ОДМ 218.2.063-2015

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
РОСАВТОДОР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБИННОГО СМЕШИВАНИЯ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО
(РОСАВТОДОР)

МОСКВА 2014

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным бюджетнымучреждением «Российский дорожный научно-исследовательский институт» ФГБУ «РОСДОРНИИ» (канд. техн. наук Фомин А.П., Щукин С.Н., инж.Никанычева Е.В., Косарев Ю.И., Труфанова О.В.) при участии инж. Пудикова П.Н. (ООО «НордСтэбРаша»)

2 ВНЕСЕНУправлением научно-технических исследований и информационного обеспечения Федерального дорожного агентства

3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 15.02.2016 г. № 204-р.

4 ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Содержание

1 Область применения..... 1
2 Нормативные ссылки..... 2
3 Термины, определения, обозначения и сокращения..... 3
4 Основные положения..... 5
5 Рекомендации по выбору основных технических параметров технологии глубинного смешивания..... 9
5.1 Общие данные..... 9
5.2 Предварительный выбор вида укрепляющего материала..... 10
5.3 Предварительный подбор количества укрепляющих материалов..... 12
5.4 Назначение вида и количества укрепляющих материалов по результатам лабораторных испытаний..... 17
6 Особенности методики проектирования при применении технологии глубинного смешивания..... 20
6.1 Конструктивные решения..... 20
6.2 Методика расчета..... 23
7 Технология производства работ..... 43
7.1 Применяемое оборудование..... 43
7.2 Производство работ..... 48
7.3 Контроль качества работ..... 53
7.4 Требования безопасности и охрана окружающей среды..... 55
Библиография..... 58

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБИННОГО СМЕШИВАНИЯ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

1 Область применения

1.1 Настоящий отраслевой дорожный методический документ (далее ОДМ) устанавливает положения, регламентирующие применение технологии глубинного смешивания для укрепления слабых грунтов оснований земляного полотна при строительстве, реконструкции и ремонте автомобильных дорог.

1.2 ОДМ содержит рекомендации по выбору основных параметров технологии глубинного смешивания (вид и количество укрепляющих материалов, применяемое оборудование, правила производства и контроль качества работ) и особенности методики проектирования земляного полотна при применении данной технологии.

1.3 Положения настоящего ОДМ предназначены для применения организациями, выполняющими работы по проектированию и строительству автомобильных дорог, расположенных на участках распространения слабых грунтов в условиях II-V дорожно-климатических зон. Положения ОДМ распространяются на укрепление слабых органических и органо-минеральных грунтов, служащих основанием земляного полотна высотой до 0,5 м, и укрепление слабых переувлажненных минеральных грунтов, служащих основанием земляного полотна высотой до 7,0 м.

2 Нормативные ссылки

В настоящем ОДМ использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 12.3.002-75 Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности;

ГОСТ 12.3.005-75* Система стандартов безопасности труда. Работы окрасочные. Общие требования безопасности;

ГОСТ 125-79 Вяжущие гипсовые. Технические условия;

ГОСТ 3344-83 Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства. Технические условия;

ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик;

ГОСТ 9179-77 Известь строительная. Технические условия;

ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия;

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

ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава;

ГОСТ 22266-2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия;

ГОСТ 23740-79 Грунты. Методы лабораторного определения содержания органических веществ;

ГОСТ 25100-2011 Грунты. Классификация;

ГОСТ 25328-82 Цемент для строительных растворов. Технические условия;

ГОСТ 25818-91 Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов. Технические условия;

ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества;

ГОСТ 27753.3-88 Грунты тепличные. Метод определения pH водной суспензии;

ГОСТ Р 52126-2003 Отходы радиоактивные. Определение химической устойчивости отвержденных высокоактивных отходов методом длительного выщелачивания;

ГОСТ Р 52748-2007 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения;

СП 2.2.3.1327-03 Гигиенические требования к организации технологических процессов, производственному оборудованию и рабочему инструменту;

СП 22.13330-2011 Основание зданий и сооружений (актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*);

СП 34.13330-2012 Автомобильные дороги (актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85*).

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

В настоящем ОДМ применены следующие термины с соответствующими определениями, а также обозначения и сокращения:

3.1слабые грунты: Связные минеральные, органические и органо-минеральные грунты с прочностью на сдвиг при испытании по схеме вращательного среза менее 0,075 МПа или модулем осадки более 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа (модулем деформации ниже 5,0 МПа).

3.2глубинное смешивание: Технология укрепления слабых грунтов за счет их механического смешивания с укрепляющими материалами при подаче вяжущего под давлением в пределах всей ширины устраиваемой насыпи насыпи на всю глубину или часть глубины распространения слабых грунтов.

3.3глубинное смешивание в массиве:Применение глубинного смешивания с созданием сплошного массива укрепленного грунта под насыпью.

3.4глубинное смешивание в сваях:Применение глубинного смешивания с созданием укрепления по типу свайного поля.

3.5вяжущий материал (вяжущее): Активное вещество, образующее новые структурные связи при взаимодействии с грунтом.

3.6 укрепляющие материалы: Материалы, вводимые в слабый грунт для его укрепления, включая вяжущее или вяжущее в сочетании с активными материалами, инертными материалами.

3.7технологический слой: Слой песчаного грунта (обычно 0,8-1,2 м), размещаемый, как правило, на разделяющей прослойке из геосинтетического материала, обеспечивающий возможность работы занятых на укреплении машин и механизмов и являющийся одновременно нижней частью земляного полотна.

3.8пригрузочный слой: Дополнительный слой грунта над технологическим слоем, обеспечивающий увеличение плотности укрепленных грунтов.

3.9количество (расход) вяжущего ($Q_в$):Масса вяжущего, вносимая на единицу объема укрепляемого грунта (кг/м^3).

3.10содержание вяжущего ($А_в$): Отношение массы вяжущего к массе сухого укрепляемого грунта (%).

3.11водо-цементное отношение (В/Ц): Отношение массы воды, содержащейся в укрепляемом грунте и массы вяжущего (отн. ед.).

3.12сухое смешивание: Глубинное смешивание, выполняемое подачей вяжущего в сухом состоянии.

3.13влажное смешивание: Глубинное смешивание, выполняемое подачей вяжущего в растворе.

3.14 укрепленный по технологии глубинного смешивания грунт (укрепленный грунт):Искусственный материал, получаемый на месте производства работ введением укрепляющих материалов (вяжущего, активных добавок, инертных материалов), отвечающий в проектные и промежуточные сроки нормируемым показателям качества по механическим свойствам.

3.15 укрепление слабого грунта: Улучшение физико-механических свойств слабого грунта при введении укрепляющих материалов по технологии глубинного смешивания за счет сочетания химических, физико-химических и механических взаимодействий.

4 Основные положения

4.1 Технология глубинного смешивания является специальным конструктивно-технологическим мероприятием, предназначенным для обеспечения устойчивости насыпей, требуемых сроков консолидации их оснований, сложенных слабыми органическими, органо-минеральными и минеральными грунтами, имеющими повышенную влажность. В результате применения технологии достигается увеличение механических свойств слабого грунта (прочностных и деформативных), как правило, на порядок или несколько порядков.

4.2 Настоящий ОДМ регламентирует технологию глубинного смешивания, дополняя положения СП 34.13330.2012, Пособия по проектированию земляного полотна на слабых грунтах [1] в части применения специальных конструктивно-технологических решений новым

решением, создающим возможности для повышения надежности дорожных конструкций, снижения ресурсоемкости, стоимости строительства, обеспечения максимального использования местных грунтов и материалов, в том числе отходов производств. ОДМ учитывает положения европейских норм EN 14679 [2], EuroSoilStab [3].

4.3 Технология глубинного смешивания состоит в механическом смешивании подаваемого под давлением вяжущего (при необходимости, других укрепляющих материалов – добавок из активных материалов – отходов промышленности, инертных минеральных заполнителей) со слабым грунтом непосредственно на месте производства работ по всей ширине насыпи на всю глубину распространения грунтов или ее часть. В зависимости от состояния подаваемого вяжущего различают сухое смешивание (вяжущее в сухом состоянии) и влажное смешивание (вяжущее в растворе). Поскольку слабые грунты имеют, как правило, повышенную влажность, предпочтительным является применение сухого смешивания.

4.4 Технология глубинного смешивания предусматривает возможность создания двух типов укрепления:

-сплошное укрепление массива грунта под насыпью на необходимую глубину – основной тип укрепления (достигается глубинным смешиванием в массиве на технически возможную глубину 5-7 м);

-укрепление массива грунта под насыпью по типу свайного поля, применяемое в сочетании с основным (достигается глубинным смешиванием в сваях ниже зоны укрепления в массиве).

4.5 Укрепленный по технологии глубинного смешивания грунт должен отвечать нормируемым показателям качества по механическим свойствам – пределу прочности при одноосном сжатии, сопротивлению сдвигу, модулю деформации. Основой для оценки механических свойств укрепленного грунта служит метод испытаний на одноосное сжатие по ГОСТ 12248 с уточнениями по пункту 5.4 настоящего ОДМ. Показатели механических свойств укрепленных глубинным смешиванием грунтов зависят от вида и

количества укрепляющих материалов, выбор которых должен выполняться с учетом разновидности и свойств укрепляемого слабого грунта в соответствии с положениями раздела 5 настоящего ОДМ. Назначение нормируемых показателей качества выполняется на основе расчетного обоснования в соответствии с положениями раздела 6 настоящего ОДМ.

4.6 До начала выполнения укрепительных работ должны быть выполнены инженерно-геологические изыскания в соответствии с положениями СП 11-105-97, Пособия [1], определены разновидности и свойства слабых грунтов.

4.7 Возможность выполнения работ по глубинному смешиванию, качество их выполнения зависят от применяемого оборудования, технологии производства работ, рекомендации по которым содержатся в разделе 7 настоящего ОДМ. При производстве работ следует учитывать рекомендации, содержащиеся в документации производителя оборудования.

4.8 Основные области применения технологии глубинного смешивания:

-обеспечение устойчивости насыпей и сроков, обеспечивающих требуемую степень консолидации грунтов слабых оснований насыпей высотой до 7 м при мощности толщи слабого грунта от 3 м при строительстве автомобильных дорог;

-выполнение работ по уширению земляного полотна при реконструкции (ремонте) автомобильных дорог в условиях распространения слабых грунтов;

-укрепление слабых грунтов на ограниченных площадях в зонах расположения водопропускных труб, элементов оборудования и обустройства автомобильных дорог;

-инженерная подготовка территории с целью создания технологического слоя, обеспечивающего работу дорожно-строительной техники, временного проезда транспортных средств;

-переработка некондиционного переувлажненного минерального грунта, например, вывозимого в отвал грунта, получаемого при разработке выемок для последующего его применения в качестве инертного заполнителя при укреплении глубинным смешиванием в массиве органических грунтов или применения в нижней части насыпей.

