ОДМ 218.2.050–2015

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ СВАЙНЫХ ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫХ СООРУЖЕНИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

Москва 2017

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН обществом с ограниченной ответственностью «НТЦ ГеоПроект» (ООО «НТЦ ГеоПроект»).

Коллектив авторов: д-р техн. наук, проф. С.И. Маций, канд. техн. наук, доц. Ф.Н. Деревенец, канд. техн. наук Н.Н. Любарский, магистр Д.В. Лейер, инж. Е.А. Сергиенко.

2 ВНЕСЕН Управлением научно-технических исследований и информационного обеспечения, Управлением проектирования и строительства автомобильных дорог Федерального дорожного агентства.

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 17.08.2015 № 1470-р.

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Общие положения 5
5 Исходные материалы для расчета и проектирования свайных противооползневых сооружений 6
5.1 Общие положения 6
5.2 Требования к инженерно-геодезическим изысканиям 7
5.3 Требования к инженерно-геологическим изысканиям 8
5.4 Требования к расчетам устойчивости склона 9
5.5 Нагрузки и воздействия 10
6 Проектирование свайных противооползневых сооружений 11
6.1 Общие положения 11
6.2 Конструктивные решения комплекса противооползневых сооружений 11
6.3 Определение мест расположения свайных противооползневых сооружений на склоне 19
6.4 Расчеты свайных противооползневых сооружений 24
6.5 Конструирование свайных противооползневых сооружений 31
7 Строительство свайных противооползневых сооружений 36
7.1 Общие положения 36
7.2 Порядок производства работ, очередность, сроки 37
7.3 Производство земляных работ 38
7.4 Водоотвод и водопонижение 39
7.5 Контроль качества работ 40
8 Геотехнический мониторинг свайных противооползневых сооружений 40
Приложение А (обязательное) Методика определения предельного оползневого давления (из условия непродавливания грунта между сваями) и распределения давлений грунта между рядами свай 47
Приложение Б (обязательное) Предельные величины оползневого давления из условия непродавливания грунта между сваями двухрядного удерживающего сооружения 48

Приложение В (обязательное) Распределение оползневых давлений между сваями двухрядного удерживающего сооружения 58
Приложение Г (обязательное) Пример выбора конструктивных решений свайных противооползневых сооружений 68
Приложение Д (обязательное) Пример расчета свайного противооползневого сооружения 72
Библиография 82

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Методические рекомендации по расчету и проектированию свайных противооползневых сооружений инженерной защиты автомобильных дорог

1 Область применения

1.1 Настоящий отраслевой дорожный методический документ (далее – методический документ) распространяется на расчеты и проектирование свайных противооползневых сооружений в условиях защиты склонов и размещенных на них инженерных объектов от оползневых процессов на территориях с сейсмичностью до 9 баллов включительно по шкале MSK-64.

1.2 В настоящем методическом документе приведены указания по выбору конструктивных решений, месторасположению на склоне, а также изложена методика расчета свайных противооползневых сооружений.

1.3 Настоящий методический документ предназначен для применения в области проектирования, обследования и экспертной оценки существующих и проектируемых свайных противооползневых сооружений в составе мероприятий инженерной защиты автомобильных дорог.

2 Нормативные ссылки

В настоящем методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 5686–2012 Грунты. Методы полевых испытаний сваями

ГОСТ 12248–2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости

ГОСТ 20522–2012 Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний

ГОСТ 32960–2014 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения

СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах (актуализированная редакция СНиП II–7–81*)

СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия (актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*)

СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений (актуализированная редакция СНиП 2.02.01–83*)

СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты (актуализированная редакция СНиП 2.02.03–85)

СП 28.13330.2012 Защита строительных конструкций от коррозии (актуализированная редакция СНиП 2.03.11–85)

СП 35.13330.2011 Мосты и трубы (актуализированная редакция СНиП 2.05.03–84*)

СП 45.13330.2012 Земляные сооружения, основания и фундаменты (актуализированная редакция СНиП 3.02.01–87)

СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 11–02–96)

СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 52–01–2003)

СП 116.13330.2012 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 22–02–2003)

СП 11–105–97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов

СП 11–105–97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть IV. Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов

СП 52–101–2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры

3 Термины и определения

В настоящем методическом документе применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **верховое противооползневое сооружение:** Конструкция инженерной защиты, расположенная относительно рассматриваемого объекта со стороны верхового склона.

3.2 **верховой склон:** Часть склона, расположенная выше относительно рассматриваемого объекта.

3.3 **временная стабилизация оползня:** Стадия приостановки оползневых смещений в результате вновь приобретенной устойчивости оползневого склона.

3.4 **геотехнические расчеты:** Расчеты в области механики грунтовых масс (в частности, на склонах), а также взаимодействия грунта с подземными частями зданий и сооружений.

3.5 **геотехническое обоснование:** Расчетные и опытные работы с целью оценки и прогнозирования поведения грунтов (в частности, на склонах) и их взаимодействия с подземными частями зданий и сооружений.

3.6 **голова оползня:** Верхняя по склону часть оползневого массива.

3.7 **давление непродавливания:** Предельная величина оползневого давления на свайное противооползневое сооружение из условия непродавливания грунта между сваями.

3.8 **защитное противооползневое сооружение:** Конструкция, отклоняющая смещения оползневого грунта от защищаемого объекта и работающая в условиях обтекания грунтом.

3.9 **коренная порода:** Порода, не испытавшая перемещения в результате денудационных процессов или не выветрелая до состояния элювия.

3.10 **коэффициент устойчивости (запаса устойчивости):** Числовая величина, отражающая степень устойчивости склона; если коэффициент больше единицы, склон (откос) считается устойчивым, меньше единицы – имеет место нарушение устойчивого состояния склона и наступление оползневой стадии, приблизительно равный единице, означает состояние предельного равновесия грунтового массива, как правило, предшествующее оползневой стадии.

3.11 **низовое противооползневое сооружение:** Конструкция инженерной защиты, расположенная относительно рассматриваемого объекта со стороны низового склона.

3.12 **низовой склон:** Часть склона, расположенная ниже относительно рассматриваемого объекта.

3.13 **нормативный коэффициент устойчивости (требуемый, допустимый):** Минимально допустимый коэффициент устойчивости склона (откоса) с учетом всех возможных погрешностей исходных данных и средств математической их обработки для оценки степени устойчивости склонов.

3.14 **опасный геологический процесс:** Изменение состояния приповерхностной части литосферы (геологической среды), обусловленное естественными или техногенными причинами, которое может привести к негативным последствиям для человека, объектов хозяйства и окружающей среды.

3.15 **оползень:** Смещение горных пород со склонов, бортов карьеров, строительных выемок под действием веса грунта, объемных и

поверхностных сил; различают следующие оползни: скольжения, выдавливания, вязкопластические, внезапного разжижения, гидродинамического разрушения.

3.16 **оползневое давление:** Результирующая сила давления, распределенного по глубине оползневого или оползнеопасного массива грунта, на противооползневые сооружение, определяемая как погонная нагрузка по ширине оползня, кН/пог. м.

3.17 **оползневой склон:** Склон, на котором происходят или происходили в прошлом оползневые деформации пород.

3.18 **откос:** Вертикальный или крутонаклонный участок поверхности земли, сформированный в результате рельефообразующих процессов или инженерно-хозяйственной деятельности человека.

3.19 **поверхность скольжения:** Поверхность, по которой смещается оползневой грунтовый массив.

3.20 **подпорная стена:** Сооружение, предназначенное для противодействия боковому (откосному) давлению со стороны удерживаемого грунта.

3.21 **противооползневое сооружение глубокого заложения:** Свайное, свайно-анкерное или анкерное сооружение, предназначенное для компенсации недостатка удерживающих и (или) избытка сдвигающих усилий в оползневом массиве с учетом всех существующих и прогнозируемых неблагоприятных условий и их сочетаний.

3.22 **противооползневые мероприятия:** Комплекс мер по повышению степени устойчивости, а также защите склонов и расположенных на них объектов от существующих и (или) прогнозируемых оползневых явлений, включающий:

- регулирование баланса земляных масс на склоне;
- устройство противоэрозионных конструкций;
- регулирование поверхностного и подземного стоков с устройством водоотводных, дренажных и противофильтрующих конструкций;
- возведение противооползневых сооружений глубокого заложения, подпорных и подпорно-планировочных стен и др.

3.23 **противоэрозионные мероприятия:** Материалы, конструкции и работы, направленные на защиту грунтов склона от поверхностной (смыв и размыв грунта, образование промоин) и глубинной эрозий.

3.24 **склон:** Наклонный участок поверхности земли, сформированный в результате действия рельефообразующих процессов или инженерно-хозяйственной деятельности человека.

3.25 **удерживающее противооползневое сооружение:** Конструкция, препятствующая или создающая стесненные условия для смещений оползневого грунта.

3.26 **язык оползня:** Нижняя по склону часть оползневого массива.

4 Общие положения

4.1 Проект свайных противооползневых сооружений должен быть обоснован материалами инженерных изысканий, геотехническими расчетами и расчетами конструкций.

4.2 Основными принципами проектирования сооружений инженерной защиты, в частности свайных противооползневых сооружений, являются:

- надежность конструкции (способность сооружения воспринимать нагрузку на протяжении всего срока службы без нарушения условий нормальной эксплуатации защищаемых им объектов и территорий);
- скорость возведения (сооружение на территориях развития активных оползневых процессов должно быть построено в кратчайший срок);
- экономическая эффективность;
- максимальное использование удерживающей способности грунтов, расположенных ниже оползневых масс;
- широкое применение современных технологий, оборудования и механизмов, а также последних достижений в области механики грунтов и фундаментостроения.

4.3 Проектирование противооползневых сооружений должно производиться с учетом изменения степени устойчивости склона на каждом этапе строительства. Сооружение конструкций инженерной защиты не должно приводить к критическому снижению коэффициентов общей и локальной устойчивости склона.

4.4 До введения противооползневых сооружений в эксплуатацию следует строго придерживаться технологической последовательности выполнения определенных проектом строительных работ на оползневых склонах.

4.5 Проектирование и строительство противооползневых сооружений на территориях развития активных оползневых процессов необходимо предусматривать в максимально сжатые сроки и при условии соблюдения соответствующего качества указанных работ.

5 Исходные материалы для расчета и проектирования свайных противооползневых сооружений

5.1 Общие положения

5.1.1 Расчет и проектирование свайных противооползневых сооружений инженерной защиты автомобильных дорог должны осуществляться на основании результатов комплекса изысканий, выполняемых специализированными проектно-изыскательскими организациями, с привлечением (в случае необходимости) научно-исследовательских структур.

Комплекс изысканий должен включать инженерно-геодезические и инженерно-геологические (при необходимости геофизические, микросейсмические и др.) изыскания, а также техническое обследование существующих зданий и сооружений. В составе инженерно-геологических изысканий должна быть выполнена оценка устойчивости склона и (при необходимости) расчеты оползневых давлений.

5.1.2 В рамках изысканий должны быть проведены:

- оценка хозяйственного и экологического значения территории и перспективы ее использования;
- оценка современного состояния существующих зданий и сооружений, дорог и коммуникаций с учетом выявленных у них деформаций;
- сбор сведений о выполненных ранее противооползневых мероприятиях, существующих сооружениях инженерной защиты, их состоянии, необходимости и возможности их ремонта, реконструкции и т. д.

5.1.3 Инженерные изыскания должны выполняться с соблюдением требований СП 47.13330.2012, СП 11–105–97 (часть II), рекомендаций [1].

5.1.4 Расчеты устойчивости склонов и оползневых давлений должны выполняться с учетом требований СП 116.13330.2012, рекомендаций [2].

5.1.5 Границы области изысканий должны охватывать весь оползневой или оползнеопасный склон в целом, устойчивость которого может быть нарушена как в процессе производства строительных работ, так и при эксплуатации защищаемого объекта. Границы должны по возможности простираться от прибровочной полосы до подошвы, включая элементы рельефа, служащие базисом смещения (дно реки, оврага, балки, прибрежную часть морского дна, речную террасу и др.).

5.1.6 Изыскания на отдельных локальных участках склона, являющихся частью более крупных оползневых систем, не могут служить

обоснованием проекта противооползневых мероприятий, в том числе и свайных сооружений.

5.1.7 Изыскания следует выполнять в возможно короткие сроки, непосредственно перед началом проектных работ. В случае изменения природной обстановки в период между изыскательскими и проектными работами должна быть проведена соответствующая корректировка материалов изысканий.

5.1.8 Объем и качество результатов изысканий и расчетов должны быть достаточны для определения основных геометрических и прочностных параметров удерживающих сооружений и их технической эффективности.

5.2 Требования к инженерно-геодезическим изысканиям

5.2.1 Для расчета и проектирования свайных противооползневых сооружений состав материалов инженерно-геодезических изысканий должен включать:

- топографические планы;
- продольные и поперечные профили существующих и проектируемых трасс автомобильных дорог и временных проездов;
- профили склона в направлении наибольшего уклона рельефа местности;
- продольные и поперечные профили относительно осевой линии проектируемых удерживающих сооружений.

5.2.2 Топографические планы должны отражать:

- современный рельеф местности и ситуацию;
- контуры существующих оползней, осыпей, обвалов;
- выходы подземных вод, источники природного и техногенного обводнения склона;
- места и характер деформаций зданий и сооружений, подземных и надземных коммуникаций.

Крупномасштабные топопланы также должны отражать:

- бровки срыва оползней;
- трещины и деформации поверхности земли на склоне (валы, гряды, западины);
- оползневые деформации растительности («саблевидный» или «пьяный» лес, нарушения дернового покрова);
- деформации покрытия дорог и площадок (трещины, просадки и пр.);
- участки заболоченности, мочажины и др.

5.2.3 Геодезические профили должны выполняться в неискаженном масштабе.

5.2.4 Выбор масштаба планов и профилей, количества и расположения профилей необходимо осуществлять в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

5.3 Требования к инженерно-геологическим изысканиям

5.3.1 Для расчета и проектирования свайных противооползневых сооружений состав материалов инженерно-геологических изысканий должен включать:

- анализ архивных материалов, обобщение опыта эксплуатации автомобильных дорог в аналогичных инженерно-геологических условиях;
- оценку геоморфологических условий территории с отображением отличительных особенностей оползней, форм микрорельефа, морфоэлементов внеоползневой зоны рельефа на морфологических картах; данные о наличии и типе растительности, положении стволов деревьев («пьяный» лес) и других признаков наличия оползней;
- определение геологического строения территории с выделением инженерно-геологических элементов;
- оценку гидрогеологических условий – выявление источников замачивания грунтов склона и основания земляного полотна (природных и техногенных); мест выхода струйных течений, наличия водоносных горизонтов (включая «верховодку»); источников и режимов их питания; фактического и прогнозируемого уровней грунтовых вод (УГВ); для склонов – модуля стока для расчетов эрозионной площади; при наличии в подножии откоса водотока – скоростей боковой и глубинной эрозий (фактической и прогнозной); агрессивность к бетонам;
- анализ климатических условий территории, включая распределение средних месячных осадков за годы 5 % , 50 % , 95 %-й обеспеченности;
- определение физико-механических свойств грунтов (в соответствии с ГОСТ 12248–2010, ГОСТ 20522–2012), прогнозирование изменения прочностных показателей по мере выветривания полускальных пород, выявление чувствительности грунтов к динамическим нагрузкам и диапазона колебаний влажности и плотности для набухающих грунтов;
- выявление неблагоприятных инженерно-геологических процессов и определение областей их распространения, размеров, мощности, активности, причин, факторов и повода их развития; определение сейсмичности участка;

- оценку состояния (эффективности работы) существующих сооружений, включая защитные;
- оценку оползневой опасности и оползневого риска на основе качественного, полуколичественного и количественного подходов в зависимости от стадийности проектирования и объема исходных данных;
- районирование (картирование) территории по степени проявления опасных склоновых процессов; классификацию участков по очередности проведения мероприятий инженерной защиты;
- разработку рекомендаций по инженерной защите трассы.

5.3.2 Определение физико-механических свойств грунтов должно включать измерение всех показателей, необходимых для расчетов свайных противооползневых сооружений. Конкретный состав показателей зависит от условий площадки инженерной защиты и применяемых методов расчета. В общем случае необходимо определение следующих физико-механических свойств грунтов:

- удельного веса, кН/м^3;
- показателя текучести (для пластичных грунтов);
- пористости (коэффициента пористости);
- удельного сцепления в грунте, кПа;
- угла внутреннего трения, град.;
- предела прочности на одноосное сжатие и растяжение (для полускальных и скальных пород), МПа;
- модуля деформации и коэффициента поперечного расширения (коэффициента Пуассона) при использовании упругопластической модели грунта;
- одометрического и секущего модулей при 50 %-й прочности грунта, а также модуля упругости при разгрузке в случае использования усовершенствованной упругопластической модели упрочняющегося грунта;
- коэффициента фильтрации.

5.3.3 Статистическую обработку данных необходимо производить с определением показателей, характеризующих изменчивость свойств грунтов (среднего арифметического, наибольшего и наименьшего значений, среднеквадратического отклонения, коэффициента вариации, асимметрию, эксцесс).

5.4 Требования к расчетам устойчивости склона

5.4.1 Определение необходимого объема и состава расчетов устойчивости склонов и оползневых давлений следует осуществлять в соответствии с указаниями подразделов 4.3 и 7.4 рекомендаций [2].

5.4.2 В общем случае результаты расчетов устойчивости склонов для обоснования и расчета свайных противооползневых сооружений инженерной защиты автомобильных дорог должны включать:

- оценку фактической устойчивости склона;
- корректировку исходных прочностных свойств грунтов расчетными методами (при необходимости);
- прогноз устойчивости склона и планово-высотного положения поверхностей скольжения с учетом развития неблагоприятных природных и техногенных факторов (выветривания грунтов склона, сейсмических воздействий, транспортных и строительных нагрузок и т. д.).

5.5 Нагрузки и воздействия

5.5.1 В расчетах свайных противооползневых сооружений инженерной защиты автомобильных дорог учитываются следующие нагрузки и воздействия:

$\frac{35}{17}$ постоянные:

- расчетный объемный вес грунта,
- вес расположенных на склоне зданий и постоянных сооружений;

$\frac{35}{17}$ временные:

- гидростатическое взвешивание,
- вес водонасыщенного грунта обводненной части,
- вес расположенных на склоне временных зданий и сооружений,
- транспортная и строительная нагрузки;

$\frac{35}{17}$ особые:

- действие грунтовых вод, отвечающее катастрофическому режиму уровня подземных вод редкой повторяемости,
- сейсмическая нагрузка (для районов с интенсивностью сейсмических воздействий 6 баллов или более).

5.5.2 При расчетах следует различать основные и особые сочетания нагрузок и воздействий. Основные сочетания нагрузок включают постоянные и временные, особые сочетания – постоянные, временные и особые.

5.5.3 Одновременное действие различных нагрузок и их сочетания устанавливаются исходя из физически реальных вариантов их одновременного действия и с учетом СП 20.13330.2011 (в части коэффициентов сочетания временных и особых нагрузок). Величины пешеходных и транспортных нагрузок рекомендуется определять с учетом СП 35.13330.2011 и ГОСТ 32960–2014.

6 Проектирование свайных противооползневых сооружений

6.1 Общие положения

6.1.1 Проектирование свайных противооползневых сооружений представляет сложный комплекс расчетно-конструкторских работ, который включает:

- выбор конструктивных схем в соответствии с решаемой задачей инженерной защиты;
- определение количества и мест расположения противооползневых конструкций на склоне;
- расчет противооползневых конструкций;
- оценку технической эффективности принятых проектных решений;
- конструирование элементов сооружения.

6.1.2 Конструктивные схемы комплекса свайных противооползневых сооружений определяются характером решаемой задачи и инженерно-геологическими условиями защищаемого объекта. В общем случае по выполняемой функции можно выделить следующие категории сооружений:

- удерживающие – препятствующие или создающие стесненные условия для смещений оползневого грунта;
- защитные – отклоняющие смещения оползневого грунта от защищаемого объекта или совмещающие функции фундамента объекта в условиях обтекания грунтом.

Особенности проектирования сооружений обеих категорий рассмотрены в соответствующих разделах настоящего методического документа.

6.2 Конструктивные решения комплекса противооползневых сооружений

6.2.1 Выбор необходимой конструкции противооползневых свайных сооружений и их месторасположение на оползневых или оползнеопасных территориях осуществляют на основании анализа и учета:

- особенностей склоновых территорий (оползневых, оползнеопасных);
- результатов комплексных инженерных изысканий в пределах оползнеопасных территорий или в районах проявления оползней и обвалов с охватом прилегающих территорий;

- данных, характеризующих проектируемые и существующие объекты, а также особенностей использования территорий;

- прогноза возможных изменений естественных условий, вызванных природными или техногенными факторами;

- прогноза изменений назначения и состояния защищаемых объектов;

- оценки материалов научно-исследовательских работ и моделирования, выполненных для выбора эффективных конструкций противооползневой защиты;

- требований архитектурно-планировочных решений по освоению территорий;

- опыта проектирования, строительства и эксплуатации инженерной защиты объектов в аналогичных условиях;

- технико-экономического сравнения вариантов инженерной защиты объектов, различающихся набором инженерных средств и методов, стоимостными и эксплуатационными показателями, эффективностью капитальных вложений;

- данных о местных строительных условиях, климатических особенностях, наличии карьеров строительных материалов, наиболее полном использовании местных строительных материалов и природных ресурсов;

- выполнения работ способами, которые не приводят к появлению новых и (или) интенсификации действующих оползневых очагов;

- требований по систематическим наблюдениям за состоянием территории и защищаемых объектов, за работой сооружений инженерной защиты в период строительства и эксплуатации (мониторинга);

- выбора мест установки контрольно-измерительных приборов (инклинометров и пр.), наблюдательных скважин, установки датчиков, постов, геодезических реперов, марок и других приборов для наблюдения в период строительства и эксплуатации за развитием влияния оползневых процессов на противооползневые сооружения и защищаемые объекты;

- правил технической эксплуатации сооружений инженерной защиты и организации работы службы технической эксплуатации;

- степени ответственности и ценности защищаемых территорий, зданий и сооружений, а также конструктивных и эксплуатационных особенностей последних;

- возможности использования проектируемых сооружений в качестве конструктивных элементов зданий и сооружений, которые планируется размещать на оползнеопасной территории.

