначально по формуле (5.10) и по таблицам прил.2,5 данных Рекомендаций определяется прочность бетона (в % к $R_{28}^{нх}$) в возрасте 28 и 180 сут для свай диаметром монолитной части 600 и 1000 мм при исходных данных: $t_{б.н.}$= 35^{0}С; $t_{гр.}$= –4^{0}С; $W_{об}$= 250 кг/м^3. В результате двойной интерполяции полученных результатов имеем относительную прочность бетона сваи $d_{св}$= 800 мм в возрасте τ = 60 сут, равную 61,7% $R_{28}^{нх}$. Корректировку результата производим с помощью коэффициента K_1, учитывающего реальный состав бетона через величину суммарного тепловыделения ЭЦ м^3 бетона за 28 сут твердения в нормальных условиях. ЭЦ=335·440=147,4·10^3 кДж/м^3. При этом K_1 = = 1,12 (см. рис. 4).

Соотношение диаметров сборного и монолитного участков сваи $\frac{d_{об.р}}{d_{св}} = \frac{0,6}{0,8} = 0,75$. Значение поправочного коэффициента K_3 = 0,96 (см.прил.4 данных Рекомендаций). Коэффициент K_4 = 0,9 (см.п.5.20). Прочность бетона в стыке комбинированной сваи в возрасте 60 сут равна:

$$R_{60} = R_{60}^{o} \cdot K_1 \cdot K_3 \cdot K_4 = 61,7 \cdot 1,12 \cdot 0,96 \cdot 0,9 = 54,4\% \, R_{28}^{нх}.$$

что при проектной прочности на сжатие 30 МПа составит 16,3 МПа. Несущая способность сваи по прочности монолитного бетона на продавливание составит 471 т, что с учетом коэффициента запаса, принимаемого равным 2, является достаточным для восприятия опорой нагрузки в 170 т. Бетон нижней части сваи твердеет в более благоприятных температурных условиях и его прочность существенно выше прочности бетона в зоне стыка комбинированной сваи.

Приложение I

Относительная прочность бетона в возрасте I4 сут R_{14}, время смерзания $\tau_{см}$ и толщина слоя оттаивающего грунта δ для буронабивных свай при термосном выдерживании бетона

Диаметр сваи $d_{св}$, мм	Температура грунта $t_{гр}$, °С	Температура уложенного бетона $t_{бет}$, °С	Объемная влажность мерзлого грунта $W_{об}$, кг/м³								
			200			350			500		
			R, % $R_{28}^{нк}$	$\tau_{см}$, сут	δ, м	R, % $R_{28}^{нк}$	$\tau_{см}$, сут	δ, м	R, % $R_{28}^{нк}$	$\tau_{см}$, сут	δ, м
600	-I	I0	65,3	64	0,I4	64,5	64	0,08	62,9	64	0,06
		25	70,7	89	0,2I	70,0	89	0,I3	68,9	89	0,08
		40	73,3	I20	0,27	72,8	I20	0,I8	7I,8	I20	0,I2
	-3	I0	54,0	0	0,08	52,2	0	0,05	49,2	0	0,03
		25	62,I	I4	0,I4	6I,0	I4	0,08	59,2	I4	0,06
		40	68,3	20	0,20	67,6	20	0,I3	66,0	20	0,08
	-5	I0	40,7	0	0	37,I	0	0	3I,8	0	0
		25	5I,2	5	0,07	49,3	5	0,05	46,0	5	0,03
		40	60,0	7	0,I3	58,6	7	0,09	56,6	7	0,06
I000	-I	I0	73,5	I42	0,30	72,2	I42	0,20	70	I42	0,I4
		25	77,5	I72	0,38	76,8	I72	0,25	75,I	I72	0,I8
		40	78,8	I92	0,46	78,5	I92	0,3I	77,I	I92	0,22
	-3	I0	67,3	26	0,2I	65,0	26	0,I2	6I,7	26	0,09
		25	73,5	42	0,29	72,4	42	0,I9	70,0	42	0,I5
		40	76,9	56	0,37	76,6	56	0,25	74,6	56	0,I8
	-5	I0	58,0	I6	0,I2	55,I	I6	0,06	49,3	I6	0,04
		25	67,5	22	0,20	65,9	22	0,I2	62,4	22	0,08
		40	73,8	26	0,28	72,6	26	0,I8	70,0	26	0,I3
I400	-I	I0	78,7	2I6	0,44	77,3	2I6	0,29	74,6	2I6	0,23
		25	82,7	252	0,54	82,I	252	0,38	8I,I	252	0,28
		40	85,5	280	0,64	85,4	280	0,46	85,3	280	0,34
	-3	I0	77,3	72	0,32	75,5	72	0,22	72,2	72	0,I6
		25	8I,7	96	0,42	80,8	96	0,28	79,4	96	0,22
		40	84,6	II2	0,52	84,4	II2	0,37	84,2	II2	0,27
	-5	I0	73,I	32	0,20	70,4	32	0,I3	65,5	32	0,09
		25	78,9	40	0,3I	77,5	40	0,I9	75,0	40	0,I5
		40	83,2	48	0,4I	82,7	48	0,27	82,0	48	0,20