4.9 Выбор конструктивно-технологических решений выполняют на основе технико-экономического сопоставления их вариантов. Следует учитывать технический эффект при применении технологии глубинного смешивания:

-возможность многократного повышения механических свойств грунтов без ограничений по их виду и состоянию – практически достигаемые параметры укрепленных минеральных (органических) грунтов: предел прочности при сжатии 1500 кПа (900 кПа) и выше, сопротивление сдвигу 750 кПа (450 кПа) и выше, модуль деформации 75 МПа (45 МПа) и выше;

-возможность быстрой консолидации слабого основания насыпи;

-достижение высокой однородности укрепленного слабого грунта, независимо от особенностей строения его толщи, наличия различающихся по виду и состоянию, толщине слоев грунта в толще, что снижает риск проявления неравномерных деформаций;

-возможность рационального использования отходов производств, местных некондиционных переувлажненных грунтов, в частности, требующих утилизации глинистых грунтов, полученных при разработке выемок.

5 Рекомендации по выбору основных технических параметров технологии глубинного смешивания

5.1 Общие данные

5.1.1 Основными техническими параметрами технологии глубинного смешивания являются вид укрепляющих материалов и их количество, зависящие от разновидности и свойств укрепляемого грунта.

5.1.2 Нормируемыми показателями качества укрепленных грунтов являются:

-определяемые в соответствии с ГОСТ 12248 с уточнением по пункту 5.4 настоящего ОДМ предел прочности образцов при одноосном сжатии $R_с$ и модуль деформации при одноосном сжатии $E_с$;

-сопротивление сдвигу укрепленных грунтов τ, принимаемое равным общей величине сцепления и определяемое по зависимости (1):

$$\tau=R_с/2 \qquad (1)$$

5.1.3 Количество вяжущего материала оценивается следующими взаимосвязанными параметрами:

-расход (количество) вяжущего $Q_в$ (основной параметр), определяемое как соотношение массы вяжущего $P_в$, вносимого на единицу объема укрепляемого слабого грунта $V_г$ по зависимости (2):

$$Q_в=P_в/V_г, \text{ кг/м}^3; \qquad (2)$$

-содержание вяжущего $A_в$, определяемое как отношение массы вяжущего $P_в$ к массе сухого грунта после укрепления$P_{сг}$ по зависимости (3):

$$A_в=P_в/P_{сг}\times 100, \text{ %}; \qquad (3)$$

-водоцементное отношение *В/Ц*, определяемое как масса содержащейся в укрепляемом грунте воды $P_{воды}$ к массе вяжущего $P_в$ по зависимости (4):

$$В/Ц=P_{воды}/P_в, \text{ отн.ед.} \quad (4)$$

Применяемые зависимости (5), (6) связывают параметры $Q_в$, $A_в$, *В/Ц* друг с другом и параметрами неукрепленного грунта:

$$Q_в = A_в \cdot \frac{10 \cdot \rho}{(1+W_0/100)}, \text{ кг/м}^3, \quad (5)$$

$$В/Ц=W_0/A_в, \text{ отн.ед.}, \quad (6)$$

где ρ – плотность грунта, т/м^3;

W_0 – влажность грунта, %.

5.1.4 Предварительный выбор основных технических параметров технологии глубинного смешивания для ориентировочной их оценки с целью предварительной проработки проектных решений, назначения вида и диапазона изменения количества укрепляющих материалов при подборе его состава по пункту 5.4 настоящего ОДМ может быть выполнен в соответствии с пунктами 5.2, 5.3 настоящего ОДМ. Окончательный их выбор выполняется по результатам лабораторных испытаний в соответствии с пунктом 5.4 настоящего ОДМ.

5.2 Предварительный выбор вида укрепляющего материала

5.2.1 Для выбора вида укрепляющего материала на основе выполненных инженерно-геологических изысканий должны быть получены данные:

-по разновидности грунтов в соответствии с классификацией ГОСТ 25100 и с учетом частных классификаций слабых грунтов в соответствии с приложением 11(Л) к Пособию [1];

-по параметрам состава и состояния грунтов, необходимые для определения их разновидности;

-по следующим параметрам, обязательным для подбора состава укрепляющего материала: влажность по ГОСТ 5180, содержание пылеватых и глинистых частиц (частиц размером менее 0,05 мм) по ГОСТ 12536, относительное содержание органических веществ I_r по ГОСТ 23740 и ГОСТ 26213, показатель кислотности pH по ГОСТ 27753.3.

5.2.2 Укрепление выполняется одним из вяжущих материалов, комбинированием вяжущих материалов, вяжущими материалами в сочетании с активными материалами и/или инертными добавками.

5.2.3 В качестве основных вяжущих применяют:

-цементы марок, как правило, не ниже 300 по ГОСТ 10178, ГОСТ 22266, ГОСТ 25328;

-известь I, IIсортов по ГОСТ 9179.

5.2.4 В качестве активных материалов могут быть применены материалы с удельной поверхностью не менее 150 $м^2$/кг, обеспечивающие улучшение физико-механических свойств укрепляемых грунтов, в частности:

-высокоактивные и активные молотые гранулированные шлаки по ГОСТ 3344;

-золы-уноса по ГОСТ 25818;

-гипс строительный марок не ниже Г10 по ГОСТ 125.

5.2.5 В качестве инертных добавок могут использоваться местные связные переувлажненные грунты, пылеватые пески, слабоактивные шлаки, золы.

5.2.6 В качестве укрепляющих могут быть использованы и другие материалы, эффективность применения которых обоснована лабораторными испытаниями.

5.2.7 Для предварительного назначения вида укрепляющих материалов рекомендуется использовать данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Рекомендуемые укрепляющие материалы технологии глубинного смешивания

Вид укрепляющего материала	Группа слабых грунтов по содержанию органических веществ:			
	Минеральные при I_r=0-2 %		минеральные и органо-минеральные при I_r=2-30 %	органо-минеральные и органические при I_r=2-30 %
	илы	переувлажненные глинистые грунты		
Цемент	++	++	++	+++
Цемент + переувлажненный местный связный грунт	–	–	–	+++
Цемент + гипс	+	+	++	++
Цемент + шлак	++	++	++	+++
Известь + цемент	++	++	+	–
Известь + гипс	++	++	++	–
Известь + шлак	+	+	+	–
Известь + гипс + шлак	++	++	++	–
Известь + гипс + цемент	++	++	++	–
Известь	–	++	–	–

Примечание – +++ наиболее эффективный укрепляющий материал; ++ эффективный укрепляющий материал; + возможно получение эффекта в отдельных случаях применения; – не рекомендуемый к применению укрепляющий материал.

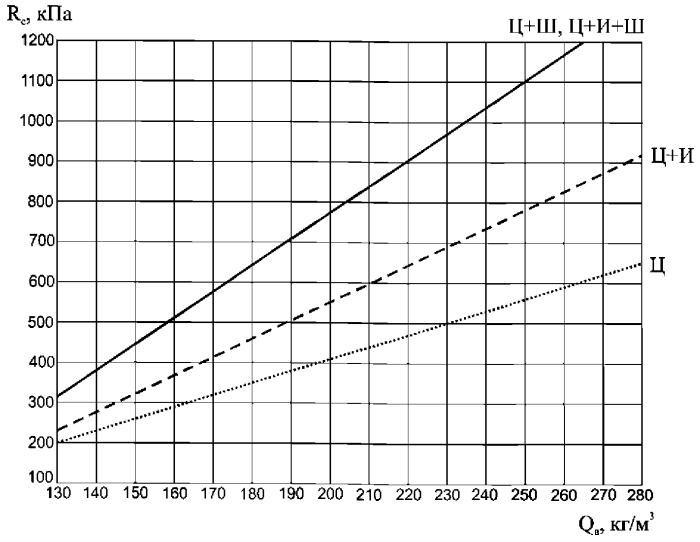
5.3 Предварительный подбор количества укрепляющих материалов

5.3.1 Предварительный подбор количества укрепляющих материалов выполняют, исходя из требуемой (расчетной) величины предела прочности при сжатии укрепленного грунта $R_{ср}$, определяемой, исходя из зависимостей (11), (12) подраздела 6.2. Количество вяжущего $Q_в$ может быть оценено по диаграммам на рисунке 1 в зависимости от разновидности грунтов, применяемого вяжущего материала и требуемой расчетной величины

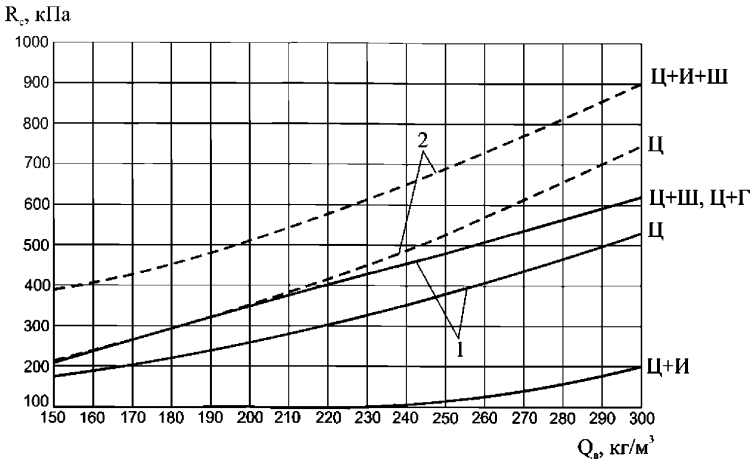
предела прочности укрепленного грунта $R_{ср}=R_{с}$. Диаграммы составлены на основе обобщения экспериментальных данных по глубинному смешиванию грунтов. Допускается предварительный подбор количества вяжущего, исходя из опыта выполнения работ по глубинному смешиванию в сходных инженерно-геологических условиях.

5.3.2 Для связных минеральных, органо-минеральных грунтов с относительным содержанием органических веществ до 10 % значение $R_{с}$ может быть уточнено с учетом их влажности W_0 и плотности ρ в природном состоянии с использованием зависимостей (4), (5), (6) и диаграммы на рисунке 2 (выбирается наибольшее из значений $Q_{в}$, полученных с использованием графиков на рисунках 1, 2).

