МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО

(РОСАВТОДОР)

РАСПОРЯЖЕНИЕ

16.09.2015 Москва № 1690-р

Об издании и применении ОДМ 218.2.054-2015 «Рекомендации по применению текстильно-песчаных свай при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах основания»

В целях реализации в дорожном хозяйстве основных положений Федерального закона от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании» и обеспечения дорожных организаций рекомендациями по применению текстильно-песчаных свай при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах основания:

1. Структурным подразделениям центрального аппарата Росавтодора, федеральным управлениям автомобильных дорог, управлениям автомобильных магистралей, межрегиональным дирекциям по строительству автомобильных дорог федерального значения, территориальным органам управления дорожным хозяйством субъектов Российской Федерации рекомендовать к применению с даты утверждения данного распоряжения ОДМ 218.2.054-2015 «Рекомендации по применению текстильно-песчаных свай при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах основания» (далее – ОДМ 218.2.054-2015).

2. Управлению научно-технических исследований и информационного обеспечения (А.В. Бухтояров) в установленном порядке обеспечить издание ОДМ 218.2.054-2015 и направить его в подразделения и организации, указанные в пункте 1 настоящего распоряжения.

3. Контроль за исполнением настоящего распоряжения возложить на заместителя руководителя А.А. Костюка.

Руководитель Р.В. Старовойт

Е.М. Астахова
(495)687-80-12

gost.e-ecolog.ru

ОДМ 218.2.054-2015

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕКСТИЛЬНО-ПЕСЧАНЫХ СВАЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ ОСНОВАНИЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

МОСКВА 2014

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН: Обществом с ограниченной ответственностью «Мегатех инжиниринг» (к.т.н. Баранов А.Ю, инж. Девятилов А.Н., Суслов М.С.) совместно с Обществом с ограниченной ответственностью «ДорГеоТех» (инж. Девятилов Д.А.) и Закрытым акционерным обществом «Земъспецпроект» (к.т.н. Радионов М.В., инж. Венедиктов И.Ю.) при участии д.т.н., проф. Луцккого С.Я. (МИИТ), к.т.н. Шмелева В.А. (ФСК «МГЦ») и к.т.н. Бурукина А.Ю. (ГК «СК Мост»)

2 ВНЕСЕН: Управлением проектирования и строительства автомобильных дорог, Управлением научно-технических исследований и информационного обеспечения Федерального дорожного агентства Министерства Транспорта РФ

3 ПРИНЯТ распоряжением Федерального дорожного агентства от «16» 09. 2015 г. №1690-р

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© Издательство ФГУП «Информавтодор», 2014 г.

Содержание

1 Область применения..... 1
2 Нормативные ссылки..... 1
3 Термины, определения и обозначения..... 5
4 Общие положения..... 7
5 Требования к инженерно-геологическим изысканиям на участках строительства автомобильных дорог на слабых грунтах с учетом их усиления текстильно-песчаными сваями 7
6 Требования к материалам, заполняющим текстильно-песчаные сваи, и к геополотнам для их изготовления..... 10
7 Оценка повышения несущей способности слабого основания текстильно-песчаными сваями..... 11
7.1 Расчет несущей способности слабого основания земляного полотна под эксплуатационными нагрузками..... 11
7.2 Расчет устойчивости откосов дорожных насыпей на слабых основаниях под эксплуатационными нагрузками..... 15
7.3 Рекомендации по повышению несущей способности слабых грунтов и устойчивости насыпей текстильно-песчаными сваями с учетом предъявляемых требований к строящейся автомобильной дороге..... 17
7.4 Расчет максимальных осадок и усилий в текстильно-песчаных сваях и гибком ростверке на слабом основании земляного полотна... 21
7.5 Расчет величины конечной осадки конструкции и времени ее консолидации с учетом работы текстильно-песчаных свай..... 27
8 Технология устройства текстильно-песчаных свай и гибкого ростверка на слабом основании при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах..... 30

8.1 Рекомендации по технологии устройства текстильно-песчаных свай..... 30
8.2 Рекомендации по технологии устройства гибкого ростверка на слабом основании..... 35
8.3 Требования к контролю качества и приемке выполненных работ. 37
8.4 Требования по безопасности проведения работ..... 40
Библиография..... 43
Приложение А. Пример оценки несущей способности основания и устойчивости откосов дорожной насыпи..... 45
Приложение Б. Пример расчёта повышения несущей способности слабого основания и устойчивости откосов дорожной насыпи устройством текстильно-песчаных свай..... 51
Приложение В. Таблицы для определения вертикальных и горизонтальных напряжений в основании с песчаными сваями 59
Приложение Г. Рекомендации по технологии работ при устройстве текстильно-песчаных свай..... 65
Приложение Д. Рекомендации по выбору материально-технических ресурсов для производства работ по устройству текстильно-песчаных свай..... 79

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Рекомендации по применению текстильно-песчаных свай при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах основания

1 Область применения

1.1 Настоящий отраслевой дорожный методический документ распространяется на проектирование, строительство, реконструкцию, ремонт автомобильных дорог и содержит положения по применению текстильно-песчаных свай на слабых грунтах основания.

1.2 Настоящий методический документ содержит требования к инженерно-геологическим изысканиям, требования к материалам и рекомендации по технологии упрочнения слабого основания земляного полотна автомобильных дорог текстильно-песчаными сваями, основанные на требованиях Технического регламента «О безопасности зданий и сооружений», расчетах несущей способности слабых оснований и устойчивости насыпей под эксплуатационными нагрузками, в соответствии с СП 34.13330, СП 22.13330.2011, пособием к СНиП 2.05.02-85. Рекомендации направлены на обеспечение безопасности и устойчивости земляного полотна автомобильных дорог за счет повышения прочностных характеристик слабых грунтов в основании земляного полотна.

2 Нормативные ссылки

В настоящем ОДМ использованы нормативные ссылки на следующие документы:

Технический регламент о безопасности зданий и сооружений № 384-ФЗ от 30.12.2009

ГОСТ Р 1.0-2012 Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения (с Изменением N 1)

ГОСТ 1.5-2001 Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Общие требования к построению, изложению, оформлению, содержанию и обозначению

ГОСТ 5686-2012 Грунты. Методы полевых испытаний сваями

ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия (с Изменениями N 1-4)

ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний

ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия

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

ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием

ГОСТ 20276-99 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости

ГОСТ 22733-2002 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности

ГОСТ 32731-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению строительного контроля

ГОСТ 25584-90 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации

ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация

ГОСТ 30672-2012. Грунты. Полевые испытания. Общие положения

ГОСТ Р 53225-2008 Материалы геотекстильные. Термины и определения

ГОСТ Р 54257-2010 Надежность строительных конструкций и оснований Основные положения и требования (с Изменением N 1)

ГОСТ Р 54476-2011 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик сопротивляемости сдвигу грунтов в дорожном строительстве

ГОСТ Р 54477-2011 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик деформируемости грунтов в дорожном строительстве

ГОСТ Р 55028-2012 Дороги автомобильные общего пользования Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Классификация, термины и определения

ГОСТ Р 55030-2012 Дороги автомобильные общего пользования. Материалы геосинтетические для дорожного строительства. Метод определения прочности при растяжении

ГОСТ ISO 9001-2011 Система менеджмента качества. Требования

ГОСТ 12.0.230-2007 ССБТ. Система управления охраной труда. Общие требования

СП 11-102-97 Инженерно-экологические изыскания для строительства

СП 11-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства Часть III. Инженерно-гидрографические работы при инженерных изысканиях для строительства

СП 11-105-97 Часть I. Общие правила производства работ

СП 11-105-97 Часть III. Правила производства работ в районах распространения специфических грунтов

СП 12-136-2002 Безопасность труда в строительстве. Решения по охране труда и промышленной безопасности в проектах организации строительства и проектах производства работ

СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений

СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов

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 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*

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 48.13330.2011 Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004

СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85

СНиП 3.04.01-87 Изоляционные и отделочные покрытия

СНиП 12-03-2001 Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования

СНиП 22-01-95 Геофизика опасных природных воздействий

СНиП 23-01-99* Строительная климатология

Примечание – При пользовании настоящим методическим документом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов, составленных по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и обозначения

3.1 В настоящем методическом документе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

активная зона: Глубина слоя слабого основания, где вертикальные нормальные напряжения от действия внешней нагрузки на поверхность основания не превышают 20% напряжений от собственного веса грунта основания;

текстильно-песчаные сваи (ТПС): Строительные конструкции, состоящие из геополотна тканого или геополотна вязаного, формирующего геоболочку сваи в форме цилиндра, заполненную дренирующим грунтом;

слабые грунты: Связные грунты, имеющие прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,075 МПа (при испытании прибором вращательного среза) или модуль осадки более 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа (модуль деформации ниже 5,0 МПа);

слабые основания: Основания земляного полотна с наличием слоя слабых грунтов в пределах активной зоны мощностью не менее 0,5 м;

гибкий ростверк: Часть свайного фундамента, объединяющая головные участки свай и служащая опорной конструкцией для возводимых элементов сооружения, выполненная из геосинтетического материала.

3.2 В настоящем методическом документе применяются следующие обозначения и сокращения:

$F_{гр}$ – площадь влияния одной текстильно-песчаной сваи, м^2;

$F_{св}$ – площадь сечения текстильно-песчаной сваи, м^2;

$d_{св}$ – диаметр одной текстильно-песчаной сваи, м;

L – расстояние между осями свай, м;

α – коэффициент армирования слабого основания;

$r_{го}$ – радиус текстильно-песчаной сваи, м;

$\Delta r_{го}$ – увеличение радиуса текстильно-песчаной сваи после прохождения осадки, м;

J – прочность в поперечном направлении геооболочки для текстильно-песчаных свай, кН/м;

Δ - относительное удлинение материала текстильно-песчаных свай, зависящая от времени, %;

$R_{пр}$ – прочность в поперечном направлении геосинтетического материала для гибкого ростверка, кН/м;

h_i – мощность слоя слабого грунта основания, м;

$E_{г,i}$ – модуль деформации слабого грунта, кПа;

$\varphi'_{г}$ – угол внутреннего трения слабого грунта, град.;

$c'_{г}$ – сцепление слабого грунта, кПа;

$\varphi'_{с}$ – угол внутреннего трения заполнителя текстильно-песчаной сваи, град.;

$E_{г,i}$ – модуль деформации заполнителя текстильно-песчаной сваи, кПа;

$\gamma_{г}$ – удельный вес слабого грунта, кПа;

ρ – плотность слабого грунта, г/см^3;

$K_{бгр}$ – коэффициент бокового расширения слабого грунта;

$K_{бо}$ - коэффициент бокового давления заполнителя геооболочки;

$C_{иг}$ – коэффициент консолидации при горизонтальной фильтрации, см^2/мин;

$C_{ив}$ – коэффициент консолидации при вертикальной фильтрации, см^2/мин;

$K_{ф}$ – коэффициент фильтрации грунта, м/сут;

$K_{ф,с}$ – водопроницаемость материала текстильно-песчаных свай, м/с;

КТ: Комплексная технология;

ПД: Проектная документация;

ППР: Проект производства работ;

РД: Рабочая документация;

ТПС: Текстильно-песчаные сваи.

4 Общие положения

4.1 ТПС, применяемые для укрепления слабых оснований автомобильных дорог, состоят из геооболочки цилиндрической формы диаметром 0,4 – 1,5м, заполненной крупнозернистым материалом (песком или гравием). Геооболочка заправляется внутрь обсадной трубы, которая погружается в слабый грунт с помощью вибропогружателя или предварительного бурения, с обязательным заглублением в слой прочного грунта. Последующее заполнение геооболочки крупнозернистым материалом производится с виброуплотнением. Расстояние между сваями определяется расчетом и может составлять от 0,8 до 4,5м.

ТПС обеспечивают: восприятие основной части эксплуатационной нагрузки; уплотнение слабых грунтов межсвайного пространства при устройстве свай; вертикальный дренаж по глубине свай и ускорение процесса консолидации основания.

Улучшение прочностных и деформационных характеристик грунта в зоне уплотнения приводит к увеличению несущей способности грунтов, что позволяет передать на модифицированные грунтовые основания большие нагрузки. Заполненные дренирующим грунтом сваи одновременно выполняют функцию вертикальных дрен и обеспечивают ускорение процесса консолидации водонасыщенных грунтов за счёт сокращения пути фильтрации воды, отжимаемой из слабой толщи. Параметры ТПС, свайного поля и технологических процессов по их устройству определяют расчетом.

5 Требования к инженерно-геологическим изысканиям на участках строительства автомобильных дорог с применением текстильно-песчаных свай

5.1 Укрепление слабых оснований с применением текстильно-песчаных свай следует проектировать на основе результатов инженерных изысканий и

конструктивных решений рабочей документации, полученных в соответствии с требованиями [7,8,15], СНиП 11-02, СП 11-102, СП 11-104, СП 11-105 и настоящего ОДМ.

5.2 Результаты инженерных изысканий в соответствии с СП 22.13330 должны содержать данные, необходимые для оценки влияния технологических процессов на расчетные нагрузки, передаваемые на текстильно-песчаную сваю и грунты межсвайной зоны, с учетом прогноза возможных изменений (в процессе строительства) инженерно-геологических и гидрогеологических условий площадки строительства (в соответствии с ГОСТ 20276, ГОСТ Р 54476 и ГОСТ Р 54477). К ним относятся:

- данные об инженерно-геологическом строении территории строительства с описанием напластований грунтов, их размеров в плане и по глубине, классификационных наименований грунтов, с указанием выделенных инженерно-геологических элементов;

- гидрогеологические условия с указанием наличия толщины и расположения водоносных горизонтов, сведения о фильтрационных характеристиках грунтов;

- физико - механические характеристики грунтов;

- сведения о возможном изменении гидрогеологических условий в процессе строительства и эксплуатации сооружения.

5.3 Результаты изысканий для устройства текстильно-песчаных свай должны содержать физико-механические характеристики грунтов, представленные в табл.5.1.

5.4 Механические характеристики грунтов, непосредственно входящие в расчет, следует, как правило, определять путем прямых испытаний грунтов в условиях природного залегания в соответствии с ГОСТ 20276. При отсутствии или недостаточном количестве данных непосредственных испытаний, допускается, для предварительных расчетов, использовать значения нормативных и расчетных прочностных и деформационных характеристик по

классификационным таблицам с учетом коэффициентов надежности по грунтам.

Таблица 5.1 - Физико-механические характеристики грунтов основания для устройства текстильно-песчаных сваи

Условные обозначения	Наименование характеристики	Единицы измерения
h	Мощность слоя грунта основания	м
E	Модуль деформации (при испытаниях штампом)	кПа
φ	Угол внутреннего трения (при консолидированном срезе)	град.
C	Сцепление (при неконсолидированном срезе)	кПа
ρ	Плотность грунта	г/см^3
γ	Удельный вес грунта	кН/м^3
W	Влажность грунта	%
S	Коэффициент водонасыщенности (степень влажности)	
e	Коэффициент пористости	
J_p	Число пластичности	%
J_L	Показатель текучести	
J_0	Начальный градиент напора	
$K_ф$	Коэффициент фильтрации	м/сут
$C_{ив}$	Коэффициент консолидации при вертикальной фильтрации	см^2/мин
$C_{иг}$	Коэффициент консолидации при горизонтальной фильтрации	см^2/мин
$K_{бо}$	Коэффициент бокового давления заполнителя ТПС	
$K_{бгр}$	Коэффициент бокового расширения слабого грунта	

Примечание - а) в полевых условиях, в виду малости угла трения слабого грунта (менее 5 ^{0}), его прочность на сдвиг может быть определена крыльчаткой (см. «Пособие по сл. грунтам»);
б) Значения коэффициентов K_{bo}, $K_{bгр}$ и λ-*(относительной осадки)* принимают по данным лабораторных испытаний грунтов ГОСТ Р 54476 и ГОСТ Р 54477. Коэффициент бокового давления $K_{бо}$ для песка следует [6] принимать: для крупного песка - 0,33; песка средней крупности - 0,34; песка мелкого и пылеватого - 0,36. Коэффициент бокового расширения слабого грунта $K_{бгр}$ для глинистых грунтов мягкопластичных и текучепластичных можно принять равным 0,3 - 0,4; текучих - 0,45.

6 Требования к материалам, заполняющим текстильно-песчаные сваи и к геополотнам для их изготовления

Материалами для устройства текстильно-песчаных свай являются геооболочка из геополотна и несвязный грунт в качестве минерального заполнителя.

К геополотнам предъявляются следующие требования:

1) по виду геосинтетического материала могут использоваться: геополотна тканые и геополотна вязаные;

2) по виду сырья могут использоваться: полиэфирные, полиамидные и поливинилспиртовые комплексные нити;

3) водопроницаемость геополотна должна быть больше или равна водопроницаемости грунта заполнителя свай;

4) максимальное относительное удлинение геополотна геооболочки в продольном и поперечном направлениях не должно превышать допустимую проектом, конструктивно обоснованную величину;

5) применение геополотен возможно при наличии:

- стандартов организации, содержащих технические требования к составу сырья, основным контролируемым производителем свойствам, физико-механическим показателям, форме поставки, упаковке, маркировке, требования по безопасности, правилам приемки, методам контроля и испытаний, транспортированию и хранению, гарантии изготовителя;

- документов, подтверждающих выполнение данных требований.

6) геополотно геооболочки не должно иметь разрывов и других нарушений сплошности;

7) прочностные и деформативные свойства геополотен для свай определяются в соответствии с ГОСТ Р 55030 и ОДМ [11];

8) учет коэффициентов долговечности геополотен определяется в соответствии с ОДМ [4].

Используемый для устройства ТПС грунт должен соответствовать следующим требованиям:

1) в качестве заполнителя ТПС следует использовать гравий, щебень и песок по ГОСТ 8267 и 8736;
2) модуль деформации заполнителя ТПС должен более, чем в 10 раз превосходить компрессионный модуль грунта слабого основания ($E_c > 10 \cdot E_г$);
3) угол внутреннего трения заполнителя ТПС $\varphi \geq 30°$;
4) коэффициент фильтрации заполнителя ТПС должен быть не менее 10^{-5} м/с, но как минимум на два порядка выше, чем у окружающего слабого грунта.

По оголовкам текстильно-песчаных свай в качестве гибкого ростверка горизонтально укладывается геосинтетический материал с дополнительной функцией армирования и разделения. Прочностные и деформативные свойства геосинтетического материала гибкого ростверка следует определять в соответствии с ГОСТ Р 55030 и ОДМ [2, 11].

Выбранный геосинтетический материал текстильно-песчаных свай и гибкого ростверка необходимо оценить на долговечность [4] на основании его устойчивости к УФ-облучению, химическим, биологическим и другим воздействиям (Приложение Д).

7 Оценка повышения несущей способности слабого основания текстильно-песчаными сваями

7.1 Расчет несущей способности слабого основания земляного полотна под эксплуатационными нагрузками.

7.1.1 Расчет несущей способности основания земляного полотна под воздействием эксплуатационной нагрузки следует выполнять в соответствии с СП 34.13330, СП 22.13330, СП 24.13330, [5, 7, 15] в два этапа:

а) этап оценки состояния несущей способности основания до начала строительства;

б) этап прогноза повышения несущей способности слабого основания

текстильно-песчаными сваями.

