



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

СОДЕРЖАНИЕ

1. 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	14
6. Приложения	24

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

Рекомендации по технологии устройства и теплотехническим рас-
четам буронабивных и комбинированных свай в вечномерзлых грунтах

Редактор Л.В.Пузанова

Подп. к печати 5/VI 1990 г. Заказ 513 . Тираж 300 экз.

Формат 60x90 1/16. Бумага офсетная. Набор машинописный.

Уч.-изд. л. 1,81. Усл.кр.-отт. 2,05. Цена 50 коп.

ЦЭМ ВНИИВТИИ Госстроя СССР
121471, 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

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-исследовательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений имени Н.М. Герсеванова Госстроя СССР
1990

І. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

І.І. 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-І5 от 14.05.88).

І.2. Настоящие рекомендации составлены в развитие положений глав СНиП Ш-І5-76 "Бетонные и железобетонные конструкции монолитные. Правила производства и приемки работ" и СНиП П-І8-76 "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.

І.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.

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

І.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.

І.6. В проекте производства работ должны быть отражены:
рекомендуемая технология проходки скважин под сваю, 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.

1.7. 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.

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

2. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УСТРОЙСТВА СВАЙ. ТРЕБОВАНИЯ К БЕТОНУ

2.1. 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.1).

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

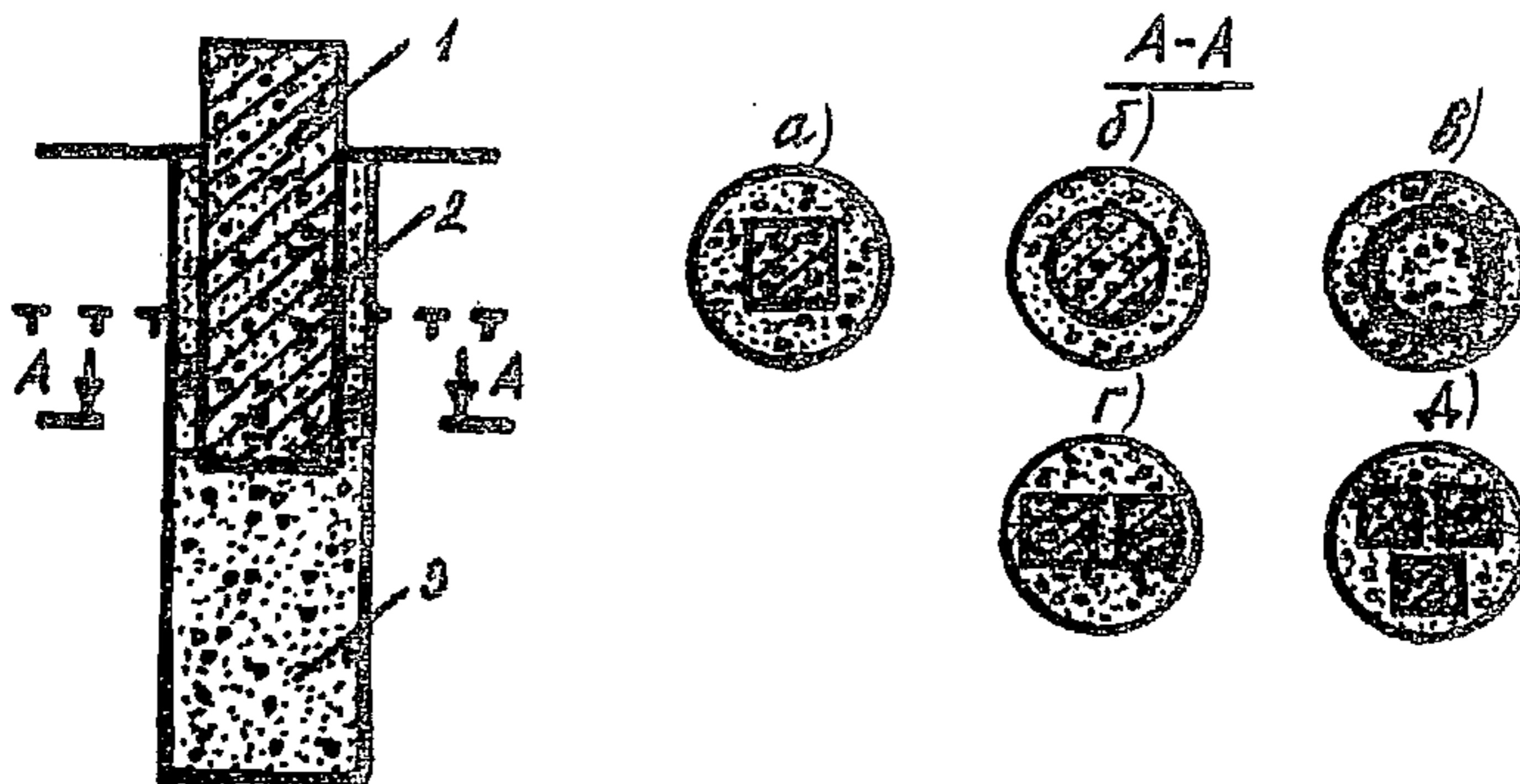


Рис. 1. Конструктивные схемы комбинированных свай (а, б, в, г, д): 1—оборванный железобетонный элемент, 2—раствор, 3—монолитный бетон

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

2.5. При устройстве свай в зоне сезонного оттаивания и промерзания грунта следует применять бетоны с морозостойкостью $M_{рз} 300$. 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 свай с учетом разгружающего влияния сил смерзания боковой поверхности свай с грунтом, находящимся в твердомерзлом состоянии.

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

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

залаживанием 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 свай значительных дополнительных нагрузок за счет сил негативного (нагружающего) трения оттаиваемого 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 загрузки 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°C не допускается. При температуре грунтов выше -3°C , а также при строительстве с сохранением мерзлого состояния грунтов может быть допущено замораживание бетона свай ниже подошвы деятельного слоя шлюза 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 $0 \dots -3^{\circ}\text{C}$. 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 замораживания не может быть обеспечена за счет термосного выдерживания бетонов экономичных составов.

2.14. Материалы, применяемые для приготовления бетонных смесей, должны удовлетворять требованиям стандартов на вяжущие материалы, инертные заполнители и добавки для бетонов.

2.15. 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.

2.16. 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°C и 2 ч — при $5\dots 10^{\circ}\text{C}$.

2.17. При диаметре буронабивных свай более 1000 мм и температуре вмещающих грунтов выше -3°C для приготовления бетонных смесей следует применять обычные портландцементы с умеренной экзотермией. При диаметре свай менее 800 мм и температуре грунта ниже -3°C рекомендуется применять быстротвердеющие высокоалюминатные портландцементы.