а)



б)



1 – торф; 2 – заторфованныеорано-минеральные грунты; Ц – цемент; Ц+Ш – цемент и шлак; Ц+И – цемент и известь; Ц+Г – цемент и переувлажненный связный грунт; Ц+И+Ш – цемент, известь и шлак

Рисунок 1 – Зависимость прочности при одноосном сжатии R_c грунта, укрепленного глубинным смешиванием, от количества вяжущего $Q_в$ минеральных (а) и органических и органо-минеральных грунтов (б)

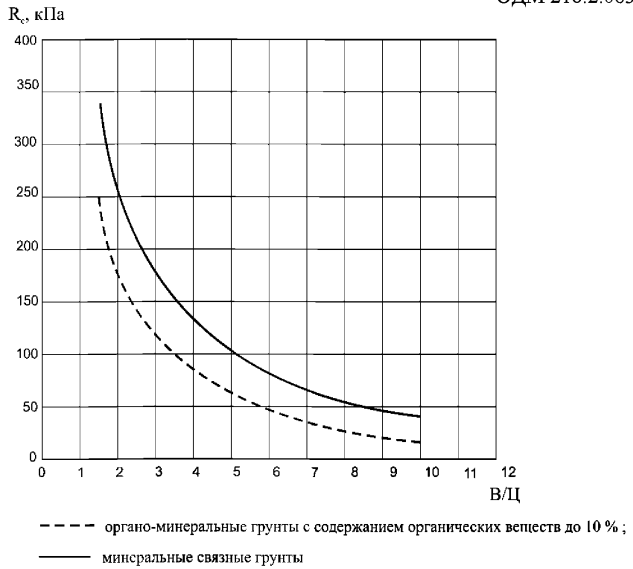


Рисунок 2 – Зависимость прочности при одноосном сжатии от водо-цементного отношения образцов для грунтов с низким содержанием органических веществ (до 10 %)

5.3.3 Независимо от результатов подбора по пунктам 5.3.1, 5.3.2, количество (расход) вяжущего $Q_в$ не должен быть ниже:

-130 кг/м^3 для связных минеральных мягкопластичных и 150 кг/м^3 для текучепластичных, текучих грунтов;

-170 кг/м^3 для органических грунтов (200 кг/м^3 для органических грунтов природной влажностью менее 500 % и более 1500 %).

5.3.4 Для предварительного назначения проектных решений, исходя из полученного значения R_c, ориентировочно могут быть определены другие требуемые параметры свойств:

-сопротивление сдвигу – по зависимости (1);

-модуль деформации $E_д$ для органических и органо-минеральных грунтов с содержанием органических веществ более 10 % по зависимости (7)

$$E_д = 50 \cdot R_с ; \quad (7)$$

-модуль деформации $E_д$ для минеральных связных и органо-минеральных грунтов с содержанием органических веществ менее 10 % по зависимости (8):

$$E_д = 100 \cdot R_с \quad (8)$$

5.3.5 Расчетное значение плотности укрепленных грунтов $\rho_{уг}$ для предварительных расчетов по подразделу 6.2 настоящего ОДМ может быть оценено по зависимости (9):

$$\rho_{уг} = \rho + Q_в \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_в}\right) + Q_м \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_м}\right), \text{ т/м}^3, \quad (9)$$

где $\rho_в$ – плотность вяжущего, т/м^3;

$\rho_м$ – плотность активного или инертного материала (по пунктам 5.2.4, 5.2.5 настоящего документа в случае их применения), т/м^3;

ρ – плотность грунта, т/м^3;

$Q_в$ – количество вяжущего, т/м^3;

$Q_м$ – количество активного или инертного материала.

Независимо от полученного результата, в случае, когда повышение плотности ведет к ухудшению напряженно-деформированного состояния системы «насыпь – основание», значение $\rho_{уг}$ принимают в долях от плотности слабого грунта ρ не ниже $1{,}2 \cdot \rho$ и $1{,}1 \cdot \rho$, соответственно, для органических (органо-минеральных) и минеральных связных грунтов.

5.4 Назначение вида и количества укрепляющих материалов по результатам лабораторных испытаний

5.4.1 Исходя из свойств укрепляемых слабых грунтов, имеющихся местных активных и инертных материалов, предварительно в соответствии с подразделами 5.2, 5.3 настоящего ОДМ назначают вид укрепляющего материала и возможный диапазон изменения его количества.

5.4.2 Готовят образцы для испытаний с учетом следующих положений:

-отобранный на участке производства работ слабый грунт природной влажности предварительно перемешивают с использованием стандартного смесителя в емкости объемом, позволяющим подготовить грунт количеством не менее чем для выполнения испытаний 3 образцов;

-добавляют в емкость предварительно выбранное (подраздел 5.2 настоящего ОДМ) вяжущее или вяжущее в сочетании с другими укрепляющими материалами и выполняют перемешивание его с грунтом;

-выполняют подготовку образцов укрепленных грунтов с не менее чем тремя расходами вяжущего $Q_в$, значения которых изменяются около среднего значения $Q_в$, определенного по подразделу 5.3 настоящего ОДМ; диапазон изменения значений расхода от среднего значения рекомендуется назначать в пределах 25-50 кг/м^3;

-подготовку образцов выполняют путем помещения полученной смеси слабого грунта и укрепляющего материала в жесткие цилиндрические обоймы, обеспечивающие получение образцов диаметром d не менее 38 мм и высотой (1,8-2,2)d; немедленно после помещения в обойму образцы в течение 30 минут должны быть пригружены постоянной нагрузкой, обеспечивающей давление 20 кПа;

-сразу после формирования образцы в обоймах помещают в эксикатор, через двое суток обойму снимают и выдерживают образцы в эксикаторе в течение 28 суток; допускается меньший срок их выдержки (но не менее 7

суток с последующей корректировкой результатов испытаний по подразделу 7.3 настоящего ОДМ – зависимость (22).

5.4.3 Оценивают плотность и выполняют испытания подготовленных и выдержанных образцов по методике пункта 5.2 ГОСТ 12248 (испытания методом одноосного сжатия), прикладывая нагрузку с непрерывным увеличением со скоростью 0,5 % за одну минуту. Испытывают не менее трех образцов, подготовленных при одинаковом расходе укрепляющих материалов с одинаковыми сроками выдержки.

5.4.4 По результатам испытаний получают зависимость напряжения σ – относительная деформация ε, по которой определяют параметры механических свойств грунтов (рисунок 3а):

-прочность при одноосном сжатии R_c (соответствует максимальному напряжению);

-сопротивляемость сдвигу τ (величину структурного сцепления), $\tau=R_c/2$;

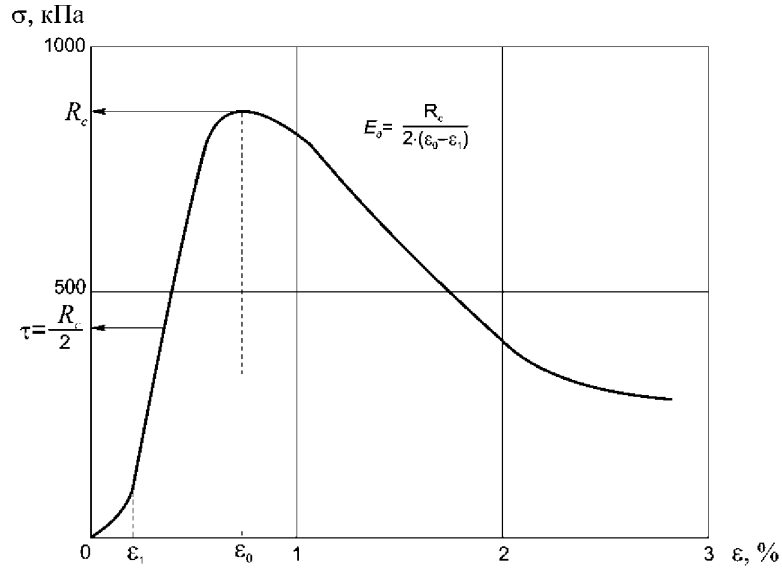
-модуль деформации $E_д$, определяемый при напряжении σ, соответствующем половине прочности при одноосном сжатии R_c по зависимости (10):

$$E_д = \frac{R_c}{2 \cdot (\varepsilon_0 - \varepsilon_1)}, \qquad (10)$$

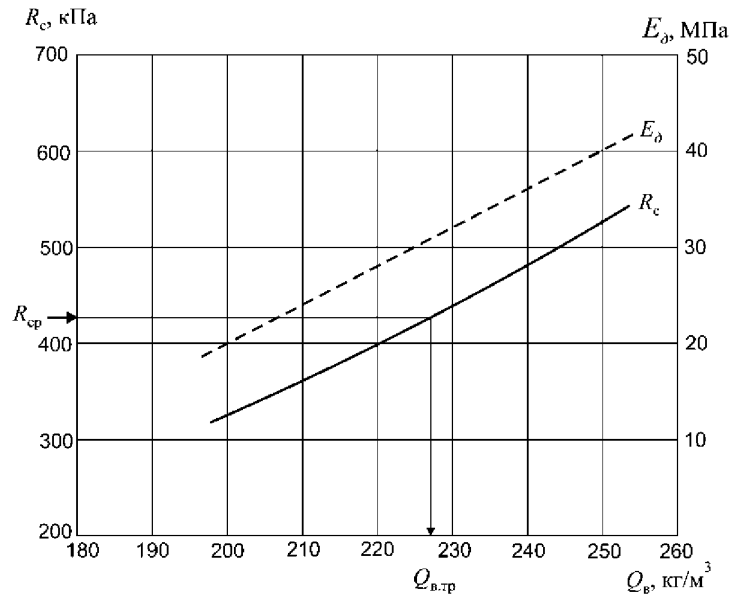
где ε_0 – относительная деформация при максимальной нагрузке;

ε_1 – неучитываемая начальная относительная деформация, соответствующая точке резкого снижения темпов нарастания деформаций по диаграмме (рисунок 3а).

а)



б)



R_c, τ, E_∂ – соответственно, предел прочности, сопротивление сдвигу и модуль деформации при одноосном сжатии; ε_0 – относительная деформация при максимальной нагрузке; ε_1 – неучитываемая часть относительной деформации

Рисунок 3 – Стандартная диаграмма напряжение σ – относительная деформация ε, получаемая при испытаниях на одноосное сжатие образцов грунтов, укрепленных глубинным смешиванием (а) и диаграмма зависимости механических свойств грунтов от количества вяжущего (б)

5.4.5 По результатам испытаний строят зависимости средних значений параметров механических свойств от количества вяжущего для каждого его вида и определяют требуемое для каждого вида количество вяжущего $Q_{в.тр}$, обеспечивающее требуемую расчетную величину предела прочности при одноосном сжатии $R_{ср}$, определяемую, исходя из зависимостей (11), (12) подраздела 6.2. При этом значении $Q_{в.тр}$ определяют остальные параметры механических свойств (рисунок 3б). Вид вяжущего выбирают, исходя из необходимости достижения требуемого значения $R_{ср}$. Если значение $R_{ср}$ достигается для всех видов вяжущего – по результатам экономического сопоставления.

6 Особенности методики проектирования при применении технологии глубинного смешивания

6.1 Конструктивные решения

6.1.1 Конструктивные решения, предусматривающие применение технологии глубинного смешивания, назначают в зависимости от инженерно-геологических условий, прежде всего, исходя из мощности толщин слабого грунта и технических возможностей основного способа укрепления в этом случае – укрепления в массиве (укрепление на глубину до 5-7 м).

6.1.2 Помимо технических ограничений по глубине укрепления следует учитывать также следующие ограничения по применению технологии:

-технология рекомендуется к применению для обеспечения устойчивости насыпей высотой до 7 м (включая осадку) на основаниях, сложенных минеральными, органо-минеральными грунтами с содержанием органических веществ до 10 % и до 5,0 м на основаниях, сложенных органическими и органо-минеральными грунтами с содержанием органических веществ более 10 %;

-технология может быть применена при укреплении слабых связных минеральных грунтов с показателем текучести выше 0,50, торфов с влажность более 500 %; возможность укрепления минеральных грунтов с показателем текучести 0,25-0,50 и торфов с влажностью 300-500 % требует обоснования с проведением пробного укрепления непосредственно на участке выполнения строительных работ.