Расчет включает оценку прочности грунта основания на сдвиг с определением возможной степени развития в основании областей пластических деформаций и бокового выдавливания с учетом коэффициентов условий работы, надежности по назначению (ответственности) сооружения и надежности по грунту. Значения коэффициентов принимаются по СП 24.13330.

Оценка несущей способности слабого грунта выполняется по величине коэффициента безопасности $K_б$ и условию:

$$K_б = \frac{P_б}{P_{расч}} \geq 1, \qquad (7.1)$$

где $P_б$ - безопасная нагрузка, соответствующая внешней нагрузке на основание, вызывающей появление предельного состояния грунта по сдвигу, кПа;

$P_{расч}$ - расчетная величина эксплуатационной нагрузки, определяемая для насыпи трапецеидальной формы, кПа.

7.1.2 Оценка несущей способности должна быть выполнена в пределах активной сжимаемой зоны основания. Если слои слабых грунтов располагаются на глубинах, больших ширины насыпи понизу, а также при насыпях высотой более 12 м, то мощность активной зоны устанавливают расчетом. При этом в качестве нижней границы активной зоны сжатия принимается горизонт, на котором вертикальные нормальные напряжения от внешней нагрузки не превышают 20 % напряжений от собственного веса грунта основания.

7.1.3 Расчетная величина эксплуатационной нагрузки на поверхности основания принимается равной весу насыпи и подвижной нагрузки от транспорта на основной площадке насыпи:

$$P_{расч} = \gamma_н \cdot h_н + P_{тр}\ , \qquad (7.2)$$

где $\gamma_н$ и $h_н$ - удельный вес грунта, кН/м^3 и высота насыпи с учетом осадки, м;

$P_{тр}$ - подвижная нагрузка от транспорта, кПа.

В практических расчетах несущей способности автодорожной насыпи высотой более 3м подвижную нагрузку можно не учитывать.

7.1.4 Безопасная нагрузка на слабые грунты принимается с учетом наименьшего значения прочностных характеристик (сцепления и угла внутреннего трения грунта) в точках активной зоны основания земляного полотна в зависимости от формы нагрузки, глубины расположения рассматриваемого горизонта.

Безопасную нагрузку следует определять, как для исходного состояния слабого основания (при начальных значениях прочностных характеристик), так и с учетом возможного упрочнения грунтов основания текстильно-песчаными сваями. Для слабого основания, сложенного медленно уплотняющимися водонасыщенными глинистыми грунтами, безопасная нагрузка должна определяться по СП 34.13330 и СП 22.13330 с учетом возможного нестабилизированного состояния слабых грунтов за счет избыточного давления $P_{пор}$ в поровой воде.

7.1.5 При оценке возможности использования слабых грунтов в качестве основания насыпи рекомендуется установить тип слабого основания:

I - основания, не требующие специальных мероприятий по обеспечению несущей способности;

II - основания, для обеспечения несущей способности которых достаточно только технологических мер;

III - основания, которые требуют применения специальных конструктивных мер (изменение конструкции насыпи, усиление основания или удаление слабого слоя).

Тип основания по несущей способности определяется в зависимости от коэффициента безопасности [5, 6].

Таблица 7.1 - Характеристика грунтов основания и значения коэффициента безопасности $К_{без}$

$К_б$	$К_б^{нач} \geq 1$	$К_б^{нач} \leq 1 \leq К_б^{кон}$	$К_б^{кон} \leq 0,2$
Тип основания	*I*	*II*	*III*
Характеристика устойчивости	*Устойчивость обеспечена при любой скорости отсыпки насыпи*	*Устойчивость при быстрой отсыпке не обеспечена, но обеспечена при медленной отсыпке*	*Устойчивость не может быть обеспечена ни при какой степени консолидации*
Преобладающие деформации грунта наиболее опасного слоя	*Сжатие*	*При быстрой отсыпке – сдвиг (выпор); при медленной – сжатие.*	*Сдвиг (выпор, выдавливание)*
Возможность использования слабой толщи в качестве основания	*Можно использовать в качестве основания*	*Можно использовать в качестве основания при медленной отсыпке*	*В качестве основания использовать нельзя (необходимо удалить слабый слой)*

В случае если соблюдается условие $К_б \geq 1$, основание относят к I типу, при котором возможна отсыпка насыпи без специальных мероприятий по обеспечению стабильности слабых грунтов. Если данное условие не выполняется, определяют возможность отнесения основания ко II или III типу и назначают конструктивно-технологические мероприятия по повышению несущей способности слабого основания (табл. 7.1). В качестве одного из конструктивно-технологических решений рекомендуется применение текстильно-песчаных свай.

7.1.6 В расчетах несущей способности основания насыпей допускается использовать специальные программы для ЭВМ (например, программные комплексы «Prust 2006», GEO-Slope, «Alterra» и др.). Программы предусматривают оценку несущей способности в различных точках основания с расчетом коэффициентов безопасности. Признаком обеспеченной несущей способности основания на слабых грунтах является отсутствие областей пластических деформаций, т.е. областей, где сопротивляемость грунта сдвигу ниже величины касательных напряжений от нагрузок (приложение А).

7.2 Расчет устойчивости откосов дорожных насыпей на слабых основаниях под эксплуатационными нагрузками

7.2.1 Расчет устойчивости откосов дорожных насыпей под воздействием эксплуатационной нагрузки следует выполнять в два этапа:

а) этап прогноза устойчивости откосов дорожных насыпей до начала строительства;

б) этап прогноза устойчивости откосов с учетом повышения устойчивости слабого основания за счет его упрочнения текстильно-песчаными сваями. Устойчивость откосов насыпи в соответствии с СП 34.13330, СП 22.13330 [5, 6] следует оценивать на схеме круглоцилиндрических поверхностей скольжения с расчетом коэффициента устойчивости при наиболее опасной призме обрушения. Коэффициент устойчивости:

$$K_s = \frac{R}{Q} \geq \frac{K_н \cdot n_c \cdot n_0}{m_0}, \qquad (7.3)$$

где R - расчетное значение обобщенной силы предельного сопротивления сдвигу, кН, определенное с учетом коэффициента надежности по грунтам;

Q - расчетное значение обобщенной активной сдвигающей силы, кН;

$K_н$ - коэффициент надежности по назначению сооружения (ответственности сооружения);

n_c - коэффициент сочетания нагрузок;

n_0 - коэффициент перегрузки;

m_0 - коэффициент условий работы.

7.2.2 Учет коэффициента надежности по грунтам осуществляется путем деления нормативных значений прочностных характеристик грунтов (удельного сцепления, угла внутреннего трения) на его величину, определенную в полевых или лабораторных условиях.

7.2.3 Значение коэффициента надежности по назначению сооружения $K_н$ принимается в зависимости от уровня ответственности, к которому относится насыпь автомобильной дороги. Величина коэффициента перегрузки n_0 и коэффициента сочетания нагрузок n_c принимается по нормам СП 20.13330.

Полученные расчетом значения коэффициента устойчивости при проектном сочетании нагрузок не должны превышать допустимой величины более чем на 10 %.

7.2.4 Расчёт устойчивости откосов по методике [5], основанной на схеме круглоцилиндрических поверхностей скольжения, выполняют путём разбивки предполагаемого отсека обрушения на отдельные блоки, для каждого из которых находят удерживающие и сдвигающие силы от собственного веса блока в сумме с подвижной нагрузкой:

$$K_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n}\left[N_i \cdot tg\varphi_i + c_i \cdot l_i + Q_{i-уд}\right] \cdot \frac{\cos\varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^{i=n} Q_{i-сд} \cdot \frac{\cos\varphi_i}{\cos(\alpha_i - \varphi_i)}}, \qquad (7.4)$$

где φ_i - угол внутреннего трения грунта в каждом блоке;

N_i - нормальная составляющая силы от веса блока;

$Q_{i-уд}$ - тангенциальная удерживающая составляющая силы от веса блока;

$Q_{i-сд}$ - тангенциальная сдвигающая составляющая силы от веса блока;

$c_i \cdot l_i$ - сила сцепления.

Для расчетов устойчивости откосов целесообразно использовать программные продукты для ЭВМ (приложение А). Современные программные комплексы позволяют при расчете устойчивости откосов насыпей учитывать наличие в слабом грунте текстильно-песчаных свай (приложение Б).

7.2.5 В зависимости от расчетных значений коэффициента устойчивости следует определить необходимость дополнительных мероприятий для обеспечения устойчивости откосов насыпи. Если условие формулы (7.3) не выполняется, устойчивость откосов насыпи не обеспечена, в качестве одного из эффективных конструктивно-технологических решений следует применить текстильно-песчаные сваи [18].

7.3 Комплексная технология (КТ) повышения несущей способности слабых грунтов и устойчивости насыпей текстильно-песчаными сваями

7.3.1 Необходимость повышения несущей способности слабых грунтов основания земляного полотна автомобильной дороги должна быть обоснована расчетами коэффициента безопасности $K_б$ в активной зоне основания по п. 7.1 и приложению А и коэффициента устойчивости откосов насыпи по п.7.2 и приложению Б с учетом эксплуатационной нагрузки и уровня ответственности автомобильной дороги.

7.3.2. Применение текстильно-песчаных свай рекомендуется выполнить, как правило, в составе комплексной технологии [15].

Комплексная технология (КТ) состоит в последовательном упрочнении слабых грунтов за счет интенсификации и регулирования технологических процессов с контролем несущей способности основания и устойчивости насыпи (рисунок 1). КТ включает выполнение взаимосвязанных процессов на трех стадиях:

Стадия 1. Формирование рабочей платформы для оборудования (буровой машины или вибропогружателя) при устройстве свай и уплотнение активной зоны слабого основания;

Стадия 2. Устройство текстильно-песчаных свай для глубинного упрочнения слабого основания;

Стадия 3. Устройство гибкого ростверка – для совместной работы свай и межсвайного пространства под эксплуатационной нагрузкой.

КТ должна обеспечить нормативные требования безопасности и устойчивости насыпей, интенсивности осадок слабых оснований на стадии строительства и эксплуатации в соответствии с действующими нормативными документами по проектированию и производству работ по возведению земляного полотна (СП 34.13330, СП 48.13330 [5, 7]).

7.3.3. Повышение несущей способности грунтов и формирование рабочей платформы на первой стадии рекомендуется выполнять с применением технологического режима уплотнения грунтов виброкатками, который

включает воздействие максимальной вибронагрузки на основание с целью улучшения его прочностных и деформационных характеристик. В качестве управляемых параметров виброуплотнения приняты: амплитуда, скорость движения и число проходов катка. Для работы катка, отжатия и отвода воды необходимо предварительно выполнить устройство дренажных прорезей и защитного слоя из песка, укрепленного геополотном (приложение Г).

7.3.4. Контроль несущей способности основания на первой технологической стадии следует выполнять с учетом требований п. 7.1 по допустимой вибронагрузке на слабые грунты. Допустимую технологическую нагрузку от грунтового катка $P_к$ и защитного слоя следует проверить с помощью неравенства:

$$[P_к (M_к, V) + P_з] \leq [P_б (c, \varphi) - P_{пор}], \quad (7.5)$$

где $P_к (M_к, V)$ - нагрузка от грунтового катка (кПа), зависящая от рабочей массы катка $M_к$, скорости его движения V и амплитуды вибрации A;

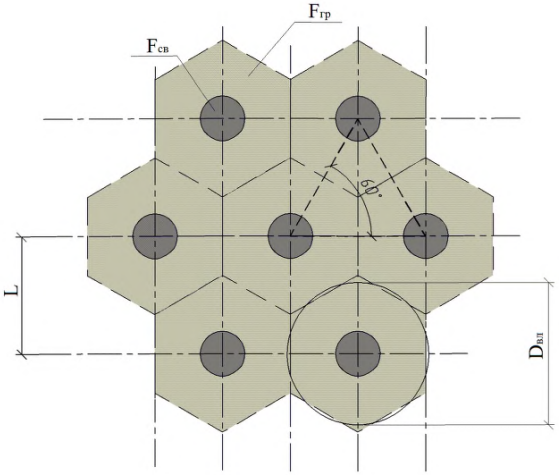
$P_з$ – нагрузка, действующая от защитного слоя, кПа;

$P_{пор}$ – поровое давление, кПа.

При оценке результатов первой стадии следует учитывать, что уплотнение грунтов приводит к повышению прочностных характеристик и соответствующему увеличению безопасной нагрузки на основание. По итогам уплотнения полевая лаборатория определяет новые улучшенные значения характеристик слабого грунта: влажности и плотности в соответствии с ГОСТ 30672; сцепления и угла внутреннего трения в соответствии с ГОСТ 20276. Технологическую нагрузку катка рекомендуется ежедневно увеличивать и поддерживать в максимально допустимом по величине $К_б$ размере. Процесс упрочнения верхней зоны слабого основания и формирование рабочей платформы может считаться завершенным при обеспечении несущей способности оборудования (буровой машины или вибропогружателя) при устройстве свай.

7.3.5 Повышение устойчивости основания насыпей на второй технологической стадии следует производить путем устройства текстильно-

песчаных свай (рис.7.1), которые обеспечивают повышение прочностных характеристик грунтов за счет дренажа и уплотнения межсвайного пространства.



L – расстояние между осями свай; $D_{вл}$ – диаметр влияния одной текстильно-песчаной сваи; $F_{гр}$ – площадь влияния одной текстильно-песчаной сваи; $F_{св}$ – площадь сечения текстильно-песчаной сваи

Рисунок 7.1 - Схема армирования слабого основания

Улучшение прочностных и деформационных характеристик грунта в зоне уплотнения приводит к увеличению несущей способности грунтов, что позволяет передать на модифицированные грунтовые основания большие нагрузки. Заполненные дренирующим грунтом сваи одновременно выполняют функцию вертикальных дрен по ускорению процесса консолидации водонасыщенных грунтов за счёт сокращения пути фильтрации воды, отжимаемой из слабой толщи [6, 16]. Для обеспечения прочности межсвайного пространства следует принять величину сближения свай m (определяется отношением диаметра свай $d_{св}$ к расстоянию между ними l) по условию п. 7.1 обеспечения несущей способности грунта межсвайного пространства

(коэффициент безопасности $K_б \geq 1{,}0$), при котором вертикальные напряжения в межсвайном пространстве меньше безопасной допустимой нагрузки на слабые грунты в каждой точке основания. При размещении текстильно-песчаных свай необходимо исключить возможность воздействия на них боковой нагрузки.

Величина сближения свай m непосредственно определяет коэффициент армирования слабого основания и влияет на уплотнение грунтов межсвайного пространства. Плотность слабого грунта после устройства текстильно-песчаных свай методом вибропогружения:

$$\rho_{св} = \rho_н \cdot (1 + a), \qquad (7.6)$$

где $\rho_н$ – начальная плотность слабого грунта, г/см^3;

a - коэффициент армирования слабого основания текстильно-песчаными сваями, определяемый по формуле:

$$a = F_{св} \cdot (1 + K_{ро}) / F_{гр}, \qquad (7.7)$$

где $F_{св}$ – площадь сечения текстильно-песчаной сваи принятого диаметра, м^2;

$K_{ро}$ – коэффициент увеличения площади текстильно-песчаной сваи при расширении геооболочки;

$F_{гр}$ – площадь влияния (зоны действия) текстильно-песчаной сваи, м^2.

При устройстве текстильно-песчаных свай методом бурения межсвайное пространство уплотняется только за счет расширения оболочки, начальную плотность грунта следует умножить на $K_{ро}$.

Повышение прочностных характеристик слабого грунта в зависимости от уплотнения после устройства свай следует определять по методике «плотность-влажность» [5, 6].

7.3.6. Предварительная ориентировочная оценка возможной степени повышения несущей способности (относительного повышения начального модуля деформации) однородного слоя слабого грунта, причем, только за счет устройства ТПС в зависимости от их конструкции и коэффициента армирования основания, может быть выполнена также с учетом [21].

7.3.7 По результатам второй стадии комплексной технологии необходимо

выполнить проверку устойчивости насыпи, несущей способности слабых грунтов основания под эксплуатационной нагрузкой и конечной осадки основания по методике расчета п.7.1, п.7.2, 7.4 и приложения Б настоящего ОДМ. Если условия устойчивости не выполняются, следует применить третью стадию комплексной технологии.

7.3.8. Третья стадия КТ предназначена для устройства гибкого ростверка. Она включает укладку прослойки из геосинтетического материала над сваями, устройство защитного слоя из песка и виброуплотнение в режиме интенсивной технологии. В качестве исходных данных следует принять фактические физико-механические характеристики слабых грунтов, улучшенные в результате первой и второй стадий комплексной технологии. Методы технологического регулирования на третьей стадии заключаются в выборе параметров геосинтетического материала и режимов уплотнения для формирования гибкого ростверка, обеспечивающего распределение эксплуатационной нагрузки на сваи и разгрузку межсвайного пространства до допустимого по коэффициенту безопасности $K_б$ значения.

7.4 Расчет максимальных осадок и усилий в текстильно-песчаных сваях и гибком ростверке на слабом основании земляного полотна

7.4.1 Расчет усилий в текстильно-песчаных сваях и гибком ростверке

7.4.1.1 Расчет усилий в текстильно-песчаных сваях, межсвайном пространстве и гибком ростверке предназначен для оценки несущей способности и влияния свай на прочностные и деформационные характеристики слабого основания. Усилие, возникающее в свае от расчетных нагрузок, действующих на слабое основание, зависит от распределения эксплуатационной нагрузки между сваями и межсвайным пространством в основании земляного полотна. Расчетная нагрузка, передаваемая на сваю $P_{св}$, определяется по формуле:

$$P_{св} = P_o\,(1 - P_z / P_0), \qquad (7.8)$$

где P_z - нагрузка, действующая на межсвайное пространство, кПа;

P_o – полная эксплуатационная нагрузка, кПа.

Распределение эксплуатационной нагрузки P_z / P_o следует принимать по таблицам [6] в зависимости от сближения свай m, коэффициента бокового давления песка свай $K_{бо}$, бокового расширения грунта основания $K_{бгр}$ и относительной осадки основания λ.

7.4.1.2 Значение передаваемой по п. 7.4.1.1 на сваю нагрузки, должно быть меньше несущей способности сваи $P_{св}$ с учетом коэффициентов условий работы, надежности по назначению (ответственности) сооружения и надежности по грунту, принимаемых в соответствии с требованиями СП 24.13330.