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

2.19. 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 III-15-76 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 бетонопроводов 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-льדיстых 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 свай.

3.6. Подготовленная к бетонированию скважина должна быть освидетельствована комиссией и принята по акту в соответствии с существующим положением по исполнительной 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 проектом положении. Фиксация конструкции в проектом 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 электронагрев 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 загрузки фундаментов проектной нагрузкой и принятым в проекте принципом строительства /I или II принципа/. 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 вечного

мерзлого грунта -3°C и выше; для свай диаметром 1200 мм и более — при температуре вечномерзлого грунта выше -5°C .

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

Предварительный разогрев бетонной смеси до расчетной температуры (не более 50°C в момент окончания укладки смеси в скважину) позволяет расширить область применения метода термоса: при температуре вечномерзлого грунта выше -5°C для свай диаметром 1000 мм и более, при температуре выше -3°C 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 отысков 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 загрузки свай-отоек 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°C . С целью снижения интенсивности деструктивных процессов в твердеющем бетоне вследствие температурных напряжений необходимо ограничивать скорость подъема температуры при разогреве до $8...5^{\circ}\text{C}/\text{час}$ 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 свай (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 границ условно стабильных температур вечномерзлого грунта;

при электропрогреве всей монолитной части свай – лишь на расстоянии 1 м от дневной поверхности грунта.

4.9. Термометрические наблюдения в массиве окружающего свай 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 загрузки фундаментов расчетной нагрузкой. Наблюдения проводятся в зоне теплового влияния свай, 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 свай 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).

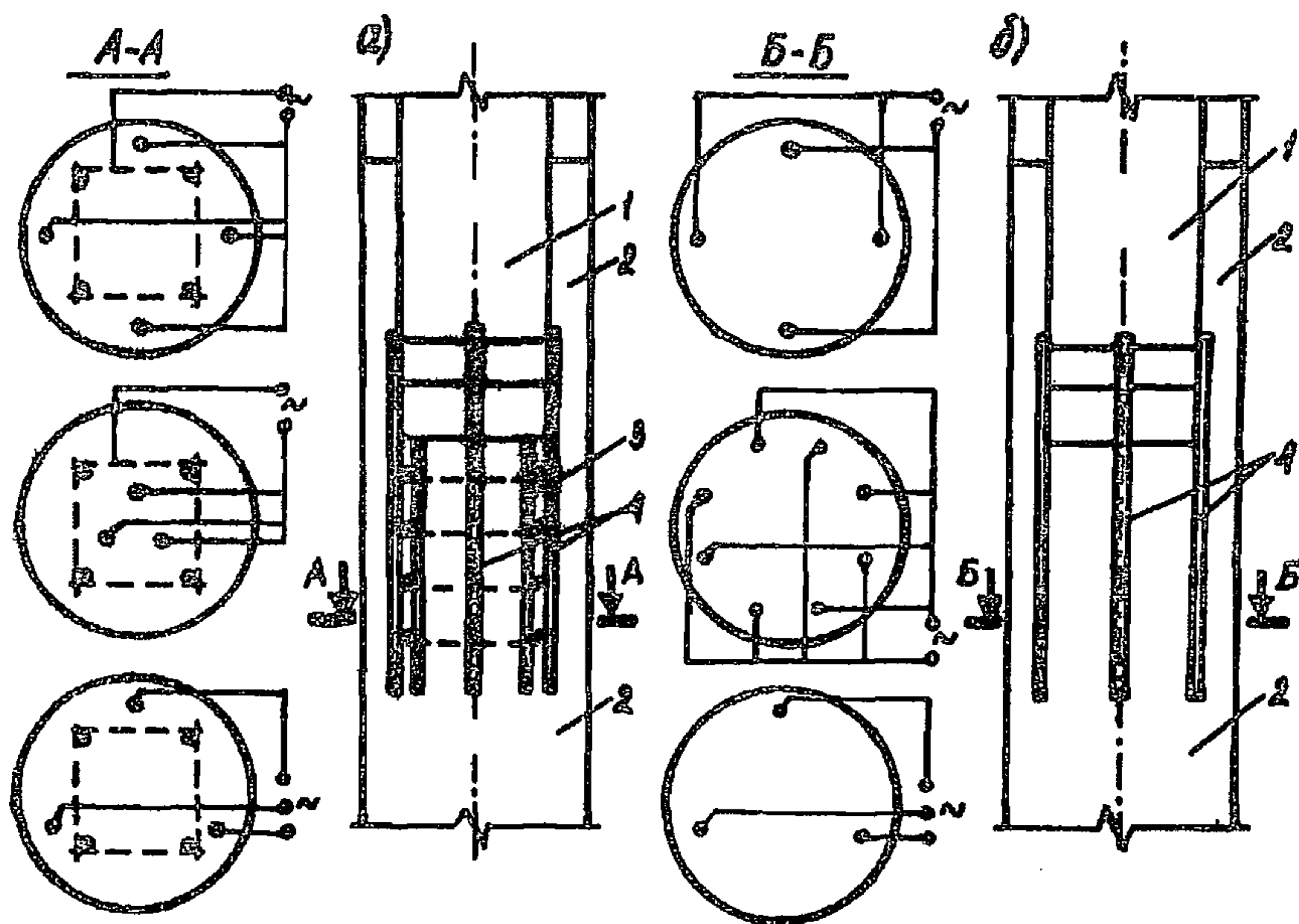


Рис. 2. Схемы размещения и подключения электродов при прогреве бетона в стике комбинированных свай при наличии выпусков арматуры в теле сборного железобетонного элемента (а) и без выпусков (б); 1 - сборный элемент, 2 - монолитный бетон, 3 - выступающий арматурный каркас, 4 - стержневые электроды

Для свай диаметром 600, 1000, 1400 мм рекомендуется напряжение соответственно 95, 103 и 127 В.

4.11. 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.

4.12. Прогрев бетона следует вести по двух- и трехстадийному режиму. Двухстадийный режим включает периоды разогрева и последующего остывания бетона и рекомендуется для участков свай диаметром 800-1600 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 сборного элемента комбинированной свай. Температура бетонной смеси к началу электропрогрева должна быть не ниже 0°C. Требуемая продолжительность электропрогрева определяется теплотехническим расчетом.