Приложение 2

Относительная прочность бетона в возрасте I4 сут R_{14}, время смерзания $\tau_{см}$ и толщина слоя оттаивающего грунта δ для комбинированных свай в зоне стыка при термосном выдерживании бетона

Диаметр сваи $d_{св}$, мм	Температура грунта $t_{гр}$, °С	Температура уложенного бетона $t_{б.н}$, °С	Объемная влажность мерзлого грунта $W_{об}$, кг/м³								
			200			350			500		
			R_{14}, % $R_{28}^{нн}$	$\tau_{см}$, сут	δ, м	R_{14}, % $R_{28}^{нн}$	$\tau_{см}$, сут	δ, м	R_{14}, % $R_{28}^{нн}$	$\tau_{см}$, сут	δ, м
600	-I	I0	45,7	26	0,II	45,0	25	0,I0	44,7	24	0,09
		30	50,6	34	0,I6	50,3	33	0,I3	50,0	33	0,II
		50	57,I	44	0,25	56,9	43	0,I9	56,7	43	0,I6
	-3	I0	33,6	I0	0,09	33,0	9	0,08	32,5	8	0,0I
		30	39,7	I6	0,I3	39,I	I6	0,II	38,8	I5	0,08
		50	48,0	22	0,20	47,7	22	0,I6	47,0	2I	0,I3
	-5	I0	20,3	4	0	I9,8	3	0	I9,3	2	0
		30	29,3	6	0,I	28,8	5	0,09	28,4	4	0
		50	38,I	8	0,I7	37,8	7	0,I4	37,4	6	0,II
I000	-I	I0	54,4	33	0,I2	52,3	32	0,I0	50,0	32	0,08
		30	60,8	42	0,20	59,0	4I	0,I6	57,0	40	0,I2
		50	7I,5	50	0,36	68,9	50	0,27	66,8	49	0,20
	-3	I0	4I,6	I7	0,07	39,8	I6	0,06	38,0	I5	0
		30	50,6	23	0,I5	48,7	22	0,I2	46,3	2I	0,09
		50	62,0	29	0,28	59,7	28	0,20	57,9	27	0,I5
	-5	I0	29,5	9	0,0	28,I	7	0,0	26,9	5	0,0
		30	40,8	II	0,I2	39,2	I0	0,09	37,2	9	0,03
		50	54,3	I3	0,22	52,3	I2	0,I8	50,0	II	0,I3
I400	-I	I0	54,0	37	0,20	53,I	36	0,I5	5I,9	35	0,I0
		30	63,4	47	0,30	62,5	46	0,26	6I,4	45	0,2I
		50	74,8	56	0,50	73,6	56	0,40	72,9	54	0,3I
	-3	I0	44,6	22	0,I4	43,6	2I	0,09	42,6	20	0,04
		30	55,9	28	0,26	54,8	27	0,2I	53,8	26	0,I5
		50	67,7	35	0,42	66,6	34	0,33	65,6	33	0,26
	-5	I0	35,0	II	0,08	33,9	I0	0,03	33,I	9	0,0
		30	47,4	I6	0,22	46,4	I5	0,I6	45,5	I3	0,I0
		50	6I,0	2I	0,36	60,0	20	0,28	59,0	I9	0,20