При определении горизонтальных напряжений, действующих на межсвайное пространство от текстильно-песчаных свай в соответствии с п.7.3, необходимо учитывать реактивные напряжения от слабого грунта и геооболочки сваи. Общая величина напряжений $P_{сг}$, действующих от текстильно-песчаной сваи составляет [19]:

$$P_{сг} = P_x - P_{сл} - P_{го}, \tag{7.9}$$

где P_x – горизонтальные напряжения, возникающие в текстильно-песчаной свае, кПа, определяемые по таблицам [6, приложение В];

$P_{сл}$ – реактивные горизонтальные напряжения, действующие от слабого грунта, кПа и определяемые по формуле:

$$P_{сл} = \alpha_z \cdot P_z \cdot K_{бгр}, \tag{7.10}$$

α_z – коэффициент, зависящий от относительной глубины расположения рассматриваемого горизонта, определяемого по СП 22.1333;

$K_{бгр}$ – коэффициент бокового расширения слабого грунта;

$P_{го}$ - удерживающие горизонтальные напряжения, действующие от геооболочки, кПа и определяемые согласно методике [20] по формуле:

$$P_{го} = \frac{2 \cdot J \cdot \Delta r_{го}}{r_{го} \cdot l_{го}}, \tag{7.11}$$

где J - прочность в поперечном направлении геооболочки для текстильно-песчаных свай, кН/м;

$r_{го}$ - радиус текстильно-песчаных свай, м;

$l_{го}$ - длина окружности текстильно-песчаных свай, м;

$\Delta r_{го}$ - увеличение радиуса текстильно-песчаных свай после прохождения осадки, м, определяемая по формуле:

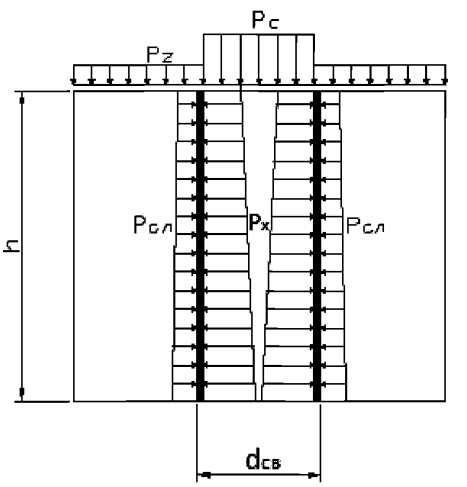
$$\Delta r_{го} = \frac{(L - d_{св}) \cdot K_{бо} \cdot P_x}{E_г}, \qquad (7.12)$$

где $d_{св}$ - диаметр текстильно-песчаных свай, м;

P_x – тоже, что в формуле (7.9), кПа;

$E_г$ – модуль деформации слабого грунта при боковом давлении, кПа;

$K_{бо}$ - коэффициент бокового давления заполнителя геооболочки.



$d_{св}$ – диаметр сваи; P_c, P_z – нагрузка на сваю и на межсвайное пространство; P_x, $P_{сл}$ – напряжения, возникающие в свае и слабом грунте

Рисунок 7.2- Параметры влияния текстильно-песчаных свай на межсвайное пространство

7.4.1.3 Характеристики геополотен для геооболочки для текстильно-песчаных свай подбирают по методике [4] в зависимости от горизонтальных напряжений, возникающих в текстильно-песчаной свае P_x, определяемых в п. 7.4.2. ОДМ.

Прочность геополотна геооболочки проверяется, исходя из условия обеспечения неравенства [4]:

$$T \geq F_R\,, \tag{7.13}$$

где T - долгосрочная прочность на разрыв геополотна геооболочки, кН/м;

F_R - растягивающее усилие в геооболочке, кН/м, определяемое по формуле:

$$F_R = P_{го} \cdot l_{го}/2, \tag{7.14}$$

где $l_{го}$ – тоже, что в формуле (7.11);

$P_{го}$ – тоже, что в формуле (7.9).

Расчетная долгосрочная прочность геополотна геооболочки R определяется следующим образом:

$$R = \frac{R_{нор}}{\kappa_{общ} \cdot \gamma_b}, \tag{7.15}$$

где $R_{нор}$ – нормативная прочность геополотна, кН/м;

γ_b – коэффициент запаса для геополотна;

$\kappa_{общ}$ – общий коэффициент, учитывающий влияние факторов ухудшения свойств, определяется в виде произведения отдельных коэффициентов:

$$\kappa_{общ} = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \ldots\ldots \kappa_7 \tag{7.16}$$

где κ_1 - коэффициент, учитывающий снижение прочности от механических повреждений структуры;

– κ_2 - коэффициент, учитывающий снижение прочности от ползучести;

– κ_3 - коэффициент, учитывающий снижение прочности от ухудшения свойств ниточных и сварных швов или прочности соединения элементов структуры материала;

– κ_4 - коэффициент, учитывающий снижение прочности от атмосферных воздействий;

– κ_5 - коэффициент, учитывающий снижение прочности от воздействия агрессивных сред;

– κ_6 - коэффициент, учитывающий снижение прочности от воздействия микроорганизмов;

– κ_7 - коэффициент, учитывающий снижение прочности от температуры.

Прочность геополотна для ТПС может быть проверена и непосредственно в зависимости от величины по $P_{го}$, если в характеристиках фирм-изготовителей приведены данные о круговой предельной прочности на разрыв, кН/м. Входящие в формулу (7.16) коэффициенты определяются по данным фирм-изготовителей геосинтетического материала на основании проведенных испытаний (приложение Д).

7.4.1.4 Устройство гибкого ростверка на слабом основании рекомендуется предусматривать, если прочностные характеристики слабых грунтов после устройства текстильно-песчаных свай не обеспечивают достаточную несущую способность межсвайного пространства и конечная осадка превышает допустимую по проекту величину.

Усилие, развивающееся в гибком ростверке от эксплуатационной нагрузки после устройства текстильно-песчаных свай, принимается в качестве требования к прочности гибкого ростверка. Ростверк устраивается из геосинтетических полотен с параметрами механических свойств: прочности на растяжение $R_{пр}$ (кН/м) в продольном направлении, расчетной относительной деформации λ.

7.4.1. Геополотно для гибкого ростверка должно быть выбрана по методике [6] по величине требуемой прочности при расчетной относительной деформации. Проверка условия прочности:

$$R_{пр} \geq K_з \cdot R_o, \qquad (7.17)$$

где $R_{пр}$ - прочность геосинтетического материала на растяжение, кН/м;

R_o - развивающееся в геополотне усилие, кН/м, определяемое по техническим характеристикам геолотна в зависимости от расчетной относительной деформации по формуле:

$$\lambda_n = 2S \cdot K_з / (L - d_{св}), \qquad (7.18)$$

S - осадка межсвайного пространства, определяется по п. 7.4.2 настоящего ОДМ, м;

L – расстояние между осями свай, м;

$d_{св}$ – диаметр сваи, м;

$K_з$ - коэффициент запаса, принимаемый равным 1,3.

7.4.1.6 Для оценки несущей способности под эксплуатационной нагрузкой слабого основания с новыми повышенными значениями прочностных характеристик и сниженной нагрузкой на межсвайное пространство за счет устройства текстильно-песчаных свай и гибкого ростверка следует выполнить контрольный расчет по п. 7.1 настоящего ОДМ в соответствии с приложением А.

Для оценки устойчивости откосов насыпи на основании с новыми повышенными значениями прочностных характеристик после устройства текстильно-песчаных свай следует выполнить контрольный расчет по п. 7.2 настоящего ОДМ (с использованием программных продуктов для ЭВМ) в соответствии с приложением Б.

7.4.2 Расчет осадок основания

7.4.2.1 Расчет расстояния между сваями, принятого в начальном варианте по п. 7.3.5 настоящего ОДМ в зависимости от требуемого сближения и диаметра свай, следует проверить по условию соответствия расчетной осадки слабого основания допускаемой по проекту величине (по второму предельному состоянию).

Исходными данными для расчета являются: 1) сближение свай m, принятое в п. 7.3.5 настоящего ОДМ по условию обеспечения несущей способности грунта межсвайного пространства и несущей способности сваи (п. 7.4.1.6 настоящего ОДМ); 2) модуль деформации и напряжения в каждом слое межсвайного пространства, определяемые по результатам полевых испытаний грунтов по ГОСТ 20276 после устройства рабочей платформы и упрочнения грунтов на первой стадии комплексной технологии (п. 7.3 настоящего ОДМ).

7.4.2.2. Расчет осадки слабой толщи межсвайного пространства

выполняется методом послойного суммирования (СП 22.13330 [5]):

$$S_{м.с.} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i}{E_i}, \qquad (7.19)$$

где h_i– толщина, м;

$E_{zp,i}$ – модуль деформации каждого слоя слабого основания, кПа;

$\sigma_{zp,i}(P_z,\ H_i,\ \varphi)$ - напряжение в грунтах каждого слоя от эксплуатационной нагрузки, действующей на поверхность межсвайного пространства P_z, определяется по пособию [6] и п.7.4.1 настоящего ОДМ в зависимости от глубины расположения слоя h_i и угла внутреннего трения грунта, кПа.

Расчет по формуле (7.18) следует выполнить по двум вариантам: 1) начальное значение осадки до устройства гибкого ростверка, при воздействии нагрузки P_z на межсвайное пространство; 2) осадка после устройства гибкого ростверка под нагрузкой, равной эксплуатационной P_z за вычетом части нагрузки, воспринимаемой гибким ростверком в соответствии с п.7.4.1.5 и приложением Б настоящего ОДМ.

Если данное условие не соблюдается, следует выполнить технико-экономическое сравнение вариантов упрочнения основания, в том числе: по уменьшению расстояния между сваями и новом распределении эксплуатационной нагрузки P_z / P_0 между сваями и грунтом межсвайного пространства, по увеличению прочности гибкого ростверка.

7.5 Расчет величины конечной осадки конструкции и времени ее консолидации с учетом работы текстильно-песчаных свай

7.5.1 Конечная осадка основания земляного полотна под эксплуатационной нагрузкой должна быть рассчитана методом послойного суммирования по формуле (7.19) в активной зоне основания с учетом конечных значений прочностных характеристик грунтов (после устройства свай и гибкого ростверка) и приведенного модуля деформации каждого слоя армированного основания E_{mi}:

$$E_m = (1-\alpha)\cdot E_{\text{гр,i}} + \alpha \cdot E_{\text{св,i}}\ , \qquad (7.20)$$

где α – тоже, что в формуле (7.7) настоящего ОДМ;

$E_{гр,i}$ - модуль деформации каждого слоя слабых грунтов, кПа;

$E_{св,}$- модуль деформации песка в текстильно-песчаных сваях, кПа.

Конечная осадка должна определяться для всех характерных поперечников слабого основания на проектируемом участке автодороги.

7.5.2 Время завершения консолидации слабых грунтов основания T определяется по методике [5] в зависимости от требуемой по проекту степени консолидации, коэффициентов консолидации (определяются лабораторными испытаниями грунтов по ГОСТ 25584), расстояния между сваями и дренажными прорезями - пути фильтрации воды в горизонтальном и вертикальном направлениях (см. п.7.3 настоящего ОДМ).

При необходимости обеспечения консолидации основания в требуемые по проекту сроки свайную конструкцию необходимо проверить по методике [18] с определением общей степени консолидации по формуле:

$$U_{общ} = 100 - 0{,}1/100 - U_в / (100 - U_г)\,, \qquad (7.21)$$

где $U_в$ – степень консолидации основания, достигаемая при фильтрации воды в вертикальном направлении;

$U_г$ - степень консолидации основания, достигаемая при фильтрации воды в горизонтальном направлении.

Значения $U_в$ и $U_г$ определяют по методике [18] на основании значений фактора времени N_i, определяемого в горизонтальном и вертикальном направлениях для каждого слоя по формуле:

$$N_i = \frac{C_i \cdot T}{l_i}, \qquad (7.22)$$

где C_i - коэффициент консолидации при вертикальной / горизонтальной фильтрации, см^2/мин;

l_i - расчётный путь вертикальной и горизонтальной фильтрации воды, см.

Если полученное расчетом значение $U_{общ}$ больше требуемого срока консолидации, то расстояние между сваями уменьшают и повторяют расчет по формулам (7.21) и (7.22).

7.5.3 Конечная осадка и время завершения требуемой степени консолидации грунтов выделенных слоев (или время достижения требуемой в РД интенсивности осадки) должна быть сопоставлена с величиной допустимой осадки основания, которая определяется в зависимости от типа дорожной одежды и условия ее устройства в соответствии с СП 34.13330. Допустимую конечную осадку основания принимают по пособию [6]: для автомобильных дорог, относящихся в соответствии с техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений к 1-му уровню ответственности – 10 см; для 2-го и 3-го уровней ответственности - 5% от высоты насыпи.

Соответствие достигнутых в результате применения текстильно-песчаных свай конечной осадки и степени консолидации допустимым по проекту величинам обеспечивается мероприятиями и расчетами, изложенными в п. 7.1 – 7.5 настоящего ОДМ.

8 Технология устройства текстильно-песчаных свай и гибкого ростверка на слабом основании при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах

8.1 Технология устройства текстильно-песчаных свай

8.1.1 Общие положения

8.1.1.1 Рекомендации по технологии устройства текстильно-песчаных свай предназначены для составления проектов производства работ (ППР) и выполнения процессов упрочнения слабых грунтов основания земляного полотна, как при новом строительстве, так и при реконструкции объектов. Рекомендации учитывают требования нормативных документов по безопасности сооружений, организации строительного производства, технике безопасности, правилам пожарной безопасности и охране окружающей среды (СП 48.13330, СП 12-136, СНиП 12-03, [12, 15]).

8.1.1.2 При устройстве текстильно-песчаных свай в составе комплексной технологии необходимо организовать последовательное выполнение трех технологических стадий (рисунок 8.1): 1) формирование рабочей платформы; 2) устройство свай методом бурения или вибропогружения; 3) устройство гибкого ростверка.

8.1.1.3 При выборе метода устройства свай (вибропогружения или бурения) вблизи существующих зданий и сооружений необходимо учитывать проектную оценку влияния динамических воздействий на конструкции существующих зданий или сооружений, а также на находящиеся в них чувствительные к колебаниям машины, приборы и оборудование. Метод вибропогружения обеспечивает большее уплотнение межсвайного пространства. Метод бурения предпочтительнее при работе с наличием плотных прослоек грунта или в том случае, когда воздействие вибрации на находящиеся рядом строения, транспортные сооружения должно быть минимизировано. Сваи закладывают рядами, первоначально устраиваются первый, третий, пятый ряд, затем второй, четвертый, шестой и т.д.

8.1.1.4 Состав и порядок выполнения технологических и контрольных операций (приведены в приложении Г) необходимо уточнить в ППР в зависимости от характеристик грунтов, имеющегося в наличии оборудования и организационных условий на конкретном объекте, ожидаемых климатических условий на весь период строительства. Особенности производства работ в зимнее время, а также необходимые дополнительные мероприятия разрабатываются в проекте производства работ.

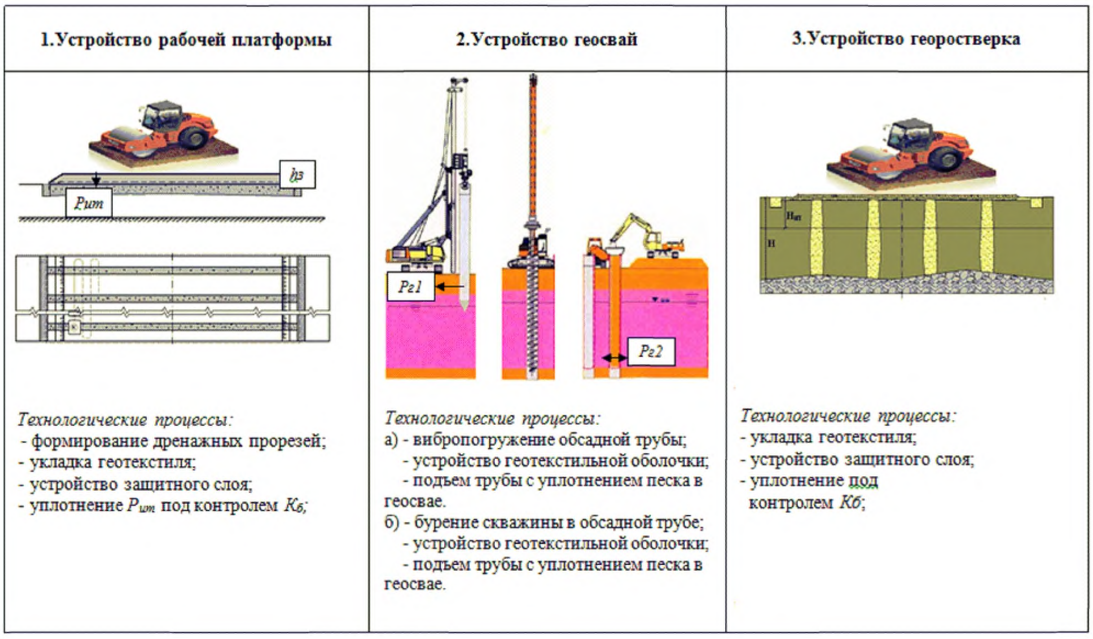


Рисунок 8.1 - Стадии комплексной технологии

8.1.2 Устройство свай методом вибропогружения

8.1.2.1 Формирование рабочей платформы для устройства текстильно-песчаных свай должно обеспечить возможность въезда и производство работ виброоборудованием на слабом основании. Устройство платформы включает дренажные прорези, водоотводные канавы и защитный слой из дренирующего грунта, укрепленный геополотном.

8.1.2.2 Прорези и водоотводные канавы в слабых водонасыщенных грунтах следует устраивать в соответствии с Рекомендациями [8] с целью ускорения

консолидации основания за счет сокращения пути фильтрации воды, отжимаемой из слабой толщи. Расстояние между дренажными прорезями принимается равным от 2 до 2,5 м, ширина прорезей от 1 до 1,2 м, глубина 1 м. При продольном уклоне местности свыше 0,003 прорези устраивают вдоль оси насыпи, при меньшем уклоне – поперек оси с водоотводными канавами по границе основания и отводом воды в резервы и водопропускные трубы. Для заполнения прорезей и канав следует использовать песок гравелистый (ГОСТ 25100) с коэффициентом фильтрации от 3 м/сут или гравий. Для разработки грунта и засыпки прорезей песком применяются экскаваторы - обратная лопата и погрузчики.

8.1.2.3 На подготовленное основание с прорезями, водоотводными канавами и выравнивающим слоем песка 5см следует уложить прослойку из геотекстиля. Технологические и разделительные прослойки устраивают из геополотна нетканого (иглопробивного) с плотностью от 250 г/м^2 или термоскреплённого с плотностью от 110 г/м^2. Прослойку следует укладывать на спланированную поверхность. Толщина прослойки из геополотна, используемой в качестве дрены, под расчетной нагрузкой от вышележащих слоев должна быть от 2 мм. Этому условию удовлетворяет геополотно нетканое толщиной в ненагруженном состоянии от 2,0 до 4 мм.

8.1.2.4 Прослойку из геополотна нетканого следует накрыть защитным слоем из песка толщиной 0,5м для работы виброкатка в интенсивном технологическом режиме уплотнения слабого основания. Интенсивный технологический режим предназначен для воздействия максимально допустимой по несущей способности грунта вибронагрузки на основание с целью улучшения его прочностных и деформационных характеристик. В качестве управляемых параметров виброуплотнения принимаются амплитуда вибрации, скорость движения катка, число проходов.

8.1.2.5 Уплотнение грунта рекомендуется в соответствии с [15] начинать с режима пробного уплотнения. Следует организовать работу катка круговыми проходами, начиная с краевых полос. Величина перекрытия следов должна

составлять 0,2 м. Режим работы виброкатка следует уточнять по результатам испытаний грунтов на сдвиг (в соответствии с требованиями ГОСТ 20276) и расчета коэффициента безопасности.

Переувлажненные глинистые грунты следует уплотнять захватками 200-350 м, используя для этой цели сначала легкие катки весом не более 100 кН для прикатки, а затем основные виброкатки. Для первого прохода могут быть использованы и основные виброкатки с выключенным вибратором. Скорость движения катков при первом проходе 1км/ч, при последующих проходах от 2 км/ч до 4 км/ч. Число проходов катка определяется по результатам пробного уплотнения.