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

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

для периода разогрева бетона;

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

для периода изотермического прогрева,

где ℓ и d – длина и диаметр прогреваемого участка свай, м;
 P' – удельная мощность электропрогрева, кВт/м³, 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 бетоном 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 свай, 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 свай с мерзлым грунтом:

- а) прочность бетона в возрасте τ , сут $-R_{\tau}$ (% от $R_{28}^{н\text{у}}$);
- б) максимальная толщина слоя оттаивания окружающего свай мерзлого грунта $-\delta$ (см);
- в) время смерзания грунта со свай (время понижения температуры грунта в приконтактной со свай зоне до 0°C) $-\tau_{см}$ (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 свай или по поперечному сечению монолитного участка комбинированной свай 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 $\tau_{пр.}$, час;
температура мерзлого грунта оснований $t_{гр.}$, °С;
объемная влажность мерзлого грунта $W_{ок}$, кг/м³.

Группа Б

удельный расход, вид и марка применяемого цемента;
температурный градиент в грунте по длине сваи;
соотношение диаметров сборного элемента и монолитного участ-
ка комбинированной сваи.

5.6. Оценка влияния факторов группы А на искомые величины R_{τ_1} , δ и $\tau_{см}$ производится путем нахождения их промежуточных значений $R_{\tau_1}^{\circ}$, δ° и $\tau_{см}^{\circ}$ с использованием соответствующих таблиц (см. прил. I-3) при следующих фиксированных значениях факторов группы Б:

рассматривается бетон без химических добавок на среднеаллю-
минатном портландцементе марки Мц 400, при расходе цемента 400 кг
на 1 м³ бетона и суммарном тепловыделении 1 м³ бетона, равном
 $135 \cdot 10^3$ кДж (при твердении в течение 28 сут в нормальных условиях);

для комбинированных свай в зимний период значение температур-
ного градиента в грунте по вертикали составляет 0,5-1,5°С /м на
глубине 3-5 м и 1,5-4°С /м на глубине до 3 м;

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

соотношение диаметров сборного элемента и монолитного участ-
ка комбинированной сваи равно 0,65.

Здесь $\tau_1 = 14$ и 28 сут соответственно при термосном выдержи-
вании и электропрогреве уложенного бетона.

5.7. Расчет величин R_{τ_1} , δ и $\tau_{см}$ с учетом влияния факторов
группы Б производится по следующим формулам:

$$R_{\tau_1} = K_{1R} \cdot K_{2R} \cdot K_{3R} \cdot K_{4R} \cdot R_{\tau_1}^{\circ} ; \quad (5.1)$$

$$\tau_{см} = K_{1\tau} \cdot K_{2\tau} \cdot K_{3\tau} \cdot K_{4\tau} \cdot \tau_{см}^{\circ} ; \quad (5.2)$$

$$\delta = K_{1\delta} \cdot K_{2\delta} \cdot K_{3\delta} \cdot K_{4\delta} \cdot \delta^{\circ} . \quad (5.3)$$

Здесь K_{1R} , $K_{1\tau}$ и $K_{1\delta}$ - поправочные коэффициенты (см. п.п. 5.16-5.21).

5.8. При расчете величин $R_{\tau_1}^{\circ}$, $\tau_{см}^{\circ}$, δ° с использованием таб-

лиц прил. I-3 принят приведенный в пп. 5.9-5.13 порядок задания значений исходных факторов группы А.

5.9. За начальную температуру бетона $t_{с.н.}$ 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.

5.10. За время изотермического прогрева бетона $T_{пр.}$, час, принимается условное время поддержания в нем постоянной температуры, равной 45°C при разогреве бетона от 5°C в течение 12 час.

Приведение общей длительности электропрогрева $T_{пр.ф}$ в режиме, близком к изотермическому, в диапазоне температур $30-60^{\circ}\text{C}$ к величине $T_{пр.}$ производится по формуле:

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

где $Q' = \int_{t_0}^{T_{пр.ф}} t_{пр}(\tau) d\tau$, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{час}$, — интегральная характеристика режима электропрогрева бетона, численно равная площади под кривой фактического температурного состояния бетона, построенной в координатах $T_{пр} - t_{пр.}$;

45 — расчетная температура изотермического электропрогрева бетона, $^{\circ}\text{C}$;

240 — сумма градусочасов, необходимая для равномерного подъема температуры бетона от 5 до 45°C в течение 12 час.

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

5.12. 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 бетонировани-

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

$$W_{об} = \gamma_{ск} (W_c - W_H), \quad (5.5)$$

где $\gamma_{ск}$ — плотность скелета грунта, кг/м³;

W_c — суммарная влажность грунта, доли единицы;

W_H — весовое содержание незамерзшей воды в грунте, доли единицы, определяемое согласно п.2.12 главы СНиП П-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 $d_{об}$, $t_{с.н.}$, $t_{гр.}$, $t_{гр.}$, 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_{1L} , K_{1c} , K_{1B} (где $L = 1...4$).

5.17. Изменение состава бетона приводит к изменению суммарного тепловыделения бетона, что в случае термического остывания бетона существенно влияет на величины $\tau_{сн}$ и δ и в меньшей степени влияет на R_c . Это влияние учитывается введением коэффициентов K_{1R} , K_{1c} , K_{1B} (рис.3 и 4, прил.4). При этом для буронабивных свай: $K_{1R} = 1,0$; $0,75 \leq K_{1c} = K_{1B} \leq 1,25$, для комбинированных свай: $K_{1R} = 1,0$ при $R_c^o < 50\% R_{20}^{NY}$ и $0,95 \leq K_{1R} \leq 1,05$ при $R_c^o \geq 50\% R_{20}^{NY}$; $0,85 \leq K_{1c} = K_{1B} \leq 1,15$.