6.2.2 Свайные противооползневые конструкции в зависимости от сочетания различных условий и конфигурации свайного поля подразделяются:

$\frac{35}{17}$ по расположению относительно защищаемого объекта (рисунок 1) на:

- низовые (расположенные со стороны низового склона),
- верховые (расположенные со стороны верхового склона),
- совмещенные (выполняющие функции фундамента объекта);

$\frac{35}{17}$ по мощности непосредственно удерживаемого массива грунта (рисунок 2) на:

- удерживающие всю оползневую толщу,
- удерживающие нижнюю часть оползневой толщи и создающие стесненные условия для грунта в условиях «переползания» конструкции;

$\frac{35}{17}$ по длине фронта удержания (рисунок 3) на:

- перекрывающие весь оползневой массив,
- локальные (отдельно стоящие) сооружения;

$\frac{35}{17}$ по выполняемой задаче инженерной защиты (рисунок 3) на:

- непосредственно удерживающие оползневой массив,
- создающие стесненные условия смещению оползневых масс,
- защищающие отдельный объект и работающие в условиях обтекания грунтом;

$\frac{35}{17}$ по протяженности удерживаемого оползневого склона на:

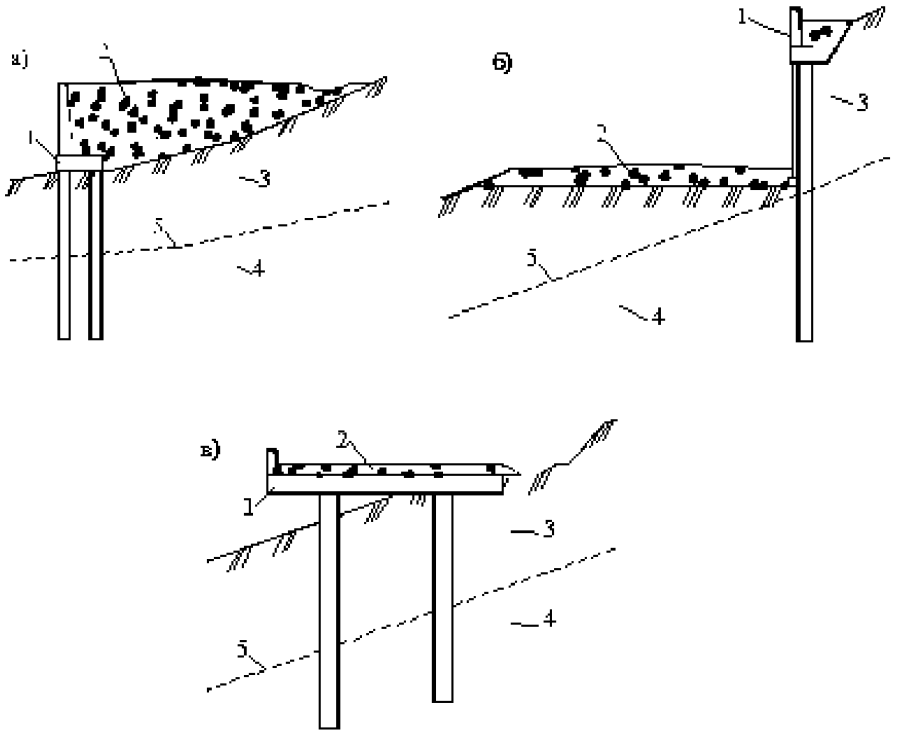
- одноярусные,
- многоярусные (расположенные в двух и более ярусах по длине оползня);

$\frac{35}{17}$ по расположению элементов свайного поля (рисунок 4) на:

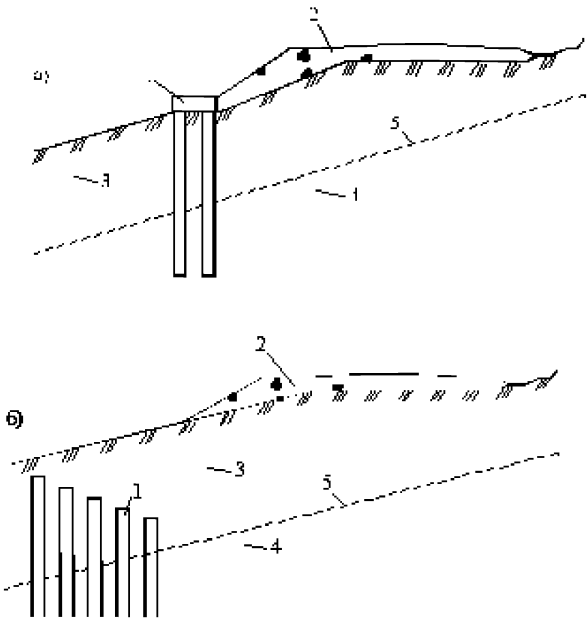
- сплошные стены из буросекущихся или бурокасательных свай,
- свайные стены из буронабивных свай (с шагом в осях более одного диаметра),
- отдельно стоящие линейные сооружения,
- отдельно стоящие кусты свай,
- отдельно стоящие сваи;

$\frac{35}{17}$ по взаимному расположению свай в рядах:

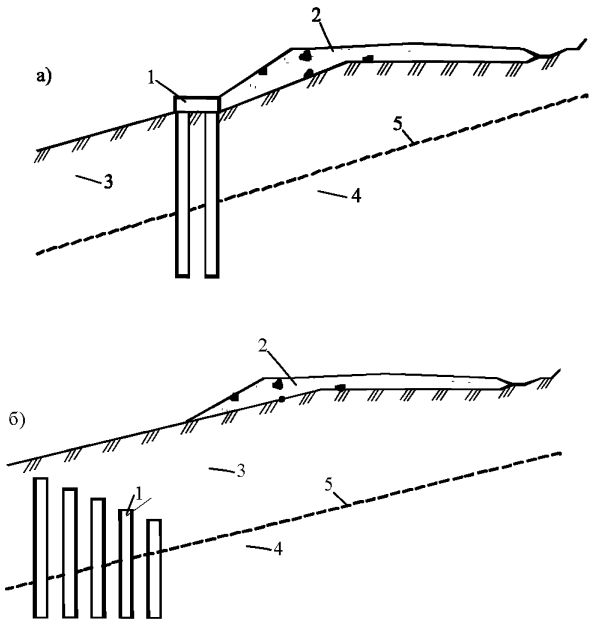
- с шахматным расположением,
- с рядовым расположением.



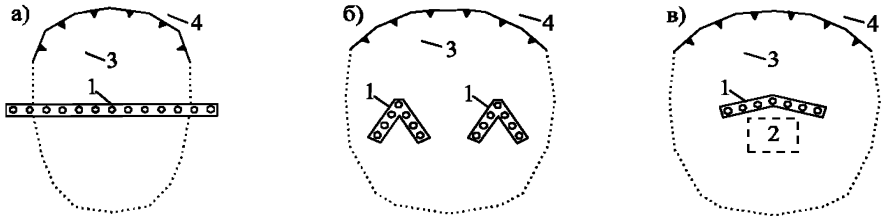
а, б, в – расположение сооружения соответственно низовое, верховое, в основании объекта;
1 – свайное сооружение; 2 – защищаемый объект; 3 – оползневой грунт; 4 – коренной устойчивый грунт; 5 – поверхность скольжения
Рисунок 1 – Расположение противооползневого сооружения относительно защищаемого объекта



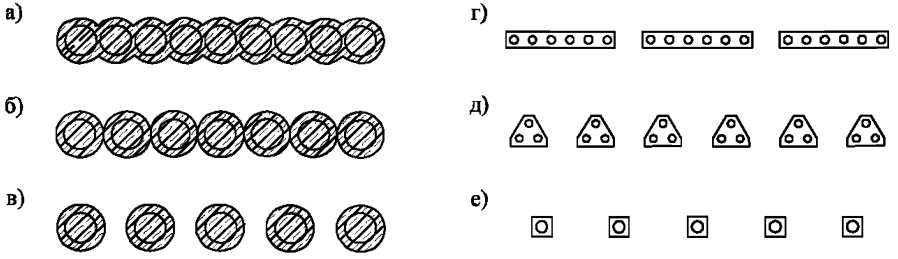
а, б – конструкции, соответственно перекрывающие всю толщу и работающие на «переползание» оползневого грунта;
1 – свайное сооружение; 2 – защищаемый объект; 3 – оползневой грунт; 4 – коренной устойчивый грунт; 5 – поверхность скольжения
Рисунок 2 – Конструкции противооползневого сооружения по мощности непосредственно удерживаемого массива грунта



а, б – конструкции, соответственно перекрывающие всю толщу и работающие на «переползание» оползневого грунта;
1 – свайное сооружение; 2 – защищаемый объект; 3 – оползневой грунт; 4 – коренной устойчивый грунт; 5 – поверхность скольжения
Рисунок 2 – Конструкции противооползневого сооружения по мощности непосредственно удерживаемого массива грунта



а, б, в – конструкции, соответственно удерживающие оползень, создающие стесненные условия смещению грунта, защищающие локальный объект;
1 – свайное сооружение; 2 – защищаемый объект; 3 – оползневой грунт; 4 – коренной устойчивый грунт
Рисунок 3 – Конструкции противооползневых сооружений по выполняемой задаче инженерной защиты



а, б – сваи соответственно буросекущиеся, бурокасательные;
в – свайные ряды; г, д, е – соответственно отдельно стоящие сооружения, свайные кусты, сваи
Рисунок 4 – Конструкции противооползневых сооружений по расположению элементов свайного поля

6.2.3 Расположение удерживающего сооружения относительно защищаемого объекта определяется положением объекта на склоне. Если защищаемый объект расположен:

- в головной части потенциально оползневого массива следует предусматривать устройство преимущественно низовых удерживающих сооружений;
- в срединной части – верховых, низовых удерживающих сооружений или их сочетаний в зависимости от прогнозируемого

положения поверхности скольжения и соотношения размеров выемки и насыпи на защищаемом участке;

- в языковой части – верховых удерживающих сооружений или низовых в сочетании с контрбанкетом.

6.2.4 В случае невозможности реализации технических решений по устройству верховых или низовых сооружений (например, при чрезмерных нагрузках на склон от защищаемого объекта) рекомендуется предусмотреть устройство свайного удерживающего сооружения непосредственно под объектом, совмещающего функции противооползневой конструкции и свайного фундамента.

6.2.5 Мощность непосредственно удерживаемого массива определяется технологической возможностью и экономической эффективностью устройства конструкции достаточной прочности. Возможны следующие ситуации.

$\frac{35}{17}$ Мощность оползневых накоплений относительно невелика и (или) технико-экономические возможности позволяют устройство свай достаточно большого диаметра для восприятия действующих оползневых давлений. Следует предусматривать сплошные железобетонные сваи, пересекающие оползневую толщу на всю глубину и защемленные в коренных устойчивых породах.

$\frac{35}{17}$ Мощность оползневых накоплений имеет значительную величину, и (или) отсутствует возможность применения свай большого диаметра. Рекомендуется применение конструкций из свай-шпон, удерживающих нижнюю часть грунтов оползня и создающих стесненные условия для «переползания» верхних слоев массива грунта поверх сооружения.

6.2.6 Длина фронта удержания определяется поставленной задачей инженерной защиты и технологической возможностью устройства конструктивных элементов противооползневого сооружения, способных воспринять прогнозируемые оползневые усилия. Возможны следующие ситуации.

$\frac{35}{17}$ Ширина участка инженерной защиты сопоставима с шириной оползневого или оползнеопасного массива. Длина фронта удержания относительно невелика. Удерживающее сооружение должно перекрывать весь оползневой или оползнеопасный участок единой (сплошной) конструкцией и закрепляться в устойчивых грунтах за его пределами.

$\frac{35}{17}$ Ширина участка инженерной защиты сопоставима с шириной оползневого или оползнеопасного массива. Длина фронта удержания имеет значительную величину. Допускается делить удерживающее сооружение на секции или отдельно стоящие сооружения. При этом

следует учитывать эффект пространственного воздействия оползня с учетом различной жесткости отдельных секций.

$\frac{35}{17}$ Ширина участка инженерной защиты существенно меньше размеров оползневого массива в плане. Удержание всего оползнеопасного массива в этом случае может быть нецелесообразно. Следует применять отдельно стоящие сооружения для защиты локального объекта без обеспечения устойчивости всего оползневого (оползнеопасного) массива.

6.2.7 Необходимое количество ярусов удерживающих сооружений определяется протяженностью удерживаемого оползневого склона – из условия обеспечения локальной устойчивости грунтов склона между каждыми двумя смежными ярусами, а также общей устойчивости склона с учетом всех ярусов сооружений.

6.2.8 Расположение элементов свайного поля следует выбирать исходя из задачи инженерной защиты, консистенции удерживаемого оползневого грунта и возможности его продавливания между свайными элементами, а именно:

- буросекущиеся или бурокасательные сваи следует применять в случае необходимости удержания глинистых грунтов пластичной и текучепластичной консистенции, особенно при удержании грунтов выемки верховыми удерживающими конструкциями;

- свайные ряды с шагом свай более одного диаметра следует применять при необходимости удержания оползневых грунтов различной консистенции; шаг свайных элементов определяется из условия непродавливания грунта между ними;

- отдельно стоящие сооружения следует применять для удержания оползневых грунтов на участках, представляющих наибольший риск для защищаемого объекта; расстояние между смежными конструкциями следует принимать из условия обеспечения устойчивости грунта в просвете между отдельными сооружениями;

- отдельно стоящие кусты свай могут применяться:

$\frac{35}{17}$для удержания грунтов склона в условиях создания стесненных условий для смещения грунта между смежными кустами свай при значительной мощности оползневых накоплений,

$\frac{35}{17}$в качестве фундаментов защищаемых объектов в условиях обтекания оползневым грунтом;

- отдельно стоящие сваи рекомендуется применять для инженерной защиты объектов, когда обеспечение устойчивости оползневых или оползнеопасных грунтов склона технически или экономически нецелесообразно; они рассчитываются как отдельно стоящие опоры в условиях обтекания грунтом.

6.2.9 По возможности необходимо применять шахматное расположение свай в рядах с целью увеличения сопротивления свайного поля продавливанию грунта. При необходимости усиления свайного сооружения анкерными конструкциями или для пропуска коммуникаций между сваями допускается применять рядовое расположение свай.

6.3 Определение мест расположения свайных противооползневых сооружений на склоне

6.3.1 Общие положения

6.3.1.1 Выбор мест расположения свайных противооползневых сооружений производится с учетом их категорий (удерживающих или защитных) (см. пункт 6.1.2) и приведен ниже.

Для удерживающих конструкций должна быть обеспечена:

- локальная устойчивость оползневых или оползнеопасных грунтов между ярусами удерживающих сооружений;
- общая устойчивость склона с учетом всех ярусов удерживающих сооружений;
- локальная и общая устойчивость строительной площадки на время производства строительных работ в районе каждого яруса проектируемых удерживающих сооружений;
- техническая возможность подъезда строительной техники к каждому из проектируемых ярусов удерживающих конструкций.

Для защитных конструкций должна быть обеспечена:

- локальная и общая устойчивость строительной площадки на время производства строительных работ в районе каждого из проектируемых сооружений;
- техническая возможность подъезда строительной техники к каждому из проектируемых защитных сооружений.

Для защитных конструкций, отклоняющих смещение оползневых масс от объекта, также должна быть обеспечена:

- устойчивость склона по поверхностям, охватывающим защищаемый объект и верховой склон со свайным сооружением;
- локальная устойчивость склона ниже защитного сооружения.

6.3.1.2 Оценка локальной и общей устойчивости грунтов склона может производиться с использованием методов предельного равновесия, конечных элементов и комбинированных методов [2]. Расчеты устойчивости методами предельного равновесия с учетом удерживающих сооружений могут быть выполнены с использованием подхода, описанного в подпункте 6.3.4.1.

6.3.2 Удерживающие противооползневые конструкции

6.3.2.1 Размещение удерживающих сооружений на склоне следует выбирать на основе расчетов устойчивости склона и анализа эпюр оползневого давления, проводимых с учетом многоярусного расположения конструкций сооружения (пункты 6.1.15–6.1.20 рекомендаций [2]).

6.3.2.2 Оценка локальной степени устойчивости склона при проектировании удерживающих конструкций должна производиться с учетом возможности переползания оползневым грунтом нижерасположенных ярусов конструкций.

6.3.2.3 Оценка общей устойчивости склона при проектировании удерживающих сооружений должна производиться с учетом поверхности скольжения, пересекающей удерживающие элементы одного или нескольких ярусов конструкций. При этом должна быть обеспечена устойчивость оползневого тела между каждыми двумя смежными ярусами.

6.3.2.4 С целью снижения оползневых давлений на каждый ярус удерживающих конструкций рекомендуется увеличивать количество ярусов.

6.3.3 Защитные противооползневые конструкции

6.3.3.1 Размещение защитных противооползневых сооружений на склоне следует выбирать на основе анализа прогнозируемых поверхностей скольжения и эпюр оползневого давления. Наиболее выгодным является такое положение сооружения, которое гарантирует:

- защиту объекта от оползневого давления грунта;
- минимальное давление обтекания при минимально возможной глубине поверхности скольжения.

6.3.3.2 Защитные противооползневые сооружения рекомендуется располагать непосредственно перед защищаемым объектом таким образом, чтобы максимально исключить влияние оползневого грунта на защищаемый объект.

6.3.3.3 Оценка локальной степени устойчивости склона при проектировании защитных сооружений должна производиться с учетом возможности переползания их оползневым грунтом со стороны верхового склона и отрыва от сооружения грунта нижерасположенного склона.

6.3.3.4 Оценка общей устойчивости склона при проектировании защитных сооружений должна производиться с учетом поверхности скольжения, пересекающей удерживающие элементы конструкции.

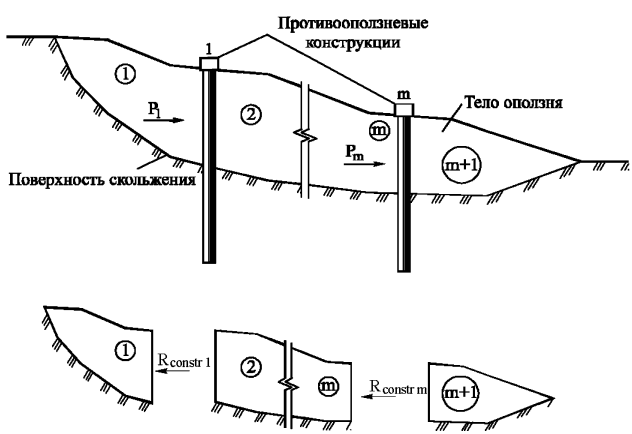
6.3.3.5 Оценку степени устойчивости рекомендуется выполнять минимум по двум расчетным сечениям:

- непосредственно пересекающим проектируемое сооружение и защищаемый объект;
- проходящим на склоне в непосредственной близости от защищаемого объекта вне защитного сооружения.

6.3.3.6 С целью снижения давления обтекания оползневой массы защитные сооружения следует устраивать под непрямым углом к вектору смещения оползневых грунтов или «клином».

6.3.4 Особенности методики расчета устойчивости склона с учетом удерживающего сооружения

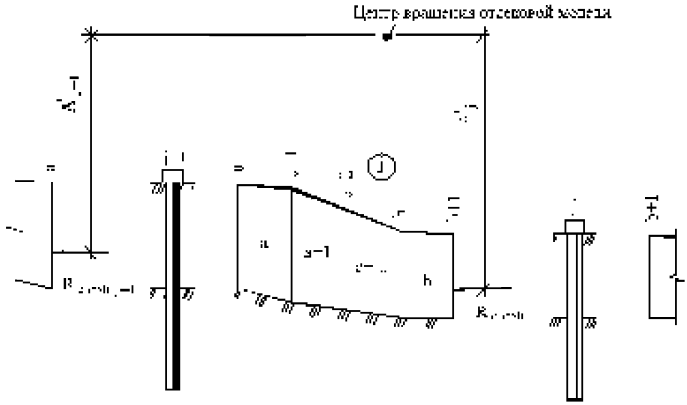
6.3.4.1 С целью учета влияния удерживающих сооружений на устойчивость склона в расчетах (методом предельного равновесия) рекомендуется учитывать сопротивление конструкции действию оползневого давления R_{constr} (рисунок 5). Величина сопротивления R_{constr} определятся как предельное оползневое давление P на сооружение, соответствующее минимальному значению из двух величин: результирующей силы сопротивления грунта в заделке сваи и несущей способности конструкции по прочности свай на действие изгибающего момента и поперечных сил. Расчетная схема отсекового метода для обеспечения устойчивости склона с учетом удерживающих сооружений приведена на рис. 6.