8.1.2.6 Целесообразно применять виброкатки оснащенные системой непрерывного слежения за степенью уплотнения грунта и бортовой компьютерной системой глобального позиционирования (GPS). Система слежения фиксирует полученные данные о работе катка и достигнутой плотности грунтов, а система GPS передает их с помощью передатчиков (включая спутниковую связь) на офисный компьютер. Бортовой компьютер машины позволяет оптимально регулировать параметры вибрации, осцилляции (диапазон амплитуд) и скорость движения катка в зависимости от степени уплотнения грунта.

8.1.2.7 Работы по устройству текстильно-песчаных свай следует выполнять после контроля прочности основания для восприятия нагрузки от строительной техники. При недостаточной несущей способности слабых грунтов по защитному слою следует сделать и последовательно перемещать временную дорогу из инвентарных плит.

8.1.2.8 Состав работ по устройству свай методом вибропогружения трубы-лидера должен включать следующие процессы [14]:

1) Установка вибропогружателя в рабочее положение в соответствии с инструкцией по эксплуатации;

2) Погружение стальной вытесняющей трубы-лидера, выбранного диаметра с двухопорным клапаном, при помощи высокочастотного вибратора

через слабые грунты до проектной отметки;

3) Укладка в трубу-лидер и заполнение песком заранее подготовленной геооболочки.

4) Подъем (в вибрационном режиме) трубы-лидера с открытым опорным клапаном.

Под воздействием вибрации и последующих нагрузок от насыпи происходит уплотнение песка в сваях, оболочка дополнительно расширяется и передает уплотняющие горизонтальные напряжения на слабые грунты межсвайного пространства.

8.1.3 Устройство свай методом бурения

8.1.3.1 Перед устройством текстильно-песчаных свай методом бурения для въезда бурового оборудования на слабое основание формируют рабочую платформу в соответствии с п.8.1.2 настоящего ОДМ.

8.1.3.2 Состав работ по устройству свай методом бурения должен включать следующие процессы [13]:

1) Установка бурового оборудования в рабочее положение в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

2) Бурение скважины на проектную глубину:

- установка первой режущей секции обсадной трубы;

- установка следующей (второй) секции обсадной трубы с креплением ее к первой специальными накладками на болтах;

- бурение скважины до проектной отметки с погружением обсадной трубы (обсадная труба заглубляется ниже нижнего торца скважины на 1 м);

- проверка скважины на наличие воды с измерением уровня грунтовых вод.

Из несущего пласта нескального грунта необходимо отобрать образцы для их освидетельствования на соответствие характеристикам проектного грунта, с оформлением акта освидетельствования скрытых работ, выполненных на строительстве.

3) Укладка в трубу-лидер и заполнение песком заранее подготовленной геооболочки. Трубу поднимают в режиме вибрирования. В процессе подъема вследствие воздействия вибратора происходит уплотнение песка.

4) Сбор, погрузка и вывоз автосамосвалами грунта, выбранного из скважины.

8.1.3.3 При выполнении работ по устройству текстильно-песчаных свай методами вибропогружения или бурения необходимо оформлять акт промежуточной приемки ответственных конструкций и акт освидетельствования скрытых работ.

8.2 Технология устройства гибкого ростверка на слабом основании

8.2.1 Технологический процесс устройства гибкого ростверка должен включать следующие операции:

- выравнивание защитного слоя над сваями;

- раскатку рулонов геосинтетического материала и его закрепление на поверхности основания;

- стыковку геополотен и засыпку их грунтом с уплотнением;

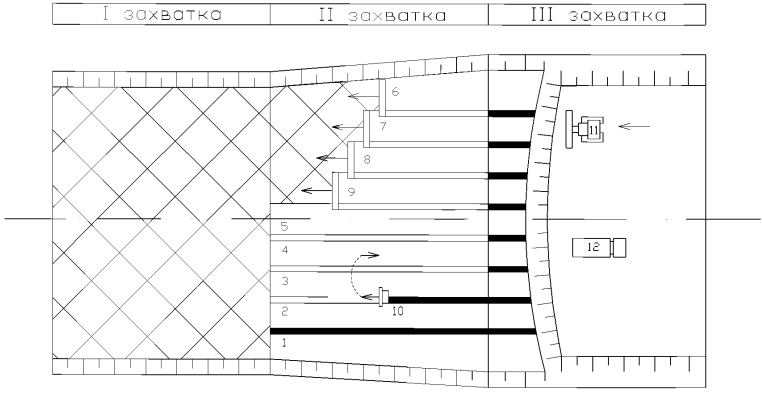
- приёмочный контроль.

8.2.2 Геосинтетический материал следует раскатывать с перекрытием полос от 20 см до 30 см, не допуская при этом отклонений [10]. Для соединения геополотен следует применять сшивку или склейку. Уложенную прослойку из геосинтетического материал в течение рабочего дня необходимо засыпать грунтом. Оставлять не засыпанный грунтом геосинтетический материал запрещается. Перед отсыпкой грунта проверяют качество уложенной прослойки - сплошность, величину перекрытия, качество стыковки геополотен, общую ширину и их количество.

8.2.3 По результатам осмотра следует составить акт на скрытые работы, в котором приводятся характеристики готового слоя из геосинтетического материала, а также данные о поставщике, виде и характеристиках. В случае несоответствия фактических данных, приведенных на упаковке, устройство

прослоек следует приостановить и провести контрольные испытания согласно правилам приёмки, указанным в технических условиях.

8.2.4 После оформления акта на скрытые работы следует выполнить засыпку слоя геосинтетического материала грунтом по схеме “от себя”. Доставленный автомобилями-самосвалами грунт распределяют слоем толщиной от 30 см до 40 см по всей площади захватки. Грунт перемещают бульдозером последовательно с образованием промежуточных валов и разравнивают от средины насыпи к её краям. Проезд колёсных или гусеничных машин по геосинтетическому материалу запрещается.



1-9 – рулоны геополотна; 10 – установка для соединения рулонов; 11 – бульдозер; 12 – автосамосвалы; I – подготовка подстилающего слоя грунта; II – транспортировка, укладка и соединение рулонов геополотна; III – отсыпка, распределение и уплотнение слоя грунта

Рисунок 8.2 - Схема устройства прослоек из геосинтетического материала

8.2.5 Формирование гибкого ростверка производят после укладки геосинтетического материала и устройства защитного слоя из песка в режиме интенсивной технологии в соответствии с п.8.1.2 настоящего ОДМ. В ходе уплотнения и осадки межсвайного пространства производят досыпку грунта между сваями. В результате в основании образуется уплотненный ростверк,

который позволяет уменьшить напряжения в межсвайном пространстве за счет перераспределения нагрузки на сваи. На подготовленном основании производится послойная отсыпка и уплотнение дорожной насыпи в соответствии с Рекомендациями [8].

8.3 Требования к контролю качества и приемке выполненных работ

8.3.1 Используемые на всех технологических стадиях грунты, материалы, изделия и конструкции должны удовлетворять требованиям РД, ГОСТ 32731 и п.6 настоящего ОДМ. Замена предусмотренных проектом грунтов, материалов, изделий и конструкций, входящих в состав возводимого сооружения или его основания, допускается только по согласованию с проектной организацией и заказчиком. Все материалы должны иметь технический паспорт.

8.3.2 Материалы для геооболочки свай должны быть сертифицированы и соответствовать характеристикам, заложенным в РД в соответствии с требованиями п.6. настоящего ОДМ. Примеры материалов, соответствующих условиям применения для КТ, приведены в приложении Д.1.

8.3.3 Перед началом работ необходимо провести верификацию поступивших материалов и конструкций. Все поступившие материалы и конструкции должны иметь документы, удостоверяющие их качество и соответствие требованиям ГОСТ 32731 и п.6 настоящего ОДМ. Контролируемые параметры геосинтетического материала (поверхностная плотность, прочность на разрыв и относительное удлинение в продольном и поперечном направлениях, коэффициент фильтрации) должны соответствовать требованиям, указанным в п.6 настоящего ОДМ, контролируемые параметры песка (гранулометрический состав, коэффициент фильтрации) – ГОСТ 25100. Результаты проверки заносятся в журнал верификации (входного контроля).

8.3.4 При устройстве текстильно-песчаных свай на всех стадиях комплексной технологии должен осуществляться контроль технологических процессов и, особенно, технологического регулирования нагрузок. Площадку для пробного уплотнения (опытный участок) следует располагать в пределах

основания возводимой насыпи, а при невозможности – в специально отведённом месте. Минимальные размеры площадки для пробного уплотнения должны составлять: ширина от $3 \times B_y$, м; длина от 20 м, где B_y – ширина уплотняемой полосы, принимаемая по технической характеристике уплотняющей машины.

Контроль плотности следует выполнять в соответствии с ГОСТ 22733. Допускается использовать приборы для ускоренного определения плотности (плотномер-влагомер Н.П. Ковалёва, радиометрические, пенетрационные плотномеры и др.).

8.3.5 При выборе виброкатков следует учитывать их современное оснащение: бортовую систему контроля плотности грунтов, позволяющую получить на мониторе и сохранить в памяти послойную структуру состояния грунтов под катком. Информация о результатах работы катка и параметрах вибронагрузки хранится в памяти компьютера для последующей подготовки технической документации о состоянии основания и насыпей при сдаче выполненных работ.

Примеры машин, соответствующих условиям применения для КТ приведены в приложении Д.2.

8.3.6 Для проверки прочностных и деформационных характеристик текстильно-песчаных свай и межсвайной зоны на опытном участке следует регистрировать по каждой свае следующие данные:

- идентификационная запись сваи и текущий производственный номер;
- метод производства;
- тип и основные параметры используемого вибратора;
- время производства;
- диаметр сваи и геооболочки из геополотна;
- вид оболочки из геополотна (тип и прочность);
- характеристики песка-заполнителя;
- глубина погружения;

- характеристики грунтового основания, способного нести проектную нагрузку.

8.3.7 Контрольные функции должны быть организованы на базе полевых лабораторий при дорожно-строительных подразделениях, а также контрольных постов в составе работ по контролю качества возведения насыпей на слабых основаниях. Контроль характеристик грунтов производится с целью установления стабилизации осадок и коэффициента безопасности (несущей способности) грунтов основания в соответствии с РД (ГОСТ 20276).

8.3.8 Испытания грунтов, измерения осадок и горизонтальных смещений следует вести в период упрочнения основания и возведения насыпи ежедневно, первые три месяца после полного возведения насыпи - еженедельно, в дальнейшем - до сдачи участка в эксплуатацию 2 раза в месяц [8]. При обнаружении резкого увеличения осадки или выпора грунта виброуплотнение необходимо немедленно прекратить для выявления причин деформаций и корректировки технологических режимов. В случае фиксирования потери прочности основания следует назначить мероприятия по ликвидации опасного состояния и предупреждения дальнейшего развития деформации.

8.3.9 В ходе работ необходимо предусматривать периодическое проведение натурных измерений (мониторинг). Состав, объем, и методы мониторинга устанавливают в зависимости от уровня ответственности сооружения и сложности инженерно-геологических условий. Следует учитывать требования СП 22.13330. Натурные измерения деформаций оснований должны предусматриваться при применении новых или недостаточно изученных конструкций сооружений.

8.3.10 При интенсивном уплотнении грунтов на первой технологической стадии необходимо вести сравнительный анализ фактического и расчетного хода осадки. Расчетная осадка грунта от нагрузки определяется по п.7.4. настоящего ОДМ. Решение о завершении уплотнения слабого основания следует принимать с учетом допустимого по РД ежедневного прироста осадки.

8.3.11 Для оценки несущей способности основания в ходе работ необходимо организовать контроль изменения прочностных характеристик (сопротивления сдвигу). Оценка несущей способности производится по величине коэффициента безопасности, который определяется в соответствии с п. 7.1 настоящего ОДМ.

8.4 Требования по безопасности проведения работ

8.4.1 Организация и производство работ должны соответствовать требованиям СП 48.13330, СП 12-136, действующим правилам пожарной безопасности и взрывобезопасности [12].

При организации и проведении работ во избежание пожаров, взрывов, отравлений, ожогов, других несчастных случаев и аварий, являющихся следствием несоблюдения технологического процесса, правил хранения и транспортировки, следует строго выполнять требования, изложенные в нормативно-технической документации на материалы (технические условия) и в технологических инструкциях.

8.4.2 Перед началом выполнения работ генеральный подрядчик (субподрядчик) и администрация организации, эксплуатирующая участок, обязаны оформить акт-допуск.

8.4.3 Производство работ на территории действующего участка необходимо осуществлять при строгом выполнении мероприятий, указанных в акте–допуске. Указанные мероприятия принимаются на основе решений, разработанных в ПД и РД:

- установление границы территории, выделяемой подрядчику для производства работ;

- определение порядка допуска работников подрядной организации на территорию организации;

- проведение необходимых подготовительных работ на выделенной территории;

- определение зоны совмещенных работ и порядка их выполнения.

8.4.4 Генеральный подрядчик при выполнении совмещенных работ с участием субподрядчиков обязан:

- осуществлять их доступ на производственную территорию с учетом выполнения требований изложенных в акте-допуске;

- обеспечить выполнение всех мероприятий охраны труда и координировать действия субподрядчиков в части выполнения мероприятий по безопасности труда согласно акту-допуску и графику выполнения совмещенных работ.

8.4.5 Перед началом и в процессе производства работ руководитель работ обязан:

- оформить необходимую документацию (наряд-допуск) на право производства работ в местах действия опасных или вредных факторов;

- перед началом работ ознакомить работников с мероприятиями по безопасности производства работ и оформить инструктаж с записью в наряде-допуске;

- проводить систематические осмотры участка, проверку условий труда рабочих и принимать меры к устранению выявленных недостатков;

- производить выдачу спецодежды и других средств индивидуальной защиты согласно действующим нормам.

8.4.6 При организации рабочей зоны до начала производства работ следует установить опасные для людей участки, в пределах которых постоянно действуют или потенциально могут действовать опасные производственные факторы.

8.4.7 Конструкция защитного и сигнального ограждения должна быть предусмотрена в РД исходя из условий производства работ (мест расположения).

При наличии опасных и вредных производственных факторов безопасность работ обеспечивается на основе выполнения мероприятий, содержащихся в РД.

ППР должен содержать схемы и инструктивные указания по рациональной

организации и технологии строительного производства, привязанные к местным условиям строительства, в которых намечают рациональные режимы труда и мероприятия по безопасности, организационные требования к подготовке и обслуживанию трудового процесса, перечень и число инструмента и приспособлений, схему организации рабочего места и пр.

8.4.8 При производстве работ по устройству свай работники могут подвергаться воздействию следующих опасных и вредных производственных факторов:

- движущиеся машины и механизмы, оборудование и их элементы, применяемые в производственном процессе;
- пониженная и повышенная температура воздуха рабочей зоны, так как работы ведутся на открытом воздухе;
- повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека;
- расположение рабочего места вблизи перепада по высоте от 1,3 м;
- возможность поражения электротоком (электротравмы при работе вблизи ЛЭП);
- передвигающиеся конструкции;
- падение вышерасположенных материалов, инструмента;
- опасность ненадежных поверхностей;
- метеоопасности, гроза (в первую очередь);
- повышенный уровень шума и вибрации на рабочем месте;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенная запылённость и загазованность воздуха рабочей зоны;
- острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхности материалов и оборудования.

Библиография

[1]	СП 34.13330.2011	Актуализированная редакция «СНиП 2.05.02-85» Автомобильные дороги. Строительные нормы и правила»
[2]	ОДМ 218.2.046-2014	«Рекомендации по выбору и контролю качества геосинтетических материалов, применяемых в дорожном строительстве»
[3]	Патент на изобретение 2449075 РФ	Способ упрочнения слабого природного основания для возведения дорожного земляного полотна: патент на изобретение 2449075 РФ: МПК E01C 3/04 // Луцкий С.Я. Шмелев В.А., Бурукин А.Ю. - № 2010148128/03; заявл. 26.11.2010; опубл.: 27.04.2012. - Бюл. № 12. - 2 с.
[4]	ОДМ 218.2.047-2014	«Методика оценки долговечности геосинтетических материалов, используемых в дорожном строительстве»
[5]	Пособие к СНиП 2.05.02-85	Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах.
[6]		Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах. - М.: Информавтодор, 2004.
[7]	СТО НОСТРОЙ 2.25.27-2011	Строительство земляного полотна для автомобильных дорог. Часть 5 Возведение земляного полотна на слабых грунтах.
[8]		Рекомендации по интенсивной технологии и мониторингу строительства земляных сооружений на слабых основаниях // Под общ. редакцией С.Я. Луцкого - М.: Тимр, 2005. - 96 с.
[9]	ОДМ 218.1.001-2005	Рекомендации по разработке и применению документов технического регулирования в сфере дорожного хозяйства.
[10]	ОДМ 218.5.003-2010	Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог.
[11]	ОДМ 218.5.006-2010	Рекомендации по методикам испытаний геосинтетических материалов в зависимости от области их применения в дорожной отрасли.
[12]		Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 N 390 «О противопожарном режиме (вместе с

Правилами противопожарного режима в Российской Федерации)».

[13] Комплексная технология упрочнения слабого основания земляного полотна сваями в геотекстильной оболочке. Устройство свай в геотекстильной оболочке методом бурения. ТК СМК-006-01.02-2011: технологическая карта. - М.: МостГеоЦентр, 2011. - 38 с.

[14] Комплексная технология упрочнения слабого основания земляного полотна сваями в геотекстильной оболочке. Устройство свай в геотекстильной оболочке методом вибропогружения. ТК СМК-006-03-02-2011: технологическая карта. - М.: МостГеоЦентр, 2011. - 42 с.

[15] Комплексная технология упрочнения слабых грунтов в основании дорожного земляного полотна сваями в геотекстильной оболочке. СТО ИСМ 58748660-05-2012: стандарт организации. - М.: МостГеоЦентр, 2012. - 82 с.

[16] Цытович Н.А. Механика грунтов. - М.: Высшая школа, 1983г. - 288 с.

[17] Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. - М.: Высшая школа, 1968. - 511с.

[18] Евгеньев И.Е., Казарновский В.Д. Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах. - М.: Транспорт, 1976

[19] Kempfert H.-G., Stadel M., Zaeske D. Berechnung von geokunststoffbewehrten Tragschichten über Pfahlelementen // Bautechnik. Vol 74, 1997. - № 12.

[20] Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures using Geosynthetic Reinfocements – EBGEO, Second Edition, 2011

[21] Добров Э.М. , До Кхань Хунг. Влияние геосинтетической оболочки на эффективность усиления слабых оснований грунтовыми сваями. М . Транспортное строительство . №7, 2014, с.15-17.

Приложение А
(рекомендуемое)

Пример оценки несущей способности основания и устойчивости откосов дорожной насыпи

П р и м е р А.1 - Оценка несущей способности слабого основания автодорожной насыпи высотой 4,1м на слабом основании из текучепластичного суглинка толщей 6м (ниже расположен несжимаемый грунт). Исходные данные принимают: характеристики грунтов слабого основания - по результатам инженерных изысканий; параметры насыпи – по РД.