6.1.3 Конструктивные решения должны предусматривать устройство технологического слоя (рабочей платформы) непосредственно на слабом основании для обеспечения работы занятой на укреплении техники. Технологический слой является одновременно нижней частью насыпи и состоит из дренирующего грунта толщиной 0,8-1,2 м на разделяющей и армирующей прослойке из геотекстильного материала прочностью не менее 14 кН/м.

6.1.4 Основные конструктивные решения представлены на рисунке 4 и включают:

-сплошное укрепление в массиве слабого грунта на полную его мощность (рисунок 4а); решение может быть реализовано при мощности слабого грунта в пределах 5-7 м и целесообразно по технико-экономическим соображениям при мощности выше 3 м;

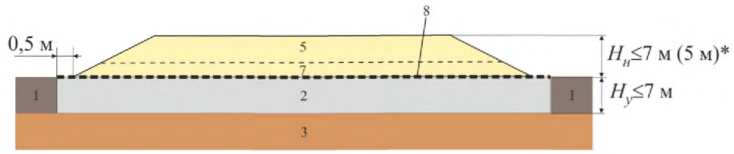
-укрепление слабого грунта в массиве на неполную мощность по рисунку 4б при ее превышении технических возможностей укрепления в массиве (5-7 м);

-укрепление слабого грунта в массиве на глубину 5-7 м в сочетании с укреплением «в сваях» на оставшуюся мощность слабого грунта по рисунку 4в; целесообразно при общей мощности слабого грунта 15-20 м для оснований типа 3 (Пособие [1]);

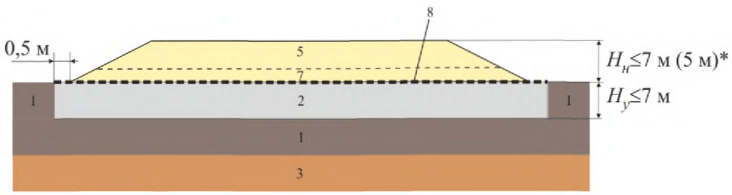
-укрепление слабого грунта в массиве в сочетании с проведением предварительного выторфовывания на глубину 2-3 м (рисунок 4г); целесообразно при общей мощности слабого грунта 8-10 м; в этом случае

ограничения по глубине укрепления в массиве (5-7 м) относятся к уровню, отсчитываемому от нижней отметки уровня выторфовывания.

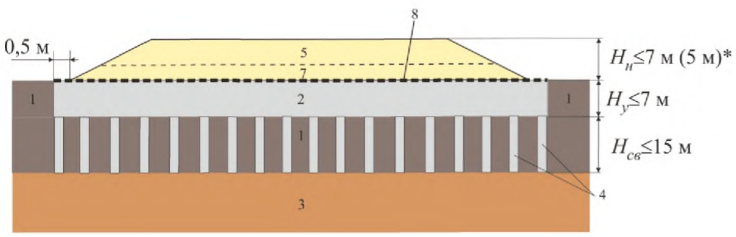
а)



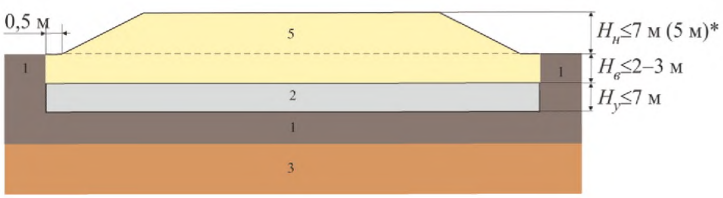
б)



в)



г)



1 – слабый грунт; 2 – укрепленный слабый грунт; 3 – прочный грунт; 4 – сваи (в том числе из укрепленного грунта); 5 – земляное полотно; 6 – замена выторфованной части грунта грунтом земляного полотна; 7 – рабочий слой; 8 – геосинтетический материал

Рисунок 4 – Основные конструктивные решения при применении технологии глубинного смешивания – укрепление в массиве: на полную мощность слабого грунта (а); на неполную мощность слабого грунта (б); совместно с укреплением в сваях (в); совместно с частичным выторфовыванием (г)

6.1.5 Назначение любого из вариантов конструктивных решений выполняется с учетом расчетного обоснования в соответствии с разделом 6.2 настоящего ОДМ.

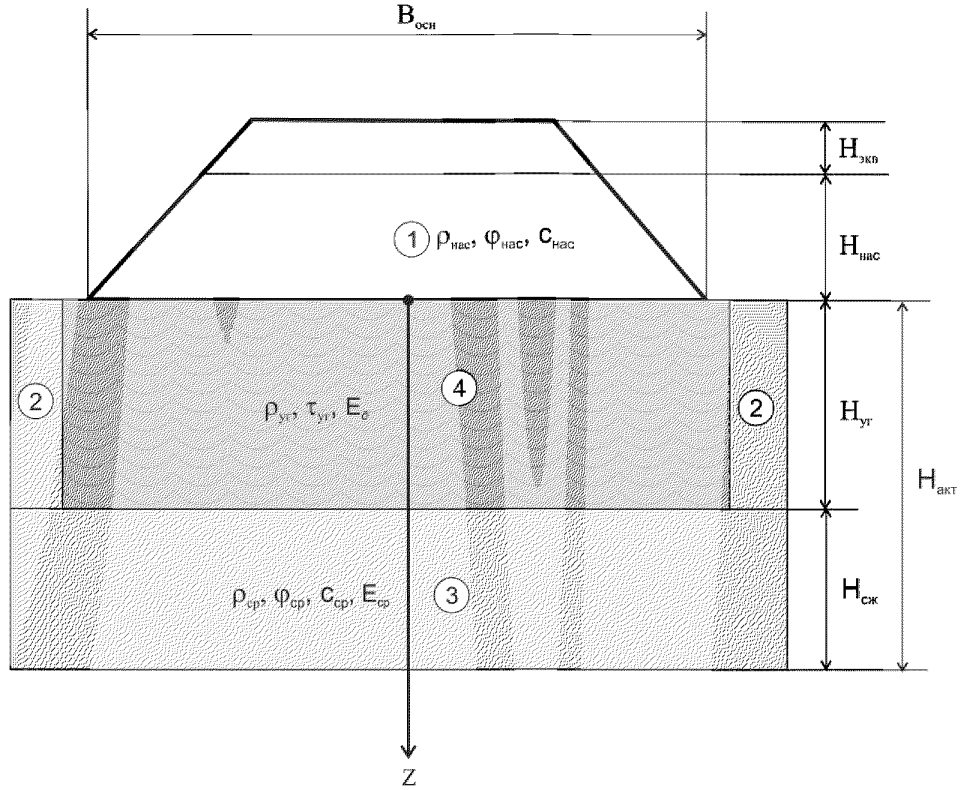
6.1.6 Возможное сочетание решений по применению технологии глубинного смешивания с традиционными конструктивно-технологическими решениями, в частности, с применением пригрузочного слоя, устраиваемого непосредственно после выполнения укрепительных работ, для решения по рисунку 4в – замена глубинного смешивания в сваях иными видами свай (песчаных, различных жестких).

6.2 Методика расчета

6.2.1При применении технологии глубинного смешивания расчет выполняется в соответствии с общими положениями Пособия [1]и с учетом следующих особенностей:

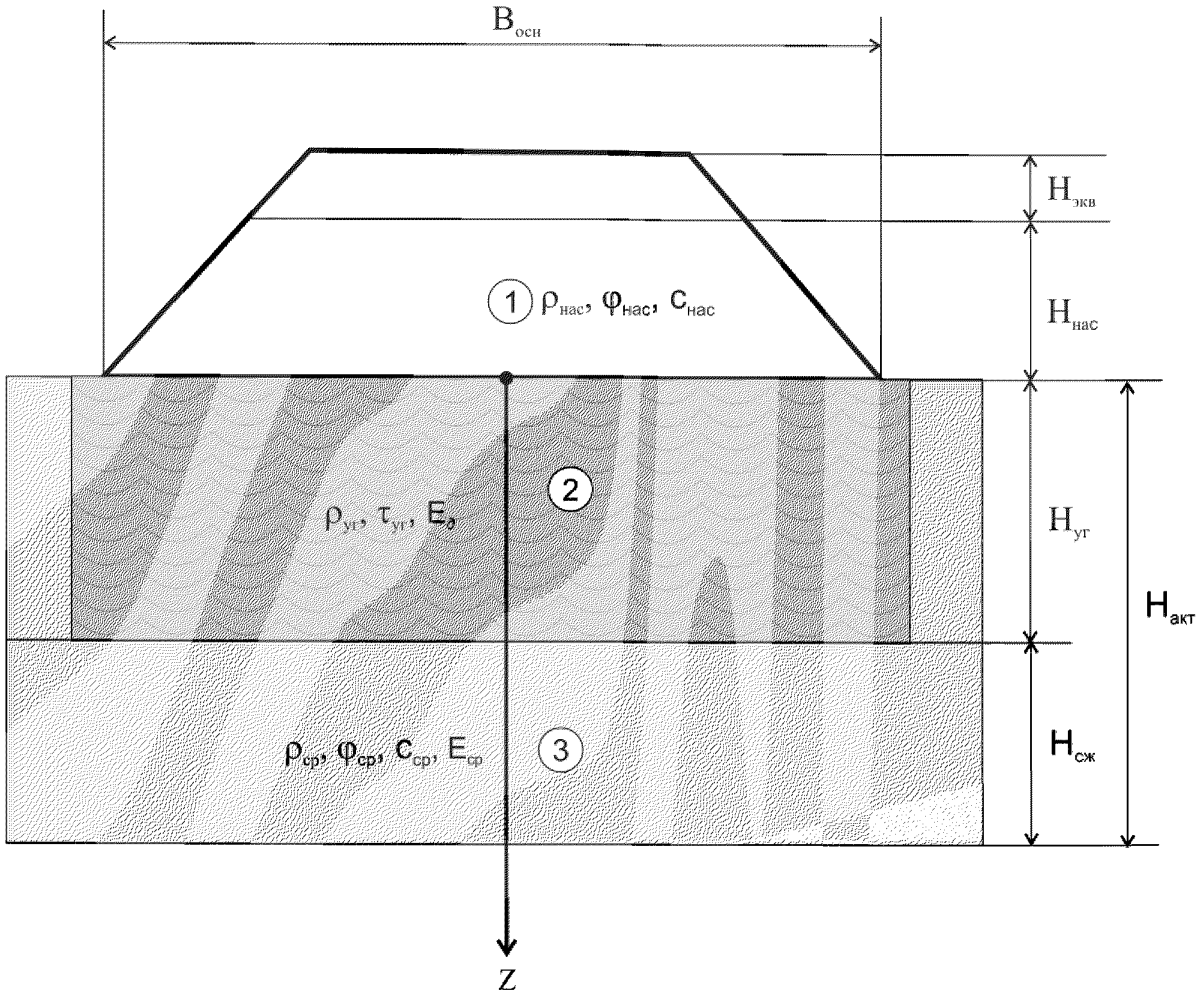
-исходные требуемые расчетные характеристики укрепленных грунтов принимаются из условия, что среднее давление под подошвой земляного полотна не превышает прочности укрепленного грунта основания (п.6.2.7), на этой основе подбирается количество укрепляющих материалов;

-расчеты по оценке прочности и прогнозу осадки выполняются для трех случаев конструктивных решений (сплошное укрепление грунтов слабой толщи, частичное укрепление и сплошное укрепление с устройством свай из укрепленного грунта) в соответствии с расчетными схемами на рисунках 5, 6, 7.