1,...,m – ярусы сооружений;

①, ②,..., ⓜ, ⓜ+1 – номера частей оползня

Рисунок 5 – Принципиальная схема расчета устойчивости склона с учетом удерживающих сооружений



a, b – соответственно первый и последний отсеки
j-й части оползня
(остальные обозначения приведены в подпункте 6.3.4.2)
Рисунок 6 – Расчетная схема отсекового метода
для оценки устойчивости склона с учетом удерживающих сооружений

6.3.4.2 Формулы метода предельного равновесия для оценки устойчивости склона, приведенные в пункте 5.2.13 рекомендаций [2], с учетом удерживающих сооружений приведены ниже:

- коэффициент устойчивости из условия равновесия сил K_f

$$K_f = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left[c_i \ell_i + (N_i - u_i \ell_i) \operatorname{tg} \varphi_{s\ell i} \right] \cos\alpha_i + \sum_{j=1}^{m} R_{constr\,j}}{\sum_{i=1}^{n} N_i \sin\alpha_i + \mu_h \sum_{i=1}^{n} W_i + \sum_{i=1}^{n} D_i \sin\beta_i}; \qquad (1)$$

- коэффициент устойчивости из условия равновесия моментов сил K_m

$$K_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left[c_i \ell_i + (N_i - u_i \ell_i) \operatorname{tg} \varphi_{s\ell i} \right] R_i + \sum_{j=1}^{m} R_{constr\,j} A_j}{\sum_{i=1}^{n} N_i f_i + \sum_{i=1}^{n} W_i x_i + \mu_v \sum_{i=1}^{n} W_i x_i + \mu_h \sum_{i=1}^{n} W_i e_i + \sum_{i=1}^{n} D_i d_i}; \qquad (2)$$

- сила нормальной реакции в основании отсека (без учета межотсековых сил) $N_i^{упр}$

$$N_i^{упр} = W_i \cos\alpha_i + \mu_v W_i \cos\alpha_i - \mu_h W_i \sin\alpha_i + D_i^{ў} \cos(\alpha_i + \beta_i) + R_{constr\ j} \sin\alpha_i; \quad (3)$$

- нормальная межотсековая сила по граням отсеков E_{Ri}

$$E_{Ri} = E_{Li} + N_i \left(\frac{ж}{з} \sin\alpha_i - \frac{tgj_{\ell i} \cos\alpha_i}{K_{б(m)}} \right) \frac{ц}{ч} + \frac{u_i\, tgj_{\ell i} - c_i}{K_{б(m)}} \ell_i \cos\alpha_i + \mu_h W_i + D_i^{ў} \sin\beta_i - R_{constr\ j}, \quad (4)$$

где i – номер рассматриваемого отсека;
j – номер яруса противооползневых сооружений;
n – общее количество отсеков;
m – общее количество ярусов противооползневых сооружений;
∟ – угол наклона основания отсека к горизонту, град.;
ℓ – длина основания отсека, м;
c – сцепление грунта, кПа;
– угол внутреннего трения грунта в основании отсека, град;
W – вес грунта в отсеке, кН;
N – нормальная реакция в основании отсека, кН;
E – нормальная составляющая межотсековых сил, кН;
– результирующая сила внешней нагрузки, кН;
u – величина порового давления, кПа;
.00 – коэффициент сейсмичности;
f – плечо силы нормальной реакции в основании отсека N, м;
– плечо силы сопротивления конструкции R_{constr}, м;
R – плечо силы сопротивления грунта сдвигу, м;
x – плечо силы тяжести отсека W, м;
e – плечо горизонтальной составляющей сейсмической нагрузки, м;
d – плечо результирующей внешней нагрузки м;
□ – угол наклона результирующей внешней силы нагрузки град.

Примечания

1 Силу сопротивления конструкции R_{constr} оползневому давлению в формулах (3) и (4) следует учитывать для отсеков, непосредственно граничащих с удерживающим сооружением со стороны верхового склона. Для остальных отсеков величина R_{constr} принимается равной нулю.

2 Индексы L и R означают соответственно усилия слева и справа от рассматриваемого отсека.

3 Индексы h и v обозначают соответственно горизонтальную и вертикальную составляющие индексируемой величины.

6.4 Расчеты свайных противооползневых сооружений

6.4.1 Расчеты свайных противооползневых сооружений выполняются по методу предельных состояний и рассматривают две их группы:

$\frac{35}{17}$ первую (полную непригодность сооружения к дальнейшей эксплуатации):

- расчеты общей прочности и устойчивости системы «сооружение – грунтовый массив»,
- расчеты прочности и устойчивости отдельных элементов сооружения, разрушение которых приводит к прекращению эксплуатации сооружения,
- расчеты перемещений сооружений и конструкций, от которых зависит прочность или устойчивость сооружения в целом, а также прочность или устойчивость объектов на защищаемой территории и др.;

$\frac{35}{17}$ вторую (непригодность сооружения к нормальной эксплуатации):

- расчет оснований, откосов, склонов и элементов конструкции, разрушение которых не приводит все сооружение в непригодное состояние, на местную прочность,
- расчеты по ограничению перемещений и деформаций сооружений, прилегающих территорий и объектов, на них расположенных,
- расчеты по образованию или раскрытию трещин и строительных швов.

6.4.2 Выбор рациональной конфигурации свайного противооползневого сооружения выполняется методом последовательных приближений и вариантного проектирования. Причиной является то, что несущая способность свайной конструкции определяется множеством взаимосвязанных и заранее неизвестных параметров – диаметром и армированием свай, количеством рядов свай, расстоянием между сваями в ряду и между рядами, сопротивлением свайного поля продавливанию грунта и множеством других.

6.4.3 Состав исходных данных, необходимых для расчета свайных противооползневых сооружений, зависит от применяемых методов расчета.

В общем случае необходимы следующие данные:

- эпюра расчетного давления p грунта на сооружение;

- расчетные физико-механические характеристики оползневых грунтов, в том числе и на контакте с коренными породами (удельный вес $\gamma^{?}_{сл}$, удельное сцепление в грунте $c^{?}_{сл}$, угол внутреннего трения $\varphi^{?}_{сл}$);

- расчетные физико-механические характеристики нескальных несмещаемых пород (удельный вес $\gamma^{?}_{I}$, удельное сцепление в грунте $c^{?}_{I}$, угол внутреннего трения $\varphi^{?}_{I}$);

- глубина расположения кровли скальных пород (при наличии);

- прочностные и деформационные характеристики бетона (модуль упругости, расчетное сопротивление растяжению и сжатию и пр.);

- прочностные характеристики арматуры (расчетное сопротивление растяжению и сжатию, модуль упругости и пр.).

Примечания

1 Давление грунта на сооружение является пространственной распределенной нагрузкой от бокового давления грунта, приложенной в вертикальном сечении, продольном сооружению и расположенном по контакту с элементами сооружения со стороны верхового склона.

2 Давление грунта на сооружение может быть получено:

- пересчетом действующего оползневого давления грунта $E_{оп}$, определенного аналитическими методами (подраздел 6.1 рекомендаций [2]), с учетом принятой формы эпюры распределения давлений по глубине оползня;

- непосредственно по результатам расчетов численными методами, как разность оползневого давления грунта p_a со стороны верхового склона и отпора p_b грунта низового склона, с учетом обеспечения необходимого коэффициента запаса (подраздел 6.2 рекомендаций [2]).

3 Для сооружений, допускающих работу в условиях обтекания грунтом, давление грунта на сооружение необходимо ограничивать величиной давления обтекания P_{flow} (пункт 6.4.14).

Для оценки усилий в заделке свай, выполняемой отдельным расчетом, необходимы также данные о коэффициенте пропорциональности K грунта по боковой поверхности заделки сваи.

6.4.4 Выбор состава расчетов каждого конкретного конструктивного решения противооползневых сооружений должен учитывать специфику выполняемой функции и условий работы конструкции на склоне:

$^{35}_{17}$ для удерживающих сооружений, непосредственно препятствующих оползневым смещениям:

- давление грунта на сооружение определяется величиной фронтального оползневого давления,

- расстояние между сваями в ряду находится из условия непродавливания грунта между смежными сваями при направлении вектора оползневого давления перпендикулярно оси сооружения,

- оценка общей устойчивости сооружения производится с учетом поверхностей скольжения, проходящих ниже концов свай;

$\frac{35}{17}$ для удерживающих сооружений, создающих стесненные условия смещению грунта:

- расстояние между смежными сооружениями определяется из условия обеспечения пространственной устойчивости участка склона между ними,
- давление грунта на сооружение определяется величиной фронтального оползневого давления в створе сооружения,
- оползневое давление на сооружение определяется с учетом распределения суммарного фронтального оползневого давления на смежные сооружения,
- расстояние между сваями в ряду или кусте определяется из условия непродавливания грунта между смежными сваями,
- оценка общей устойчивости сооружения производится с учетом поверхностей скольжения, проходящих ниже концов свай;

$\frac{35}{17}$ для защитных сооружений, отклоняющих смещение оползневых масс от объекта:

- давление грунта определяется при смещении оползневого грунта под углом к оси сооружения,
- расстояние между сваями в ряду определяется из условия непродавливания грунта между смежными сваями;

$\frac{35}{17}$ для защитных сооружений, совмещающих функции фундамента защищаемого объекта:

- давление грунта определяется расчетом оползневого давления в условиях пластического обтекания свай оползневым грунтом,
- расстояние между сваями в ряду определяется из условия отсутствия взаимного сопротивления смежных свай смещению грунта между ними.

Примечание – Выполнение пространственных расчетов устойчивости рекомендуется производить в соответствии с указаниями подраздела 5.5 рекомендаций [2].

6.4.5 В общем случае расчет противооползневого сооружения включает решение взаимосвязанных задач:

- выбора конфигурации свайного поля;
- определения нагрузок на элементы конструкции;
- расчета внутренних усилий в элементах конструкции;
- расчета необходимого армирования элементов конструкции из условий прочности и трещиностойкости;
- проверки длины заделки свай в несмещаемые породы;

- оценки общей устойчивости сооружения.

6.4.6 Выбор конфигурации свайного поля противооползневых сооружений:

$\frac{35}{17}$ производится с учетом:

- специфики выполняемой сооружением функции,
- мощности оползня в створе проектируемого сооружения,
- активности оползня и устойчивости площадки производства работ,
- технических возможностей доступной строительной техники,
- технологических возможностей по доставке и установке строительной техники в рабочее положение,
- технологических ограничений, накладываемых смежными коммуникациями (существующими и проектируемыми),
- доступных размеров строительной площадки и т. д.;

$\frac{35}{17}$ включает определение:

- диаметра свай,
- количества рядов свай,
- расстояний между сваями в ряду и между рядами,
- взаимного расположения свай в рядах (шахматное, рядовое);

$\frac{35}{17}$ осуществляется методом последовательных приближений и уточняется по результатам последующих расчетов конструкции.

6.4.7 Количество рядов свай противооползневого сооружения следует принимать, по возможности, не более двух.

Примечание – Применение более двух рядов свай неэффективно, поскольку третий и последующие ряды испытывают существенно меньшую нагрузку от оползневого грунта, чем первые два. При трехрядном размещении свай последний ряд воспринимает, как правило, не более 10 % –20 % оползневой нагрузки. Применение четырехрядной расстановки вызывает перераспределение оползневой нагрузки лишь между третьим и четвертым рядами свай, на каждый из них приходится давление соответственно не более 10 % –15 % и 5 % –10 % от общей нагрузки [3].

6.4.8 Для удерживающих сооружений, а также защитных сооружений, отклоняющих смещение оползневых масс от объекта, расстояния между сваями в ряду и между рядами должны:

- обеспечивать достаточное сопротивление свайного поля продавливанию грунта $р_{пред}$ с учетом действующих величин давления грунта на сооружение;
- удовлетворять условию совместного сопротивления смежных свай продавливанию грунта.

6.4.9 Сопротивление свайного поля продавливанию грунта определяется как предельное давление грунта на сооружение, соответствующее границе пластического течения грунта в межсвайном пространстве.

Для однорядного свайного сооружения $p_{пред}$ определяется [3, 4] по формуле

$$p_{пред} = \frac{c}{L}\left(1{,}53 + 2{,}52\,\varphi^{1{,}06} + \frac{1{,}01\,\varphi^{1{,}16} - 0{,}0523}{\frac{L}{D} - 1}\right), \qquad (5)$$

где L – расстояние между сваями в ряду, м;

D – ширина призматической или диаметр круглой сваи, м;

φ – угол внутреннего трения грунта, град.

Для многорядного свайного сооружения предельное давление непродавливания может быть определено:

- для свайного поля произвольной конфигурации численными методами с использованием методики, изложенной в приложении А;
- для двухрядного расположения свай в шахматном порядке по данным, приведенным в приложении Б.

6.4.10 Предельное расстояние между сваями в ряду $L_{пред}$ из условия совместного сопротивления продавливанию грунта определяется по формуле

$$L_{пред} = (0{,}0512\,c + 2{,}39)D. \qquad (6)$$

6.4.11 Минимальное расстояние между рядами свай многорядных свайных сооружений должно назначаться не менее двух диаметров, поскольку при таком расположении достигается максимальное снижение усилий в сваях за счет «рамного» эффекта.

6.4.12 Определение нагрузок на элементы конструкции должно производиться с учетом характера взаимодействия свай с грунтом оползня:

- в сооружениях, создающих сопротивление продавливанию грунта, давление распределяется между сваями в ряду и между рядами;
- в сооружениях, работающих в условиях обтекания свай грунтом, давление на сваи ограничивается величиной давления обтекания P_{flow}.

6.4.13 В расчетах многорядных свайных конструкций, оказывающих сопротивление продавливанию грунта, необходимо учитывать, что распределение давлений грунта между рядами свай носит неравномерный

характер и существенно зависит от прочностных свойств грунтов и конфигурации свайного поля.

Распределение давлений между рядами свай может быть определено:

- для свайного поля произвольной конфигурации численными методами с использованием методики, изложенной в приложении А;
- для двухрядного расположения свай в шахматном порядке с использованием графиков распределения давлений, приведенных в приложении В.

Давление грунта на сооружение в соответствующих пропорциях прикладывается к сваям каждого ряда в пределах их свободной длины в виде распределенных по глубине оползня нагрузок.

6.4.14 В расчетах конструкций, работающих в условиях обтекания свай оползневым грунтом, P_{flow} рекомендуется определять по формулам:

- для грунтов твердой консистенции

$$P_{flow} = \frac{\gamma H_{on}^2}{2} tg^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_n}{2}\right) + 2cH_{on} tg\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_n}{2}\right) D + 2cH_{on}^2 tg\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_n}{2}\right) + \frac{\gamma H_{on}^3}{2} tg\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_n}{2}\right) tg\varphi - 2cH_{on}^2 tg\varphi \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_n}{2}\right) - \frac{tg\varphi_n^{-1}}{\pi} H, \quad (7)$$

- для грунтов консистенции от полутвердой до текучепластичной

$$P_{flow} = \frac{D^2 \gamma H^2 tg\varphi}{4\sin\alpha \left(1 - tg\frac{\alpha}{2} tg\varphi_n\right)}, \quad (8)$$

где γ – расчетный удельный вес грунта, кН/м^3;

α – угол наклона поверхности скольжения в районе сваи, град.;

$H_{оп}$ – мощность оползневых накоплений в районе сваи, м.

6.4.15 Расчет внутренних усилий свайной противооползневой конструкции может производиться аналитическими и численными методами (конечных элементов, конечных разностей, коэффициента постели и т. д.). Расчеты могут проводиться как вручную, так и с привлечением программных средств (в том числе комплексных, учитывающих взаимодействие конструкции с грунтами склона).

6.4.16 Применяемые методы и средства расчета должны давать возможность учитывать влияние характера заделки сваи на распределение расчетных внутренних усилий (упругой – в условиях деформируемых нескальных пород, жесткой – в слабодеформируемых полускальных и скальных породах).

6.4.17 Расчет сооружений сложной в плане формы (например, арочной) рекомендуется производить в пространственной постановке с использованием программ трехмерного моделирования.

Сооружения линейной формы в плане могут быть рассчитаны с применением плоских расчетных схем. Расчет производится в сечении, нормальном к продольной оси сооружения. Сваи сооружения проецируются в расчетную плоскость, образуя:

- консольную расчетную сваю при однорядном расположении свай;
- плоскую раму при многорядном расположении свай.

6.4.18 По результатам расчетов конструкции на действие давления грунта должны быть получены величины перемещений, продольных и поперечных сил и изгибающих моментов в конструкции.

6.4.19 Расчетные величины перемещений конструкции должны удовлетворять следующим условиям.

$\frac{35}{17}$ Перемещения конструкции в уровне грунта, создающего отпор, не должны превышать допустимых значений

$$u_0 \le \frac{D}{8}, \tag{9}$$

$$u_0 \le \frac{L_{отп}}{40}, \tag{10}$$

где u_0 – перемещение в уровне поверхности грунта, создающего реактивные усилия, м;

$L_{отп}$ – длина заделки сваи в грунт, обеспечивающая усилия реактивного отпора, м.

$\frac{35}{17}$ Величины перемещений конструкции в уровне поверхности земли с верховой и низовой сторон не должны превышать значений, допустимых по условиям нормальной безаварийной эксплуатации защищаемого объекта. Последние должны определяться в соответствии с нормами проектирования соответствующих объектов и могут дополняться требованиями технического задания на проектирование.

6.4.20 Подбор армирования элементов свайного сооружения должен осуществляться на основании расчетов действующих усилий в конструкции согласно требованиям действующих нормативных документов, в частности СП 63.13330.2012, СП 24.13330.2011 и СП 14.13330.2014. Необходимо выполнение расчетов:

$\frac{35}{17}$ прочности сваи на действие:

- изгибающего момента,
- поперечной силы;

$\frac{35}{17}$ образования и ширины раскрытия трещин:

- нормальных к продольной оси сваи,
- наклонных к продольной оси сваи.

6.4.21 Заключительным этапом расчетов противооползневой свайной конструкции является проверка:

- устойчивости основания вдоль заделки свай в несмещаемые породы;
- общей устойчивости сооружения.

На основании результатов проверки принимается решение либо об изменении конфигурации сооружения и параметров свай и соответственно необходимости повторного расчета свайного сооружения, либо о принятии окончательного варианта сооружения.

6.4.22 Проверку устойчивости основания, окружающего сваю, следует производить в соответствии с требованиями подраздела В.7 СП 24.13330.2011.

6.4.23 Расчет общей устойчивости сооружения производится в соответствии с указаниями раздела 5 рекомендаций [2] с учетом прогнозных наиболее опасных поверхностей скольжения, в том числе проходящих глубже нижних концов свай.

6.5 Конструирование свайных противооползневых сооружений

Конструирование свайных противооползневых сооружений необходимо проводить в соответствии с указаниями действующих нормативных документов, в частности СП 63.13330.2012, СП 24.13330.2011, а также настоящего методического документа.

6.5.1 Требования к материалам

6.5.1.1 Для изготовления буронабивных свай следует применять бетон класса прочности при сжатии не ниже В20. Проектную марку бетона по морозостойкости и водонепроницаемости следует назначать исходя из климатических, грунтовых и гидрогеологических условий района строительства свайных противооползневых сооружений.

6.5.1.2 В случае наличия или возможности попадания в грунт, окружающий сооружение, агрессивных вод следует предусматривать мероприятия в соответствии с требованиями СП 28.13330.2012.

6.5.1.3 Армирование свай следует выполнять стержневой горячекатаной арматурой класса не ниже:

- А400 – для продольной арматуры;
- А240 – для хомутов, спиралей, поперечной и монтажной арматуры.

Для продольного армирования следует использовать арматуру периодического профиля диаметром от 16 до 40 мм. Для поперечного армирования свай рекомендуется принимать гладкую арматуру диаметром не менее 8 мм.

6.5.1.4 При необходимости удержания и повышения устойчивости активных оползневых масс, где удерживающие свайные элементы должны воспринимать оползневое давление непосредственно с момента их устройства, в качестве продольной арматуры рекомендуется применять жесткий арматурный каркас, например, выполненный из сварной балки коробчатого или двутаврового сечения.

6.5.1.5 В аварийных ситуациях на участках активных оползневых подвижек, а также для повышения несущей способности свай в условиях отсутствия агрессивного химического воздействия грунтовой среды и грунтовых вод в качестве жесткой арматуры свай допускается использовать неизвлекаемые обсадные трубы.

6.5.2 Конструирование свай

6.5.2.1 Армирование свай следует выполнять на всю длину ствола пространственными каркасами.

6.5.2.2 Для продольной рабочей арматуры толщина защитного слоя должна составлять не менее 50 мм.

6.5.2.3 Количество стержней продольной арматуры в поперечном сечении следует принимать не менее 6 шт.

6.5.2.4 Минимальное расстояние между стержнями продольной арматуры в свету должно быть не менее 50 мм. Допускается спаренное расположение стержней продольной арматуры (когда стержни располагаются попарно, практически без зазора в свету).

6.5.2.5 Максимальное расстояние между стержнями продольной арматуры должно быть не более 400 мм.

6.5.2.6 Расположение продольной арматуры вдоль контура поперечного сечения сваи может приниматься равномерным и несимметричным. При несимметричном расположении продольных

стержней количество арматуры в растянутой зоне сечения принимают по расчету, в сжатой зоне – конструктивно.

6.5.2.7 В случае однорядного расположения свай в сооружении и при условии обязательного контроля над соблюдением предусмотренной проектом ориентации арматурных каркасов в процессе производства работ допускается применять несимметричное расположение продольной арматуры.

6.5.2.8 При многорядном расположении свай, объединенных ростверком, следует принимать равномерное расположение продольной арматуры вдоль контура поперечного сечения сваи.

6.5.2.9 Поперечное армирование буронабивных свай круглого сечения рекомендуется выполнять навивкой спирали из гладкой арматуры. Шаг спирали следует принимать по расчету, но не более 200 мм.