Т а б л и ц а А.1 - Исходные параметры насыпи и грунтов основания

Группа параметров	Характеристики грунта	Обозначения характеристик	Значения характеристик
Параметры грунтов слабого основания	Мощность слоя грунта основания, м	h	6
	Удельный вес грунта, кН/м^3	γ	17,7
	Угол внутреннего трения, град	φ	13
	Сцепление, кПа	c	10
	Модуль деформации, кПа	E	3285
	Плотность грунта, г/см^3	ρ	1,77
	Коэффициент пористости	e_0	1,073
	Природная влажность, %	W_{np}	39
	Влажность на границе раскатывания, %	W_1	21
	Число пластичности, %	J_P	15
	Коэффициент консистенции	J_L	1,2
	Коэффициент фильтрации, м/сут	$K_ф$	$1{,}12\cdot10^{-5}$
Параметры насыпи	Удельный вес грунта насыпи, кН/м^3	$\gamma_н$	18,2
	Высота насыпи (с крутизной откосов 1:1,5), м	h	4,1
	Категория дороги		IB
	Уровень ответственности		II
	Максимальная осевая нагрузка от транспортных средств, кН	P_{mp}	100

Примечание - Расчетные значения характеристик угла внутреннего трения φ_n, удельного сцепления с и модуля деформации Е в таблице А.1 приняты в соответствии с СП 34.13330 с учетом коэффициентов надежности по грунту: в расчетах оснований по деформациям $К_г$ =1; в расчетах оснований по несущей способности: для удельного сцепления $К_{сц}$=1,5; для угла внутреннего трения песчаных грунтов $К_{вт}$ =1,1; то же, глинистых грунтов $К_{вт}$=1,15.

Расчет несущей способности слабого основания автодорожной насыпи выполняется на основе СП 34.13330 и в соответствии с методикой, изложенной в п. 7.1 настоящего ОДМ.

Несущую способность грунтов слабого основания следует устанавливать (см. п.7.1) по минимальному значению коэффициента безопасности в зависимости от $Р_б$ - безопасной нагрузки, соответствующей наибольшей величине внешней нагрузки на основание, вызывающей возникновение предельного состояния по сдвигу, кПа, и $Р_{расч}$ - расчетной нагрузки от веса насыпи и подвижной нагрузки от транспорта (эксплуатационной нагрузки), кПа. Несущая способность основания считается обеспеченной при условии $K_б \geq 1$.

Значение допустимой безопасной нагрузки на грунт основания в начальном (природном) состоянии:

$$P_б^{нач} = \frac{C_{нач} + \gamma \cdot z \cdot tg\varphi_{нач}}{b}, \qquad (А.1)$$

где $С_{нач}$ и $\varphi_{нач}$ – сцепление (кПа) и угол внутреннего трения грунта при природной плотности – влажности, град.;

$\gamma_{ср}$ - удельный вес слабой толщи, расположенной выше горизонта z, кН/м^3;

z - глубина расположения рассматриваемого горизонта от поверхности основания, м;

b - коэффициент, зависящий от угла внутреннего трения, эпюры нагрузки и относительной глубины слоя, определяется по пособию [6].

Величина расчетной нагрузки на поверхности основания равна эксплуатационной нагрузке от веса насыпи и подвижной нагрузке от транспортных средств, определяемой по формуле (7.2).

Для определения значений коэффициента безопасности по глубине слабого основания напряжения от расчетной нагрузки следует определять по формуле:

$$\sigma_z = \alpha_z \cdot P_{расч}, \qquad (A.2)$$

где α_z – коэффициент, зависящий от относительной глубины расположения рассматриваемого горизонта, определяется по пособию [5].

Определим значение коэффициента безопасности на поверхности основания.

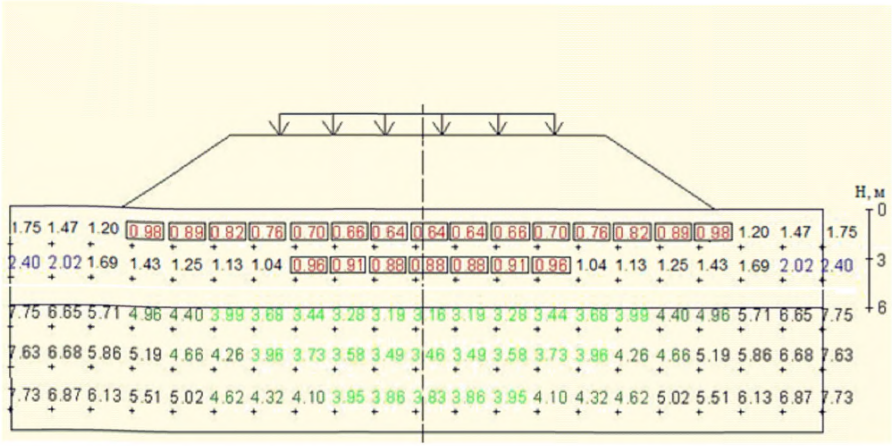
Значение безопасной нагрузки $P_б^{нач}$ на поверхности основания, рассчитанное по формуле (А.1) и табл.А.1 составляет:

$$P_б^{нач} = \frac{10}{0,24} = 41,67 \ кПа,$$

Расчетная нагрузка от веса насыпи и подвижной нагрузки от транспортных средств на поверхность основания, определяемая по формуле (7.2), составляет (величина подвижной нагрузки от транспортных средств в соответствии с п.7.1 настоящего ОДМ не учитывается):

$$Р_{расч} \ 18,2 \cdot 4,1 = 74,62 \ кПа$$

Коэффициент безопасности основания под эксплуатационной нагрузкой по оси насыпи на поверхности основания, рассчитанный по формуле (А.1) составляет 0,6. Следовательно, несущая способность слабого основания, сложенного текучепластичным суглинком, не обеспечена. Для оценки состояния основания по всей глубине 6м под нагрузкой от веса насыпи высотой 4,1 м произведен расчет стабильности в программном продукте «Prust 2006». По результатам расчета стабильности грунтов основания (исходные данные таблицы А.1) в программном продукте «Prust 2006» (рисунок А.1) определены зоны нестабильности, в которых $K_б < 1$. Из результатов расчета следует, что значение коэффициента безопасности на глубине до 4м меньше 1. Несущая способность грунтов основания не обеспечена, необходимы специальные конструктивно-технологические решения.



Р и с у н о к А.1 - Результаты расчета несущей способности слабого основания в ПК «Prust 2006» (квадратами выделена зона нестабильности)

П р и м е р А.2 - Оценка устойчивости откосов автодорожной насыпи высотой 4,1 м на слабом основании из текучепластичного суглинка толщей 6м (ниже расположен несжимаемый грунт) выполнена с использованием исходных данных таблицы А.1 в программном продукте «GEO-Slope».

Расчет устойчивости откосов автодорожной насыпи следует выполнять в соответствии с СП 34.13330, СП 20.13330 и методикой, изложенной в п. 7.2 настоящего ОДМ.

Эксплуатационная нагрузка от веса насыпи и подвижной нагрузки от транспортных средств определяется по формуле (7.2). Влияние подвижной нагрузки от транспорта на основной площадке насыпи высотой более 3м не учитывается.

Устойчивость насыпи определена по методике, основанной на схеме круглоцилиндрической поверхности обрушения [6] с использованием программы для ЭВМ. Расчетный коэффициент устойчивости $К_у$ массива определяется, как отношение сил сопротивления смещению к моменту сил стремящихся сместить массив. Для обеспечения устойчивости откосов насыпи земляного полотна должно выполняться условие (см. п.7.2):

$$K_S \geq [K_S] \qquad (Б.1)$$

Величина допускаемого значения коэффициента устойчивости $[K_s]$, определенная по формуле (7.3) и исходным данным табл.А.1 составляет:

$$[K_S] = \frac{K_н \cdot n_c \cdot n_0}{m_0} = \frac{1,15 \cdot 1 \cdot 1,2}{0,85} = 1,62$$

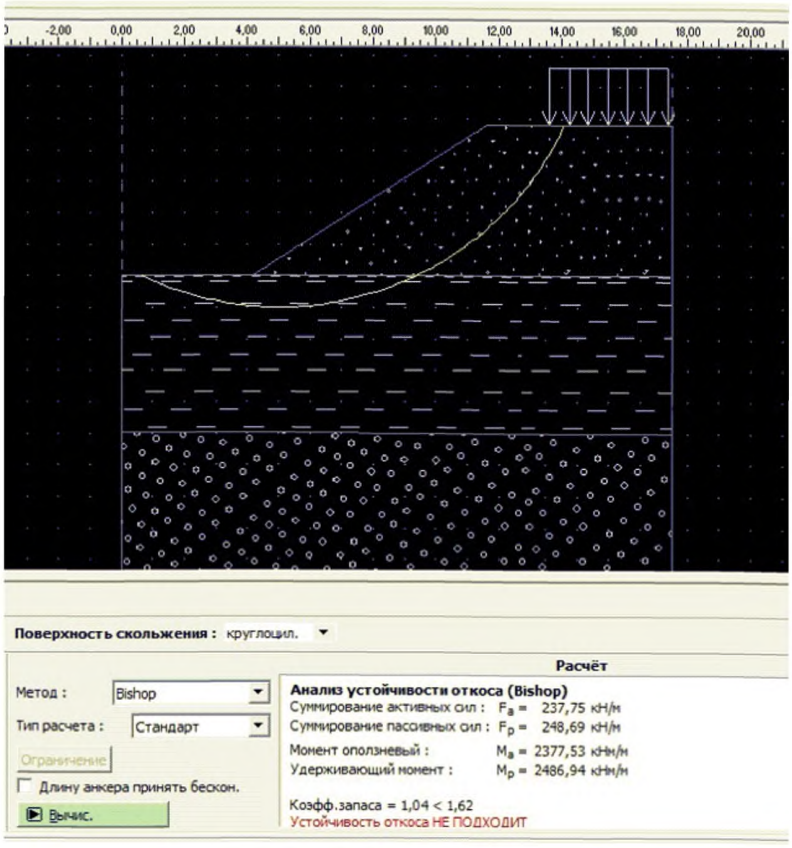
где n_c – коэффициент сочетания нагрузок, учитывающий уменьшение вероятности одновременного появления расчетных нагрузок, принят для основного сочетания $n_c = 1,00$;

n_0 - коэффициент перегрузки для автодорожных насыпей принят $n_0 = 1,2$;

m_0 – коэффициент условий работы для слабых оснований принят $m_0 = 0,85$;

$К_н$ – коэффициент надежности по назначению сооружения (коэффициент ответственности сооружения): принят для II уровня ответственности сооружения $К_н = 1,15$.

Результаты расчета устойчивости откосов насыпи в программном продукте «GEO-Slope» (по исходным данным табл. А.1) приведены на рисунке А.2. Коэффициент устойчивости $К_у$ откосов насыпи высотой 4,1м составляет 1,04, что меньше требуемого значения $[K_s] = 1,62$, следовательно, устойчивость насыпи не обеспечена.



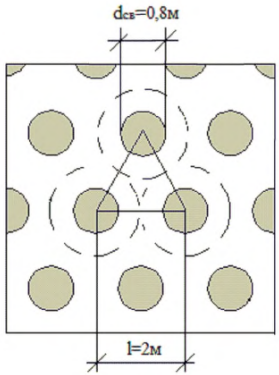
Р и с у н о к А.2 – Результаты расчета устойчивости откосов насыпи в ПК «GEO-Slope»

По результатам оценки несущей способности слабого основания (рис. А.1) и расчета устойчивости откосов насыпи (рис. А.2) необходимо упрочнение слабых грунтов основания. В качестве эффективного конструктивно-технологического решения рекомендуется применение текстильно-песчаных свай.

Приложение Б
(рекомендуемое)

Пример расчёта повышения несущей способности слабого основания и устойчивости откосов дорожной насыпи устройством текстильно-песчаных свай

Для обеспечения несущей способности слабого основания и устойчивости откосов насыпи принято армирование основания текстильно-песчаными сваями (рисунок Б.1) со следующими параметрами: диаметр свай - 0,8м (с заполнением песком средней крупности); расстоянием между осями свай 2м; оболочка свай – геополотно тканое 100/200 (прочность при растяжении поперечном направлении 220 кН/м; относительное удлинение при максимальной нагрузке в поперечном направлении 10%).



$d_{св}$ – диаметр свай; L – расстояние между осями свай

Р и с у н о к Б.1- Параметры армирования основания текстильно-песчаными сваями

Последовательность расчета стадии комплексной технологии.

А) Первая стадия комплексной технологии. Устройство рабочей платформы

Применение интенсивной технологии на первой стадии состоит в уплотнении активной зоны слабого основания и обеспечении несущей способности слабых грунтов для работы вибропогружателя Liebherr LRB255 (ширина вибропогружателя – 3,49 м; длина – 5,89 м; ширина гусеницы – 0,9 м) с максимальной нагрузкой (с учетом навесного оборудования) 69,4 кПа.

Через защитный слой из песка толщиной 0,5м на поверхность слабого грунта нагрузка от вибропогружателя Liebherr LRB255 составляет 53,4 кПа. Под этой нагрузкой $К_б$, рассчитанный по формуле (7.1), составляет 0,78 (при величине безопасной нагрузке, определенной в приложении А, в размере 41,67 кПа). Следовательно, нагрузка от вибропогружателя является не допустимой.

Для повышения несущей способности на первой стадии производится уплотнение грунтов через защитный слой. Виброкаток следует подбирать по допустимой нагрузке на слабое основание по условию (7.5) п.7.3 настоящего ОДМ. Допустимой нагрузке должно соответствовать давление выбираемого виброкатка на поверхность слабого основания $Р_к$ через защитный слой, которое зависит от веса, центробежной силы, ширины следа и длины вибровальца [8].

В данном примере выбор параметров катков фирм HAMM, BOMAG, Dynapac показал возможность применения катка Dynapac CA252D с максимальной рабочей массой 13,6 т, амплитудой 1,7/0,8 мм, центробежной силой 246/119 кН. Его давление на слабое основание через защитный слой толщиной 0,5м при работе катка на низкой амплитуде составляет 35,7 кПа, при высокой амплитуде – 74,62 кПа. Увеличение несущей способности грунта происходит в процессе уплотнения, изменения влажности и плотности. Уплотнение слабого основания грунтовым катком Dynapac CA 2500D следует продолжать до достижения прочностных характеристик грунтов (определяются полевой лабораторией по методике ГОСТ 20276), соответствующих величине безопасной нагрузки, превышающей нагрузку от вибропогружателя Liebherr LRB255 на слабое основание (больше 53,4 кПа).

Б) Вторая стадия комплексной технологии - устройство свай методом вибропогружения

1. Повышение несущей способности межсвайного пространства от устройства текстильно-песчаных свай

При использовании метода вибропогружения повышение несущей способности слабого основания происходит при погружении трубы-лидера с вытеснением и уплотнением грунта. Относительная площадь армирующих элементов α определяется по формуле (7.7) и составляет 16% для диаметра свай 0,8м и расстояния между осями свай 2м. Новое значение плотности после устройства текстильно-песчаных свай с 16% армированием слабого основания составляет:

$$\rho_{св} = 1{,}77 \cdot (1 + 0{,}16) = 2{,}053 г/см^3$$

За счет увеличение плотности модуль деформации E возрастет в соответствии с Рекомендациям [8] до значения 3732кПа.

2. *Повышение несущей способности межсвайного пространства под эксплуатационной нагрузкой*

Необходимо учитывать, что уплотнение межсвайного пространства происходит и под эксплуатационной нагрузкой, за счет деформации текстильно-песчаных свай $\Delta r_{го}$ после возведения насыпи. Для расчета величины $\Delta r_{го}$ в соответствии с п.7.4.1.2 настоящего ОДМ необходимо определить распределение напряжений между сваями и межсвайным пространством от эксплуатационной нагрузки.

В соответствии п.7 настоящего ОДМ распределение напряжений между сваями и межсвайным пространством от эксплуатационной нагрузки, а также определение горизонтальных напряжений в свае следует устанавливать по результатам испытаний свайного поля или ориентировочно по методике Пособия [6] в зависимости от сближения свай, коэффициента бокового давления материала свай и коэффициента бокового расширения грунта основания. По таблице 6Е Пособия [6] и п.7.3 настоящего ОДМ распределение напряжений, действующих на сваи и межсвайное пространство, составляет соответственно 62 % и 38 %, горизонтальные напряжения в свае составляют 41% от общей нагрузки на поверхность основания. Тогда, для данного примера

при расстоянии между осями свай 2 м и диаметре 0,8 м размер горизонтальных напряжений в свае P_x составляют 30,3 кПа, а величина напряжений, действующих на межсвайное пространство составляет 44,9 кПа. Деформация текстильно-песчаных свай $\Delta r_{го}$ определяется по формуле (7.12) и составляет:

$$\Delta r_{го} = \frac{(2-0{,}8)\cdot 0{,}92\cdot 30{,}3}{3732} = 0{,}01м$$

Деформация текстильно-песчаных свай позволила увеличить плотность межсвайного пространства до 2,09 г/см^3. Изменение прочностных характеристик после уплотнения межсвайного пространства в ходе устройства свай определяются полевой лабораторией по методике ГОСТ 19912. Прогнозные данные характеристик грунтов могут быть определены по методике, изложенной в [17], в частности сцепление «С» определяется по зависимости изменения плотности и составляет 21 кПа, угол внутреннего трения φ определяется по зависимости изменения влажности и составляет 22,3 град, модуль деформации E возрастет за счет уплотнения по Рекомендациям [8] до значения 3810кПа.

В) Проверка несущей способности грунтов межсвайного пространства после 2-й стадии КТ должна быть выполнена применительно к новым, улучшенным на 1-й и 2-й стадиях значениям прочностных характеристик грунтов

Безопасная нагрузка на межсвайное пространство и $K_б$ при устройстве свай должны быть уточнены по формуле (7.1) с учетом улучшения прочностных характеристик (сцепления и угла внутреннего трения) от применения первой и второй стадии комплексной технологии. В примере безопасная нагрузка на слабые грунты межсвайного пространства после устройстве текстильно-песчаных свай методом вибропогружения, определенная по формуле (А.1), составляет $P_б$ = 21 / 0,24 = 87,5 кПа; коэффициент безопасности, рассчитанный по формуле (7.1) для ранее определенных напряжений на межсвайное пространство 44,9 кПа, составляет 1,94.

Коэффициент безопасности межсвайного пространства под эксплуатационной нагрузкой больше допустимого значения 1, следовательно, основание обладает достаточной стабильностью. Проверим основание по второму предельному состоянию – определим конечную осадку межсвайного пространства по формуле (7.18):

$$S_{м/с} = \frac{P_{z,1} \cdot h}{E_{гр}} = \frac{34,3 \cdot 6}{3810} = 0,054 м,$$

где $E_{гр}$ - модуль деформации слабого грунта после устройства свай, кПа;

$P_{z,1}$ - напряжения, действующие в середине слабой толщи межсвайного пространства и определяемые по формуле А.2 в зависимости от нагрузки на поверхности, равной 44,9кПа.

Величина $S_{м/с}$ превышает допустимую по СП 34.13330 (п.7.3.2) интенсивность осадки, межсвайного пространства, равную 5см/год. Для уменьшения осадки необходима разгрузка межсвайного пространства за счет устройства гибкого ростверка.

Г) Расчет 3-й стадии комплексной технологии (устройство гибкого ростверка)

Геополотно для гибкого ростверка следует выбирать по [5] и в соответствии с п.7 настоящего ОДМ в зависимости от осадки 0,041м, требуемой прочности на растяжение в продольном направлении и относительного удлинения по условию п.7.4.1.5. настоящего ОДМ:

$$\lambda = \frac{2 \cdot 0,054 \cdot 1,3}{2 - 0,8} = 0,11$$

В примере по этим требованиям выбран геополотно тканое из полиэфирных нитей поверхностной плотностью 605 г/м^2 с относительным удлинением λ_n=0,1 (достаточно с учетом прогноза снижения осадки при устройстве ростверка) и прочностью при растяжении в продольном направлении $G_{гр}$=400 кН/м (таблица Д.4 приложения Д).