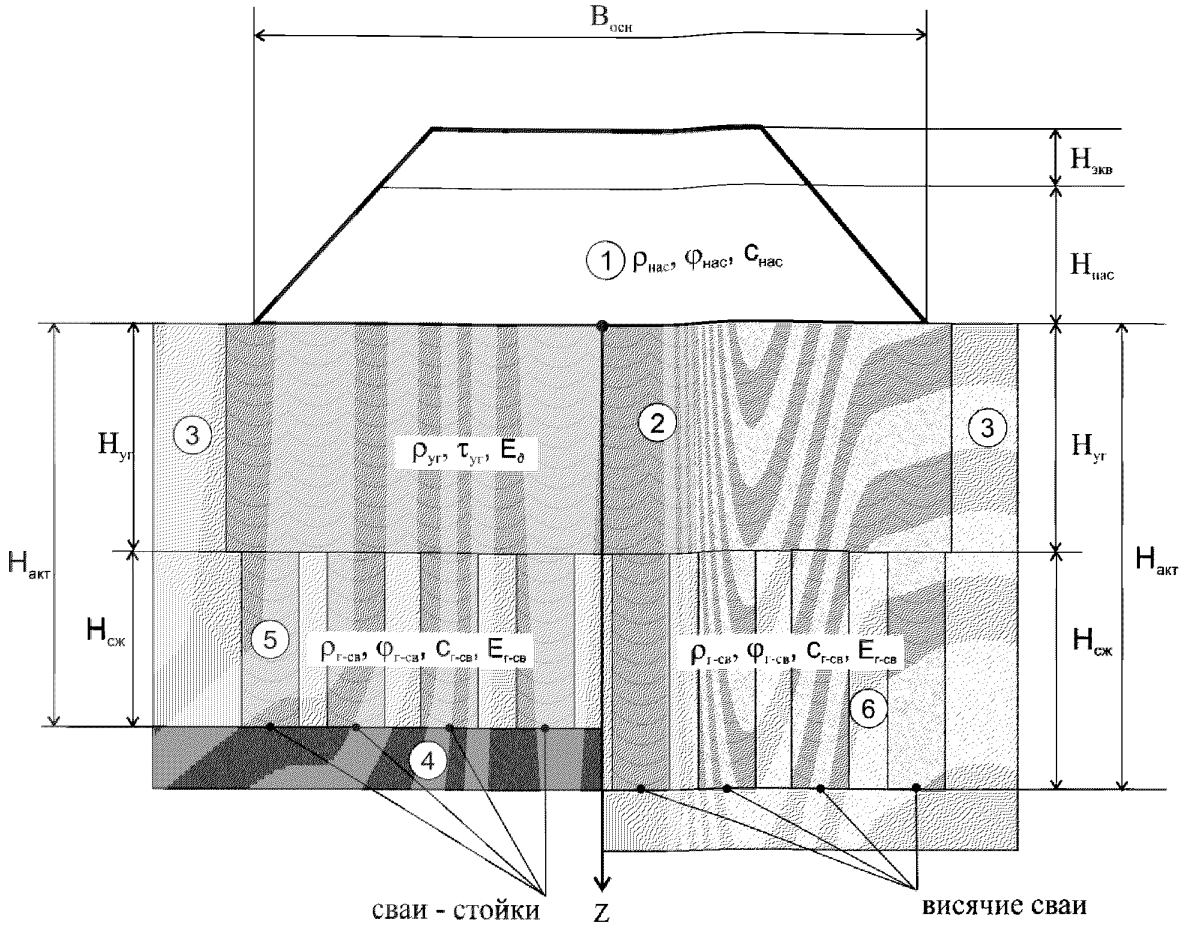
1 – земляное полотно; 2 – естественное слабое основание; 3 – естественное прочное основание; 4 –массив укрепленного грунта; $H_{нас}$ - высота насыпи; $B_{осн}$ - ширина земляного полотна по основанию; $H_{экв}$ - толщина слоя насыпи эквивалентная подвижной нагрузке; $H_{акт}$ - мощность активной зоны; $H_{уг}$ - толщина массива укрепленного грунта; $h_{г1} \div h_{гm}$ - толщины слоев грунта естественного основания в пределах слабой толщи; $\gamma_{уг}$, $\tau_{уг}$, $E_{уг}$- прочностные характеристики укрепленного слоя

Рисунок 5 – Расчетная схема по варианту сплошного укрепления грунтов в основании (конструктивное решение по рисунку 4а))



1 – земляное полотно; 2 –массив укрепленного грунта; 3 – естественное слабое основание; $H_{нас}$ - высота насыпи; $B_{осн}$ - ширина земляного полотна по основанию; $H_{экв}$ - толщина слоя насыпи эквивалентная подвижной нагрузке; $H_{акт}$ - мощность активной зоны; $H_{сж}$ - мощность сжимаемой толщи; $H_{уг}$ - толщина массива укрепленного грунта; $\varphi_{ср}$, $C_{ср}$, $\rho_{ср}$, $E_{ср}$ – средневзвешенные значения характеристик грунтов естественного основания в пределах сжимаемой толщи $H_{сж}$; $\varphi_{нас}$, $C_{нас}$, $\rho_{нас}$- прочностные характеристики грунта земляного полотна; $\gamma_{уг}$, $\tau_{уг}$, $E_{уг}$- прочностные характеристики укрепленного слоя

Рисунок 6 – Расчетная схема по варианту частичного укрепления грунтов в основании(конструктивные решения по рисункам 4б и 4г)



1 – земляное полотно; 2 –массив укрепленного грунта; 3 – естественное слабое основание; 4 – естественное прочное основание; 5 – сваи из укрепленного грунта; 6 – грунт межсвайного пространства; $H_{нас}$ - высота насыпи; $B_{осн}$ - ширина земляного полотна по основанию; $H_{экв}$ - толщина слоя насыпи эквивалентная подвижной нагрузке; $H_{акт}$ - мощность активной зоны; $H_{сж}$ - мощность сжимаемой толщи; $H_{уг}$ - толщина массива укрепленного грунта; $\varphi_{г\text{-}св}$, $C_{г\text{-}св}$, $\rho_{г\text{-}св}$, $E_{г\text{-}св}$ – средневзвешенные значения характеристик грунтов свайного поля в пределах сжимаемой толщи; $\varphi_{нас}$, $C_{нас}$, $\rho_{нас}$- прочностные характеристики грунта земляного полотна; $\gamma_{уг}$, $\tau_{уг}$, $E_{уг}$- прочностные характеристики укрепленного слоя

Рисунок 7 – Расчетная схема по схеме частичного укрепления грунтов основания с включением свай их укрепленного грунта (конструктивное решение по рисунку 4в)

6.2.2 В зависимости от схемы укрепления при проектировании необходимо учитывать следующие особенности:

а) схема сплошного укрепления (рисунок 5):

-мощность слабой толщи H составляет от 2 до 7 м включительно;

-мощность укрепляемой толщи равна мощности активной зоны$H_{уг}=H_{акт}$;

-укрепленный грунт толщиной $H_{уг}$ рассматривается как однородный слой с характеристиками свойств, назначенными в соответствии с положениями пункта 5.4 настоящего ОДМ;

-укрепляемые грунты подстилаются прочным несжимаемым основанием.

б) схема частичного укрепления (рисунок 6):

-мощность укрепляемой толщи $H_{уг}$ менее мощности активной зоны толщи $H_{уг}<H_{акт}$;

-укрепленный грунт толщиной $H_{уг}$ рассматривается как однородный слой с улучшенными характеристиками свойств, назначенными в соответствии с положениями пункта 5.4 настоящего ОДМ;

-мощность сжимаемого слоя $H_{сж}$ представляет собой часть неукрепленного слоя слабой толщи под слоем укрепления в пределах активной зоны $H_{акт}$;

-при наличии в пределах неукрепленного сжимаемого слоя $H_{сж}$ грунтов нескольких разновидностей расчетные значения характеристик этих грунтов принимаются как средневзвешенные по данному слою;

-толщина сжимаемого слоя $H_{сж}$ определяется по зависимости (11):

$$H_{сж}=H_{акт}-H_{уг}, \qquad (11)$$

где $H_{сж}$ – толщина сжимаемого неукрепленного слоя грунта под слоем укрепления;

$H_{уг}$ – мощность укрепляемой толщи;

$H_{акт}$– активная зона.

в) схема частичного укрепления грунтов слабой толщи с устройством свай (рисунок 7):

-длина свай $l_{св}$ определяется мощностью сжимаемой толщи $H_{сж}$;

-при опирании свай на прочные грунты – сваи рассматриваются как сваи-стойки;

-при опирании свай на слабые грунты – сваи рассматриваются как висячие сваи;

-массивукрепленного грунта над сваями рассматривается как полужесткий ростверк, представляющий собой однородный блок с постоянной мощностью укрепленного грунта с прочностными характеристиками, назначенными в соответствии с положениями подраздела5.4 настоящего ОДМ;

-массив основания со сваями под подошвой укрепленного грунта, рассматривается как композиционный материал «грунтоцементная свая-грунт». Прочностные характеристики укрепленного сваями массива определяются путем осреднения прочностных характеристик свай и естественного грунта основания.

6.2.3За нижнюю границу активной зоны сжатия $H_{акт}$ принимаются:

-кровля прочного и малосжимаемого грунта, глубина заложения которого не превышает ширины подошвы насыпи ;

-горизонт, на котором вертикальные напряжения по глубине не превышают 20% от напряжений от внешней нагрузки.

Оценка напряженно-деформированного состояния грунтов в основании проводится по зависимостям разделов 3.6 ÷ 3.11 Пособия [1].