6.5.2.10 Для обеспечения проектной толщины защитного слоя бетона следует применять фиксирующие петли из гладкой арматуры или полосовой стали.

6.5.2.11 Конструкция арматурного каркаса должна обеспечивать его жесткость при транспортировании и установке в проектное положение. Для повышения жесткости каркаса необходимо устанавливать поперечные кольца жесткости из полосовой стали.

6.5.3 Конструирование ростверка

6.5.3.1 С целью перераспределения усилий по длине противооползневого сооружения, а также снижения нагрузок в сваях многорядных конструкций за счет «рамного» эффекта головы свай рекомендуется объединять монолитным железобетонным ростверком.

6.5.3.2 Ростверк рекомендуется предусматривать горизонтальным. В случае необходимости допускается принимать наклонный ростверк с продольным уклоном не более 15 % при условии обеспечения достаточной жесткости укладываемой бетонной смеси.

В случае применения подпорных стен на ростверке для обеспечения стока воды следует предусматривать поперечный уклон ростверка не менее 0,5 %.

6.5.3.3 Сопряжение свай с ростверком следует принимать жестким. При однорядном расположении свай допускается шарнирное сопряжение. Глубину заделки свай в ростверк следует принимать не менее 150 мм.

6.5.3.4 В случае жесткого сопряжения свай с ростверком длину заделки арматурных выпусков свай в ростверк следует принимать по

расчету, но не менее 20d при использовании арматуры периодического профиля и не менее 40d – гладкой арматуры (d – диаметр стержня).

При отсутствии иного расчетного обоснования длину заделки арматуры свай в ростверк следует принимать исходя из условия равнопрочности системы «арматурный стержень – бетон» в соответствии с указаниями пункта 8.3.21 СП 52–105–97 (часть IV).

6.5.3.5 Продольное и поперечное армирование ростверка необходимо выполнять в соответствии с расчетом действующих усилий в конструкции.

6.5.3.6 Геометрические размеры ростверка назначаются с учетом следующих конструктивных требований:

- величины свесов ростверка (расстояния от края ростверка до поверхности сваи), принимаемой не менее 100 мм;
- высоты ростверка, назначаемой с учетом необходимой длины анкеровки продольной арматуры сваи и принимаемой не менее 400 мм.

6.5.4 Конструирование иных элементов сооружения

6.5.4.1 Устройство облицовочных панелей, закрывающих конструкции свай со стороны выемки под защитой противооползневого сооружения, допускается выполнять из любых материалов и конструкций, подходящих по климатическим, метеорологическим, технологическим, эксплуатационным, эстетическим условиям и другим требованиям, предъявляемым к монолитным и сборным железобетонным панелям, металлическим изделиям (в том числе профилированным и гофрированным листовым материалам), пластиковым панелям и т. д.

6.5.4.2 Конструкция облицовочной панели должна обеспечивать прочность и долговечность с учетом возможного давления осыпающегося грунта межсвайного пространства, а также надежность ее крепления к конструкции свайного сооружения.

6.5.4.3 С целью увеличения высоты удерживаемой толщи оползневых или оползнеопасных пород и при условии обеспечения надежного сопряжения со свайным противооползневым сооружением допускается устройство подпорных стен непосредственно на ростверке.

6.5.4.4 Подпорная стена на ростверке может быть выполнена:

- железобетонной (монолитной, сборно-монолитной);
- сетчатой, заполненной каменным материалом;

- армогрунтовой (из грунта, армированного геосинтетическими материалами).

Примечание – Устройство подпорных стен из сетчатых или армогрунтовых конструкций предпочтительнее, поскольку в отличие от железобетонных стен они не создают преграды для движения подземных вод и обеспечивают естественное их дренирование (при условии выполнения из дренирующих материалов).

6.5.4.5 Конструирование железобетонных подпорных стен должно выполняться в соответствии с требованиями СП 63.13330.2012.

6.5.4.6 Конструирование подпорных стен из сетчатых и армогрунтовых конструкций следует выполнять в соответствии с техническими требованиями соответствующих действующих документов.

6.5.5 Указания по разделению сооружения на секции

6.5.5.1 При необходимости допускается делить сооружение на секции или применять в пределах оползневого (оползнеопасного) участка отдельно стоящие сооружения. При этом следует учитывать эффект пространственного воздействия оползня с учетом различной жесткости отдельных секций.

6.5.5.2 Деформационные швы не рекомендуется предусматривать в местах максимальных оползневых нагрузок (например, в середине оползневого участка).

6.5.5.3 Конструкция деформационных швов должна исключать поперечные смещения смежных секций относительно продольной оси сооружений.

6.5.5.4 В облицовочных панелях с большой площадью поверхности нагрева в районах со значительной амплитудой температурных колебаний следует предусматривать температурно-деформационные швы.

6.5.5.5 Частоту расположения температурно-деформационных швов следует назначать по результатам расчета температурных деформаций удерживающего сооружения или конструктивно по требованиям соответствующих глав СП 63.13330.2012.

6.5.5.6 Пример выбора конструктивных решений свайных противооползневых сооружений приведен в приложении Г.

6.5.5.7 Пример расчета свайного противооползневого сооружения дан в приложении Д.

7 Строительство свайных противооползневых сооружений

7.1 Общие положения

7.1.1 Работы по строительству свайных противооползневых сооружений следует осуществлять в соответствии с требованиями норм, правил, инструкций и иных действующих нормативных документов по производству и безопасности строительных работ, а также требованиями данного раздела.

7.1.2 Проектирование и производство любых строительных работ, оказывающих влияние на устойчивость оползневого или оползнеопасного склона, допускается при условии сохранения его устойчивости и наличия специального геотехнического обоснования.

7.1.3 Проект организации строительства свайных противооползневых сооружений помимо материалов, предусмотренных действующими нормативными документами, должен содержать:

- прогноз активности и интенсивности оползневых процессов на период строительства;
- решения по организации рельефа в процессе производства работ;
- мероприятия по обеспечению устойчивости откосов и склонов на период строительства противооползневых сооружений;
- календарный план строительства объектов, составленный с учетом необходимости окончания или временного прекращения земляных работ до наступления влажных периодов года и выполнения в этот период иных строительно-монтажных работ;
- решения по размещению отвалов грунта и его складированию для обратной засыпки за пределами активной части оползневого или оползнеопасного массива;
- решения по организации поверхностного водоотвода и водопонижения.

7.1.4 На аварийных оползневых участках, требующих немедленной реализации мер по стабилизации оползневых масс и защите целостности и эксплуатационной пригодности инженерных объектов, строительство противооползневых сооружений по решению уполномоченных органов власти может быть начато до окончания всего комплекса проектно-изыскательских работ.

7.1.5 Внесение изменений в проект организации работ в процессе строительства допускается только по согласованию с проектной организацией – автором проекта.

7.1.6 Все виды строительных работ на оползневых и оползнеопасных склонах следует вести в сопровождении авторского надзора проектных организаций за соответствием проектных и фактических инженерно-геологических и гидрогеологических условий. Проведение авторского надзора регламентируется соответствующими нормативными документами.

7.1.7 Авторский надзор обязан приостанавливать все виды строительных работ, ведущихся любой строительной организацией на оползневом или оползнеопасном склоне, производство которых угрожает нарушению устойчивости площадки строительства и склона в целом.

7.2 Порядок производства работ, очередность, сроки

7.2.1 Выбор способов и методов производства работ, последовательности и темпов строительства на оползневых и оползнеопасных склонах должен осуществляться в рамках проекта организации строительства при соблюдении следующих условий:

- каждое очередное мероприятие не должно нарушать общую и местную устойчивость откосов и склонов как в период строительства, так и эксплуатации;
- каждое сооружение должно обладать необходимой прочностью и устойчивостью как в процессе его возведения, так и в период эксплуатации (включая период до завершения строительства всего комплекса противооползневых сооружений).

7.2.2 Производство работ методами, угрожающими устойчивости оползневого или оползнеопасного склона (например, устройство забивных свай или изготовление грунтоцементных свай, применение инъекционных технологий), допускается только при специальном инженерно-геологическом обосновании и постоянном геотехническом контроле.

7.2.3 Очередность производства и сроки выполнения отдельных этапов работ должны назначаться в строгом соответствии с природно-климатическими условиями района строительства и активностью оползневых масс, в частности:

- производство земляных работ должно осуществляться с учетом максимального использования периодов с благоприятными климатическими условиями;

- строительство противооползневых сооружений по возможности следует осуществлять в период временной стабилизации оползневых деформаций;
- строительство противооползневых сооружений допускается в период медленных оползневых подвижек при условии обеспечения безопасности проведения работ и соответствующем расчетном обосновании; работы в таком случае следует проводить в максимально сжатые сроки;
- в период выпадения обильных осадков не допускается оставлять незащищенными от эрозии и выветривания участки откосов выемок и подрезанных склонов, бессточные понижения рельефа, вскрытые траншеи и котлованы, основания проектируемых зданий и сооружений (в том числе сооружений инженерной защиты), сложенные дисперсными и легковыветривающимися горными породами;
- вся территория оползневого (оползнеопасного) склона должна быть заблаговременно обеспечена действующей сетью водоотводных и дренажных мероприятий, направленных на защиту от поверхностного и подземного стоков.

7.2.4 Раздел проекта организации строительства по устройству буронабивных и буроинъекционных свай должен предусматривать выполнение работ участками в предельно короткие сроки и при непрерывной последовательности всех этапов работ.

7.3 Производство земляных работ

7.3.1 Проектом организации земляных работ должны быть предусмотрены очередность операций, длина, глубина и порядок захваток, не угрожающих нарушением общей и местной устойчивости откосов и склонов, а также обоснованных инженерно-геологическими изысканиями и геотехническими расчетами.

7.3.2 При необходимости для обеспечения устойчивости склона на период производства очередного этапа земляных работ должны быть предусмотрены временные противооползневые мероприятия.

7.3.3 Прокладку подземных коммуникаций на оползневых склонах рекомендуется предусматривать преимущественно бестраншейным способом.

7.3.4 Производство земляных работ должно осуществляться послойно и отдельными захватками. Переход к следующей захватке допускается только после полного окончания всех работ на предыдущей

захватке и при полной обеспеченности работ материалами, механизмами и рабочей силой.

7.3.5 Складирование и переработка грунта в пределах активной части оползневого или оползнеопасного склона не допускаются. Для складирования грунта следует выбирать площадки, дополнительные нагрузки на которых не нарушают устойчивости склона.

7.3.6 Ликвидация временных выемок и засыпка пазух котлованов подземных сооружений должна осуществляться с тщательным трамбованием или укаткой каждого слоя до расчетной плотности скелета грунта.

7.3.7 Поверхность засыпки должна планироваться заподлицо с прилегающей территорией. Оставление валов и углублений в местах выемок не допускается. По мере естественной осадки образующееся углубление должно выравниваться дополнительным слоем грунта.

7.3.8 Производство работ на каждом этапе и захватке должно сопровождаться постоянным мониторингом за состоянием склона. При обнаружении признаков подготовки к оползневым смещениям (трещин заколов, бугров и валов выпора грунта, чрезмерных и (или) не затухающих во времени деформаций противооползневых сооружений и др.) работы следует немедленно прекратить и вызвать специалистов технического и авторского надзора.

7.4 Водоотвод и водопонижение

7.4.1 Все траншеи, котлованы и прочие выемки в пределах оползневого или оползнеопасного склона должны быть полностью и надежно защищены от поверхностного стока и обеспечены постоянно действующими устройствами для удаления собирающихся в них талых, дождевых и подземных вод.

7.4.2 При разработке котлованов и траншей могут применяться открытый водоотлив и искусственное понижение уровня подземных вод (в зависимости от инженерно-геологических и гидрогеологических условий) с организованным отводом во временные или постоянные водоотводные устройства.

7.4.3 Рекомендуемый проектом способ водоотлива или водопонижения должен сохранять структуру грунта и не допускать суффозионных выносов в процессе работы. Погружение труб и иглофильтров нагнетанием в них воды и подмывом не допускается.

7.4.4 С целью сохранения естественного поверхностного стока и предотвращения дополнительного водонасыщения оползневых (потенциально оползневых) грунтов на строительных площадках и путях

подъезда к ним должны быть предусмотрены мероприятия по максимально возможному сохранению древесно-кустарниковой растительности и травяного покрова.

7.4.5 В составе проекта организации работ должна разрабатываться временная водоотводная сеть, обеспечивающая полную защиту оползневого склона от притока талых и дождевых вод за счет максимального предотвращения насыщения грунтов водой и нарушения склонового стока.

7.4.6 В пределах оползневых или оползнеопасных склонов не допускаются неорганизованный сброс воды на поверхность склона или в бессточные понижения рельефа, а также устройство сооружений, аккумулирующих поверхностный или подземный сток.

7.4.7 Отвод воды следует выполнять организованно в постоянные или временные водостоки, исключающие обводнение оползневой или оползнеопасной зоны.

7.5 Контроль качества работ

7.5.1 Технология изготовления свай противооползневых сооружений должна соответствовать требованиям подразделов 12.2–12.3 СП 45.13330.2012.

7.5.2 Контроль качества изготовления и прием конструкции должны осуществляться в соответствии с требованиями подраздела 12.7 СП 45.13330.2012, а также ГОСТ 5686–2012.

8 Геотехнический мониторинг свайных противооползневых сооружений

8.1 Для свайных сооружений инженерной защиты, расположенных на участках III категории сложности инженерно-геологических условий, разрушение которых способно нарушить функционирование автомобильной дороги или повлечь за собой человеческие жертвы, рекомендуется выполнять геотехнический мониторинг. Проведение геотехнического мониторинга на данных участках позволяет обеспечить безопасную эксплуатацию дорожных объектов и населения, своевременно выявлять отклонения в строящихся или существующих защитных сооружениях инженерной защиты от проектных данных, принимать соответствующие меры для предотвращения аварий, а также оценивать эффективность принятых проектных решений и методов расчета.

8.2 Геотехнический мониторинг сооружений инженерной защиты на автомобильных дорогах включает:

- наблюдения за сооружениями инженерной защиты, инженерно-геологическими процессами и состоянием дорожных объектов;
- обработку и анализ полученных результатов наблюдений;
- разработку рекомендаций по совершенствованию конструкций и усилению инженерной защиты.

8.3 Для выполнения геотехнического мониторинга в соответствии с СП 22.13330.2011 составляется программа работ, в которой указывают состав, технологию, объемы, периодичность и продолжительность наблюдений. Программа работ по мониторингу для каждого конкретного сооружения разрабатывается индивидуально с учетом:

- категории защищаемого участка автомобильной дороги;
- проектных решений и технологии производства работ по строительству свайных сооружений;
- интенсивности и изменчивости нагрузок и воздействий;
- доступности исследуемого объекта для регулярных наблюдений;
- дополнительных требований заказчика.

8.4 В рамках геотехнического мониторинга свайных сооружений наблюдения, как правило, должны вестись за:

- вертикальными и горизонтальными смещениями свайного сооружения;
- напряжениями в теле железобетонных конструкций инженерной защиты;
- напряжениями на границе контакта свайного сооружения и прилегающего массива грунта;
- состоянием прилегающего оползневого массива;
- деформациями земляного полотна и дорожной одежды защищаемого участка дороги.

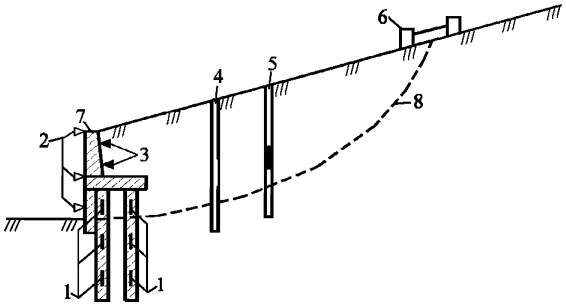
8.5 Геотехнический мониторинг свайных противооползневых сооружений рекомендуется осуществлять в период их строительства и в течение одного года после ввода в эксплуатацию. При отсутствии стабилизации контролируемых параметров за указанный период геотехнический мониторинг следует продлевать.

8.6 Для свайных противооползневых сооружений, расположенных на участках автомобильных дорог III категории и ниже, наблюдения рекомендуется осуществлять на основе визуальных обследований и регулярной геодезической съемки. Для сооружений, расположенных на участках автомобильных дорог I и II категорий, рекомендуется дополнительно предусматривать установку контрольно-измерительной аппаратуры.

8.7 При проведении визуальных обследований внимание уделяется внешним проявлениям деформаций свайных сооружений и оползневого массива: выявлению внешних дефектов, определению величины и динамики раскрытия трещин и т. п. Выявленные в ходе визуального обследования дефекты и повреждения измеряются и фотографируются.

8.8 Для наблюдений за вертикальными и горизонтальными смещениями свайных сооружений на них устанавливаются геодезические марки и реперы (рисунок 7). Рекомендуется следующее их размещение:

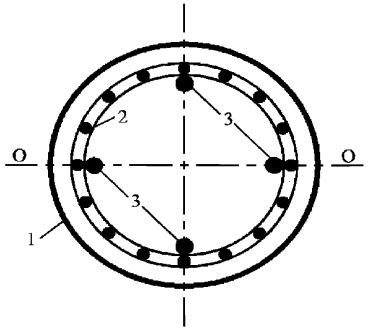
- расстояние от реперов до ближайших марок должно быть меньше 50 м;
- на сооружение в пределах деформационной секции устанавливается не менее двух марок;
- марки для определения плановых и высотных перемещений закладываются на одной линии с шагом от 15 до 25 м;
- марки для определения крена закладываются парами в одной вертикальной плоскости с шагом 3 м;
- марки размещают на расстоянии не менее 50 мм от края конструкции;
- марки располагаются по обеим сторонам от деформационного шва.



1 – тензометрические датчики; 2 – геодезические марки;
3 – датчики давления грунта; 4 – инклинометр; 5 – поропьезометр;
6 – деформационный репер; 7 – противооползневое свайное сооружение; 8 – поверхность скольжения

Рисунок 7 – Пример схемы расположения контрольно-измерительной аппаратуры на свайном противооползневом сооружении и прилегающем оползневом склоне

8.9 Определение напряжений внутри тела железобетонных свай производят с помощью тензометрических датчиков путем приварки или привязки их к арматурному каркасу. Типовая схема расположения тензометрических датчиков в теле железобетонной сваи представлена на рисунке 8.



1 – железобетонная свая; 2 – арматурный каркас; 3 – тензометрические датчики

Рисунок 8 – Пример схемы расположения тензометрических датчиков в теле железобетонной сваи

8.10 Для измерения и фиксации давления, приходящегося на свайное сооружение, используют измерители контактных напряжений (датчики давления грунта). Датчики данного типа рекомендуется устанавливать на контакте прилегающего массива грунта и железобетонной стены, расположенной в верхней части свайного сооружения (см. рисунок 8).

8.11 Оснащение свайных сооружений контрольно-измерительной аппаратурой (измерителями контактных напряжений, тензометрическими датчиками и т. п.) должно осуществляться в период их строительства. Оборудование, как правило, устанавливается по сечениям на наиболее характерных участках таким образом, чтобы по результатам наблюдений можно было с достаточной точностью и достоверностью оценить работу свайного сооружения в целом и отдельных его элементов. Для особо ответственных участков автомобильных дорог или при расположении объекта наблюдений в удаленных и труднодоступных участках рекомендуется предусматривать автоматизированные системы регистрации, хранения и передачи данных.

8.12 Мониторинг оползневого массива выполняется в соответствии с рекомендациями [5] и включает наблюдения за:

- поверхностными и глубинными смещениями;
- грунтовыми водами;
- состоянием грунтов оползневого массива.

8.13 Для определения величины, скорости и направления поверхностных и глубинных смещений оползневого массива выполняют регулярную геодезическую и инклинометрическую съемки.

Схема расположения геодезических пунктов на оползневом массиве должна соответствовать типу оползня и характеру его смещения. Рекомендуется размещать деформационные реперы по продольным и поперечным створам. Опорные реперы должны располагаться по краям за пределами оползневого тела. Количество реперов в створе и расстояние между ними рекомендуется принимать от 5 до 20 м в зависимости от размеров оползня и его морфологии.

Инклинометрические скважины располагают группами на продольных и поперечных створах. Количество створов зависит от размеров оползня и его формы (циркообразной, глетчеровидной, фронтальной). Рекомендуемое общее количество створов от 1–4 для небольших по размерам оползней (объемом около 1000 м^3) и до 4–8 для больших (объемом около 100000 м^3). При этом минимальное количество створов принимается для глетчеровидных оползней, максимальное – для фронтальных, расстояние между створами – в пределах от 25 до 100 м в зависимости от размеров оползней.

8.14 Для определения степени влияния грунтовых вод на устойчивость оползневого массива следует выполнять гидрогеологические наблюдения с использованием поропьезометров и индикаторов уровня грунтовых вод. Количество наблюдательных скважин устанавливается исходя из размеров исследуемой территории, типа оползня и числа подлежащих наблюдению водоносных горизонтов.

8.15 С целью установления характера и интенсивности изменения свойств пород в результате их выветривания устраивают специальные наблюдательные пункты (расчищенные участки, неглубокие шурфы и т. п.), обнажающие невыветрелую или слабовыветрелую породу. Пункты наблюдений следует размещать на различных элементах рельефа (несмещенном участке склона, оползневом уступе и др.).

8.16 На труднодоступных оползневых участках рекомендуется выполнять регулярные геофизические наблюдения. В задачи геофизических работ входят наблюдения за геологическими и гидрогеологическими условиями (оценкой изменений свойств и

влажности грунтов). Геофизические наблюдения рекомендуется выполнять с учетом типа существующих или прогнозируемых процессов, по створам, проходящим через ранее пройденные геологические выработки. Выбор метода геофизического наблюдения и порядок работ осуществляются в соответствии с СП 11–105–97 (часть IV).