Устройство гибкого ростверка приводит к изменению соотношения напряжений, действующих на сваю и межсвайное пространство. После 2-й

стадии указанное соотношение составляло 62 % нагрузки на сваю, 38 % (44,9кПа) на межсвайное пространство. Развивающиеся в геотекстиле усилия составят R_o = 0,097 · 400 = 38,8 кН/м. Эти напряжения геотекстиль будет передавать на 4 сваи диаметром 0,8м. После устройства гибкого ростверка на каждую сваю будет действовать дополнительная нагрузка, передаваемая гибкого ростверка в размере 38,8 / 4 · 0,8 = 12,1 кПа. Следовательно, напряжения на межсвайное пространство уменьшится и составит 44,9 – 12,1 = 32,8 кПа. Распределение нагрузки между сваями и слабым грунтом составит 73 % на сваи и 27 % на межсвайное пространство.

Проверим осадку межсвайного пространства на соответствие требованиям по формуле (7.18):

$$S_{м/с2} = \frac{P_{z,2} \cdot h}{E} = \frac{24{,}2 \cdot 6}{3810} = 0{,}038 м,$$

где $P_{z,2}$=24,2 (кПа) - напряжения, действующие в середине слабой толщи межсвайного пространства (при напряжении на поверхности 32,8кПа после устройства гибкого ростверка).

Осадка межсвайного пространства отвечает допустимой величине.

В соответствии с требованиями п.7.5.3 настоящего ОДМ необходимо проверить конечную осадку свайного поля под эксплуатационной нагрузкой, которая составляет:

$$S_{общ} = \frac{P_{эксп} \cdot h}{E_m} = \frac{68{,}7 \cdot 6}{8320} = 0{,}049 м,$$

где $P_{z,1}$=68,7 (кПа) - напряжения, действующие в середине армированного сваями основания (при напряжении на поверхность свайного поля 73,8кПа);

E_m=8320 (кПа) - модуль деформации армированного сваями основания, определяемый по формуле (7.19).

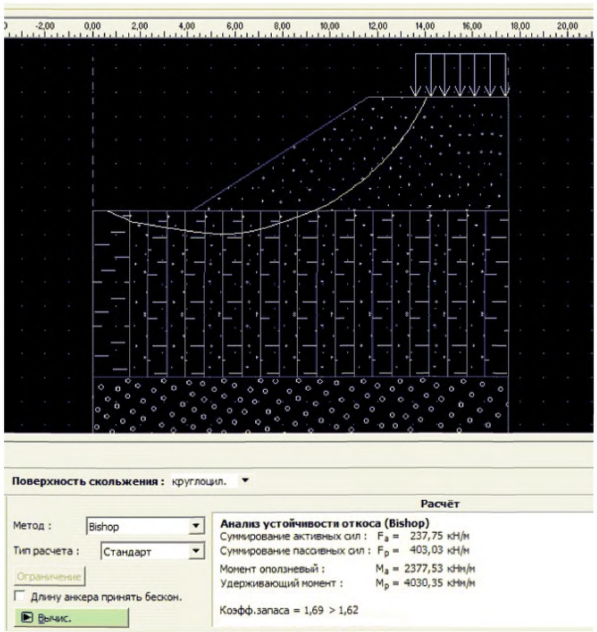
Общая осадка свайного поля под эксплуатационной нагрузкой соответствует допустимой величине.

По результатам применения трех стадий комплексной технологии установлено, что устройства текстильно-песчаных обеспечивает нормативные

требования по несущей способности и допустимой осадке слабых грунтов. Окончательным этапом является проверка устойчивости дорожной насыпи.

Д) Оценка устойчивости откосов автодорожной насыпи на слабом основании, армированном текстильно-песчаными сваями

Для определения устойчивости откосов автодорожной насыпи был выполнен расчет в программном продукте «GEO-Slope», который учитывает размещение геосвай в слабом основании.



Р и с у н о к Б.2 - Оценка устойчивости откосов насыпи после устройства свай в ПК ПК «GEO-Slope»

Результаты расчетов в «GEO-Slope» показали значение коэффициента устойчивости в размере 1,69, что выше требуемого значения. Из результатов расчета (рисунок Б.2) следует, что применение 3-х стадии комплексной технологии обеспечивает заданный коэффициент устойчивости насыпи и может

быть рекомендовано в качестве конструктивно-технологического мероприятия для повышения несущей способности слабых оснований и устойчивости откосов дорожных насыпей.

Приложение В.

Таблицы для определения вертикальных и горизонтальных напряжений в основании с песчаными сваями $K_{бер} = 0,2$

m		$\lambda_0 = 0,20$				$\lambda_0 = 0,30$				$\lambda_0 = 0,40$				$\lambda_0 = 0,50$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,20	$\lambda_т / \lambda_0$	0,3850	0,0409	0,0429	0,0445	0,0613	0,0658	0,0696	0,0729	0,0862	0,0936	0,1000	0,1050	0,1130	0,1240	0,1330	0,1430
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,1610	0,1700	0,0445	0,1820	0,2340	0,2470	0,2580	0,2570	0,3010	0,3180	0,3330	0,3450	0,3610	0,3820	0,4010	0,4160
	P_x / P_0	0,3540	0,3740	0,0613	0,4050	0,3540	0,3840	0,4040	0,4210	0,3660	0,3930	0,4170	0,4370	0,3700	0,4010	0,4280	0,4520
	P_z / P_0	0,8460	0,8910	0,0658	0,9560	0,8220	0,8690	0,9070	0,9390	0,7960	0,8440	0,8830	0,9170	0,7670	0,8560	0,8560	0,8918
0,30	$\lambda_т / \lambda_0$	0,048	0,0527	0,0588	0,0594	0,0750	0,0823	0,0886	0,0943	0,1020	0,1130	0,1230	0,1320	0,1320	0,1460	0,1590	0,1720
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,1390	0,1490	0,1580	0,1650	0,2000	0,2150	0,2280	0,2390	0,2550	0,2740	0,2910	0,3060	0,3060	0,3270	0,3470	0,3550
	P_x / P_0	0,3810	0,4130	0,4390	0,4520	0,3890	0,4170	0,4470	0,4730	0,3840	0,4210	0,4540	0,4890	0,3830	0,4230	0,4580	0,4910
	P_z / P_0	0,7440	0,8000	0,8460	0,8800	0,7160	0,7720	0,8190	0,8600	0,6880	0,7430	0,7900	0,8310	0,6600	0,7130	0,7590	0,7994
0,40	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0545	0,0602	0,0653	0,0697	0,0830	0,0924	0,1000	0,1080	0,1110	0,1250	0,1370	0,1480	0,1400	0,1580	0,1750	0,1980
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,1190	0,1300	0,1400	0,1480	0,1710	0,1870	0,2010	0,2130	0,2180	0,2380	0,2550	0,2710	0,2600	0,2840	0,3040	0,3220
	P_x / P_0	0,3920	0,3920	0,4670	0,4970	0,3910	0,4330	0,4700	0,5030	0,3890	0,4320	0,4710	0,5070	0,3860	0,4300	0,4710	0,5100
	P_z / P_0	0,6540	0,7150	0,7670	0,8120	0,6280	0,6870	0,7380	0,7830	0,6020	0,6590	0,7080	0,7520	0,6270	0,6340	0,6780	0,7210
0,50	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0581	0,0651	0,0713	0,0769	0,0875	0,0986	0,1080	0,1170	0,1170	0,1320	0,1460	0,1590	0,1460	0,1560	0,1840	0,2010
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,1040	0,1150	0,1240	0,1330	0,1490	0,1640	0,1780	0,1900	0,1890	0,2090	0,2260	0,2400	0,2260	0,2430	0,2690	0,2870
	P_x / P_0	0,3950	0,4400	0,4810	0,5180	0,3910	0,4380	0,4810	0,5200	0,3870	0,4350	0,4790	0,5200	0,3830	0,4320	0,4760	0,5180
	P_z / P_0	0,5790	0,6410	0,6950	0,7430	0,5530	0,6150	0,6670	0,7140	0,5390	0,5890	0,6390	0,6840	0,5110	0,5650	0,6120	0,6950
0,75	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0620	0,0709	0,0791	0,0867	0,0925	0,1050	0,1180	0,1300	0,1220	0,1400	0,1570	0,1730	0,1510	0,1740	0,1950	0,2160
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,0764	0,0864	0,0954	0,1030	0,1090	0,1230	0,1360	0,1470	0,1400	0,1570	0,1730	0,1870	0,1680	0,1880	0,2070	0,2230
	P_x / P_0	0,3860	0,4410	0,4900	0,5370	0,3810	0,4350	0,4850	0,5320	0,3760	0,4300	0,4800	0,5270	0,3710	0,4240	0,4740	0,5210
	P_z / P_0	0,4440	0,5030	0,5560	0,6040	0,4270	0,4830	0,5330	0,5800	0,4120	0,4640	0,5120	0,5380	0,3970	0,4470	0,4920	0,5330
1,00	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0628	0,0726	0,0819	0,0906	0,0933	0,1080	0,1210	0,1350	0,1230	0,1420	0,1610	0,1730	0,1520	0,1760	0,1990	0,2240
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,5010	0,0577	0,0757	0,0831	0,0853	0,0974	0,1080	0,1190	0,1090	0,1240	0,1380	0,1510	0,1320	0,1500	0,1660	0,1810
	P_x / P_0	0,3730	0,4510	0,4850	0,5350	0,3670	0,4250	0,4780	0,5290	0,3620	0,4190	0,4720	0,5220	0,3570	0,4130	0,4650	0,5150
	P_z / P_0	0,3580	0,4110	0,4500	0,5060	0,3460	0,3960	0,4430	0,4860	0,3350	0,3830	0,4270	0,4680	0,3250	0,3700	0,4120	0,4510

Таблицы для определения вертикальных и горизонтальных напряжений в основании со сваями $K_{бгр} = 0,2$

m		$\lambda_0 = 0,025$				$\lambda_0 = 0,05$				$\lambda_0 = 0,10$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	И	12	13	14
0,20	λ_τ / λ_0	0,0043	0,0045	0,0047	0,0048	0,0088	0,0092	0,0095	0,0098	0,0181	0,0190	0,0198	0,0204
	$\lambda_\sigma / \lambda_0$	0,0211	0,0221	0,0228	0,0230	0,0420	0,0440	0,0455	0,0467	0,0831	0,0871	0,0902	0,0928
	P_x / P_0	0,3420	0,3570	0,3700	0,3790	0,3400	0,3600	0,3730	0,3830	0,3470	0,3650	0,3790	0,3900
	P_z / P_0	0,880	0,9200	0,9510	0,9760	0,8760	0,9170	0,9490	0,9750	0,8670	0,9090	0,9420	0,9690
0,30	λ_τ / λ_0	0,0057	0,0061	0,0064	0,0067	0,0114	0,0125	0,0129	0,0135	0,0233	0,0252	0,0266	0,0279
	$\lambda_\sigma / \lambda_0$	0,0185	0,0195	0,0208	0,0217	0,0368	0,0393	0,0414	0,0431	0,0723	0,0740	0,0817	0,0852
	P_x / P_0	0,3750	0,4010	0,4220	0,4400	0,3760	0,4030	0,4250	0,4430	0,3780	0,4060	0,4300	0,4400
	P_z / P_0	0,7880	0,8420	0,8860	0,9220	0,7820	0,8370	0,8810	0,9170	0,7700	0,8850	0,8700	0,9070
0,40	λ_τ / λ_0	0,0066	0,0072	0,0077	0,0081	0,0132	0,0144	0,0154	0,0165	0,0267	0,0295	0,0315	0,0334
	$\lambda_\sigma / \lambda_0$	0,0161	0,0176	0,0188	0,0198	0,0320	0,0349	0,0378	0,0393	0,0627	0,0683	0,0731	0,0772
	P_x / P_0	0,3920	0,4280	0,4570	0,4820	0,3920	0,4280	0,4590	0,4840	0,3950	0,4300	0,4620	0,4890
	P_z / P_0	0,7000	0,7620	0,8140	0,8500	0,6930	0,7550	0,8070	0,8520	0,6800	0,7420	0,7940	0,8390
0,50	λ_τ / λ_0	0,0072	0,0079	0,0086	0,0092	0,0143	0,0159	0,0172	0,0194	0,0288	0,0321	0,0349	0,0374
	$\lambda_\sigma / \lambda_0$	0,0147	0,0156	0,0163	0,0179	0,0279	0,0388	0,0394	0,0356	0,0546	0,0603	0,0653	0,0697
	P_x / P_0	0,3990	0,4420	0,4780	0,5100	0,3990	0,4420	0,4790	0,5120	0,3970	0,4420	0,4860	0,5140
	P_z / P_0	0,6220	0,6880	0,7440	0,7950	0,6160	0,6810	0,7370	0,7860	0,6030	0,6640	0,7230	0,7720
0,75	λ_τ / λ_0	0,0078	0,0089	0,0099	0,0107	0,0156	0,0177	0,0197	0,0215	0,0312	0,0355	0,0395	0,0431
	$\lambda_\sigma / \lambda_0$	0,0103	0,0117	0,0129	0,0141	0,0204	0,0231	0,0256	0,0278	0,0399	0,0452	0,0500	0,0544
	P_x / P_0	0,3250	0,4490	0,4980	0,5420	0,3940	0,4480	0,4970	0,5472	0,3920	0,4460	0,4950	0,5400
	P_z / P_0	0,4750	0,5400	0,5980	0,6500	0,4710	0,5340	0,5910	0,6430	0,4610	0,5230	0,5790	0,6300
1,00	λ_τ / λ_0	0,0080	0,0092	0,0103	0,0114	0,0159	0,0183	0,0205	0,0228	0,0317	0,0366	0,0412	0,0455
	$\lambda_\sigma / \lambda_0$	0,0079	0,0091	0,0102	0,0112	0,0156	0,0180	0,0202	0,0223	0,0307	0,0355	0,0396	0,0435
	P_x / P_0	0,3820	0,4410	0,4960	0,5470	0,3810	0,4400	0,4940	0,5450	0,3780	0,4370	0,4910	0,5420
	P_z / P_0	0,3800	0,4350	0,4920	0,5430	0,3770	0,4340	0,4880	0,5970	0,3700	0,4260	0,4780	0,5260

Таблицы для определения вертикальных и горизонтальных напряжений в основании с песчаными сваями $K_{бгр} = 0,3$

m		$\lambda_0 = 0,20$				$\lambda_0 = 0,30$				$\lambda_0 = 0,40$				$\lambda_0 = 0,50$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,20	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0330	0,0357	0,0377	0,0395	0,0522	0,0565	0,0601	0,0632	0,0726	0,0793	0,0851	0,0901	0,0943	0,103	0,1120	0,1200
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,1420	0,1510	0,1580	0,1640	0,2070	0,2200	0,2310	0,2400	0,2650	0,2840	0,2980	0,3100	0,3200	0,3410	0,3590	0,3750
	P_x / P_0	0,3800	0,4050	0,4260	0,4430	0,3810	0,4080	0,4310	0,4510	0,3810	0,4110	0,4360	0,4580	0,3810	0,4120	0,4400	0,4650
	P_z / P_0	0,7630	0,8110	0,849	0,8810	0,7430	0,7910	0,8310	0,8640	0,7200	0,7690	0,8100	0,8440	0,6970	0,7460	0,7860	0,8220
0,30	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0412	0,0451	0,0485	0,0514	0,0634	0,0699	0,0756	0,0807	0,0864	0,0953	0,1040	0,1120	0,1100	0,1220	0,1340	0,1450
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,1200	0,1300	0,1360	0,1460	0,1740	0,1890	0,2010	0,2120	0,2230	0,2420	0,2580	0,2720	0,2680	0,2900	0,3090	0,3260
	P_x / P_0	0,3870	0,4220	0,4510	0,4760	0,3860	0,4220	0,4538	0,4810	0,3850	0,4210	0,4550	0,4840	0,3210	0,4200	0,4590	0,4850
	P_z / P_0	0,6660	0,7220	0,7680	0,8080	0,6788	0,7000	0,7470	0,7870	0,6240	0,6470	0,7240	0,7640	0,6020	0,6550	0,7000	0,7400
0,40	$\lambda_т / \lambda_0$	0,463	0,0514	0,0559	0,0599	0,0703	0,0785	0,0859	0,0926	0,0947	0,1060	0,1160	0,1260	0,1190	0,1340	0,1480	0,1610
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,1030	0,1130	0,1220	0,1300	0,1490	0,1640	0,1760	0,1880	0,1910	0,2100	0,2260	0,2400	0,2290	0,2510	0,2700	0,2870
	P_x / P_0	0,3870	0,4280	0,4540	0,4950	0,3840	0,4260	0,4630	0,4960	0,3800	0,4230	0,4620	0,4970	0,3760	0,4200	0,4590	0,4960
	P_z / P_0	0,5880	0,6470	0,6970	0,7420	0,5680	0,6250	0,6750	0,7100	0,5490	0,6040	0,6530	0,6960	0,5310	0,5840	0,6310	0,6720
0,50	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0495	0,0557	0,0611	0,0661	0,0747	0,0843	0,0930	0,1010	0,1000	0,1130	0,1250	0,1360	0,1250	0,1420	0,1580	0,1720
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,0902	0,1000	0,1090	0,1160	0,1300	0,1440	0,1560	0,1630	0,1660	0,1840	0,2000	0,2140	0,2000	0,2210	0,2400	0,2560
	P_x / P_0	0,3830	0,4280	0,4690	0,5050	0,3790	0,4250	0,4660	0,5040	0,3750	0,4210	0,4630	0,5020	0,3700	0,4170	0,4600	0,5000
	P_z / P_0	0,5250	0,5840	0,6360	0,6830	0,5080	0,5650	0,6150	0,6610	0,4910	0,5460	0,5950	0,6390	0,4750	0,5280	0,5750	0,6170
0,75	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0557	0,0614	0,0686	0,0752	0,0803	0,0920	0,1020	0,1130	0,1060	0,1220	0,1370	0,1510	0,1320	0,1520	0,1710	0,1880
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,0668	0,0757	0,0838	0,0911	0,0967	0,1090	0,1200	0,1310	0,1240	0,1400	0,1540	0,1670	0,1500	0,1680	0,1850	0,2010
	P_x / P_0	0,3690	0,4210	0,4680	0,5120	0,3640	0,4160	0,4640	0,5080	0,590	0,4110	0,4590	0,5030	0,3550	0,4080	0,4530	0,4980
	P_z / P_0	0,4140	0,4710	0,5220	0,5680	0,4020	0,4560	0,5050	0,5500	0,3910	0,4400	0,4890	0,5320	0,3800	0,4290	0,4740	0,5150
1,00	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0552	0,0639	0,0720	0,0791	0,0823	0,0953	0,1070	0,1190	0,1090	0,1260	0,1420	0,1580	0,1350	0,1560	0,1770	0,1960
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,0523	0,0600	0,0672	0,0738	0,0760	0,0870	0,0971	0,1060	0,0983	0,1120	0,1240	0,1360	0,1190	0,1350	0,1500	0,1640
	P_x / P_0	0,3540	0,4090	0,4610	0,5090	0,3500	0,4040	0,4550	0,5030	0,3460	0,3990	0,4560	0,4980	0,3420	0,3950	0,4450	0,4480
	P_z / P_0	0,3440	0,3690	0,4440	0,4880	0,3360	0,3850	0,4310	0,4740	0,3270	0,3750	0,4190	0,4600	0,3190	0,3650	0,4070	0,4470