6.2.4Средневзвешенные значения неукрепленных грунтов естественного основания в пределах сжимаемой зоны $H_{сж}$ определяются по зависимостям (12), (13), (14), (15):

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{\varphi_{\text{г1}} \cdot h_{г1} + \varphi_{г2} \cdot h_{г2} + ... + \varphi_{гm} \cdot h_{гm}}{H_{\text{сж}}}, \quad (12)$$

$$C_{\text{ср}} = \frac{C_{\text{г1}} \cdot h_{г1} + C_{г2} \cdot h_{г2} + ... + C_{гm} \cdot h_{гm}}{H_{\text{сж}}}, \quad (13)$$

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\rho_{\text{г1}} \cdot h_{г1} + \rho_{г2} \cdot h_{г2} + ... + \rho_{гm} \cdot h_{гm}}{H_{\text{сж}}}, \quad (14)$$

$$E_{ср} = \frac{E_{\text{г1}} \cdot h_{г1} + E_{г2} \cdot h_{г2} + ... + E_{гm} \cdot h_{гm}}{H_{\text{сж}}}, \quad (15)$$

где $H_{сж}$ – толщина неукрепленного слоя грунта в пределах активной зоны $H_{акт}$ под слоем укрепления;

m – общее количество слоев грунта в слое $H_{сж}$;

$h_{г1} \div h_{гm}$– толщина каждого слоя грунта естественного основания по слою $H_{сж}$;

$\varphi_{ср}$, $C_{ср}$, $\rho_{ср} E_{ср}$ - средневзвешенные значения, соответственно угла внутреннего трения, сцепления, плотности и модуля деформации грунтов по слою $H_{сж}$;

$\varphi_{г1} \div \varphi_{гm}$, $C_{г1} \div C_{гm}$, $\rho_{г1} \div \rho_{гm}$, $E_{\text{г1}} \div E_{\text{гm}}$– фактические значения характеристик грунтов соответственно, угла внутреннего трения, сцепления, плотности и модуля деформации по слою $H_{сж}$.

Для грунтов ниже уровня грунтовых вод величина плотности$\rho_{гi}$определяется с учетом взвешивающего действия воды при плотности воды $\rho_{в}$=1 т/м^3 по зависимости (16):

$$\rho_{\text{гi}} = \rho_{\text{гi}}^{взв} = \rho'_{гi} - \rho_{\text{в}}, \quad (16)$$

где ρ'_{ri} - плотность слоя неукрепленного грунта основания в естественном состоянии.

Прочностные характеристики грунтов по слою $H_{сж}$ для схемы частичного укрепления со сваями (рисунок 7) определяются по зависимостям (17), (18), (19), (20):

$$C_{г-св} = \frac{C_г \cdot F_г + C_{св} \cdot F_{св}}{F_г + F_{\text{св}}}, \quad (17)$$

$$\varphi_{г-св} = \frac{\varphi_г \cdot F_г + \varphi_{св} \cdot F_{св}}{F_г + F_{\text{св}}}, \quad (18)$$

$$\rho_{г-св} = \frac{\rho_г \cdot F_г + \rho_{св} \cdot F_{св}}{F_г + F_{\text{св}}}, \quad (19)$$

$$E_{г-св} = (1-\text{а}) \cdot \text{Е}_\text{г} + a \cdot E_{св}, \quad (20)$$

где $C_{г\text{-}св}$, $C_г$, $C_{св}$ – соответственно, величина сцепления массива «неукрепленный грунт – свая», неукрепленного грунта межсвайногопространства и сваи ($C_{св}$ соответствует $\tau_{ср}$ по пункту 6.2.7);

$\varphi_{г\text{-}св}$, $\varphi_г$, $\varphi_{св}$ – соответственно, угол внутреннего трения массива «неукрепленный грунт – свая», неукрепленного грунта межсвайногопространства и сваи;

$\rho_{г\text{-}св}$, $\rho_г$, $\rho_{св}$ – соответственно, плотность массива «неукрепленный грунт – свая», неукрепленного грунта межсвайного пространства и сваи;

$E_{г\text{-}св}$, $E_г$, $E_{св}$ – соответственно модуль деформации массива «неукрепленный грунт – свая», неукрепленного грунта межсвайногопространства и сваи;

a, $F_{св}$, $F_г$ – параметры свайного поля соответственно, относительная площадь укрепления в плане, занимаемая сваями; часть общей площади свайного поля в плане, приходящаяся на сваи; часть общей площади свайного поля в плане, приходящаяся на межсвайное пространство.

При наличии в $H_{сж}$грунтов нескольких разновидностей расчетные значения характеристик неукрепленных грунтов между сваями принимаются как средневзвешенные по слою $H_{сж}$ в соответствии с зависимостями (12),(13), (14) и (15) принимая $E_г = E_{ср}$.

Для слоев грунтов ниже уровня грунтовых вод значения плотности грунтов в естественном состоянии определяются с учетом взвешивающего действия воды по формуле (16).

6.2.5 Параметры свайного поля назначаются по результатам расчетов по зависимостям (21), (22), (23), (24):

$$F_{св} = n \cdot \frac{\pi \cdot d_w^2}{4}, \qquad (21)$$

$$F_г = F_{св.поля} - F_{св}, \qquad (22)$$

$$a = \frac{n \cdot F_{св}}{F_{св.поля}}, \qquad (23)$$

$$l_{св} = H_{сж}, \qquad (24)$$

где n – общее количество свай;

d_w – диаметр свай, определяемый возможностями оборудования;

$l_{св}$ – длина сваи;

$F_{св}$ – часть общей площади свайного поля в плане, приходящаяся на сваи;

$F_{гр}$ – часть общей площади свайного поля в плане, приходящаяся на межсвайное пространство;

$F_{св.поля}$– общая площадь свайного поля в плане;

a – относительная площадь в плане, занимаемая сваями;

$H_{сжг}$ – мощность неукрепленного слоя грунта под слоем укрепления.

При назначении общего количества свай рекомендуемое максимальное расстояние между осями свай dможет быть определено по зависимости (25):

$$d \le (\frac{d_w}{2} + 1.5\mathrm{H}_{\mathrm{уг}}), \qquad (25)$$

где d – расстояние между осями свай;

$H_{уг}$ – толщина слоя укрепленного грунта над сваями.

6.2.6 Условие прочности для оценки требуемых расчетных характеристик укрепленных грунтов и устойчивости основания дорожной конструкции в случае сплошного укрепления слабой толщи (конструктивное решение по рисунку 4а) выражается зависимостью (26):

$$\mathrm{P}_{\mathrm{расч}} \le \frac{3.14 \cdot \tau_{\mathrm{ср}}}{f_{\mathrm{п}}}, \qquad (26)$$

где $P_{\mathrm{расч}}$ – расчетная нагрузка на основание от веса земляного полотна и транспортной нагрузки;

$\tau_{ср}$ – расчетное сопротивление сдвигу (сцепление) укрепленного грунта основания;

$f_п$– коэффициент запаса эксплуатационной надежности сооружения принимаемый по уровню ответственности сооружения (ГОСТ Р 54257)–

f_n=1,1, при повышенном (I) уровне ответственности, f_n=1,0 при нормальном уровне ответственности (II).

6.2.7 Расчетное сопротивление сдвигу (сцепление) укрепленного грунта основания $\tau_{ср}$ определяют по зависимости (27):

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{R_{ср}}{2} = \frac{f_m \cdot f_{m1} \cdot R_{\text{с}}}{2}, \qquad (27)$$

гдеR_c – предел прочности укрепленного грунта при одноосном сжатии (пункты 5.3 и 5.4 настоящего ОДМ);

f_m–коэффициент условий работы, учитывающий снижение прочностных характеристик закрепленного грунта при длительном воздействии водной среды и нагрузки, принимаемый равнымf_m=0,9;

f_{m1}– коэффициент, учитывающий снижение прочностных характеристик укрепленных грунтов при производстве работ в полевых условиях по отношению к характеристикам, получаемых в лабораторных условиях. При технологии глубинного смешивания в массиве f_{m1}=0,8, при технологии глубинного смешивания в сваях f_{m1}=0,45.

6.2.8 Условие устойчивости неукрепленного основания дорожной конструкции для конструктивных решений по рисункам 4б, 4в, 4г определяется величиной расчетного коэффициента безопасности $К_{без}$ по зависимости(28):

$$\text{К}_{\text{без}} = \frac{P_{\text{без}}}{P_{\text{расч}}} \geq 1, \qquad (28)$$

где $\text{К}_{\text{без}}$ – коэффициент безопасности;

$P_{без}$ – безопасная нагрузка, отвечающая предельной величине внешней нагрузки на поверхности неукрепленного грунта (конструктивные решения по рисунку 4б, 4г) или на поверхности массива грунта со сваями

(конструктивное решение по рисунку 4в) и вызывающая возникновение предельного состояния по сдвигу в наиболее опасной точке основания;

$P_{расч}$– расчетная нагрузка на поверхность неукрепленного грунта (конструктивные решения по рисунку 4б, 4г) или массива грунта со сваями (конструктивное решение по рисунку 4в) от веса земляного полотна, веса укрепленного грунта и подвижной нагрузки от транспортных средств.

6.2.9 Оценка общей устойчивости откосов земляного полотна на укрепленном основании определяется величиной коэффициента устойчивости по зависимости (29):

$$К_{расч} \geq К_{треб}, \quad (29)$$

где $К_{расч}$ – расчетный коэффициент общей устойчивости откосов земляного полотна, определяемый по существующим методикам расчетов, в частности, методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения (КЦПС) или по условию равноустойчивости методом Fp (определение рационального очертания поверхности откоса).

$К_{треб}$ – нормативный коэффициент устойчивости, определяемый по зависимости(30):

$$К_{треб} = \frac{f_n \cdot n_c \cdot n_o}{m_o}, \quad (30)$$

гдеn_c–коэффициент сочетания нагрузок (n_c = 1,0-0,9);

n_o– коэффициент перегрузки (n_o = 1,2);

m_o – коэффициент условий работы, принимаемый равным m_o = 0,85;

f_n – коэффициент по пункту 6.2.6.

6.2.10Величина и интенсивность расчетных временных подвижных нагрузок от транспортных средств назначается в соответствии с положениями ГОСТ Р 52748. Транспортная нагрузка учитывается в виде

дополнительной статической нагрузки от веса слоя грунта толщиной $H_{экв}$ равномерно расположенного по поверхности земляного полотна и заменяющего воздействие подвижной нагрузки. Величина $H_{экв}$ определяется в соответствии с пунктом5.2 ГОСТ Р 52748.

6.2.11 Расчетная нагрузка $P_{расч}$ включает постоянную нагрузку от веса земляного полотна высотой $H_{нас}$, нагрузку от веса слоя грунта $H_{экв}$ заменяющую воздействие транспортных средств и нагрузку от слоя укрепленного грунта $H_{уг}$.

При проектировании по схеме полного укрепления величина расчетной нагрузки на основание земляного полотна $P_{расч}$ определяется по зависимости (31):

$$P_{\text{расч}} = \rho_{нас} \cdot (H_{нас} + H_{\text{экв}} + S_{\text{уг}}), \qquad (31)$$

где $\rho_{нас}$– соответственно плотность грунта насыпи;

$H_{нас}$– высота насыпи;

$H_{экв}$– дополнительный слой грунта, заменяющий воздействие подвижной нагрузки;

$S_{уг}$ – осадка слоя укрепленного грунта мощностью $H_{уг}$.

При проектировании по схемам частичного укрепления и частичного укрепления с устройством свай из укрепленного грунта величина $P_{расч}$ определяется по зависимости (32):

$$P_{расч} = \rho_{нас} \cdot (H_{нас} + H_{\text{экв}} + S_{\text{уг}} + S_{\text{сж}}) + \rho_{уг} \cdot H_{уг}, \qquad (32)$$

где $\rho_{нас}$, $\rho_{уг}$– соответственно плотность грунта насыпи, плотность укрепленного грунта;

$H_{нас}$– высота насыпи;

$H_{экв}$– дополнительный слой грунта, заменяющий воздействие подвижной нагрузки;

$H_{уг}$– толщина слоя укрепленного грунта;

$S_{сж}$ – осадка слоя неукрепленного грунта по слою $H_{сж}$.