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-

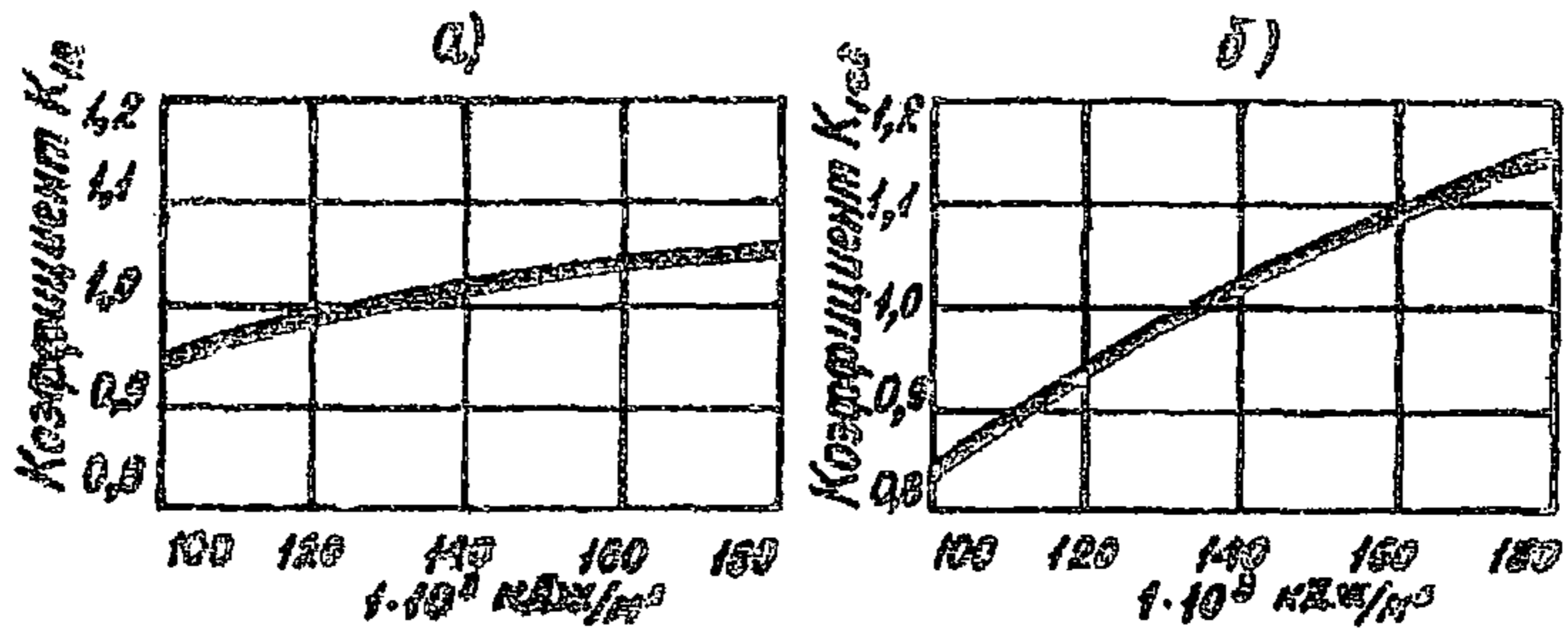


Рис.3. Значение коэффициента K_1 для показателей R (а) и τ, δ (б) комбинированных свай, где 100-180 - суммарное тепловыделение бетона за период 28 сут твердения в нормальных условиях ($1 \cdot 10^9 \text{ кДж/м}^3$). Показатели R, δ, τ приведены в табл. I-3.

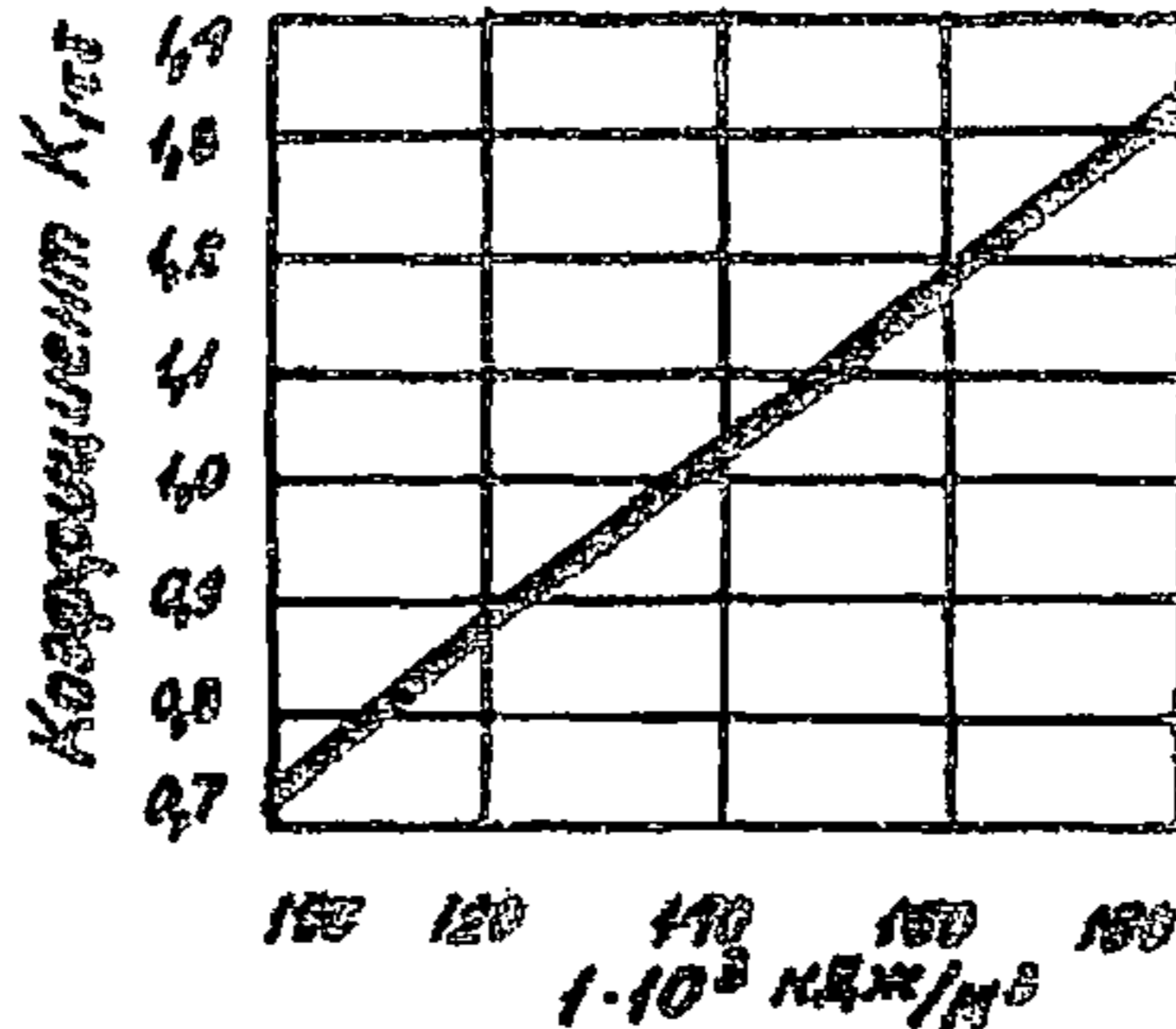


Рис.4. Значение коэффициента K_1 для показателей τ и δ буронабивных свай, где 100-180 - суммарное тепловыделение бетона за период 28 сут твердения в нормальных условиях ($1 \cdot 10^9 \text{ кДж/м}^3$)