Таблицы для определения вертикальных и горизонтальных напряжений в основании со сваями $K_{бгр} = 0,3$

m		$\lambda_0 = 0,025$				$\lambda_0 = 0,05$				$\lambda_0 = 0,10$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,20	λ_τ / λ_0	0,0038	0,0040	0,0042	0,0044	0,0077	0,0082	0,0086	0,0089	0,0158	0,0168	0,0177	0,0183
	$\lambda_\sigma / \lambda_0$	0,0187	0,0198	0,0206	0,0213	0,0372	0,0394	0,0411	0,0424	0,0735	0,0778	0,0813	0,0841
	P_x / P_0	0,3780	0,3990	0,4160	0,4300	0,3780	0,4000	0,4180	0,4320	0,3790	0,4020	0,4200	0,4360
	P_z / P_0	0,7960	0,8410	0,8760	0,9060	0,7920	0,8370	0,8750	0,9020	0,7830	0,8290	0,8660	0,8960
0,30	λ_τ / λ_0	0,0049	0,0055	0,0056	0,0059	0,0099	0,0107	0,0113	0,0119	0,0200	0,0218	0,0232	0,0244
	$\lambda_\sigma / \lambda_0$	0,0160	0,0173	0,0184	0,0192	0,0319	0,0344	0,0365	0,0382	0,0627	0,0677	0,0719	0,0754
	P_x / P_0	0,3890	0,4200	0,4450	0,4670	0,3890	0,4200	0,4460	0,4580	0,3880	0,4210	0,4480	0,4710
	P_z / P_0	0,7020	0,7580	0,8030	0,8410	0,6970	0,7530	0,7990	0,8370	0,6870	0,7430	0,7890	0,8280
0,40	λ_τ / λ_0	0,0056	0,0062	0,0067	0,0070	0,0113	0,0124	0,0134	0,0142	0,0228	0,0251	0,0272	0,0290
	$\lambda_\sigma / \lambda_0$	0,0138	0,0152	0,0163	0,0173	0,0275	0,0301	0,0324	0,0344	0,0539	0,0592	0,0637	0,0676
	P_x / P_0	0,3910	0,4300	0,4620	0,4910	0,3910	0,4300	0,4630	0,4910	0,3900	0,4290	0,4630	0,4930
	P_z / P_0	0,6220	0,6830	0,7350	0,7790	0,6180	0,6780	0,7290	0,7730	0,6080	0,6680	0,7190	0,7630
0,50	λ_τ / λ_0	0,0061	0,0068	0,0074	0,0079	0,0122	0,0136	0,0149	0,0159	0,0246	0,0275	0,0300	0,0323
	$\lambda_\sigma / \lambda_0$	0,0120	0,0134	0,0146	0,0156	0,0232	0,0266	0,0289	0,0309	0,0469	0,0521	0,0567	0,0607
	P_x / P_0	0,3890	0,4330	0,4720	0,5050	0,3880	0,4330	0,4710	0,5050	0,3870	0,4310	0,4710	0,5060
	P_z / P_0	0,5570	0,6190	0,6730	0,7210	0,5520	0,6140	0,6680	0,7150	0,5430	0,6040	0,6570	0,7050
0,75	λ_τ / λ_0	0,0067	0,0077	0,0085	0,0093	0,0134	0,0153	0,0170	0,0186	0,0269	0,0307	0,0342	0,0374
	$\lambda_\sigma / \lambda_0$	0,0089	0,0101	0,0112	0,0122	0,0176	0,0200	0,0222	0,0242	0,0346	0,0394	0,0436	0,0475
	P_x / P_0	0,3770	0,4290	0,4760	0,5190	0,3750	0,4280	0,4750	0,5180	0,3730	0,4250	0,4730	0,5160
	P_z / P_0	0,4370	0,4980	0,5520	0,6020	0,4340	0,4940	0,5480	0,5970	0,4270	0,4860	0,5390	0,5870
1,00	λ_τ / λ_0	0,0070	0,0081	0,0091	0,0099	0,0139	0,0161	0,0181	0,0199	0,0278	0,0321	0,0361	0,0399
	$\lambda_\sigma / \lambda_0$	0,0069	0,0080	0,0090	0,0099	0,0137	0,0158	0,0177	0,0195	0,0270	0,0311	0,0349	0,0384
	P_x / P_0	0,3620	0,4180	0,4700	0,5190	0,3610	0,4170	0,4690	0,5170	0,3590	0,4140	0,4660	0,5140
	P_z / P_0	0,3610	0,4160	0,4680	0,5150	0,3590	0,4130	0,4640	0,5110	0,3540	0,4070	0,4570	0,5040

Таблицы для определения вертикальных и горизонтальных напряжений в основании с песчаными сваями $K_{бгр} = 0,45$

m		$\lambda_0 = 0,20$				$\lambda_0 = 0,30$				$\lambda_0 = 0,40$				$\lambda_0 = 0,50$			
		$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$	$\xi = 0,25$	$\xi = 0,30$	$\xi = 0,35$	$\xi = 0,40$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
0,20	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0258	0,0280	0,0299	0,0315	0,0399	0,0468	0,0468	0,0496	0,0546	0,0601	0,0640	0,0691	0,0701	0,0776	0,2900	0,0902
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,1140	0,1230	0,1300	0,1360	0,1660	0,1790	0,1890	0,1980	0,2140	0,2310	0,0245	0,2570	0,2590	0,2790	0,4350	0,3100
	P_x / P_0	0,3860	0,4170	0,4430	0,4640	0,3820	0,4140	0,4400	0,4650	0,3780	0,4100	0,4380	0,4620	0,3730	0,4060	0,0842	0,4600
	P_z / P_0	0,6300	0,6780	0,7190	0,7520	0,6140	0,6620	0,7020	0,7370	0,5980	0,6450	0,6860	0,7200	0,5820	0,6290	0,6680	0,7020
0,30	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0312	0,0345	0,0374	0,3990	0,0476	0,0529	0,0576	0,0617	0,0644	0,0720	0,0787	0,0847	0,0816	0,0916	0,2510	0,1080
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,0943	0,1030	0,1100	0,1170	0,1370	0,1500	0,1610	0,1700	0,1760	0,1930	0,2070	0,2200	0,2140	0,2330	0,4270	0,2660
	P_x / P_0	0,3680	0,4050	0,4370	0,4640	0,3640	0,4010	0,4330	0,4620	0,3600	0,3970	0,4300	0,4590	0,3560	0,3930	0,1000	0,4560
	P_z / P_0	0,5420	0,5940	0,6590	0,6770	0,5280	0,5790	0,6250	0,6620	0,5140	0,5640	0,6080	0,6460	0,5010	0,5500	0,5920	0,6290
0,40	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0349	0,0390	0,0427	0,0460	0,0528	0,0593	0,0652	0,0704	0,0709	0,0800	0,0882	0,0957	0,0885	0,1010	0,1110	0,1210
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,0802	0,0889	0,0965	0,1030	0,1160	0,1290	0,1400	0,1490	0,1500	0,1660	0,1800	0,1930	0,1820	0,2010	0,2180	0,2330
	P_x / P_0	0,3500	0,3950	0,4310	0,4620	0,3570	0,3910	0,4270	0,4590	0,3460	0,3870	0,4230	0,4560	0,3420	0,3830	0,4200	0,4530
	P_z / P_0	0,4790	0,5520	0,5790	0,6190	0,4680	0,5190	0,5650	0,6050	0,4500	0,5060	0,5570	0,5900	0,4450	0,4940	0,5370	0,5760
0,50	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0374	0,0423	0,0467	0,0506	0,0564	0,0639	0,0707	0,0770	0,0755	0,0858	0,0952	0,1030	0,0947	0,1070	0,1930	0,1310
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,0697	0,0780	0,0854	0,0919	0,1010	0,1130	0,1240	0,1330	0,1310	0,1460	0,1600	0,1720	0,1590	0,1770	0,4140	0,2080
	P_x / P_0	0,3440	0,3870	0,4250	0,4600	0,3400	0,3830	0,4210	0,4560	0,3360	0,3790	0,4180	0,4530	0,3320	0,3750	0,1200	0,4490
	P_z / P_0	0,4330	0,4850	0,5320	0,5730	0,4230	0,4740	0,5190	0,5600	0,4130	0,4620	0,5070	0,5470	0,4030	0,4520	0,4950	0,5340
0,75	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0414	0,0475	0,0531	0,0583	0,0621	0,0713	0,0799	0,0878	0,0887	0,0951	0,1060	0,1170	0,1030	0,1180	0,1330	0,1470
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,0524	0,0596	0,0661	0,0721	0,0765	0,0868	0,0962	0,1040	0,0994	0,1120	0,1240	0,1350	0,1210	0,1360	0,1510	0,1640
	P_x / P_0	0,3250	0,3710	0,4140	0,4530	0,3220	0,3680	0,4100	0,4500	0,3180	0,3540	0,4060	0,4460	0,3150	0,3600	0,4030	0,4420
	P_z / P_0	0,3550	0,4050	0,4500	0,4910	0,3480	0,3960	0,4400	0,4810	0,3410	0,3880	0,4310	0,4710	0,3350	0,3840	0,4220	0,4610
1,00	$\lambda_т / \lambda_0$	0,0437	0,0500	0,0569	0,0629	0,0653	0,0756	0,0853	0,0944	0,0858	0,1000	0,1130	0,1250	0,1080	0,1250	0,1410	0,1570
	$\lambda_в / \lambda_0$	0,0419	0,0481	0,0538	0,0592	0,0613	0,0703	0,0780	0,0863	0,0799	0,0914	0,1020	0,1110	0,0976	0,1110	0,1240	0,1350
	P_x / P_0	0,3120	0,3610	0,4060	0,4480	0,3100	0,3570	0,4020	0,4440	0,3070	0,3540	0,3980	0,4400	0,3040	0,3510	0,3950	0,4360
	P_z / P_0	0,3070	0,3540	0,3970	0,4370	0,3020	0,3580	0,3900	0,4290	0,2970	0,3410	0,3820	0,4210	0,2920	0,3350	0,3750	0,4150

Таблицы для определения вертикальных и горизонтальных напряжений в основании со сваями $K_{бгр} = 0,45$

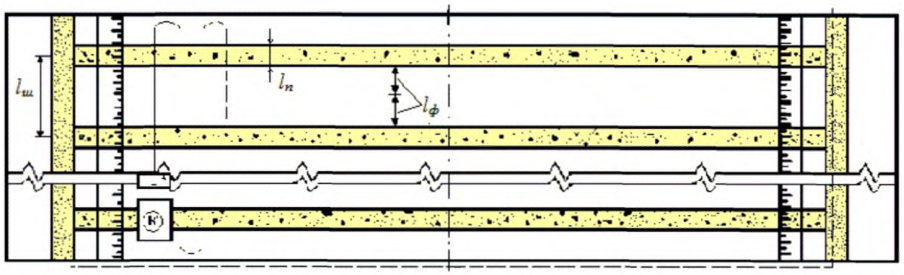
m		$\lambda_0 = 0,025$				$\lambda_0 = 0,05$				$\lambda_0 = 0,10$			
		ξ = 0,25	ξ = 0,30	ξ = 0,35	ξ = 0,40	ξ = 0,25	ξ = 0,30	ξ = 0,35	ξ = 0,40	ξ = 0,25	ξ = 0,30	ξ = 0,35	ξ = 0,40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,20	$\lambda_т/\lambda_0$	0,0030	0,0033	0,0035	0,0036	0,0062	0,0066	0,0070	0,0073	0,0125	0,0135	0,0143	0,0150
	$\lambda_в/\lambda_0$	0,0150	0,0161	0,0170	0,0178	0,0299	0,0321	0,0339	0,0354	0,0589	0,0633	0,0670	0,0700
	P_x / P_0	0,3930	0,4220	0,4460	0,4660	0,3920	0,4220	0,4460	0,4650	0,3900	0,4200	0,4450	0,4650
	P_z / P_0	0,6570	0,7060	0,7450	0,7780	0,6530	0,7020	0,7420	0,7750	0,6450	0,6940	0,7340	0,7670
0,30	$\lambda_т/\lambda_0$	0,0038	0,0042	0,0044	0,0047	0,0076	0,0084	0,0090	0,0095	0,0153	0,0169	0,0182	0,0193
	$\lambda_в/\lambda_0$	0,0124	0,0136	0,0146	0,0154	0,0240	0,0270	0,0290	0,0307	0,0487	0,0593	0,0572	0,0600
	P_x / P_0	0,3750	0,4110	0,4410	0,4670	0,3740	0,4100	0,4410	0,4670	0,3720	0,4090	0,4390	0,4660
	P_z / P_0	0,5660	0,6200	0,6650	0,7040	0,5630	0,6160	0,6020	0,7000	0,5560	0,6090	0,6540	0,6930
0,40	$\lambda_т/\lambda_0$	0,0043	0,0048	0,0052	0,0055	0,0086	0,0096	0,0103	0,0111	0,0172	0,0192	0,0209	0,0225
	$\lambda_в/\lambda_0$	0,0105	0,0117	0,0127	0,0136	0,0210	0,0233	0,0253	0,0270	0,0414	0,0459	0,0498	0,0533
	P_x / P_0	0,3620	0,4020	0,4360	0,4660	0,3610	0,4010	0,4360	0,4650	0,3590	0,3990	0,4340	0,4650
	P_z / P_0	0,5010	0,5560	0,6030	0,6450	0,4950	0,5520	0,6000	0,6410	0,4910	0,5460	0,5930	0,6340
0,50	$\lambda_т/\lambda_0$	0,0046	0,0052	0,0057	0,0062	0,0093	0,0104	0,0114	0,0123	0,0186	0,0209	0,0230	0,0249
	$\lambda_в/\lambda_0$	0,0092	0,0103	0,0112	0,0121	0,0182	0,0204	0,0224	0,0241	0,0359	0,0403	0,0441	0,0475
	P_x / P_0	0,3510	0,3940	0,4310	0,4650	0,3500	0,3930	0,4310	0,4640	0,3480	0,3910	0,4290	0,4630
	P_z / P_0	0,4510	0,5060	0,5540	0,5970	0,4450	0,5030	0,5510	0,5940	0,4430	0,4970	0,5450	0,5870
0,75	$\lambda_т/\lambda_0$	0,0052	0,0059	0,0066	0,0072	0,0103	0,0118	0,0132	0,0144	0,0207	0,0237	0,0264	0,0290
	$\lambda_в/\lambda_0$	0,0069	0,0078	0,0087	0,0095	0,0130	0,0155	0,0173	0,0189	0,0259	0,0307	0,0341	0,0372
	P_x / P_0	0,3310	0,3780	0,4210	0,4600	0,3300	0,3770	0,4200	0,4530	0,3280	0,3750	0,4180	0,4570
	P_z / P_0	0,3680	0,4200	0,4670	0,5110	0,3660	0,4180	0,4650	0,5080	0,3620	0,4150	0,4600	0,5020
1,00	$\lambda_т/\lambda_0$	0,0055	0,0063	0,0071	0,0079	0,0109	0,0126	0,0142	0,0157	0,0219	0,0253	0,0285	0,0314
	$\lambda_в/\lambda_0$	0,0055	0,0063	0,0071	0,0079	0,0108	0,0125	0,0140	0,0154	0,0214	0,0247	0,0277	0,0305
	P_x / P_0	0,3180	0,3670	0,4120	0,4540	0,3170	0,3660	0,4110	0,4530	0,3150	0,3640	0,4090	0,4510
	P_z / P_0	0,3170	0,3660	0,4110	0,4530	0,3160	0,3640	0,4050	0,4570	0,3130	0,3610	0,4050	0,4460

Приложение Г
(рекомендуемое)

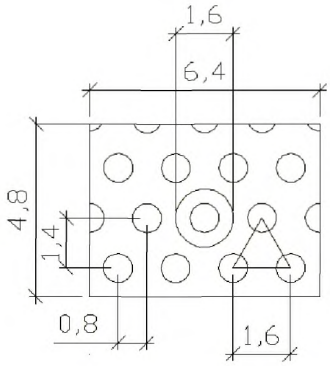
Рекомендации по технологии работ при устройстве текстильно-песчаных свай

Г.1 Технологические схемы стадий комплексной технологии

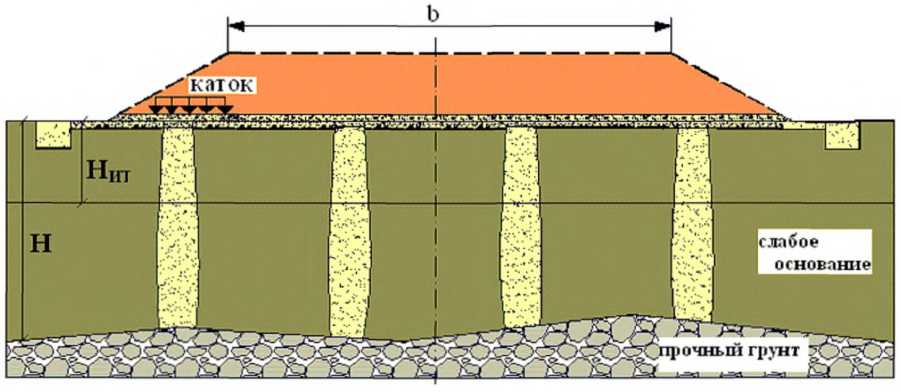
1



2

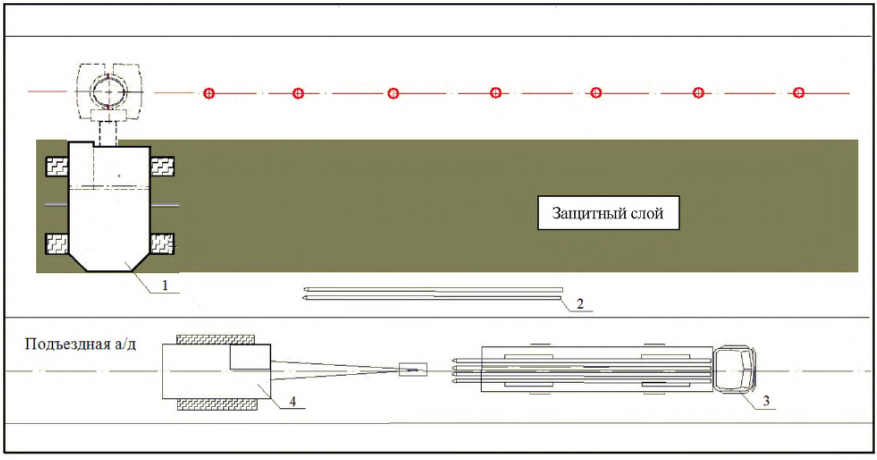


3



1) устройство дренажных прорезей, водоотводных канав, геотекстильной прослойки и рабочей платформы (*lш* – шаг прорезей; *lф* – путь фильтрации; *Нит* – активная зона виброуплотнения;
2) 2) размещение свай; 3) устройство гибкого ростверка

Р и с у н о к Г.1 - Состав работ по комплексной технологии

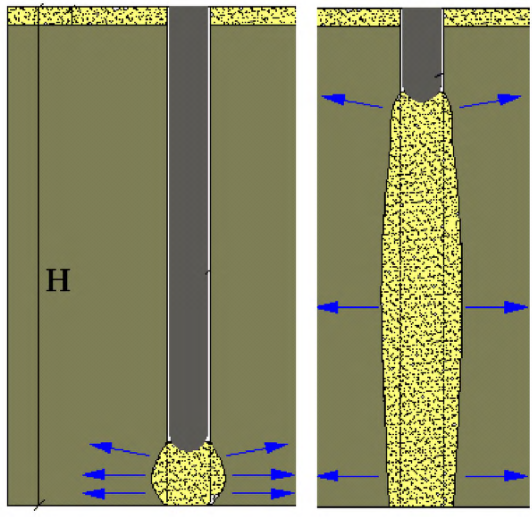


1 - буровая установка / вибропогружатель; 2 - обсадные трубы; 3 – автоприцеп; 4 – автокран

Р и с у н о к Г.2 - План рабочей зоны при устройстве свай



Р и с у н о к Г.3 – Расположение свай



Р и с у н о к Г.4 – Уплотнение песка в свае в процессе подъема трубы вибратором



Р и с у н о к Г.5 – Устройство защитного слоя



Р и с у н о к Г.6 – Устройство гибкого ростверка

Г.2 Календарные графики технологических процессов

В проектах производства работ при использовании глинистых грунтов повышенной влажности следует учитывать снижение производительности землеройно-транспортных машин и уплотняющей техники в соответствии с таблицей Г.1.