8.17 Частота наблюдений устанавливается исходя из скорости изменения напряженно-деформированного состояния сооружения и прилегающего оползневого массива. После землетрясений силой свыше 5 баллов, прохождения интенсивных ливней или других событий, способных оказать влияние на надежность свайного сооружения или прилегающей автомобильной дороги, рекомендуется выполнять внеочередной цикл измерений.

Изменения периодичности наблюдений в сторону увеличения или уменьшения циклов измерений должны производиться в зависимости от соответствия характера работы и технического состояния сооружений требованиям проекта, критериям безопасности, а также степени информативности получаемых данных. В случаях когда в работе сооружения выявлено развитие опасных процессов, наблюдения должны проводиться по учащенному графику, вплоть до выяснения причин их возникновения и реализации оперативных инженерных решений по их устранению.

8.18 На основании полученных данных заказчику регулярно предоставляются отчеты (раз в месяц, полгода или год), которые содержат:

- результаты наблюдений, представленные в виде дефектных ведомостей, графиков изменения контролируемых показателей во времени и т. п.;
- анализ причин возникновения выявленных повреждений и деформаций;
- заключение о надежности свайного сооружения, устойчивости оползневого массива и безопасности защищаемого участка автомобильной дороги;
- прогноз изменения состояния свайного сооружения, оползневого массива и защищаемого участка автомобильной дороги;
- рекомендации о необходимости изменения проектных решений или усилении сооружений инженерной защиты, сроках проведения ремонтных или восстановительных работ и т. п.;
- предложения по дальнейшему проведению геотехнического мониторинга.

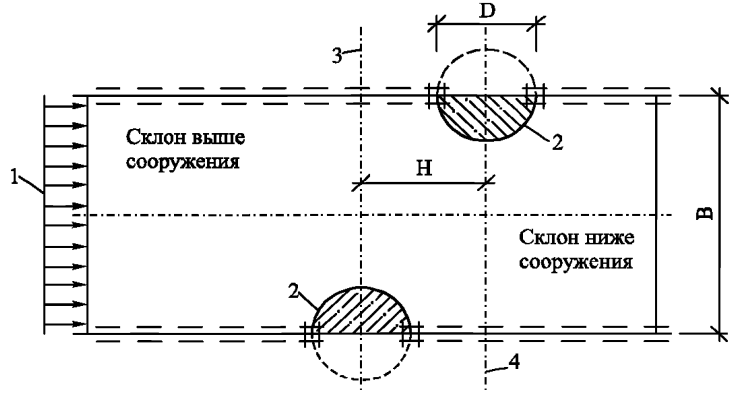
8.19 Прогноз изменения технического состояния свайного сооружения должен учитывать влияние намечаемой инженерно-

хозяйственной деятельности в период его эксплуатации, а также результаты продолжающегося воздействия природных экзогенных геодинамических процессов (эрозионных, абразионных, оползневых, выветривания и др.) на рассматриваемый участок дороги.

Приложение А
(обязательное)
Методика определения предельного оползневого давления (из условия непродавливания грунта между сваями) и распределения давлений грунта между рядами свай

А.1 Данные о предельных величинах оползневого давления из условия непродавливания грунта между сваями и распределения давлений между рядами свай могут быть получены методом конечных элементов. Ниже рассмотрен порядок составления расчетных схем. Для примера выбран наиболее типичный вариант свайного противооползневого сооружения, состоящий из двух рядов свай с шахматным их расположением в рядах.

А.2 Расчетная схема представляет собой осесимметричный фрагмент сооружения в горизонтальной плоскости (рисунок А.1). Закрепление свай принято жестким с возможностью проскальзывания и отрыва грунта. Поведение грунта описывается упругой идеально пластической моделью с критерием прочности Кулона-Мора. Моделирование оползневого давления производится распределенной нагрузкой со стороны вышележащего склона. Величина предельного оползневого давления из условия непродавливания грунта между сваями определяется в момент начала пластического течения грунта между сваями. Характерным признаком последнего является превышение значений поперечных сооружению перемещений грунта со стороны низового склона над величинами поперечных перемещений вдоль стороны приложения оползневого давления.



1 – оползневая нагрузка; 2 – свая; 3, 4 – оси свай соответственно первого и второго рядов; D – диаметр круглой сваи; B – расстояние в створе свай первого и второго рядов; H – расстояние между рядами свай

Рисунок А.1 – Расчетная схема взаимодействия грунта со сваями двухрядного удерживающего сооружения (шахматное расположение свай)

Приложение Б
(обязательное)
Предельные величины оползневого давления из условия непродавливания грунта между сваями двухрядного удерживающего сооружения

Б.1 Данные о предельных величинах оползневого давления из условия непродавливания грунта между сваями (давления непродавливания) двухрядного удерживающего сооружения с шахматным расположением свай получены расчетом конечных элементов (см. приложение А). По результатам анализа расчетов установлено, что:

- давление непродавливания значительно зависит от конфигурации свайного поля (соотношения расстояний между сваями в ряду и между рядами свай), а также от величины угла внутреннего трения грунта $\overline{4}$;
- влияние коэффициента трения грунта о сваю □ существенно меньше, поэтому его величина принята равной осредненному значению □ = 0,6 (трению грунта о бетон);
- величина удельного сцепления в грунте линейно влияет на величину предельного давления продавливания грунта между сваями.

Б.2 Данные приведены в виде изополей величин предельного оползневого давления в зависимости от относительного расстояния между рядами свай H/D и относительного расстояния в створе свай первого и второго рядов B/D. Данные представлены в удельной форме (в форме соотношения фактической величины давления непродавливания к величине сцепления в грунте).

Б.3 На рисунках Б.1–Б.9 приведены номограммы удельного сопротивления свайного поля продавливанию грунта.

Порядок пользования номограммами следующий:

- выбрать номограмму, максимально соответствующую величине угла внутреннего трения грунта межсвайного пространства;
- найти на номограмме точку в координатах относительного расстояния между рядами свай H/D и относительного расстояния в створе свай первого и второго рядов B/D (равное половине относительного шага свай в ряду L/D);
- получить значение удельного сопротивления свайного поля продавливанию грунта $р_{пред.уд.}$ методом интерполяции по соседним изолиниям;
- посчитать величину сопротивления свайного поля продавливанию грунта $р_{пред}$ путем умножения $р_{пред.уд.}$ на величину удельного сцепления в грунте межсвайного пространства.

Б.4 Для промежуточных величин угла внутреннего трения грунта допускается интерполяция данных между смежными номограммами.

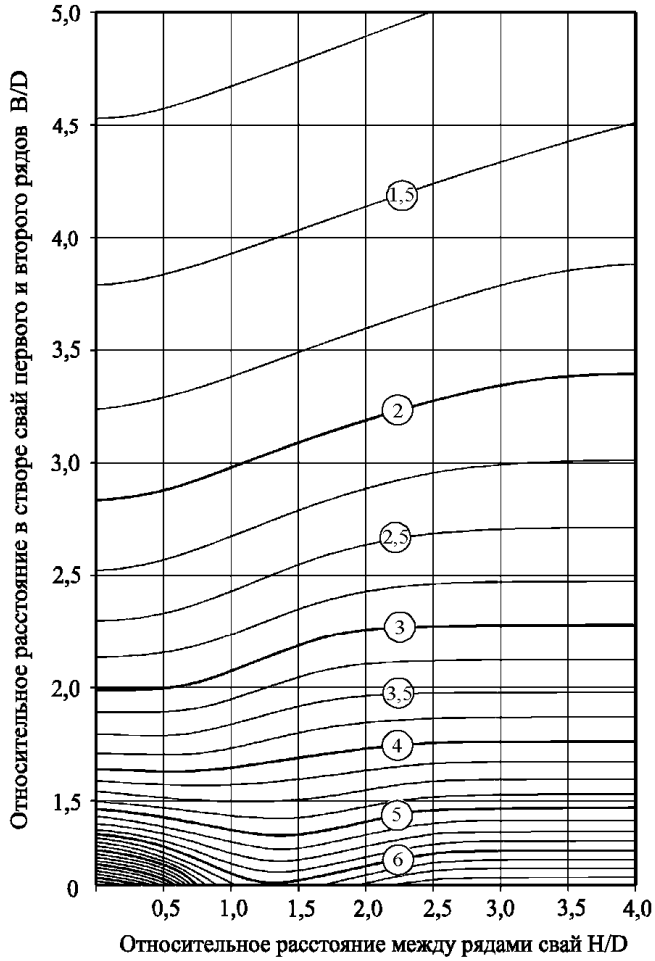


Рисунок Б.1 – Номограмма для определения удельного сопротивления свайного поля продавливанию грунта (c = 1 кПа, $\overline{4}$ = 0 °, □ = 0,6)

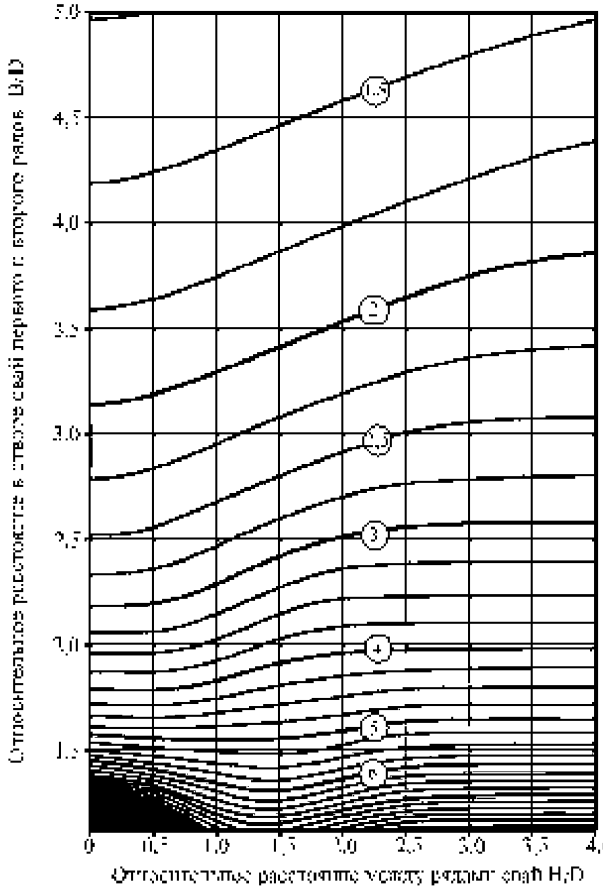


Рисунок Б.2 – Номограмма для определения удельного сопротивления свайного поля продавливанию грунта (c = 1 кПа, $\overline{4}$ = 2,5 °, □ = 0,6)

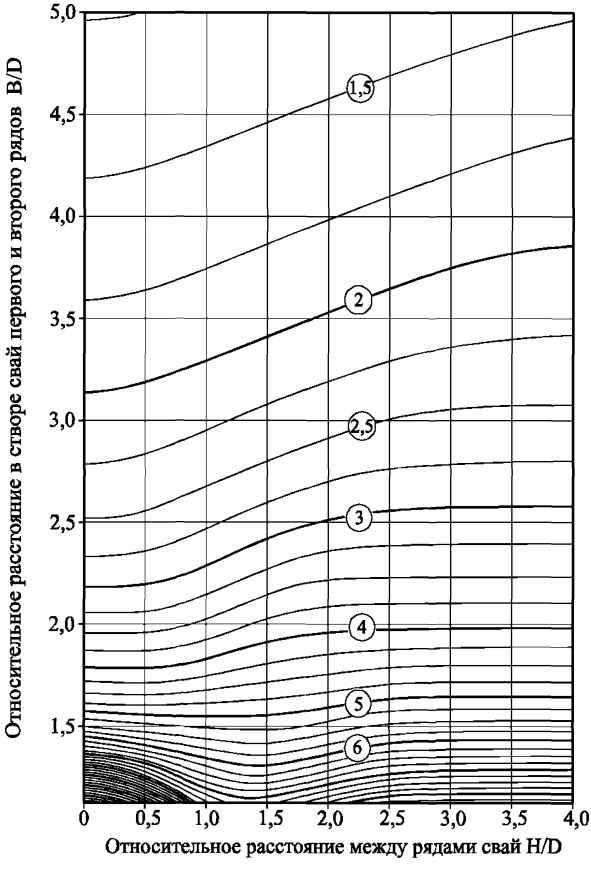


Рисунок Б.3 – Номограмма для определения удельного сопротивления свайного поля продавливанию грунта (c = 1 кПа, $\overline{4}$ = 5 °, □ = 0,6)

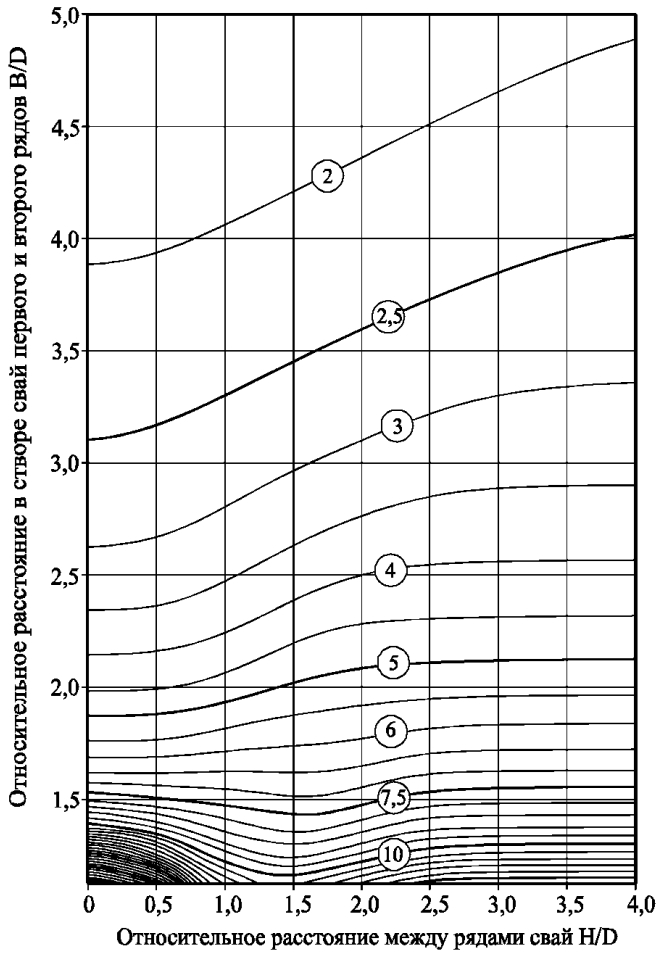


Рисунок Б.4 – Номограмма для определения удельного сопротивления свайного поля продавливанию грунта (c = 1 кПа, $\overline{4}$ = 7 °, □ = 0,6)

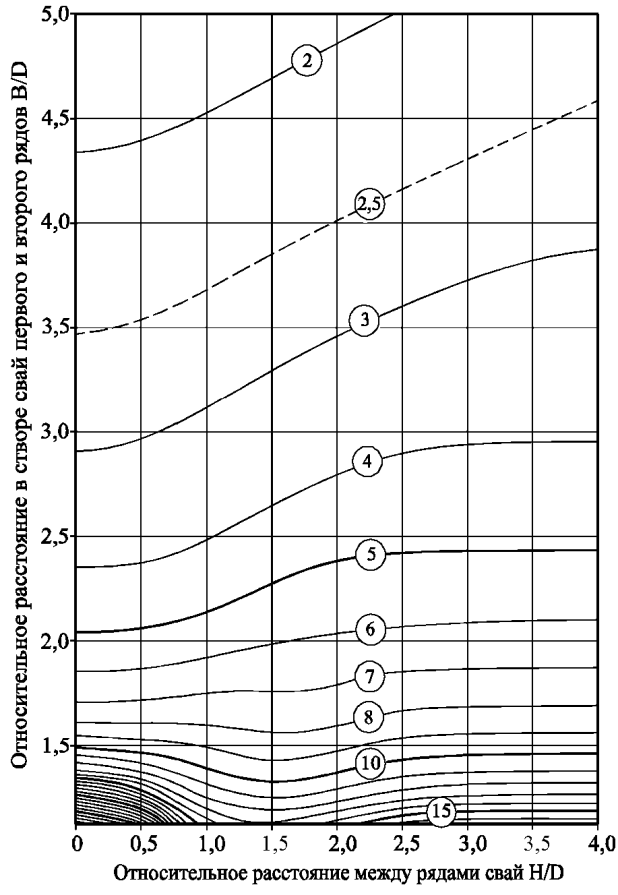


Рисунок Б.5 – Номограмма для определения удельного сопротивления свайного поля продавливанию грунта (c = 1 кПа, $\overline{4}$ = 10 °, □ = 0,6)

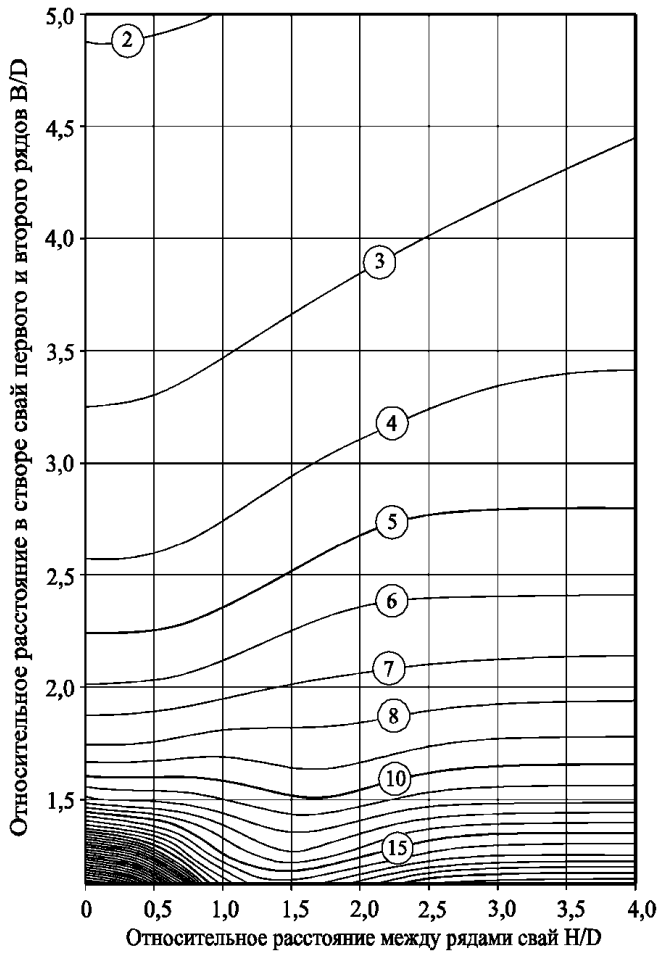


Рисунок Б.6 – Номограмма для определения удельного сопротивления свайного поля продавливанию грунта (c = 1 кПа, $\overline{4}$ = 12,5 °, □ = 0,6)

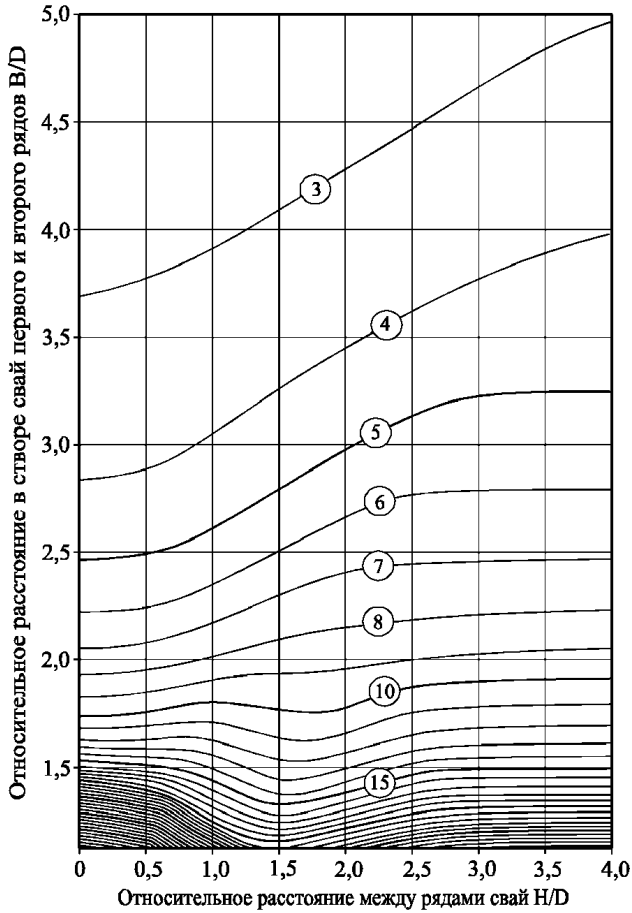


Рисунок Б.7 – Номограмма для определения удельного сопротивления свайного поля продавливанию грунта (c = 1 кПа, $\overline{4}$ = 15 °, □ = 0,6)