мерзлый грунт, при этом принимается

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

5.18. Наличие температурного градиента в грунте по вертикали при устройстве буронабивных свай методом термоса учитывается с помощью коэффициента K_2 . Величине температурного градиента 1,5-3 $^{\circ}$ С/м соответствуют следующие значения коэффициента K_2 :

$$K_{2R} = 0,95-0,9; K_{2\tau} = 0,85-0,7 \text{ и } K_{2\delta} = 1,0 .$$

При устройстве комбинированных свай принимается

$$K_{2R} = K_{2\tau} = K_{2\delta} = 1,0 .$$

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 $\tau_{см}$ следует учитывать повышенное схлаждение нижней части сваи на высоту $1-1,5 d_{св}$, 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 $\tau_{см}$ превышает 14 сут при термосном выдерживании и 28 сут при электропрогреве бетона, определение относительной прочности бетона в возрасте τ , где $14(28) < \tau < \tau_{см}$, производится по формулам

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

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

где $\Delta R_{\tau-14}$ ($\Delta R_{\tau-28}$) — прирост прочности бетона за период $\tau-14$ ($\tau-28$) 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 $\tau-14$ ($\tau-28$). 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°C. Тогда эквивалентное время твердения бетона при нормальных условиях за период $\tau - 14$ ($\tau - 28$) сут определяется из выражений

$$\tau_9 = \frac{\tau - 14}{3,12} ; \quad (5.8)$$

$$\tau_9 = \frac{\tau - 28}{3,12} . \quad (5.9)$$

5.24. В прил. I 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:

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

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 свай $d_{св.}$, температуры грунта $t_{гр.}$, температуры свежеложенного бетона $t_{с.н.}$.

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

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

б) назначение технологии выдерживания бетона, параметров технологических процессов ($t_{с.н.}$, расход ζ и марка цемента M_c , $\tau_{гр.}$ и схемы подключения) в зависимости от значения факторов $d_{св.}$, $d_{св.э}$, $t_{гр.}$, $W_{ос}$ и требуемых значений показателей R_c , 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 $d_{св} = 1000 \text{ мм}$ и глубиной 12 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 $W_{об} = 290 \text{ кг/м}^3$. Температура свежеложенного бетона $t_{н.н.} = 12^{\circ}\text{C}$. Электропрогрев бетона производится на глубину 2,5 м, ниже бетон выдерживается методом термоса.

Требуется определить время смерзания буронабивной свай с грунтом $\tau_{см}$, толщину слоя оттаивания вечномерзлого грунта основания δ и относительную прочность бетона R в возрасте 14 сут и в возрасте $\tau_{см}$.

Расчет проводится в следующей последовательности.

По таблице прил. I данных рекомендаций находятся величины R_{14}° , $\tau_{см}^{\circ}$, δ° .

$$R_{14}^{\circ} = 68,5\% R_{28}^{н.н.}; \quad \delta^{\circ} = 0,19 \text{ м}; \quad \tau_{см}^{\circ} = 58 \text{ сут.}$$

По рис.4 находятся значения поправочных коэффициентов K_1 , учитывающих удельный расход цемента $\Pi = 480 \text{ кг/м}^3$;

$$K_{1R} = 1,0; \quad K_{1\tau} = K_{1\delta} = 1,2.$$

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.5.19, поправочные коэффициенты K_3 для буронабивных свай равны 1.

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_{14} , $\tau_{см}$, δ определяются по формулам (1)-(3):

$$R_{14} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 68,5 = 61,7\% R_{28}^{н.н.};$$

$$\tau_{см} = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 58 = 63 \text{ суток};$$

$$\delta = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,19 = 0,21 \text{ м.}$$

В запас надежности расчета принимаем, что в период времени от 14 до 63 сут температура бетона близка к 0°C. Эквивалентное время твердения бетона при 20°C определяется по формуле (8):

$$\tau_{\text{э}} = \frac{63 - 14}{3,12} = 15,7 \text{ сут.}$$

Учитывая R_{14} и $\tau_{\text{э}}$ по соответствующим графикам (см. п. 5.23), определяется прирост прочности бетона за период 63-14 = 49 сут:

$$\Delta R_{63-14}^{\circ} = 32,8\%.$$

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

$$R_{63} = 61,7 + 0,9 \cdot 32,8 = 91,2\% R_{28}^{\text{н.н.}},$$

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

При прорезании свай горизонтов вечномёрзлых 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°C при соответствующей влажности) за период с 14 по 30 сут:

$$\tau_{\text{э}} = \frac{30 - 14}{3,12} = 5,1 \text{ сут.}$$

По графику набора прочности бетона данного состава определим прочность бетона сваи на 14 сут при $R_{30} = 80\% R_{28}^{\text{н.н.}}$ и $\tau = \tau_{\text{э}} \cdot K_{\tau} = 4,6$ сут:

$$R_{14} = 62\% R_{28}^{\text{н.н.}}, \text{ отсюда } R_{14}^{\circ} = \frac{R_{14}}{K_{4R}} = \frac{62}{0,9} = 68,9\% R_{28}^{\text{н.н.}}.$$

Значению относительной прочности бетона $R_{14}^{\circ} = 68,9\%$ соответствует найденная путем интерполяции по таблице прил. I начальная температура бетона $t_{\text{с.н.}} = 13^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, получение 80% проектной прочности бетона на 30 сут после бетонирования возможно при начальной температуре бетона, уложенного в скважину, не ниже 13°C.

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 Мц400 на 1 м³ бетона составляет 440 кг.

Температура бетонной смеси после укладки в скважину 35°С. Температурный режим грунта на период производства работ и конструкция сваи приведены на рис. 7. Грунт — мерзлый суглинок с объемной влажностью $W_{об} = 250$ кг/м³.

Ход решения задачи следующий.

Первоначально по формуле (5.10) и по таблицам прил. 2, 5 данных Рекомендаций определяется прочность бетона (в % к $R_{28}^{н.у.}$) в возрасте 28 и 180 сут для свай диаметром монолитной части 600 и 1000 мм при исходных данных: $t_{с.н.} = 35^{\circ}\text{C}$; $t_{гр.} = -4^{\circ}\text{C}$; $W_{об} = 250$ кг/м³. В результате двойной интерполяции полученных результатов имеем относительную прочность бетона сваи $d_{св} = 800$ мм в возрасте $\tau = 60$ сут, равную 61,7% $R_{28}^{н.у.}$. Корректировку результата производим с помощью коэффициента K_1 , учитывающего реальный состав бетона через величину суммарного тепловыделения 941 м³ бетона за 28 сут твердения в нормальных условиях. $ЭЦ = 335 \cdot 440 = 147,4 \cdot 10^3$ кДж/м³. При этом $K_1 = 1,12$ (см. рис. 4).