Таблица Г.1 - Снижение производительности землеройно-транспортных машин и уплотняющей техники

Технологический процесс	Тип машины	Производительность* машин в зависимости от коэффициента увлажнения K_w*			
		1,05	1,1	1,2	1,3
Подготовка дорожной полосы					
Снятие и перемещение плодородного слоя почвы на расстояние: до 80 м	Бульдозер на тракторе кл. тяги 10-15	0,95	0,90	0,80	0,65
свыше 1000 м	Экскаватор с ковшом вместимостью 0,5-1 м^3 и автомобиль-самосвал грузоподъемностью 8-12 т	0,95	0,90	0,75	0,60
Сооружение земляного полотна					
Разработка грунта с перемещением в насыпь на расстояние, м: до 80 м	Бульдозер на тракторе кл. Тяги 10-15	0,95	0,85	0,75	0,60
свыше 1000 м	Экскаватор с ковшом вместимостью 0,5-1 м^3 и автомобиль-самосвал грузоподъемностью 8-12 т	0,90	0,85	0,70	0,55
Устройство и содержание подъездных дорог и съездов	Автогрейдер средний, тяжелый	0,95	0,85	0,65	0,35
Разравнивание грунта в насыпях	Автогрейдер средний, тяжелый	0,95	0,85	0,60	0,30
послойная отсыпка	Бульдозер кл. тяги 15	0,05	0,90	0,80	0,65
Уплотнение грунтов в насыпях земляного полотна	Каток на пневматических шинах массой 25 т	0,95	0,80	0,70	0,60
	Каток самоходный с вибровальцом массой 22 т	0,95	0,85	0,80	0,70
Отделочные и укрепительные работы, планировка поверхности	Автогрейдер средний, тяжелый	0,95	0,85	0,60	0,30

*Производительность машин указана в долях производительности при коэффициенте увлажнения грунта K_w= 1.

Таблица Г.2 - График производства работ по устройству одной сваи в геооболочке вибропогружением

Наименование работ	*Ед. изм.*	*Объем работ*	*Продолжительность операции (час)**	*Состав бригады (чел.)*	*Последовательность и продолжительность производства работ, час*									
					0,5	*1*	*1,5*	*2*	*2,5*	*3*	*3,5*	*4*	*4,5*	*5*
1 Подготовительные работы			0,3	Машинист 1 чел.-5 р.; 2 чел.-3,4 р.										
2 Вибропогружение обсадной трубы-лидера	м/п	10	0,9											
3 Установка бункера	шт.	1	0,3											
4 Установка геооболочки в обсадную трубу	шт.	1	0,5											
5 Заполнение геооболочки песком	$м^3$	5	0,4											
6 Подъем обсадной трубы с виброуплотнением песка в свае	м/п	10	0,6											

Таблица Г.3 - График производства работ на устройство одной сваи в геооболочке буровой установкой

Наименование работ	*Ед. изм.*	*Объем работ*	*Продолжительность операции* (час)*	*Состав бригады (чел.)*	*Последовательность и продолжительность производства работ, час*									
					0,5	*1*	*1,5*	*2*	*2,5*	*3*	*3,5*	*4*	*4,5*	*5*
1 Подготовительные работы			0,3	Машинист 1 чел.-5 р.; 2 чел.-3,4 р.										
2 Установка режущей секции обсадной трубы	м/п	10	0,4											
3 Бурение скважины в обсадной трубе	$м^3$	5	1,6											
4 Установка бункера	шт.	1	0,3											
5 Установка геооболочки в обсадную трубу	шт.	1	0,5											
6 Заполнение геооболочки песком	$м^3$	5	0,4											
7 Подъем обсадной трубы с виброуплотнением песка в свае	м/п	10	0,6											
8 Сборка грунта погрузчиком с вывозом	$м^3$	6	2,5											

Г.3 Указания к производству работ

Г.3.1 Общие требования к производству работ

Г.3.1.1 Все работы производятся в подготовительный период, до начала основных земляных работ по возведению насыпей в полосе отвода автомобильной дороги.

Г.3.1.2 Строительно-монтажные работы в процессе реконструкции должны быть согласованы с соответствующими службами автодороги.

Г.3.1.3 Работы должны выполняться по рабочим чертежам и ППР.

Г.3.1.4 Выполнение работ должны осуществлять специализированные организации, имеющие допуск на данный вид работ, под техническим руководством и контролем ответственного производителя работ.

Г.3.1.5 Запрещается погружение свай по техническим решениям (проектам), выполненным организациями, не имеющими допуск на выполнение данных проектных работ.

Г.3.2 Требования к готовности предшествующих работ

До начала применения комплексной технологии должны быть выполнены следующие мероприятия:

Г.3.2.1 Принята геодезическая разбивочная основа для строительства с оформлением акта освидетельствования геодезической разбивочной основы объекта капитального строительства.

Г.3.2.2 Решены вопросы по производству работ вблизи подземных и надземных коммуникаций.

Г.3.2.3 Произведена срезка растительного слоя.

Г.3.2.4 Выполнена планировка поверхности земли.

Г.3.2.5 Закреплены на местности оси сооружения и местоположение каждой сваи, выполнена исполнительная схема.

Г.3.2.6 Выполнен отвод поверхностных и грунтовых вод, при необходимости.

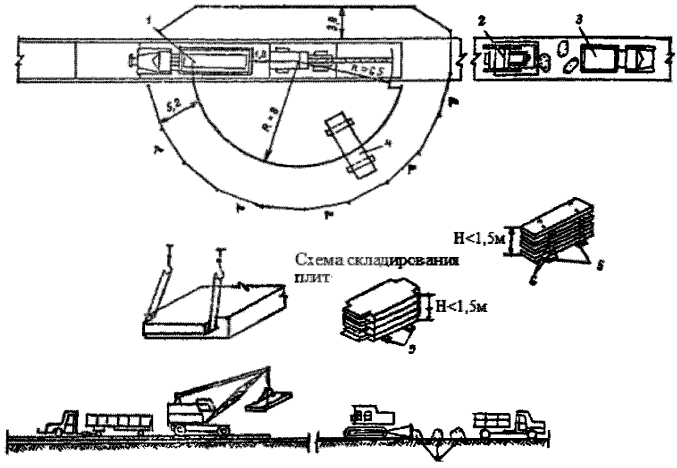
Г.3.2.7 Оборудованы площадки для стоянки и ремонта техники.

Г.3.2.8 Устроены подъездные (временные) автодороги для доставки материалов (рис. В.7).

Г.3.2.9 Оборудованы места для складирования материалов и конструкций.

Г.3.2.10 Устроено временное электроосвещение зоны производства работ.

Г.3.2.11 Завезены необходимые конструкции, материалы, оборудование и инвентарь.



1 - автомобиль с полуприцепом; 2 - бульдозер; 3 - автосамосвал; 4 - плиты; 5 - подкладки из досок 15,4 см; 6 - прокладки из бруса 8,8 см

Р и с у н о к Г.7 - Устройство подъездной (временной) автодороги

Г.3.3 Указания к производству работ по бурению скважин

Г.3.3.1 Работы по бурению скважин следует производить, руководствуясь требованиями заводской инструкции по эксплуатации применяемого бурового оборудования и приведенными ниже указаниями.

Г.3.3.2 При бурении скважин в глинистых грунтах их разработку допускается производить на 2-3 м ниже ножа обсадной трубы грейфером, ковшовым или шнековым буром, а затем осаживать трубу в образовавшееся углубление. Для такой технологии работ грейфер или бур должен быть

обустроен направляющими, обеспечивающими его беспрепятственное извлечение из-под ножа обсадной трубы.

Г.3.3.3 Водонасыщенные, рыхлые и средней плотности пески следует удалять из скважин эрлифтом (насосом) или гидроэлеватором при обеспечении постоянного долива воды в их полость в таком количестве, чтобы уровень ее в обсадной трубе превышал уровень воды в грунте не менее чем на 4 м.

Г.3.3.4 Встречающиеся при бурении скважин в грунтах валуны, скальные прослойки или другие твердые препятствия следует разбуривать специальными насадками, грейфером ударного действия или использовать для этой цели турбобуры.

Г.3.3.5 Если нельзя преодолеть препятствие, встретившееся в процессе бурения скважин, решение о возможности их использования для устройства свай должна принять проектная организация.

В.3.3.6 Для обсадки скважин следует применять инвентарную, состоящую из отдельных стыкуемых на болтах между собой секций стальную трубу с внутренним диаметром на 5-10 см больше габаритного размера грунторазрабатывающего органа.

Г.3.3.7 Низ трубы должен быть заглублен минимум на 1 м ниже проектной отметки торца свай в мелкие и пылеватые пески, пластичные супеси и минимум на 0,5 м - в гравелистые, крупные и средней крупности пески, тугопластичные суглинки и глины.

Г.3.3.8 Для предотвращения наплыва в обсадные трубы неустойчивых грунтов их следует разрабатывать с сохранением в полости трубы грунтового ядра высотой не менее половины ее диаметра. При этом требуется следить за тем, чтобы уровень воды в скважинах не менее чем на 1 м превышал уровень поверхностных или подземных вод.

Допускается разрабатывать такие грунты до низа ножа обсадной трубы при условии поддержания в ее полости уровня воды, превышающего минимум на 3 м уровень воды вне трубы.

Г.3.3.9 Операции по погружению и извлечению инвентарной обсадной

трубы специальным оборудованием применяемого бурильного станка следует выполнять согласно указаниям заводской инструкции по его эксплуатации.

Работы по заглублению геооболочек должны выполняться согласно СНиП 3.02.01.

Г.3.3.10 Работы по бурению скважин необходимо систематически контролировать, руководствуясь СНиП 3.02.01.

Г.3.3.11 Из несущего пласта нескального грунта следует отобрать три образца для визуального их освидетельствования при оформлении акта приемки пробуренной скважины (в настоящей технологической карте акт освидетельствования скрытых работ выполненных на строительстве).

Г.3.3.12 Контроль качества бурения скважин возлагается на мастера, руководящего буровыми работами. Результаты бурения каждой скважины должны быть отражены в общем журнале работ. Отклонения фактических размеров скважин и свай от проектных не должны превышать предусмотренных в РД величин.

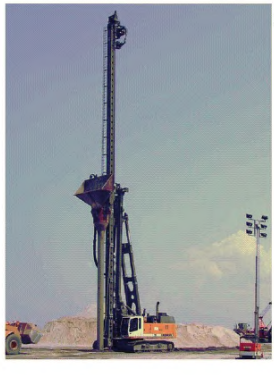
а

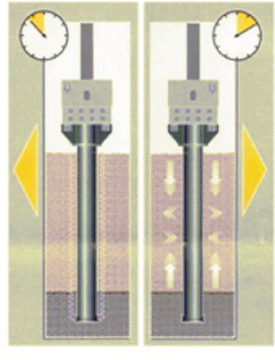


б



в





а - опускание трубы-лидера до прочного грунта; б - засыпка песка в геооболочку; в - выемка трубы-лидера с виброуплотнением песка в свае

Р и с у н о к Г.8 – Последовательность устройства сваи

Карта контроля качества выполняемых работ

Таблица Г.4 - Карта контроля качества выполняемых работ

№ п/п	Элемент контроля	Подлежит проверке	Требования, предъявляемые при проведении работ	Способ проверки соответствия	Результат		Приложения, примечания
					Норма	Соответствие («+», «-»)	
Этап 1: Организация строительного производства							
1.1	Проектная документация (ПД)		Соответствие требованиям Постановления правительства РФ от 16.02.2008 № 87 и Приказа Министерства регионального развития РФ от 01.04.2008 № 36	документарный	Наличие разделов по упрочнению слабых оснований автомобильных дорог текстильно-песчаными сваями		
1.2	Рабочая документация (РД)		Соответствие требованиям Постановления правительства РФ от 16.02.2008 № 87 и рекомендациям раздела 7 настоящего ОДМ	документарный	1. Наличие РД со штампом выдачи «В производство» 2. Наличие проекта производства работ (ППР), согласованного с заказчиком (генподрядчиком) – наличие оттиска (штампа) заказчика (генподрядчика)		
1.3	Исполнительная документация		Соответствие требованиям РД 11.02.2006, РД 11-05-2007	документарный	Наличие журналов производства работ (общего и специального журналов работ)		

Окончание таблицы Г.4

1.4	Метрологическая поверка используемых средств измерений		Наличие поверки используемых средств измерений	документарный	Наличие документа установленного образца на каждое используемое средство измерения		
Этап 2: Контроль поставленных материалов и изделий							
2.1	Геотекстильные материалы		Соответствие требованиям раздела 6 ОДМ «Рекомендации по применению текстильно-песчаных свай при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах основания»	документарный /визуальный	1. Наличие сопроводительной документации (паспортов, сертификатов и др.) 2. Наличие регистрирующей записи в журнале входного контроля 3. Отсутствие разрывов и других повреждений сплошности материала		
2.2	Материал – заполнитель текстильно-песчаных свай		Соответствие требованиям раздела 6 ОДМ «Рекомендации по применению текстильно-песчаных свай при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах основания»	документарный	1. Наличие сопроводительной документации (паспортов, сертификатов и др.) 2. Наличие регистрирующей записи в журнале входного контроля		

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Рекомендации по выбору материально-технических ресурсов для производства работ по устройству текстильно-песчаных сваи

Д.1 Геосинтетические материалы

Общие требования к геосинтетическому материалу:

1) по виду геосинтетического материала может использоваться: геополотно тканое (ГПТ-ТК), геополотно вязаное (ГПТ-ВЗ);

2) по виду сырья может использоваться: полиэфир (ПЭ, международное PET), полиамид (ПА, международное PA, нейлон, капролон) и поливиниловый спирт (ПВС, международное PVOH, PVA или PVAL);

3) водопроницаемость геополотна должна быть больше или равна водопроницаемости минерального заполнителя свай;

4) относительное удлинение геополотна в продольном и поперечном направлениях не должно превышать допускаемую проектом конструктивно обоснованную величину;

5) применение геотекстильных материалов возможно при наличии: документов, подтверждающих качество геосинтетических материалов не зависимой лабораторией, а так же при наличии протоколов испытаний или соответствующего свидетельства с присвоенными коэффициентами запаса для оценки долговечности, стандартов организации согласованных Росавтодором, содержащих технические требования по составу сырья, основным контролируемым производителем физико-механическим показателям свойств, форме поставки, упаковке, маркировке, требования по безопасности, правилам приемки, методам контроля и испытаний, транспортированию и хранению, гарантии изготовителя; гигиенических сертификатов; сертификатов соответствия, выданных на основе результатов сертификации геосинтетических материалов на соответствие требованиям стандарта организации, устанавливающего требования к геосинтетическим материалам;

6) геополотно не должен иметь разрывов и других нарушений сплошности;

7) прочностные и деформативные свойства геополотна для свай определяются специализированными расчетами.

Общие требования к минеральному заполнителю песчаных свай:

1) в качестве заполнителя может использоваться несвязный, прочный на сдвиг минеральный материал (гравий, щебень и песок по ГОСТ);

2) рекомендуемое отношение компрессионных модулей деформации минерального заполнителя песчаной сваи к модулю слабого грунта основания должно быть как минимум равным десяти ($E_c > 10 \cdot E_г$);

3) угол внутреннего трения $\varphi \geq 30°$;

4) коэффициент фильтрации не менее 10^{-5} м/с, но как минимум на два порядка выше, чем у окружающего слабого грунта.

Д.2 Инструменты и машины

Перечень машин и механизмов:

- автомобильный кран грузоподъемностью 6 т;
- буровая установка;
- вибропогружатель;
- грунтовые виброкатки массой от 10 т до 27 т;
- автомобили грузовые грузоподъемностью10 -16 т;
- погрузчик с ковшом 2 $м^3$.

Технологические требования к машинам изложены в п. 8 по стадиям КТ. Рекомендуемые машины:

- грунтовые катки массой от 10 т до 27т.;
- вибропогружатели и буровые установки.

Характеристики виброкатка, вибропогружателя и буровой установки представлены в таблице Д.1 и таблице Д.2.

Т а б л и ц а Д.1 - Параметры катка (пример)

Наименование параметров	Значения
Рабочая масса, кг	10 100
Масса переднего модуля, кг	5600
Диапазон скорости, км/ч	4/6/9/12
Вертикальная осцилляция	+9
Статическая линейная нагрузка, кг/см	26
Номинальная амплитуда (высокая/низкая), мм	1,8/0,9
Частота вибрации при высокой/низкой амплитуде, Гц	33/34
Центробежная сила при высокой/низкой амплитуде, кН	50/130
Ширина вальца, мм	2 130

Т а б л и ц а Д.2 - Параметры вибропогружателя и буровой установки (пример)

Наименование параметров	Значения
Эксплуатационный вес, т	80
Максимальная длина мачты, м	30
Максимальный крутящий момент, кНм	300
Максимальное усилие задавливания/извлечения, т	45

При работе вибропогружателя (тип 32 VMR):	
Максимальная частота, об/мин	300
Максимальная центробежная сила, кН	1800
Максимальное усилие вытягивания/задавливания, кН	400/400
Амплитуда, мм	0-5
Диаметр обсадной трубы, мм	356-610
При бурении бесконечным шнеком (тип BA 250):	

Глубина бурения, м	23
Максимальное усилие вытягивания/задавливания, т	85/20
Максимальный диаметр бурового инструмента, мм	1000

Т а б л и ц а Д.3 – Перечень инструмента и инвентаря при КТ

Наименование инструмента и инвентаря	Ед. изм.	Кол-во
Рулетка 50 м	шт.	1
Нивелир (в комплекте)	шт.	1
Теодолит	шт.	1
Шнур	м	100
Отвес	шт.	2
Строп универсальный	шт.	2
Кисть малярная	шт.	1
Уровень строительный	шт.	1

Ключевые слова: геосинтетические материалы, геооболочка, дорожное строительство, слабые грунты основания, текстильно-песчаные сваи, комплексна технология

gost.e-ecolog.ru