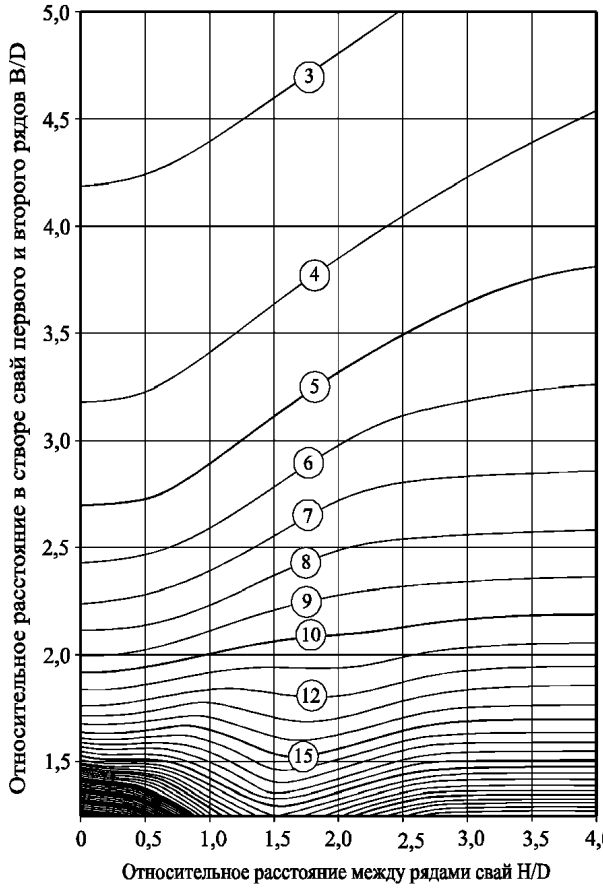


Рисунок Б.8 – Номограмма для определения удельного сопротивления свайного поля продавливанию грунта (c = 1 кПа, $\overline{4}$ = 17,5 °, □ = 0,6)

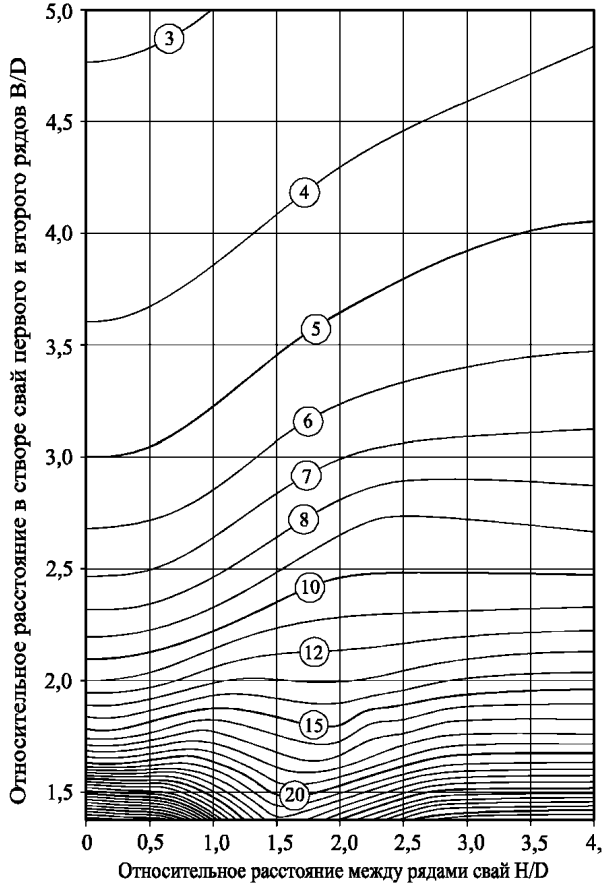


Рисунок Б.9 – Номограмма для определения удельного сопротивления свайного поля продавливанию грунта (c = 1 кПа, $\overline{4}$ = 20 °, □ = 0,6)

Приложение В
(обязательное)
Распределение оползневых давлений между сваями двухрядного удерживающего сооружения

В.1 Данные о распределении оползневых давлений между рядами свай двухрядного удерживающего сооружения с шахматным расположением свай получены методом конечных элементов (см. приложение А).

В.2 По результатам анализа расчетов установлено, что:

- характер распределения давлений значительно зависит от соотношения расстояний между сваями в ряду и между рядами свай, а также от величины угла внутреннего трения грунта $\overline{4}$;

- влияние коэффициента трения грунта о сваю □ существенно меньше, поэтому его величина принята равной осредненному значению □ = 0,6 (трению грунта о бетон);

- величина удельного сцепления в грунте не влияет на характер взаимодействия грунта со сваями удерживающего сооружения и линейно влияет на величину предельного давления продавливания грунта между сваями.

В.3 Данные приведены в виде изополей величин доли давления (в процентах) на первую и вторую сваи от общего оползневого давления в зависимости от относительного расстояния между рядами H/D и относительного расстояния в створе свай первого и второго рядов B/D.

В.4 На рисунках В.1–В.18 приведены номограммы для определения доли давления на сваи первого и второго рядов.

Порядок пользования номограммами следующий:

- выбрать номограмму, максимально соответствующую величине угла внутреннего трения грунта межсвайного пространства;
- найти на номограмме точку в координатах относительного расстояния между рядами свай H/D и относительного расстояния в створе свай первого и второго рядов B/D (равное половине относительного шага свай в ряду L/D);
- получить значение долей распределения давлений между рядами свай методом интерполяции по соседним изолиниям.

Примечания

1 Для промежуточных величин угла внутреннего трения грунта допускается интерполяция данных между смежными номограммами.

2 Допускается округление полученных величин до целых значений.

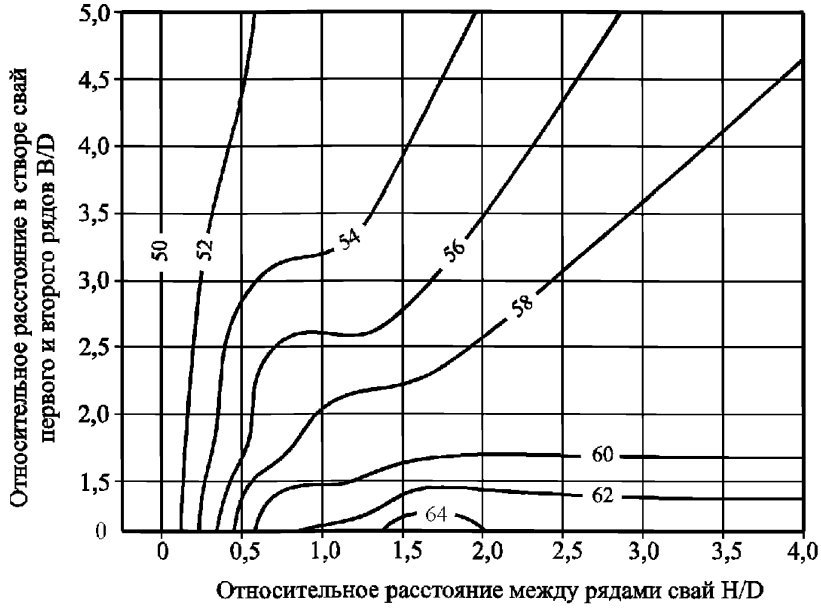


Рисунок В.1 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи первого ряда, % ($\overline{4}$ = 0 °, □ = 0,6)

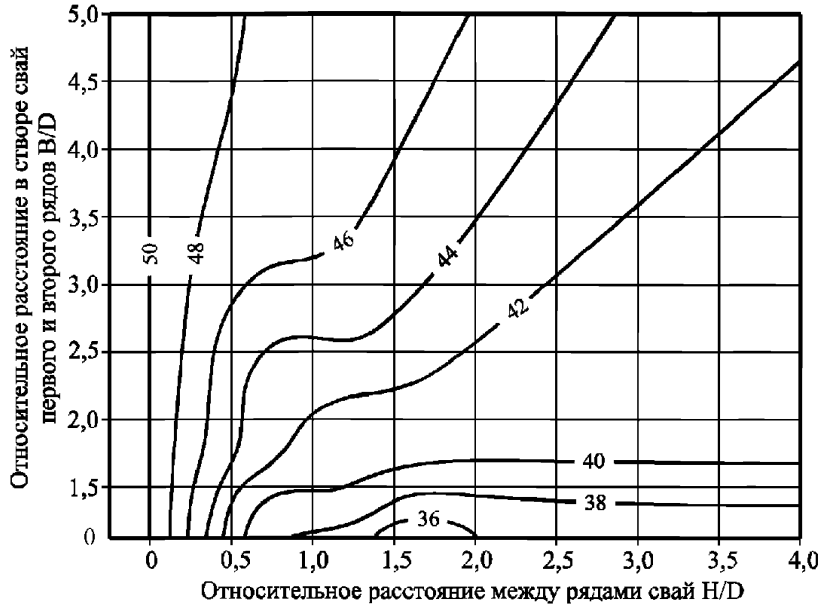


Рисунок В.2 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи второго ряда, % ($\overline{4}$ = 0 °, ⁞⁞ = 0,6)

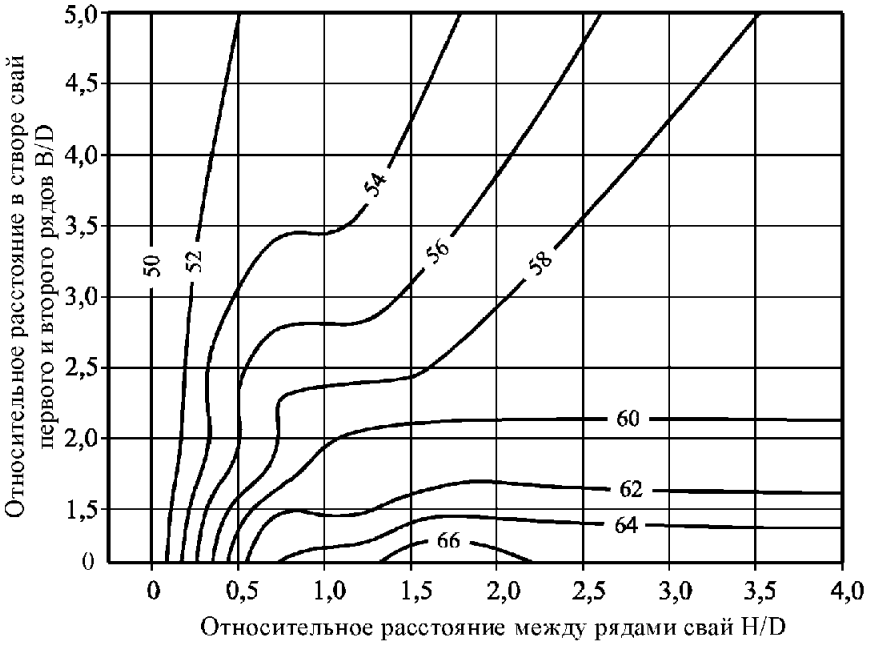


Рисунок В.3 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи первого ряда, % ($\overline{4}$ = 2,5 °, □ = 0,6)

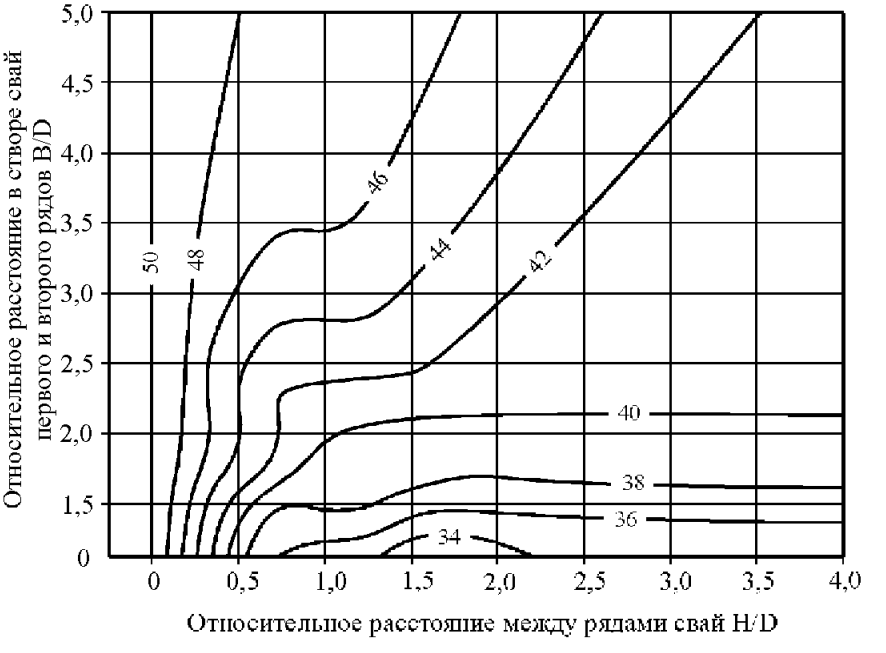


Рисунок В.4 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи второго ряда, % ($\overline{4}$ = 2,5 °, □ = 0,6)

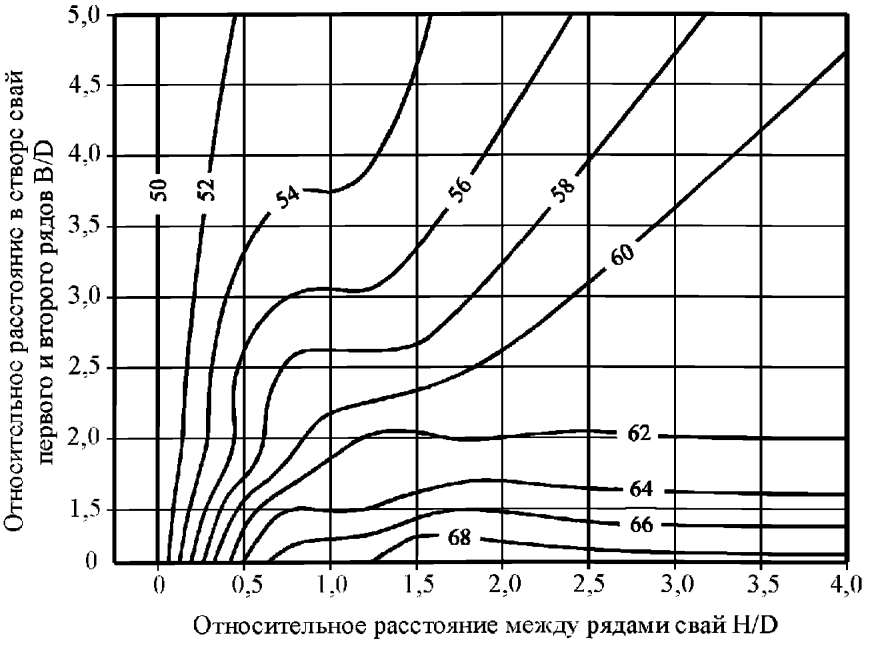


Рисунок В.5 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи первого ряда, % ($\overline{4}$ = 5 °, $\bar{}$ = 0,6)

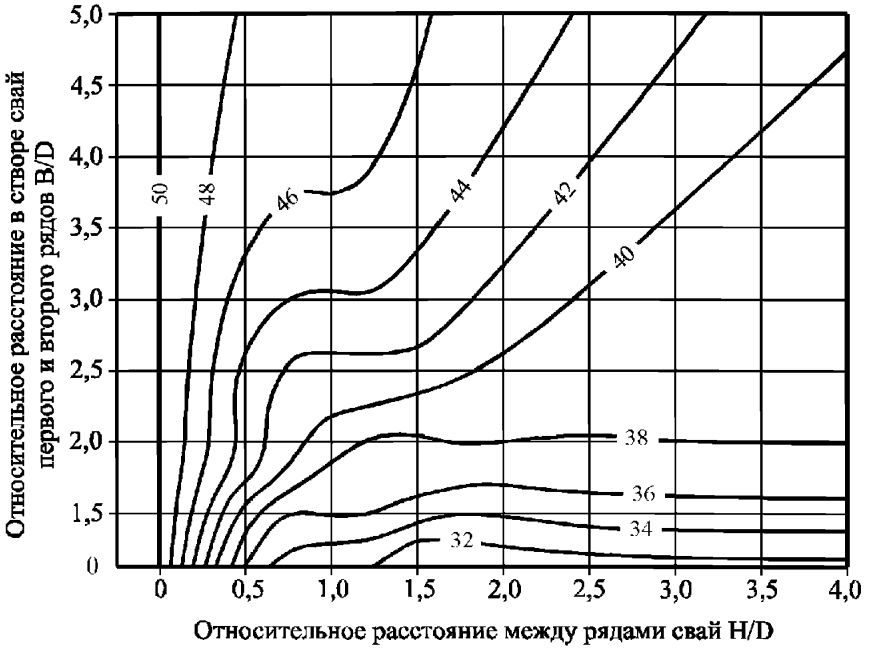


Рисунок В.6 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи второго ряда, % ($\overline{4}$ = 5 °, $\bar{}$ = 0,6)

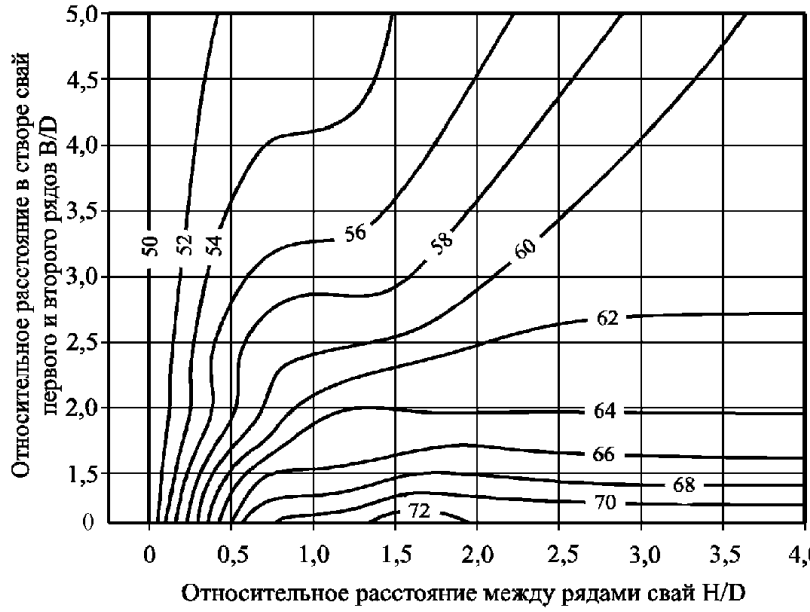


Рисунок В.7 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи первого ряда, % ($\overline{4}$ = 7,5 °, ∟ = 0,6)

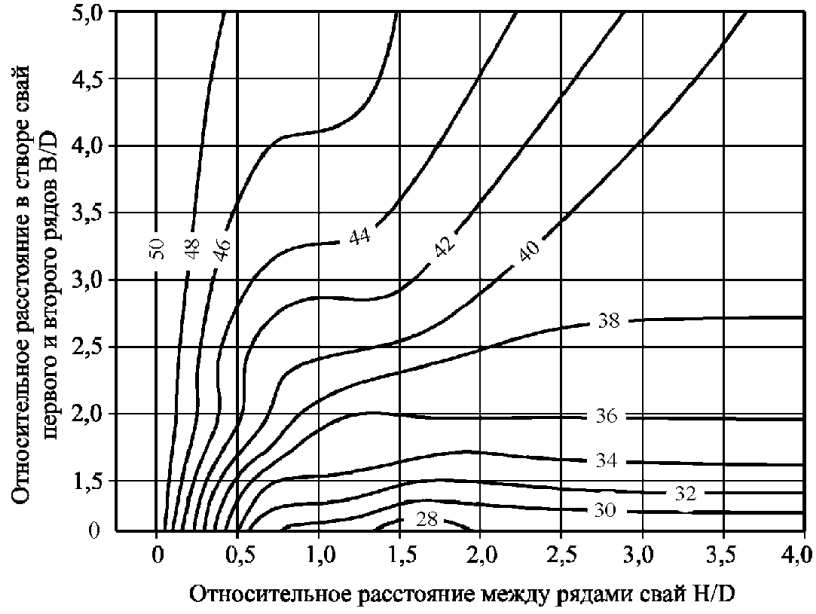


Рисунок В.8 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи второго ряда, % ($\overline{4}$ = 7,5 °, ⌜ = 0,6)

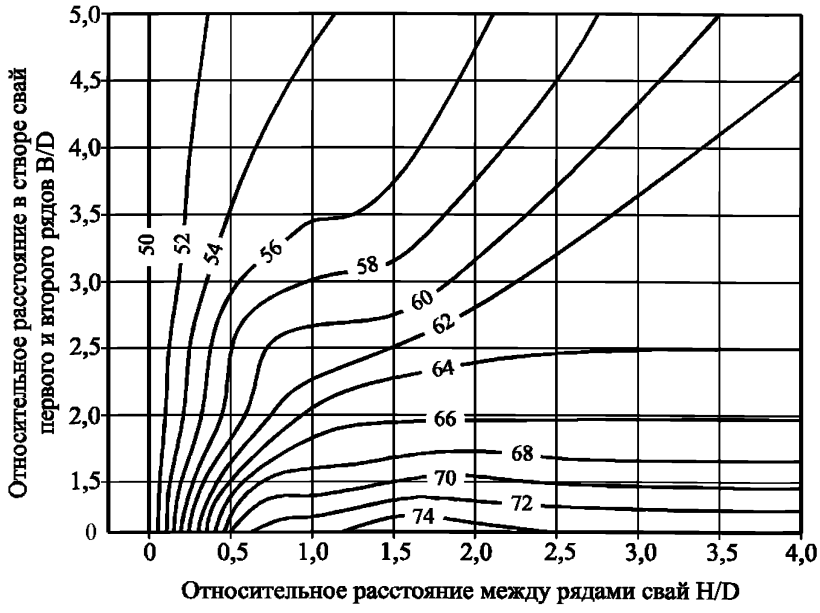


Рисунок В.9 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи первого ряда, % ($\overline{4}$ = 10 °, □ = 0,6)