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

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

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 14 сут R_{14} ,
 время омерзания $\tau_{см}$ и толщина слоя оттаивающего грунта δ
 для буронабивных свай при термосном выдерживании бетона

Диаметр свай $d_{св.}$ мм	Температура грунта $t_{гр.}$ °C	Температура уложенного бетона $t_{б.}$, °C	Объемная влажность мерзлого грунта $W_{об}$, кг/м ³								
			200			350			500		
			R , % $R_{28}^{н.в.}$	$\tau_{см}$, сут	δ , м	R , % $R_{28}^{н.в.}$	$\tau_{см}$, сут	δ , м	R , % $R_{28}^{н.в.}$	$\tau_{см}$, сут	δ , м
600	-1	10	65,3	64	0,14	64,5	64	0,08	62,9	64	0,06
		25	70,7	89	0,21	70,0	89	0,13	68,9	89	0,08
		40	73,3	120	0,27	72,8	120	0,18	71,8	120	0,12
	-3	10	54,0	0	0,08	52,2	0	0,05	49,2	0	0,03
		25	62,1	14	0,14	61,0	14	0,08	59,2	14	0,06
		40	68,3	20	0,20	67,6	20	0,13	66,0	20	0,08
	-5	10	40,7	0	0	37,1	0	0	31,8	0	0
		25	51,2	5	0,07	49,3	5	0,05	46,0	5	0,03
		40	60,0	7	0,13	58,6	7	0,09	56,6	7	0,06
1000	-1	10	73,5	142	0,30	72,2	142	0,20	70	142	0,14
		25	77,5	172	0,38	76,8	172	0,25	75,1	172	0,18
		40	78,8	192	0,46	78,5	192	0,31	77,1	192	0,22
	-3	10	67,3	26	0,21	65,0	26	0,12	61,7	26	0,09
		25	73,5	42	0,29	72,4	42	0,19	70,0	42	0,15
		40	76,9	56	0,37	76,6	56	0,25	74,6	56	0,18
	-5	10	58,0	16	0,12	55,1	16	0,06	49,3	16	0,04
		25	67,5	22	0,20	65,9	22	0,12	62,4	22	0,08
		40	73,8	26	0,28	72,6	26	0,18	70,0	26	0,13
1400	-1	10	78,7	216	0,44	77,3	216	0,29	74,6	216	0,23
		25	82,7	252	0,54	82,1	252	0,38	81,1	252	0,28
		40	85,5	280	0,64	85,4	280	0,46	85,3	280	0,34
	-3	10	77,3	72	0,32	75,5	72	0,22	72,2	72	0,16
		25	81,7	96	0,42	80,8	96	0,28	79,4	96	0,22
		40	84,6	112	0,52	84,4	112	0,37	84,2	112	0,27
	-5	10	73,1	32	0,20	70,4	32	0,13	65,5	32	0,09
		25	78,9	40	0,31	77,5	40	0,19	75,0	40	0,15
		40	83,2	48	0,41	82,7	48	0,27	82,0	48	0,20

Приложение 2

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

Диаметр свай $d_{св}$, мм	Температура грунта $t_{гр}$, °C	Температура уложенного бетона $t_{с.н.}$, °C	Объемная влажность мерзлого грунта $W_{об}$, кг/м								
			200			350			500		
			$R, \% R_{28}^{н.к.}$	$T_{см}, сут$	$\delta, м$	$R, \% R_{28}^{н.к.}$	$T_{см}, сут$	$\delta, м$	$R, \% R_{28}^{н.к.}$	$T_{см}, сут$	$\delta, м$
600	-1	10	45,7	26	0,11	45,0	25	0,10	44,7	24	0,09
		30	50,6	34	0,16	50,3	33	0,13	50,0	33	0,11
		50	57,1	44	0,25	56,9	43	0,19	56,7	43	0,16
	-3	10	33,6	10	0,09	33,0	9	0,08	32,5	8	0,01
		30	39,7	16	0,13	39,1	16	0,11	38,8	15	0,08
		50	48,0	22	0,20	47,7	22	0,16	47,0	21	0,13
	-5	10	20,3	4	0	19,8	3	0	19,3	2	0
		30	29,3	6	0,1	28,8	5	0,09	28,4	4	0
		50	38,1	8	0,17	37,8	7	0,14	37,4	6	0,11
1000	-1	10	54,4	33	0,12	52,3	32	0,10	50,0	32	0,08
		30	60,8	42	0,20	59,0	41	0,16	57,0	40	0,12
		50	71,5	50	0,36	68,9	50	0,27	66,8	49	0,20
	-3	10	41,6	17	0,07	39,8	16	0,06	38,0	15	0
		30	50,6	23	0,15	48,7	22	0,12	46,3	21	0,09
		50	62,0	29	0,28	59,7	28	0,20	57,9	27	0,15
	-5	10	29,5	9	0,0	28,1	7	0,0	26,9	5	0,0
		30	40,8	11	0,12	39,2	10	0,09	37,2	9	0,03
		50	54,3	13	0,22	52,3	12	0,18	50,0	11	0,13
1400	-1	10	54,0	37	0,20	53,1	36	0,15	51,9	35	0,10
		30	63,4	47	0,30	62,5	46	0,26	61,4	45	0,21
		50	74,8	56	0,50	73,6	56	0,40	72,9	54	0,31
	-3	10	44,6	22	0,14	43,6	21	0,09	42,6	20	0,04
		30	55,9	28	0,26	54,8	27	0,21	53,8	26	0,15
		50	67,7	35	0,42	66,6	34	0,33	65,6	33	0,26
	-5	10	35,0	11	0,08	33,9	10	0,03	33,1	9	0,0
		30	47,4	16	0,22	46,4	15	0,16	45,5	13	0,10
		50	61,0	21	0,36	60,0	20	0,28	59,0	19	0,20

Приложение 3

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

Диаметр свай $d_{св},$ мм	Температура грунта $t_{гр},$ °C	Время прогрева $T_{пр},$ час	Объемная влажность мерзлого грунта $W_{об},$ кг/м ³								
			200			350			500		
			$R_{28},$ % $R_{28}^{н}$	$\delta,$ м	$T_{сн},$ сут	$R_{28},$ % $R_{28}^{н}$	$\delta,$ м	$T_{сн},$ сут	$R_{28},$ % $R_{28}^{н}$	$\delta,$ м	$T_{сн},$ сут
600	-I	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	-I	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	-I	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 свай.