6.2.12Величина безопасной нагрузки $P_{без}$ определяется по зависимостям (33), (34), (35), (36):

$$P_{без} = 2B_{ср} \cdot M_b \cdot \rho + C \cdot M_c + H_{уг} \cdot M_h \cdot \rho, \quad (33)$$

$$M_b = \frac{\pi \cdot tg\varphi}{ctg\varphi - \pi/2 + \varphi}, \quad (34)$$

$$M_c = \frac{\pi}{tg\varphi(ctg\varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi)}, \quad (35)$$

$$M_h = \frac{\pi}{ctg\varphi - \frac{\pi}{2} + \varphi}, \quad (36)$$

где $2B_{ср}$– ширина насыпи земляного полотна по средней линии;

$H_{уг}$ – толщина слоя укрепленного грунта;

φ, φ_1, ρ, ρ_1, С – осредненные характеристики слабых грунтов, принимаемые в зависимости от схемы укрепления по пунктам 6.2.4, 6.2.5 данного ОДМ (φ_1, ρ_1 – осредненные характеристики слабых грунтов над слоем $H_{сж}$, φ, ρ, С – осредненные характеристики слабых грунтов по слою сжатия $H_{сж}$).

6.2.13 Величина осадки укрепленного грунта $S_{уг}$ принимается равной величине осадки укрепляемого слоя мощностью $H_{уг}$за период не более 1

месяца с момента окончания производства работ по укреплению и определяется по зависимости (37):

$$S_{\text{уг}} = H_{\text{уг}}\left(\frac{P_1 + P_2}{E_г} + 0{,}8 \cdot \frac{P_н - P_2}{E_{уг}}\right), \qquad (37)$$

где P_1,P_2, $P_н$ – соответственно, веспостроечной техники, вес «технологической платформы», вес проектируемой насыпи (равен весу фактически отсыпанной насыпи за период не более 1 месяца с момента укрепления);

$E_г$ и $E_{уг}$ – модули деформации, соответственно, неукрепленного грунта в естественном (неконсолидированном) состоянии и укрепленного грунта.

Расчет хода осадки во времени при проектировании по схеме полного укрепления не проводят, считая, что развитие процессов консолидации в период эксплуатации насыпи исключено.

6.2.14 Для случая частичного укрепления грунта без включения свай(конструктивные решения по рисункам 4б и 4г) осадка $S_{сж}$по слою $H_{сж}$ представляет собой суммарную конечную осадку грунтов естественного основания под слоем укрепления и определяется методом послойного суммирования по зависимости (38):

$$S_{\text{сж}} = 0.001\sum_{i=1}^{m} e_i \cdot h_i\ , \qquad (38)$$

где e_i – модуль осадки неукрепленного грунта i-го слоя основания, определяемый по данным компрессионных испытаний;

h_i– толщина i-го слоя неукрепленного грунта естественного основания;

m– количество слоев неукрепленного грунта в пределах зоны сжатия $H_{сж}$.

При отсутствии данных компрессионных испытаний грунтов, для ориентировочных прогнозов, а также при использовании справочных значений модулей деформации неукрепленных грунтов величина $S_{сж}$может быть определена по зависимостям (39) и (40):

$$S_{сж} = H_{сж}\frac{P}{E_г}, \qquad (39)$$

$$P = \rho_{уг}H_{уг} + \rho_{нас}(H_{нас} + H_{экв}), \qquad (40)$$

гдеP – величина внешней нагрузки;

$H_{сж}$, $H_{уг}$, $H_{нас}$, $H_{экв}$ – соответственно толщина неукрепленных грунтов, толщина укрепленных грунтов, проектная высота насыпи, дополнительный слой грунта, заменяющий воздействие подвижной нагрузки;

$\rho_{нас}$, $\rho_{уг}$– соответственно, плотность грунта насыпи, плотность укрепленного грунта;

$E_г$– модуль деформации неукрепленного грунта в пределах зоны $H_{сж}$.

При неоднородном сложении сжимаемой толщи величина $E_г$принимается равной величине средневзвешенного значения модуля деформации $E_г$=$E_{ср}$, определяемого по зависимости (15) данного ОДМ.

6.2.15 Для случая частичного укрепления с устройством свай (конструктивное решение по рисунку 4в) величина осадки по слою $H_{сж}$ представляет собой осадку грунта межсвайного пространства$S_{г\text{-}св}$и собственную осадку сваи$S_{св}$, и может быть определена по зависимостям (41) и (42):

$$S_{сж} = S_{г\text{-}св}\cdot(1-a) + S_{св}\cdot a, \qquad (41)$$

$$S_{св} = \frac{P + 0{,}785 \cdot (d - d_w)^2 \cdot l_{св} \cdot \gamma_{св}}{E_{св}}, \qquad (42)$$

где d, d_w, $l_{св}$, a – параметры свайного поля (пункт 6.2.5 настоящего ОДМ);

$S_{г\text{-}св}$ – конечная осадка грунта межсвайного пространства, определяется в соответствии с зависимостями пункта 6.2.14 настоящего ОДМ;

$S_{св}$ – осадка сваи;

$E_{св}$– модуль деформации грунта сваи;

P – величина внешней нагрузки на сваю, определяемая по зависимости (40).

6.2.16 При прогнозе протекания осадок во времени за времядостижения конечной осадкипринимают время достижения требуемой степени консолидации длянеукрепленных грунтов, назначаемой в зависимости от типа покрытия проезжей части и которая в момент устройства покрытия должна составлять:

-не менее: 90% для покрытий капитального типа;

-не менее 80% для покрытий облегченного типа.

Величину осадки неукрепленного слоя грунта S_t на момент достижения расчетной степени консолидации Qдля схемы частичного укрепления определяют по зависимости (43), для схемы частичного укрепления со сваями – по зависимости (44):

$$S_t = Q \cdot S_{сж}, \qquad (43)$$

$$S_t = Q \cdot [S_{сж} \cdot (1 - a) + S_{св} \cdot a], \qquad (44)$$

где S_t – текущая осадка неукрепленного слоя на момент достижения расчетной степени консолидации;

$S_{сж}$ – суммарная конечная осадка неукрепленного слоя на момент достижения расчетной степени консолидации (пункты 6.2.15, 6.2.16 настоящего ОДМ);

a – параметр свайного поля (пункт 6.2.6 настоящего ОДМ).

6.2.17 Расчетную степень консолидации Q неукрепленного слоя грунта$H_{сж}$ для схемы частичного укрепления (конструктивное решение по рисункам 4б, 4г) определяют по графику на рисунке (8) в зависимости от фактора времени T_v, определяемого по зависимости(45):

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{h_ф^2}, \quad (45)$$

где $h_ф$ – длина пути фильтрации принимается равной величине сжимаемой толщи $h_ф=H_{сж}$; в случае, когда на нижней границе сжимаемой толщи залегают хорошо дренирующие грунты $h_ф=H_{сж}/2$;

t – проектное время консолидации;

C_v – коэффициент консолидации слабых грунтов в вертикальном направлении; принимается по данным лабораторных испытаний; при отсутствии данных испытаний при предварительных расчетах ориентировочные значения коэффициентов консолидации в вертикальном направлении C_v могут быть приняты по таблице И.1 приложения И СП.22.13330.2011.

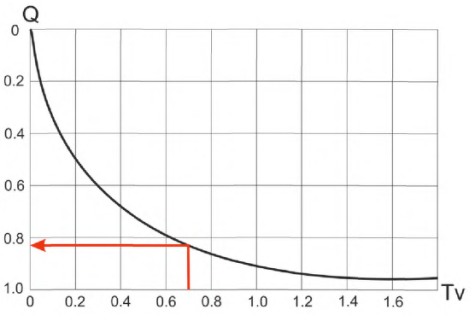


Рисунок 8 – Зависимость степени консолидации в вертикальном направлении Qот фактора времени T_v

В случае неоднородного сложения неукрепленной толщи грунта величина коэффициента консолидации в вертикальном направлении определяется как средневзвешенное значение в пределах зоны $H_{сж}$ по зависимости (46):

$$C_{\text{v}} = \frac{C_{\text{v1}} \cdot h_{г1} + C_{v2} \cdot h_{г2} + \ldots + C_{vm} \cdot h_{гm}}{H_{\text{сж}}}, \qquad (46)$$

где $C_{v1} \div C_{vm}$ – коэффициенты консолидации в вертикальном направлении слабых грунтов в пределах зоны $H_{сж}$.

При времени консолидации неукрепленного грунта tболее требуемого по проекту, требуется назначать дополнительные мероприятия по ускорению консолидационных процессов. В данном случае, конструктивным решением ускоряющим стабилизацию слабого основания может быть решение по схеме частичного укрепления с дополнительным устройством свай.

6.2.18 В случае применения схемы частичного укрепления со сваями (конструктивное решение по рисункам 4в) при расчете хода осадки во времени величину расчетной степени консолидации Q массива неукрепленного грунта с включением грунтоцементных свайопределяют по зависимости(47):

$$Q = Q_v + Q_{\text{vr}}, \qquad (47)$$

гдеQ_{vr}–расчетная степень консолидации при фильтрации воды в вертикальном и горизонтальном направлении за период времени равный t_{vr}=1 месяцу;

Q_v– расчетная степень консолидации при фильтрации воды в вертикальном направлении; определяется по графику на рисунке 8 и зависимости (45) данного ОДМ за период времени T = t - t_{vr} при проектном времени консолидации t.

6.2.19 Расчетная степень консолидации Q_{vr} при фильтрации воды в вертикальном направлении и горизонтальном направлении за период времени равный t_{vr}=1 месяцу определяется по зависимости (48):

$$Q_{vr} = 1-(1-Q_{\text{t}})\cdot(1-Q_r), \qquad (48)$$

где Q_t – расчетная степень консолидации при фильтрации воды в вертикальном направлении за период времени t=t_{vr}=*1* месяц определяется по графику на рисунке 8 и зависимости (45) данного ОДМ;

Q_r– расчетная степень консолидации при фильтрации воды в горизонтальном направлении.