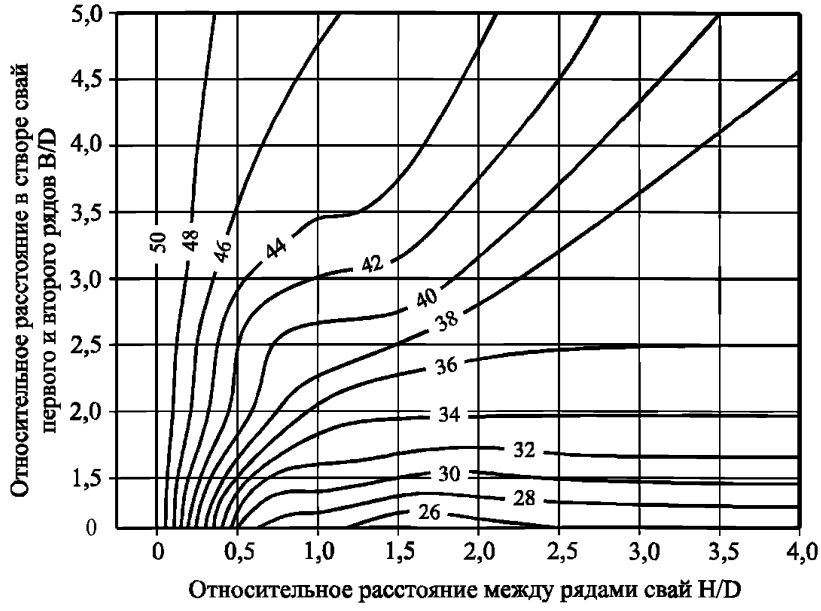


Рисунок В.10 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи второго ряда, % ($\overline{4}$ = 10 °, □ = 0,6)

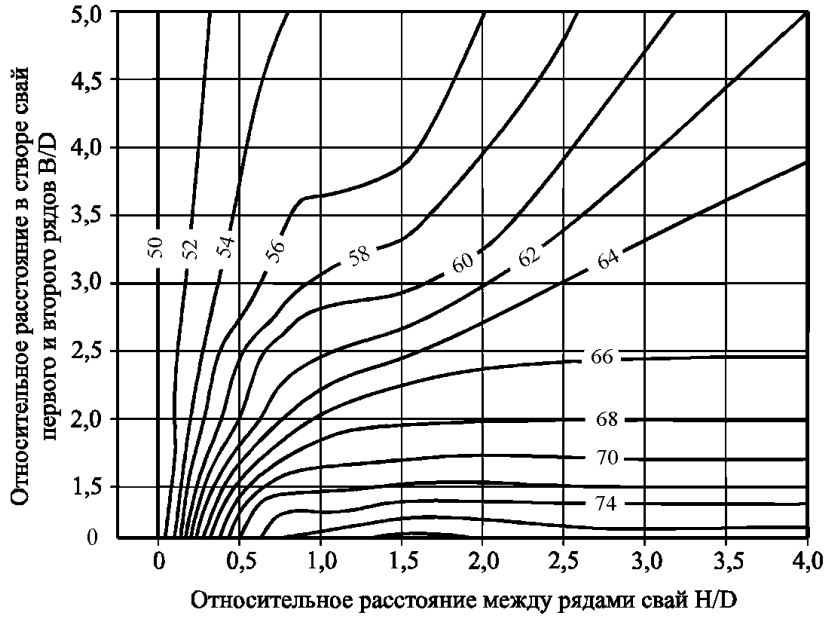


Рисунок В.11 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи первого ряда, % ($\overline{4}$ = 12,5 °, □ = 0,6)

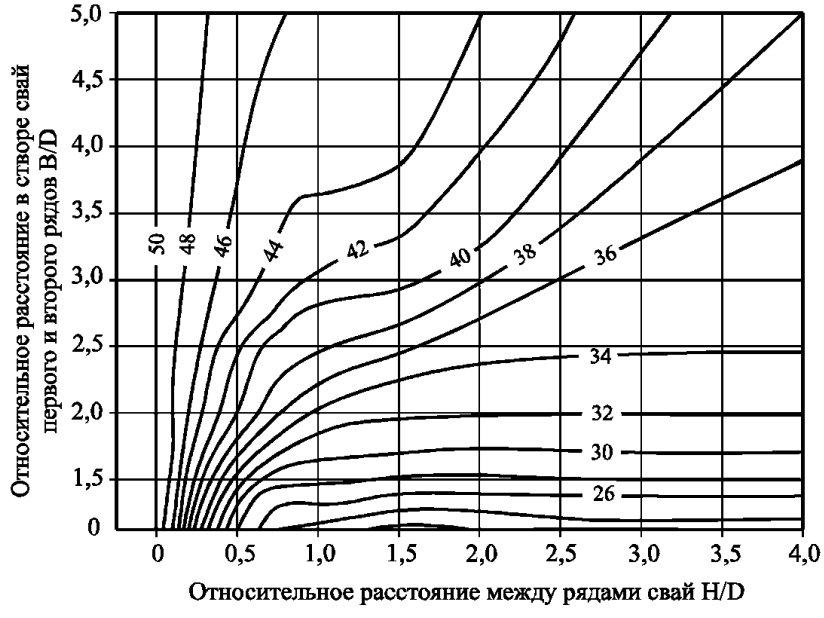


Рисунок В.12 Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи второго ряда, % ($\overline{4}$ = 12,5 °, □ = 0,6)

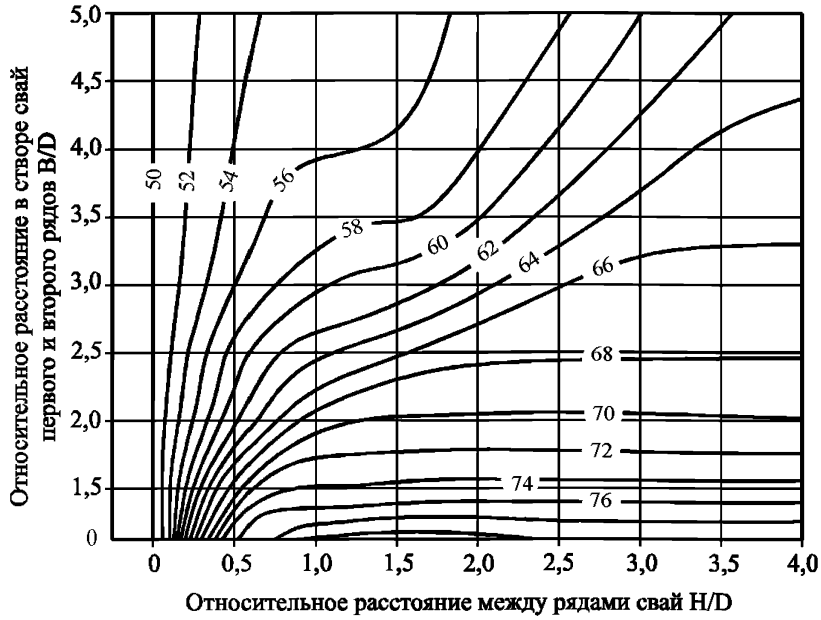


Рисунок В.13 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи первого ряда, % ($\overline{4}$ = 15 °, □ = 0,6)

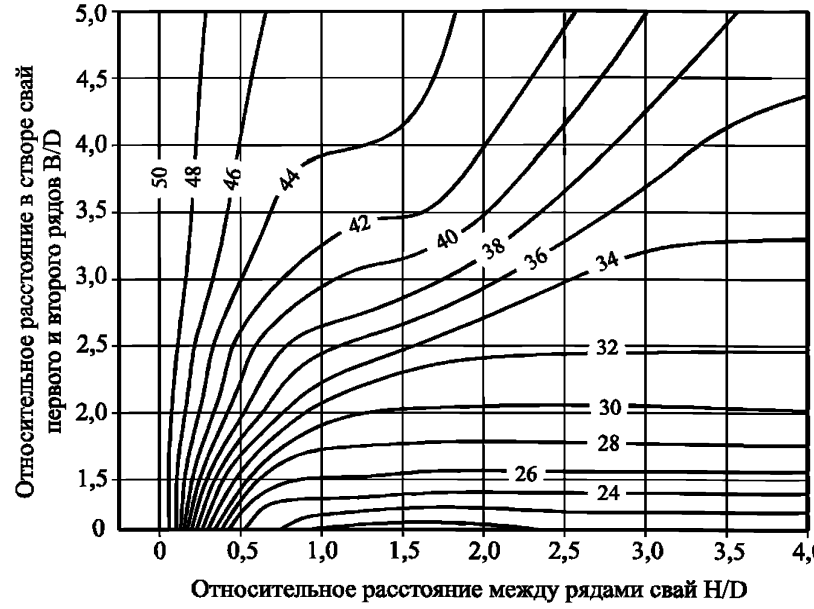


Рисунок В.14 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи второго ряда, % ($\overline{4}$ = 15 °, □ = 0,6)

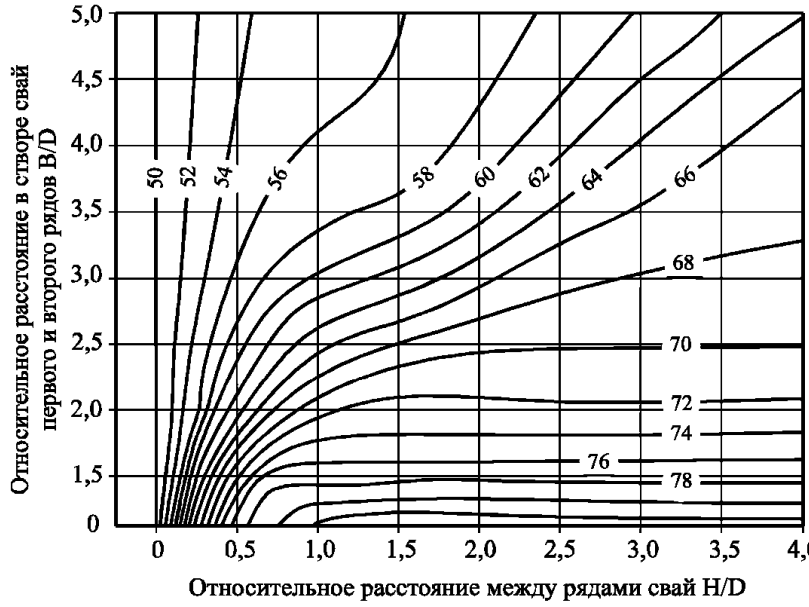


Рисунок В.15 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи первого ряда, % ($\overline{4}$ = 17,5 °, □ = 0,6)

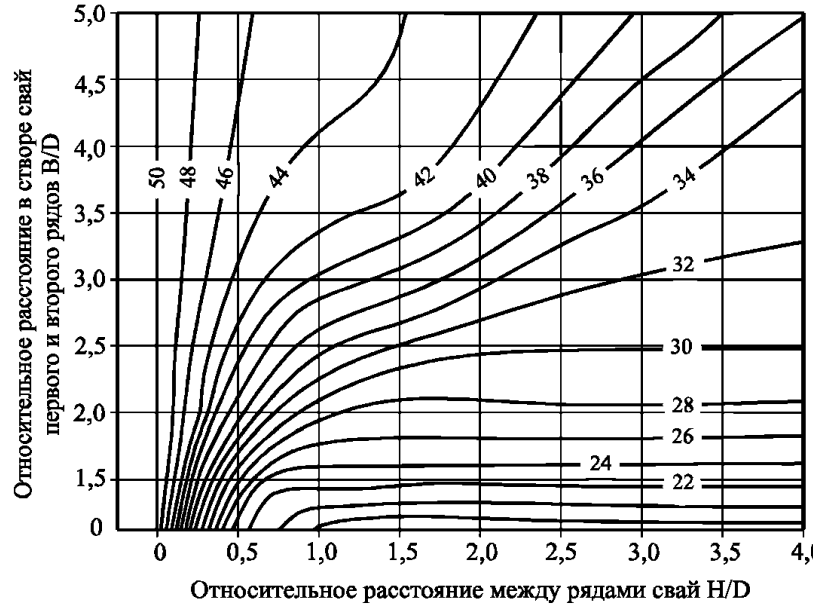


Рисунок В.16 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи второго ряда, % ($\overline{4}$ = 17,5 °, □ = 0,6)

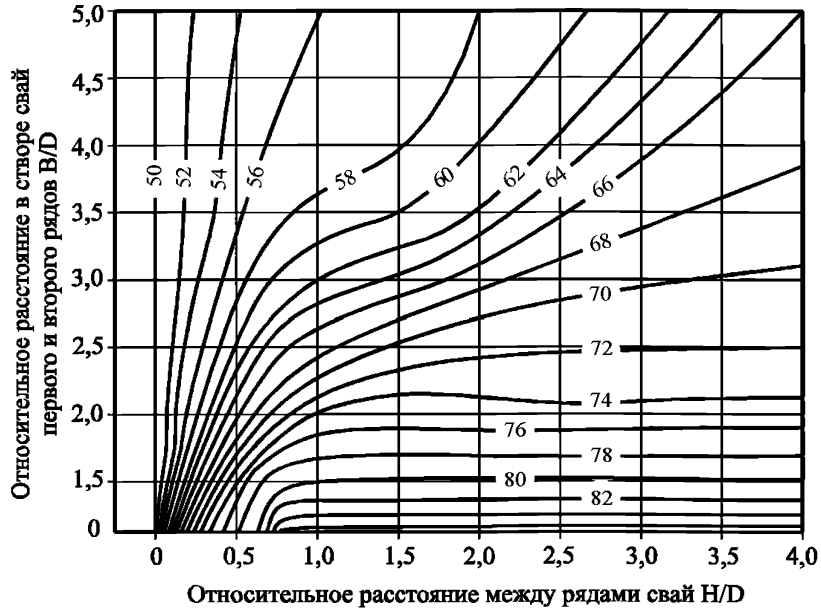


Рисунок В.17 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи первого ряда, % ($\overline{4}$ = 20 °, □ = 0,6)

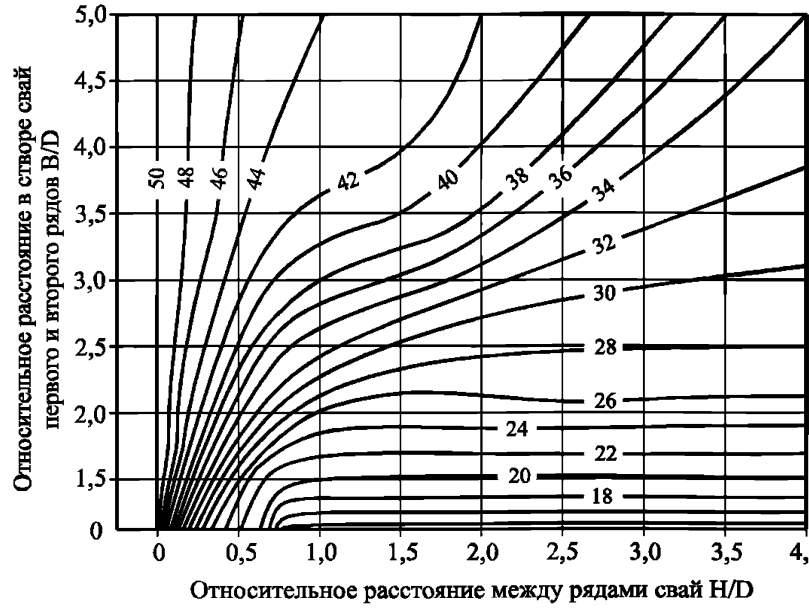


Рисунок В.18 – Номограмма для определения доли оползневого давления на сваи второго ряда, % ($\overline{4}$ = 20 °, □ = 0,6)

Приложение Г
(обязательное)
Пример выбора конструктивных решений свайных противооползневых сооружений

Г.1 Исходные данные

В качестве примера по проектированию свайных противооползневых сооружений выбран крупный блоковый оползень, образовавшийся на верховом склоне магистральной автомобильной дороги. Средняя ширина оползневого тела составила около 400 м, длина – 300 м. В результате активизации оползневых процессов был разрушен строящийся путепровод.

Основными причинами возникновения оползня являются подрезка склона при строительстве автомобильной дороги, нарушение естественного стока поверхностных вод из-за распашки и искусственного террасирования склона и значительное водонасыщение грунтов вследствие аномально высокого количества осадков. Грунты склона сильно обводнены, в пределах современного оползня подземные воды имеют спорадическое распространение. Территория характеризуется высокой сейсмичностью.

Г.2 Выбор конструктивных решений

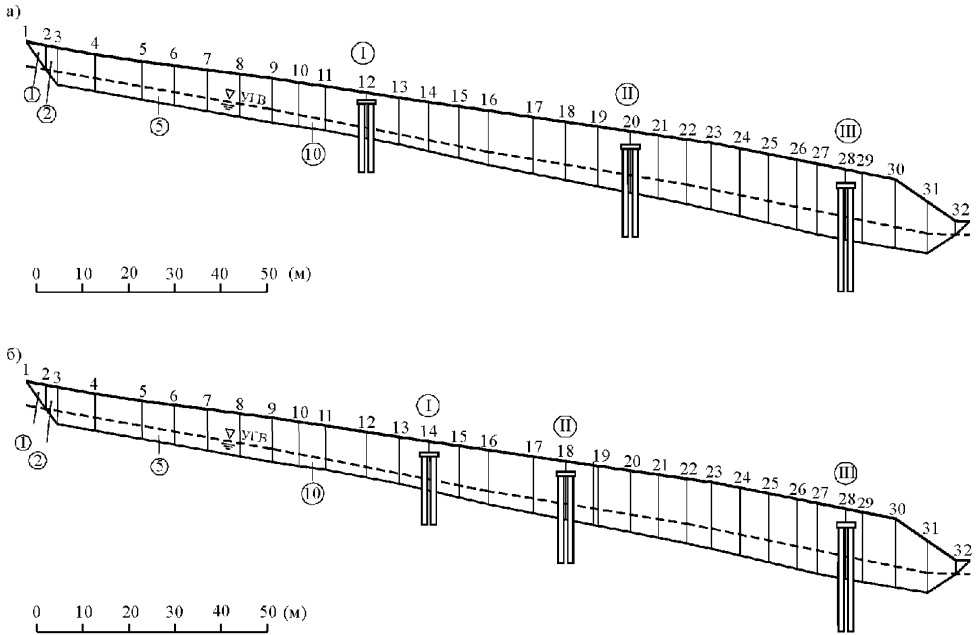
Задачей инженерной защиты является удержание грунтов склона и защита автомобильной дороги от оползневых подвижек по всей ширине оползня. Принято решение об устройстве свайных противооползневых сооружений, расположенных в несколько ярусов на верховом склоне, представленных сплошными свайными рядами, удерживающих грунты склона по всей ширине оползневого массива.

Г.3 Выбор местоположения свайных противооползневых сооружений

Определение количества ярусов противооползневых свайных сооружений выполнено на основании расчетов устойчивости и оползневых давлений следующим образом.

Один ярус противооползневых сооружений. Устройство одного яруса противооползневого сооружения не обеспечивает устойчивости всего оползневого массива. Рассмотрено применение двух и трех ярусов сооружений (рисунок Г.1). Положение нижнего яруса III изначально выбрано из условия собственной устойчивости нижерасположенного грунта с необходимым коэффициентом запаса. Рациональное расположение верхних ярусов определялось последовательным приближением.

Два яруса удерживающих сооружений. При перемещении яруса I от головы оползня на 70 м по склону вниз давление на него остается постоянным и



а, б – расположение противооползневых сооружений соответственно первоначальное и оптимизированное

(c = 15кПа, $\overline{4}$ = 8 °; ∟ = 20,4 кН/м³)

(в кружках соответственно обозначены римскими цифрами ярусы, арабскими – номера отсеков; цифры на схеме соответствуют номерам сечений между отсеками)

Рисунок Г.1 – Расчетная схема оползня в характерном сечении

составляет порядка 320–340 кН/м (рисунок Г.2). Давление на ярус III при этом также не изменяется и составляет около 820–850 кН/м. Однако дальнейшее смещение яруса I приводит к росту значений оползневого давления на него и снижению давления на ярус III. При расположении яруса I на расстоянии около 98 м от головы оползня давление грунта на оба яруса сооружений выравниваются и составляют около 580 кН/м.

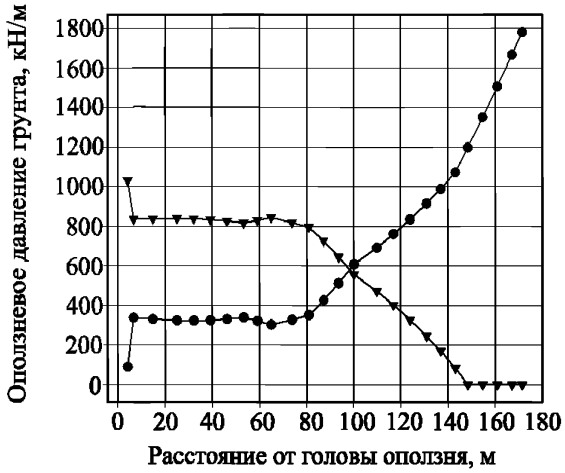


Рисунок Г.2 – Зависимость оползневых давлений в рядах от положения первого яруса
(два яруса сооружений)

Три яруса удерживающих сооружений. Рассмотрим влияние положения яруса II на распределение оползневых давлений (рисунок Г.3). При смещении

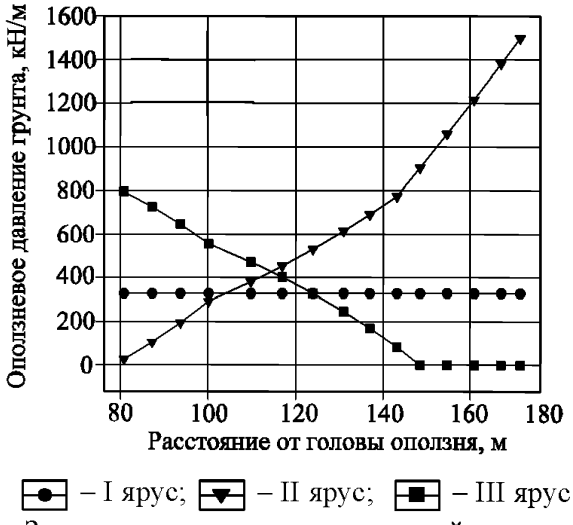


Рисунок Г.3 – Зависимость оползневых давлений в рядах от положения второго яруса
(три яруса сооружений)

яруса II вниз по склону от яруса I давление на последний не меняется и составляет около 330 кН/м. Одновременно с этим давление на ярус II растет, а на ярус III падает. При расположении яруса II на расстоянии около 114 м от головы оползня давление на ярусы II и III принимает одинаковые значения около 430 кН/м.