Приложение 3

Относительная прочность бетона в возрасте 28 сут R_{28}, время смерзания $\tau_{см}$ и величина слоя оттаивающего грунта δ для буронабивных и комбинированных свай* при электропрогреве бетона

Диаметр свай $d_{св}$, мм	Температура грунта $t_{гр}$, °С	Время прогрева $\tau_{пр}$, час	Объемная влажность мерзлого грунта $W_{об}$, кг/м³								
			200			350			500		
			R_{28}, % $R_{28}^{пр}$	δ, м	$\tau_{см}$, сут	R_{28}, % $R_{28}^{пр}$	δ, м	$\tau_{см}$, сут	R_{28}, % $R_{28}^{пр}$	δ, м	$\tau_{см}$, сут
600	-1	24	86,0	0,39	184	84,9	0,29	222	84,2	0,22	250
		48	88,6	0,51	262	87,6	0,39	300	86,8	0,32	324
		72	91,0	0,61	320	90,1	0,48	364	89,4	0,41	390
	-3	24	86,0	0,31	20	84,9	0,23	26	84,2	0,19	38
		48	88,6	0,44	28	87,6	0,34	56	86,8	0,30	76
		72	91,0	0,53	54	90,1	0,44	90	89,4	0,39	110
	-5	24	86,0	0,26	8	84,9	0,21	12	84,2	0,18	36
		48	88,6	0,39	10	87,6	0,33	22	86,8	0,29	46
		72	91,0	0,50	16	90,1	0,42	32	89,4	0,38	56
1000	-1	24	88,2	0,53	300	87,1	0,40	360	86,4	0,31	402
		48	90,6	0,66	374	89,6	0,51	442	88,9	0,39	484
		72	92,9	0,73	442	92,0	0,57	510	91,4	0,46	558
	-3	24	88,2	0,43	22	87,1	0,32	56	86,4	0,26	76
		48	90,6	0,55	60	89,6	0,42	96	88,9	0,35	116
		72	92,9	0,63	90	92,0	0,50	128	91,4	0,42	152
	-5	24	88,2	0,36	10	87,1	0,28	40	86,4	0,23	60
		48	90,6	0,5	18	89,6	0,39	50	88,9	0,33	70
		72	92,9	0,58	27	92,0	0,46	60	91,4	0,40	80
1400	-1	24	90,7	0,67	390	89,7	0,51	452	89,0	0,39	510
		48	92,7	0,78	442	91,8	0,59	520	91,2	0,47	582
		72	94,9	0,85	504	94,0	0,65	582	93,4	0,52	654
	-3	24	90,7	0,54	80	89,7	0,41	124	89,0	0,32	154
		48	92,7	0,65	116	91,8	0,50	164	91,2	0,40	200
		72	94,9	0,73	160	94,0	0,56	212	93,4	0,45	246
	-5	24	90,7	0,46	28	89,7	0,35	66	89,0	0,27	92
		48	92,7	0,56	44	91,8	0,44	86	91,2	0,36	112
		72	94,9	0,63	54	94,0	0,51	100	93,4	0,42	126

* Применительно к комбинированным сваям данные таблицы могут быть использованы лишь для приблизительных расчетов в зоне стыка монолитной и сборной частей сваи.