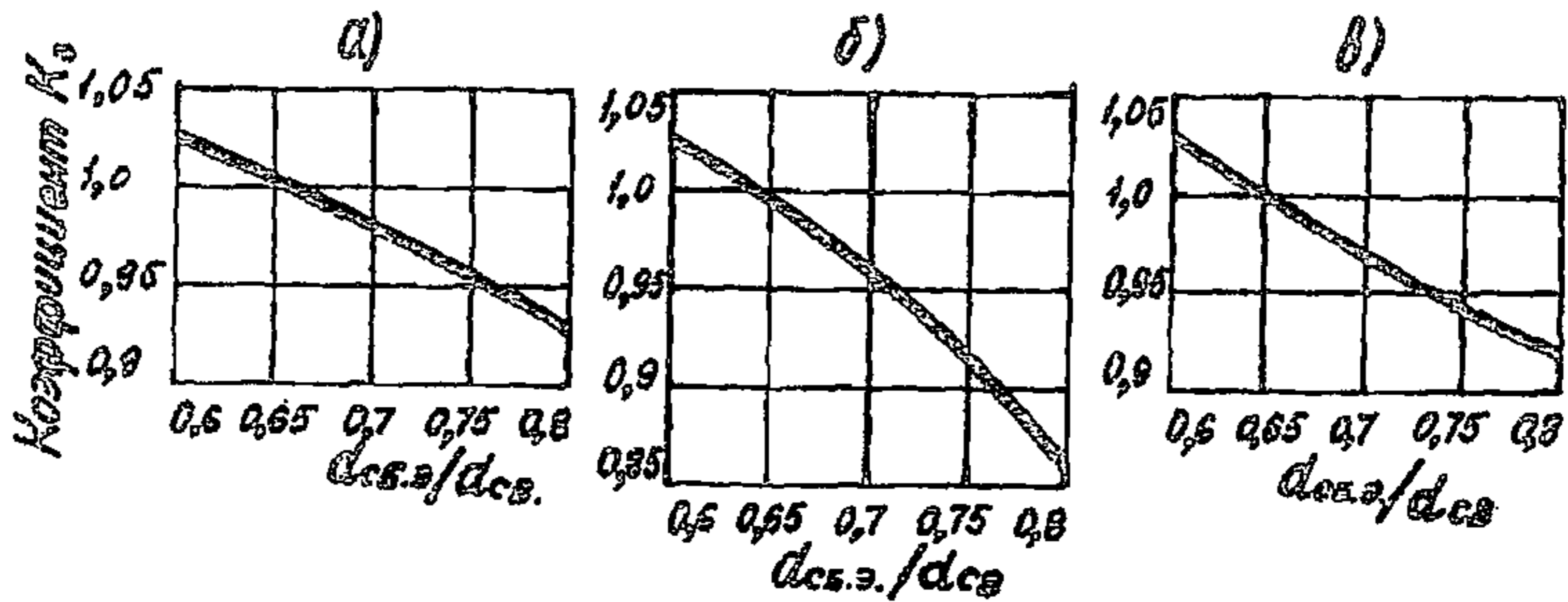


Рис.5. Значение коэффициента K_3 для показателей R (а), δ (б) и τ (в) комбинированных свай, где 0,6–0,8 – соотношение диаметров сборного элемента и монолитной части свай ($d_{св.з.}/d_{св.}$). Показатели R , δ и τ приведены в табл. I–3

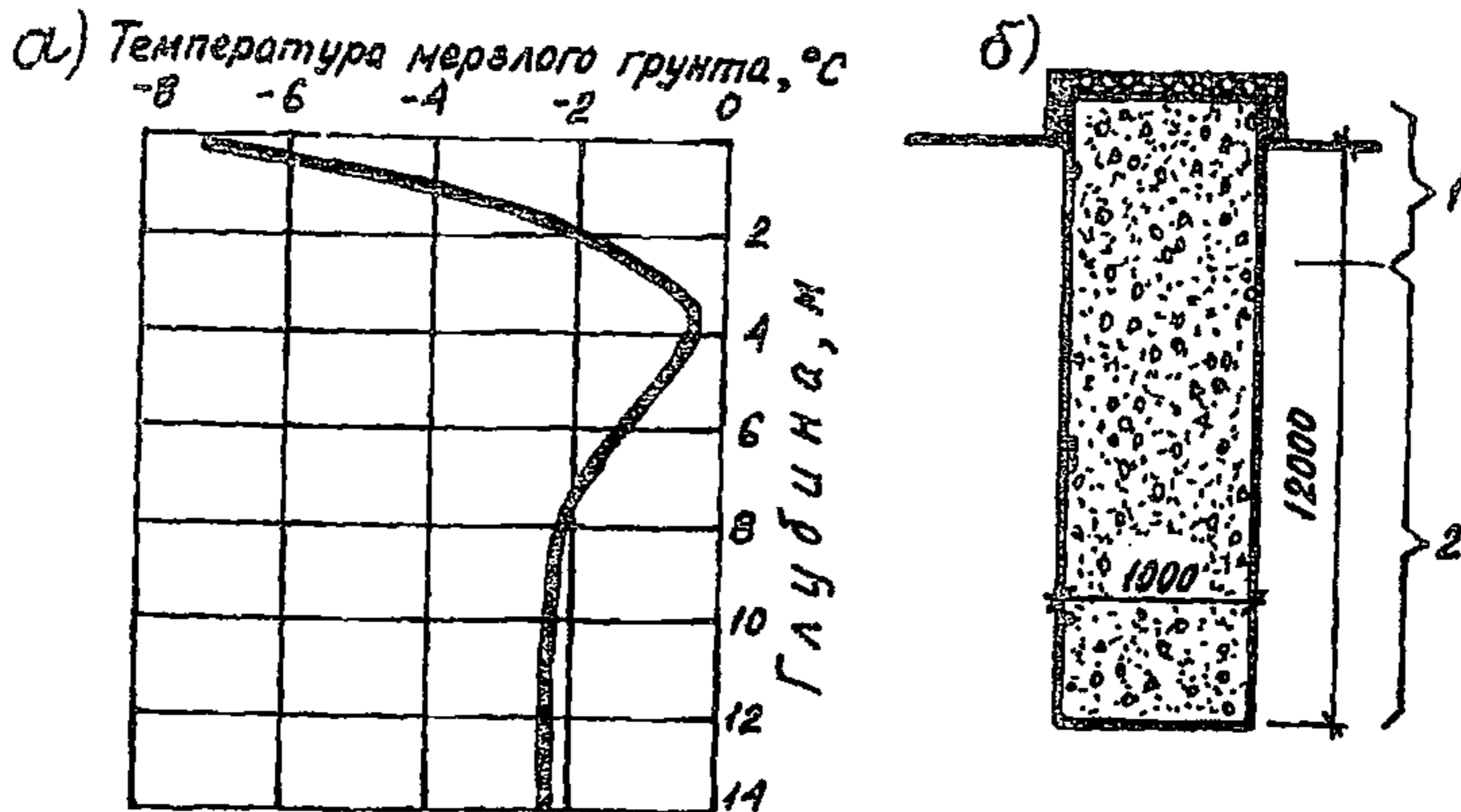


Рис.6. Температура грунта (а) и схема буронабивной свай (б): I – зона электропрогрева бетона, 2–зона термосного выдерживания бетона