Совместный анализ рисунков Г.2 и Г.3 показывает, что ярус I необходимо расположить на расстоянии около 87 м от головы оползня. В этом случае давление на него составляет 380–390 кН/м. Ярус II при этом необходимо расположить на расстоянии 114 м от головы оползня. С учетом смещения яруса I давление грунта на ярусы II и III падает, оползневое давление на все ярусы принимает одинаковые значения.

На основании анализа расчетов оползневых давлений принят вариант трехярусного расположения свайных противооползневых конструкций (см. рисунок Г.1, а). С целью выравнивания оползневых давлений на ярусы сооружений и с учетом результатов оценки влияния расположения свайных рядов на величины оползневых давлений положение свайных рядов оптимизировано (см. рисунок Г.1, б).

Приложение Д
(обязательное)
Пример расчета свайного противооползневого сооружения

Д.1 Исходные данные

Для инженерной защиты оползнеопасного склона (рисунок Д.1) предусмотрено устройство свайной конструкции из буронабивных свай. Принят вариант удерживающей конструкции из двух рядов буронабивных свай диаметром 1000 мм и длиной 20 м, расположенных в шахматном порядке с шагом L = 2,5 м и объединенных железобетонным ростверком. Расстояние между рядами свай H = 2,5 м. Класс бетона свай В25. Армирование свай симметричное из 28 стержней диаметром 32 мм класса А400. Результирующая погонная нагрузка от оползневого давления в расчетном сечении $E_{оп}$ = 500 кН/м. Показатели физико-механических свойств грунтов приведены в таблице Д.1.

Таблица Д.1 – Показатели физико-механических свойств грунтов

Наименование показателя	Величина показателя	
	ИГЭ-1	ИГЭ-2
Удельный вес γ, кН/м^3	19,0	20,8
Удельное сцепление с, кПа	20,0	23,7
Угол внутреннего трения φ, град	12,5	14,2
Показатель текучести I_L	0,7	0,3
Коэффициент пропорциональности K, кН/м^4	8000	14400

Примечание – ИГЭ-1, ИГЭ-2 – соответственно инженерно-геологические элементы 1 и 2.

Д.2 Определение нагрузок на сваи

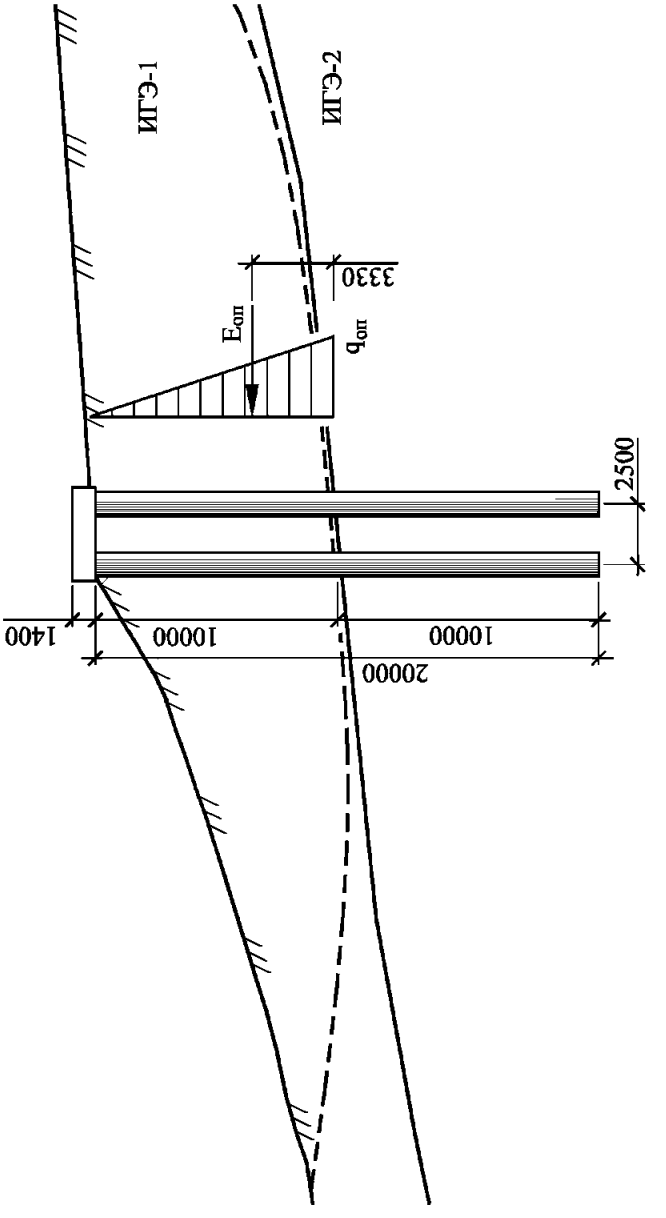
Проектом предусмотрено следующее расположение свай в плане:

- относительное расстояние в створе свай первого и второго рядов

$$\frac{B}{D} = \frac{L}{2D} = \frac{2500}{2 \text{Ч} 000} = 1,25;$$

- относительное расстояние между рядами свай $\frac{H}{D} = 2,5$.

В соответствии с номограммами, приведенными в приложении В, и величиной угла внутреннего трения $\overline{4}$ для ИГЭ-1 распределение оползневых давлений между рядами свай следующее: на первый ряд (со стороны верхового склона) $\square_1$ = 72 %, на второй ряд $\square_2$ = 28 %.



$q_{оп}$ – максимальное оползневое давление
(размеры даны в миллиметрах)

Рисунок Д.1 – Расчетная схема свайного противооползневого сооружения

Д.3 Сопротивление свайного поля продавливанию грунта

Распределение оползневых давлений по глубине оползня принимаем равномерно нарастающим. В соответствии с треугольной формой эпюры оползневых давлений в сечении максимальное оползневое давление соответствует глубине поверхности скольжения

$$q_{оп} = \frac{2E_{оп}}{H_{оп}} = \frac{2 \cdot 500}{10} = 100 \text{ кПа}.$$

В соответствии с приложением Б и величиной угла внутреннего трения $\overline{4}$ для ИГЭ-1 сопротивление свайного поля продавливанию грунта составляет [q] = 140 кПа. Таким образом, необходимый запас сопротивления конструкции продавливанию грунта обеспечен.

Д.4 Расчет усилий в конструкции

С целью определения внутренних усилий в конструкции проведен расчет рамной конструкции в программном комплексе Лира САПР. Расчетная схема составлена с учетом упругой заделки свай в несмещаемые грунты ниже поверхности скольжения и неравномерного распределения оползневых давлений между рядами свай (рисунок Д.2):

- давление на первый ряд свай

$q_{оп1} = q_{оп}\delta_1 L = 100 \cdot 0{,}72 \cdot 2{,}5 = 180$ кН/м;

- давление на второй ряд свай

$q_{оп2} = q_{оп}\delta_2 L = 100 \cdot 0{,}28 \cdot 2{,}5 = 70$ кН/м.

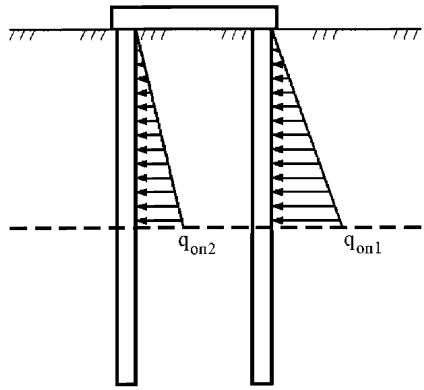


Рисунок Д.2 – Расчетная схема к определению оползневых нагрузок на сваи

Результаты расчета внутренних изгибающих моментов, поперечных и продольных сил приведены на рисунках Д.3–Д.6.

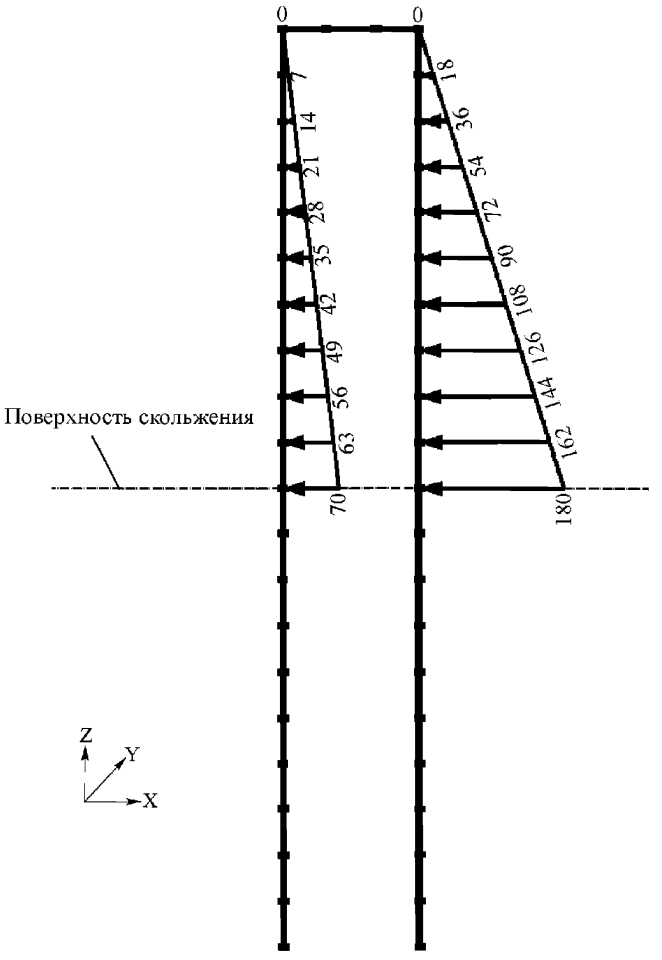
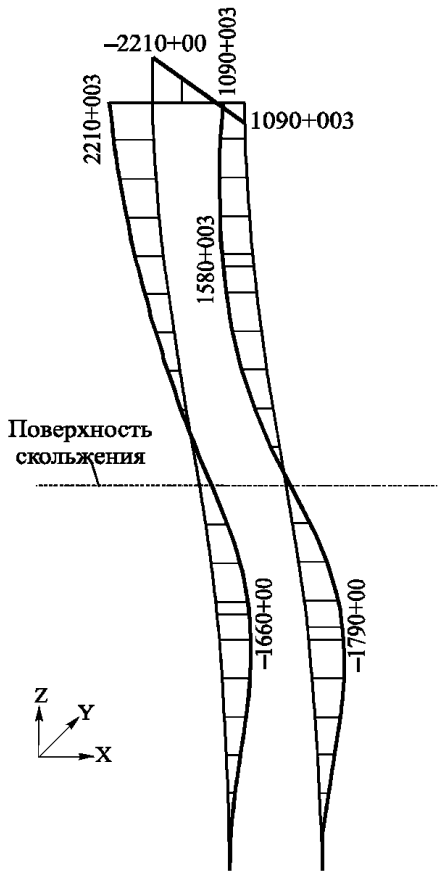
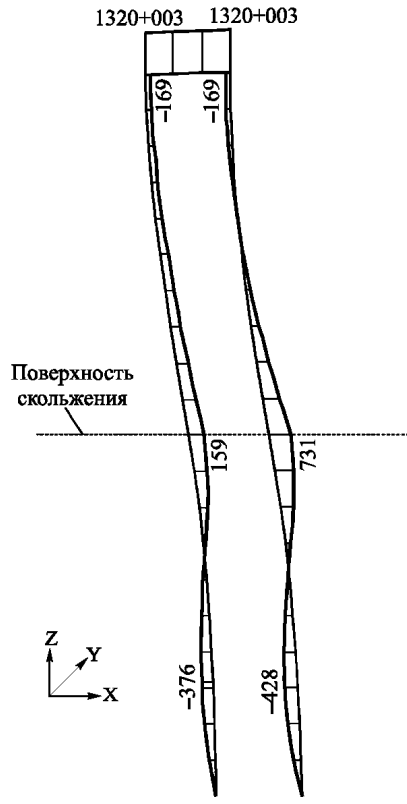


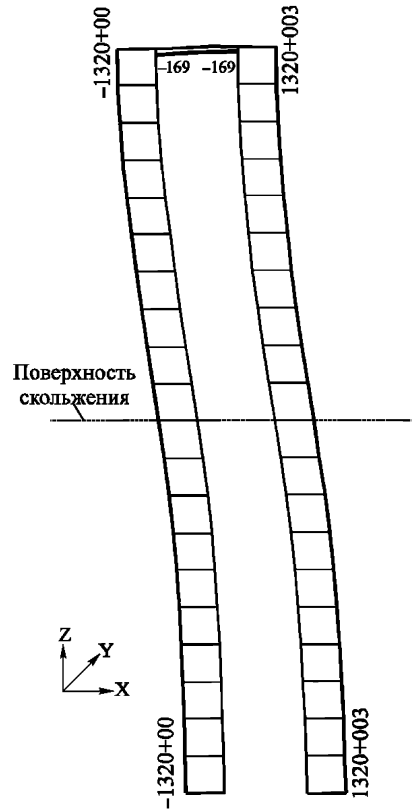
Рисунок Д.3 – Схема загружения рамной конструкции
(цифры соответствуют оползневому давлению на сваю, кПа)



Минимальный изгибающий момент – 2205,42 кН□м;
максимальный изгибающий момент – 2205,42 кН□м
Рисунок Д.4 – Эпюра изгибающих моментов



Минимальная поперечная сила – 428,059 кН□м;
максимальная поперечная сила – 1318,63 кН□м
Рисунок Д.5 – Эпюра поперечных сил



Минимальная продольная сила – 1318,63 кН□м;
максимальная продольная сила–1318,63 кН□м
Рисунок Д.6 – Эпюра продольных сил

Д.5 Расчет свайных элементов конструкции из условий прочности

Параметры сечения сваи:

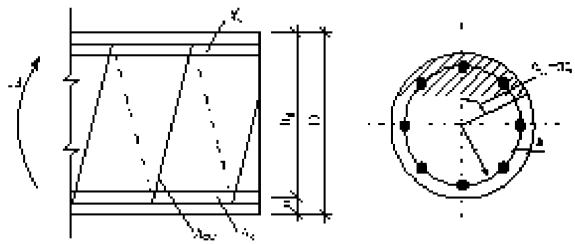
- диаметр сваи D = 1м;
- площадь нормального сечения сваи $A = \pi r^2 = 0,785 м^2$ (r – радиус сваи, м);
- расстояние от оси расположения центров тяжести арматурных стержней до внешней грани сваи a = 0,11 м;
- расчетное сопротивление бетона осевому сжатию (пункт 6.1.11 СП 63.13330.2012) R_b = 14,5 МПа;
- коэффициент условий работы железобетонной конструкции, бетонируемой в вертикальном положении (пункт 7.1.9 СП 24.13330.2011), □$_{cb}$ = 0,85;
- коэффициент условий работы, учитывающий способ производства свайных работ (пункт 7.1.9 СП 24.13330.2011), γ$_{b}$ = 0,8;

- расчетное сопротивление бетона осевому сжатию с учетом коэффициентов условий работы R_{b}= $R_b\gamma_{cb}\gamma_{b}$= 9,86 МПа;
- расчетное сопротивление бетона осевому растяжению с учетом коэффициентов условий работы R_{bt}= $R_{bt}\gamma_{cb}\gamma_{b}$= 0,714 МПа;
- R_{bt} – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению, равное 1,05 МПа (пункт 6.1.11 СП 63.13330.2012);
- расчетное сопротивление стали продольной арматуры растяжению (пункт 6.2.8 СП 63.13330.2012) R_s = 350 МПа;
- количество стержней продольной арматуры n_{d}^{c} = 28 шт.;
- диаметр стержней продольной арматуры d_s = 32 мм;
- общая площадь сечения стержней продольной арматуры A_{stot} = 225,189 см^2;
- процент армирования $^{00}_{d}$ = 2,9 %;
- расчетное сопротивление стали поперечной арматуры растяжению (пункт 6.2.8 СП 63.13330.2012) R_{sw} = 350 МПа;
- диаметр стержней поперечной арматуры d_{sw} = 8 мм;
- шаг стержней поперечной арматуры s_{sw} = 100 мм;
- общая площадь сечения стержней поперечной арматуры $A_{sw} = 2\pi\frac{d_{sw}^2}{4}$ = 1,005 см^2.

Нагрузки, действующие на сваю:

- максимальный изгибающий момент M = 2205,4 кН□м;
- максимальная поперечная сила Q = 731 кН;
- продольная сила в сечении с максимальным изгибающим моментом N = 1318,6 кН;
- продольная сила в сечении с максимальной поперечной силой = 1318,6 кН.

Геометрические характеристики сечения сваи приведены на рисунке Д.7. Расчеты сваи выполняются с приведением равномерно распределенной арматуры к равновеликому сплошному кольцу.



A_s, $A_{d_s}^{c}$ – площадь соответственно растянутой и сжатой арматуры, □$_к$ – угол, равный половине центрального угла при вершине кругового сектора; $\frac{1}{18}_{cir}$ – относительная длина дуги сжатой зоны бетона; h_o – полезная высота сечения

Рисунок Д.7 – Расчетная схема сечения сваи

Полезная высота сечения согласно рекомендациям [6] и работе [7] определена по формуле Размеры приведенного прямоугольного сечения согласно рекомендациям [6]

$$b_{red} = \frac{1{,}77D}{2} = 0{,}885 \text{ м},$$

$$h_{red} = \frac{1{,}77D}{2} - a = 0{,}775 \text{ м},$$

где b_{red} и h_{red} – соответственно ширина и высота приведенного прямоугольного сечения, м.

Радиус окружности r_s, проходящей через центры тяжести стержней продольной арматуры, равен $r_s = r - a = 0{,}39$ м.

Д.6 Расчет прочности сваи

Расчет прочности ствола сваи при действии изгибающего момента выполняется для круглых сечений с арматурой, равномерно распределенной по окружности (при минимальном количестве стержней продольной арматуры, равном семи), при классе арматуры не выше А400.

Поскольку $0{,}77R_b A + 0{,}645R_s A_{stot} = 11{,}15 \text{ МН} > N$, то относительная длина дуги сжатой зоны бетона ξ_{cir} находится решением уравнения

$$\xi_{cir} = \frac{N + R_s A_{stot} + R_b A \dfrac{\sin(2\pi\xi_{cir})}{2\pi}}{R_b A + 2{,}55R_s A_{stot}} = 0{,}364,$$

а коэффициент, учитывающий работу растянутой арматуры

$$\varphi_s = 1{,}6(1 - 1{,}55\xi_{cir})\xi_{cir} = 0{,}254.$$

Угол, равный половине центрального угла при вершине кругового сектора,

$$\alpha_k = \pi\xi_{cir} = 65{,}480\ °.$$

Предельный момент внутренних сил

Прочность сваи в нормальном сечении при действии изгибающего момента достаточна, так как $M < M_{ult}$.

Д.7 Расчет прочности сваи на действие поперечной силы

Поперечная сила Q_{ult}, воспринимаемая бетоном и поперечной арматурой в наклонном сечении, определяется из условия

$$Q_{ult} = \varphi_n (Q_b + Q_{sw}).$$

Библиография

[1]	ОДМ 218.2.033–2013	Методические рекомендации по выполнению инженерно-геологических изысканий на оползнеопасных склонах и откосах автомобильных дорог
[2]	ОДМ 218.2.006–2010	Рекомендации по расчету устойчивости оползнеопасных склонов (откосов) и определению оползневых давлений на инженерные сооружения автомобильных дорог
[3]		Деревенец Ф.Н. Взаимодействие оползневого грунта со сваями с учетом конфигурации удерживающего сооружения. Дис.... канд. техн. наук, 2006
[4]		Маций С.И., Деревенец Ф.Н. Взаимодействие оползневого грунта со сваями с учетом конфигурации удерживающего сооружения. В журн. Основания, фундаменты и механика грунтов, № 2, 2007
[5]	ОДМ 218.3.008–2011	Рекомендации по мониторингу и обследованию подпорных стен и удерживающих сооружений на оползневых участках автомобильных дорог
[6]		Методические рекомендации по проектированию и расчету подпорных стен из буронабивных свай, 1984
[7]		Гинзбург Л.К. Противооползневые удерживающие конструкции, 1979

ОКС 93.080

Ключевые слова: инженерная защита, оползневое давление, свайное удерживающее сооружение, конфигурация свайного поля

Руководитель организации-разработчика
ООО «НТЦ ГеоПроект»

Директор _____ С.И. Маций

Подписано в печать 27.07.2017 г. Формат бумаги 60х84 1/16.
Уч.-изд.л. 5,3. Печ.л. 5,8. Тираж 300.

Адрес ФГБУ «ИНФОРМАВТОДОР»:
129085, г. Москва, Звёздный бульвар, д. 21, стр. 1
Тел.: +7 (495) 747-91-00, 747-91-05
E-mail: gost.e-ecolog.ru
Сайт: информавтодор.рф

gost.e-ecolog.ru