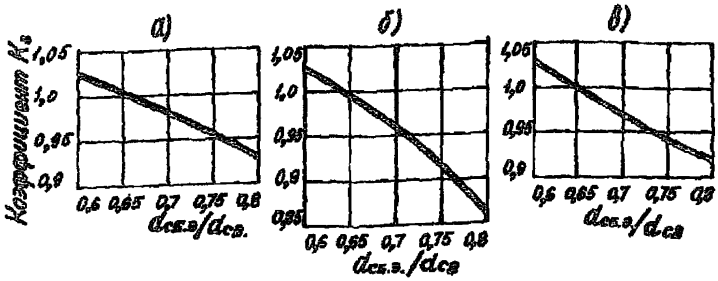

Рис.5. Значение коэффициента K_3 для показателей R (а), δ (б) и τ (в) комбинированных свай, где 0,6–0,8 – соотношение диаметров сборного элемента и монолитной части сваи ($d_{сб.э}/d_{св}$). Показатели R, δ и τ приведены в табл.I–3

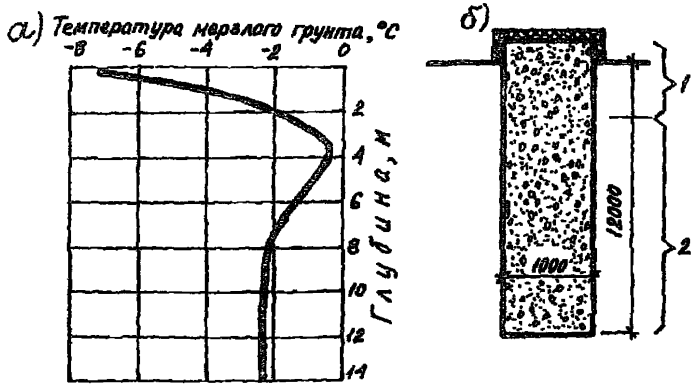

Рис.6. Температура грунта (а) и схема буронабивной сваи (б): I – зона электропрогрева бетона, 2–зона термосного выдерживания бетона

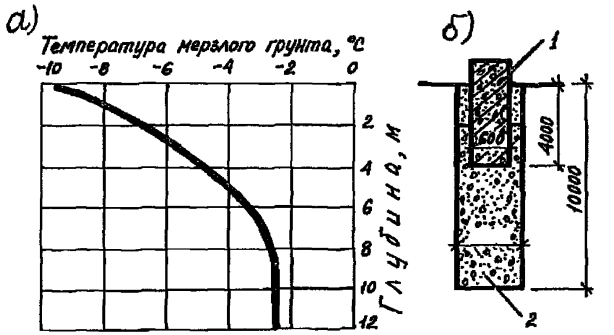

Рис.7. Температура грунта (а) и схема комбинированной сва
(б): 1-сборный железобетонный элемент, 2-монолитный бетон

Приложение 5

Значения коэффициентов n_1 и n_3 для расчета показателей R_{28} (n_1) и R_{180} (n_3) комбинированных свай

Диаметр сваи $d_{св}$, мм	$t_{гр}$, °C	-I			-3			-5		
	$t_{бн.}$, °C	I0	30	50	I0	30	50	I0	30	50
600	n_1	I,4	I,35	I,3	I,4	I,35	I,3	I,4	I,35	I,3
	n_3	2,05	I,85	I,65	2,7	2,3	I,95	3,65	2,75	2,2
I000, I400	n_1	2,3	I,25	I,2	I,3	I,25	I,2	I,3	I,I5	I,I
	n_3	I,75	I,6	I,4	2,2	I,85	I,55	2,6	2,05	I,7

Значение коэффициентов n_1 и n_2 для расчета показателей R_{28}(n_1) и R_{90} (n_2) буронабивных свай

Диаметр сваи $d_{св}$, мм	$t_{гр}$, °C	-I			-3			-5		
	$t_{бн.}$, °C	I0	30	50	I0	30	50	I0	30	50
600	n_1	I,25	I,I7	I,I2	I,09	I,I	I,I4	I,22	I,I2	I,06
	n_2	I,5	I,4I	I,28	I,I5	I,3	I,24	I,89	I,44	I,25
I000	n_1	I,I7	I,I2	I,I	I,25	I,I5	I,I	I,I5	I,I8	I,I2
	n_2	I,39	I,3	I,27	I,37	I,29	I,25	I,4I	I,28	I,I8
I400	n_1	I,I2	I,08	I,06	I,I3	I,09	I,06	I,I9	I,I	I,0I
	n_2	I,3	I,2	I,I4	I,3I	I,22	I,I5	I,27	I,2	I,I5

gost.e-ecolog.ru