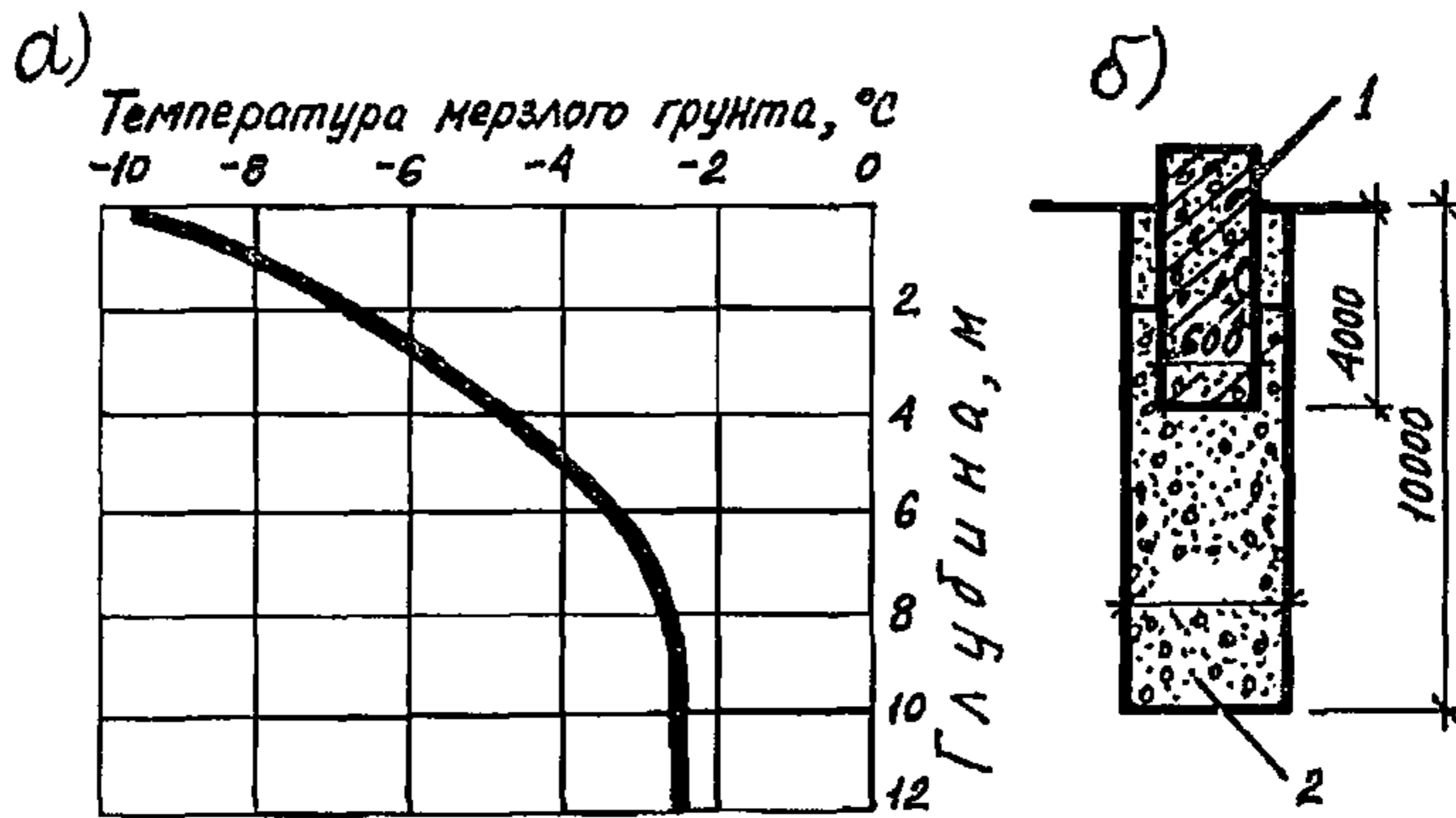


Рис.7. Температура грунта (а) и схема комбинированной связи (б): 1-сборный железобетонный элемент, 2-монолитный бетон

Приложение 5

Значения коэффициентов n_1 и n_3 для расчета показателей $R_{25} (n_1)$ и $R_{150} (n_3)$ комбинированных свай

Диаметр свай $d_{св}$, мм	$t_{гр}, ^\circ C$	-I			-3			-5		
	$t_{с.к.}, ^\circ C$	10	30	50	10	30	50	10	30	50
600	n_1	1,4	1,35	1,3	1,4	1,35	1,3	1,4	1,35	1,3
	n_3	2,05	1,85	1,65	2,7	2,3	1,95	3,65	2,75	2,2
1000, 1400	n_1	2,3	1,25	1,2	1,3	1,25	1,2	1,3	1,15	1,1
	n_3	1,75	1,6	1,4	2,2	1,85	1,55	2,6	2,05	1,7

Значение коэффициентов n_1 и n_2 для расчета показателей $R_{25} (n_1)$ и $R_{90} (n_2)$ буронабивных свай

Диаметр свай $d_{св}$, мм	$t_{гр}, ^\circ C$	-I			-3			-5		
	$t_{с.к.}, ^\circ C$	10	30	50	10	30	50	10	30	50
600	n_1	1,25	1,17	1,12	1,09	1,1	1,14	1,22	1,12	1,06
	n_2	1,5	1,41	1,28	1,15	1,3	1,24	1,89	1,44	1,25
1000	n_1	1,17	1,12	1,1	1,25	1,15	1,1	1,15	1,18	1,12
	n_2	1,39	1,3	1,27	1,37	1,29	1,25	1,41	1,28	1,18
1400	n_1	1,12	1,08	1,06	1,13	1,09	1,06	1,19	1,1	1,01
	n_2	1,3	1,2	1,14	1,31	1,22	1,15	1,27	1,2	1,15