6.2.20 Параметры консолидации в горизонтальном направлении за период не более одного месяца с момента укрепления при t_{vr}=1 месяц определяются по зависимостям (49), (50), (51), (52):

$$Q_r = 1 - \exp(-8\frac{T_r}{F_v}), \quad (49)$$

$$F_v = \frac{v^2}{v^2 - 1} \cdot \ln v - \frac{3v^2 - 1}{4v^2}, \quad (50)$$

$$v = \frac{d_в}{d_w} \cdot, \quad (51)$$

$$T_г = \frac{C_г \cdot t_{vr}}{d_в^2} \cdot, \quad (52)$$

где T_r– фактор времени при фильтрации в горизонтальном направлении за период не более 1 месяца с момента окончания производства работ t_{vr}=*1*мес;

F_v– параметр, зависящий от отношения зоны влияния сваи d_eк ее диаметруd_w;

d_w – диаметр сваи;

d – расстояние между осями свай;

d_e – зона влияния свай. При гексагональной сетке расположения свай $d_в = 1.05d$, при квадратной сетке расположения свай $d_в = 1.13d$;

C_r – коэффициент консолидации при фильтрации в горизонтальном направлении; при отсутствии данных принимается по соотношению $C_г = 2C_v$

7 Технология производства работ

7.1 Применяемое оборудование

7.1.1 Работы по укреплению выполняются комплексом специализированной техники, включающей:

-цементовозы для подвоза вяжущего;

-автомобили-самосвалы для подвоза инертных материалов (при необходимости);

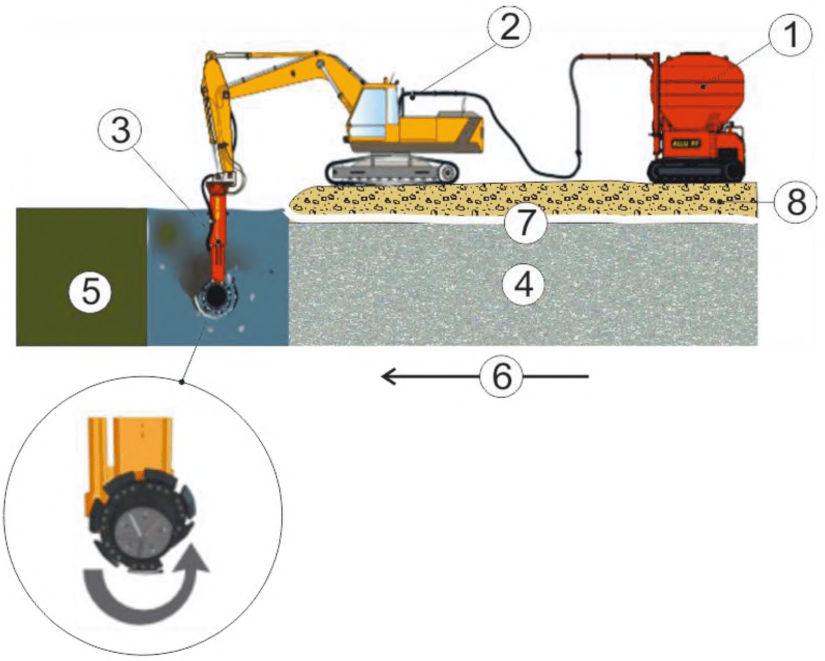
-экскаватор со сменным навесным оборудованием – ковшом для распределения подвозимого инертного материала, приспособления для выкорчевывания пней (при необходимости);

-базовой машины для укрепления грунта в массиве со смесителем и питателя (пункт 7.1.2);

-базовой машины для укрепления грунта в сваях со смесителем и питателем (при необходимости – по пункту 7.1.3).

В комплекс специализированной техники при значительных объемах работ, дальности возки вяжущих материалов более 25-30 км целесообразно применение передвижных или типовых сборно-разборных инвентарных цементных складов.

7.1.2 При укреплении грунта в массиве (рисунки 9, 10 – сухое смешивание) в качестве базовой машины применяется, как правило, экскаватор на гусеничном ходу с гидравлическим приводом. Ковш экскаватора заменяется на смеситель, представляющий собой штангу с установленными в нижней части вращающимися шнеками (одним или несколькими) и форсунками для подачи вяжущего под давлением. На штангу должны быть нанесены отметки, расположенные через расстояние не более 1,0 м, предназначенные для примерной оценки глубины погружения смесителя. Питатель, предпочтительно на гусеничном ходу, обеспечивает подачу вяжущего под давлением через систему трубопроводов.



1 – питатель; 2 – базовая машина – экскаватор на гусеничном ходу; 3 – смеситель; 4 – укрепленный грунт; 5 – неукрепленный грунт; 6 – направление укрепления; 7 – геотекстильный материал; 8 – рабочая платформа (нижняя часть насыпи)

Рисунок 9 – Общая схема комплекта оборудования, применяемого при укреплении грунта в массиве

а) б) в)



Рисунок 10 – Пример компонентов оборудования для глубинного смешивания в массиве: смеситель (а); питатель (б); система управления и регистрации основных технологических параметров (в)

Рекомендуемые основные параметры оборудования для укрепления смешиванием в массиве:

-вес базовой машины от 15 т;

-мощность на гидравлическом приводе от 80 кВт;

-выход вяжущего материала 100-400 кг/м^3;

-давление подачи вяжущего – от 100 кПа;

-скорость вращения шнеков 30-200 об/мин;

-обеспеченное расстояние подачи вяжущего питателем более 100 м;

-емкость бака питателя более 7м^3;

-длина смесителя не менее 5 м;

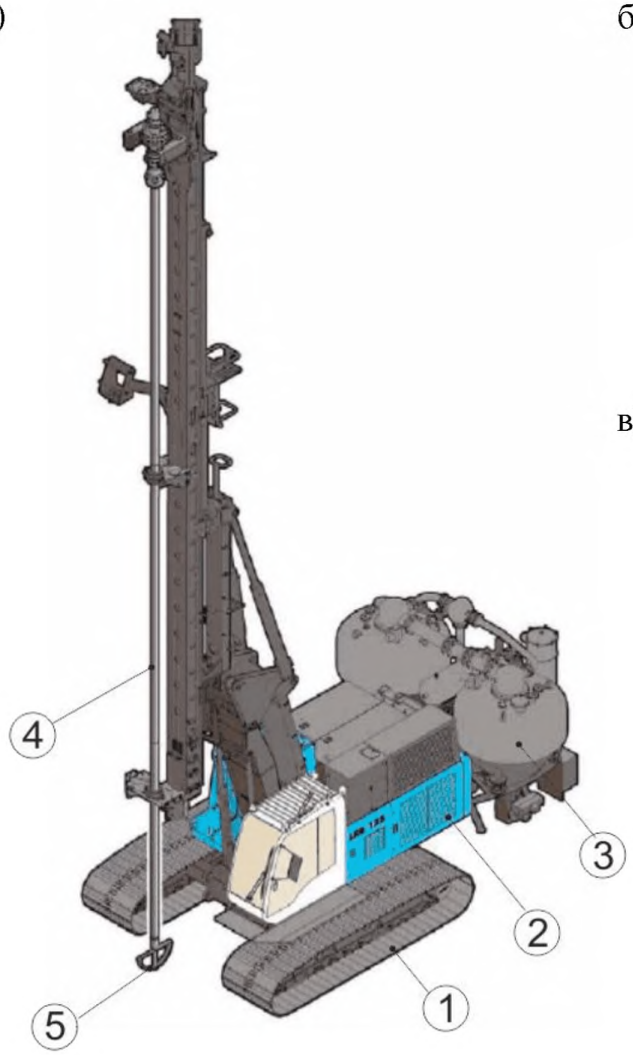
-укрепляемая смесителем площадь (площадь «отпечатка шнеков») не менее 0,7 м^2;

-автоматически регистрируемые с возможностью сохранения данных показатели глубинного смешивания – количество подаваемого вяжущего, скорость вращения шнеков (для каждого шнека в отдельности), давление подачи вяжущего, температура на поверхности шнеков.

7.1.3 При укреплении грунта «в сваях» (сухое смешивание) (рисунок 11) в качестве базовой машины применяется, как правило, передвижная буровая установка или экскаватор на гусеничном ходу с устанавливаемым на

ней сменным смесителем, оптимальная конструкция которого выбирается в зависимости от разновидности и состояния укрепляемого грунта (рисунки 11б, 11в).

а)



б)



в)



1 – базовая машина – экскаватор на гусеничном ходу; 2 – компрессор; 3 – питатель; 4 – ось смесителя (штанга); 5 – наконечник смесителя (смеситель)

Рисунок 11 – Вариант компоновки оборудования по технологии глубинного сухого смешивания в сваях с установкой питателя и компрессора на базовой машине: общий вид оборудования (а); типовой смеситель (б); смеситель для смешивания торфов (в)

Для подачи вяжущего может использоваться питатель по пункту 7.1.2 настоящего ОДМ, возможно применение питателя с установкой его на буровой машине. Рекомендуемые основные параметры оборудования для укрепления смешиванием в сваях:

-вес базовой машины – от 15 т;

-выход вяжущего материала кг/м (кг/м^3) – 15-50 (100-400);

-давление подачи вяжущего – от 100 кПа;

-скорость вращения шнеков до 100-200 об/мин;

-глубина погружения или возврата смесителя в грунт в фазе подачи вяжущего за один оборот 0,005-0,030 м/об;

-средняя скорость погружения или возврата смесителя в грунт 0,3-3,0 м/мин;

-обеспеченное расстояние подачи вяжущего питателем (в случае применения отдельного от буровой машины питателя) более 100 м;

-емкость бака питателя более 7 м^3;

-диаметр грунтовой сваи 0,5-1,5 м;

-длина грунтовой сваи – от 15 м;

-автоматически регистрируемые с возможностью сохранения данных показатели смешивания в сваях – количество подаваемого вяжущего, скорость вращения шнеков, давление подачи вяжущего, глубина погружения.

7.2 Производство работ

7.2.1 Состав работ технологии глубинного смешивания включает:

-подготовительные работы;

-работы по подготовке технологического слоя (рабочей платформы);

-работы по выполнению глубинного смешивания.

7.2.2 Подготовительные работы включают:

-подбор основных технических параметров технологии глубинного смешивания (вид и количество укрепляющих материалов) в соответствии с разделом 5 настоящего ОДМ;

-выполнение опытного укрепления на конкретном объекте (при необходимости, в случае отсутствия опыта производства работ в сходных условиях); в процессе опытного укрепления уточняется возможность его выполнения, конкретный тип применяемого оборудования в составе специализированного комплекса по подразделу 7.1 настоящего ОДМ, в частности, наличие в толще или на поверхности слабого грунта слоев, имеющих повышенную прочность, может потребовать при их толще свыше 0,4-0,5 м применения более тяжелой базовой машины, поскольку ее вес определяет в значительной степени усилие внедрения смесителя в грунт; одновременно могут уточняться данные инженерно-геологических исследований по мощности слабого грунта по косвенным признакам (резкому изменению числа оборотов шнека смесителя, подъему температуры на поверхности шнека); также могут быть уточнены полученные на основе лабораторных испытаний данные по требуемому количеству вяжущего, как путем отбора кернов через период выдерживания после укрепления не менее 7 дней, так и отбором проб несформировавшегося укрепленного грунта сразу после укрепления и формированием, выдерживанием образцов в лабораторных условиях с испытанием по подразделу 5.4 настоящего ОДМ;

-выполнение геодезических работ и работ по расчистке дорожной полосы в соответствии с требованиями СП 126.13330-2012, СП 78.13330-2012; наличие пней, любых твердых включений в пределах зоны укрепления не допускается; их устранение может выполняться одновременно с выполнением работ по глубинному смешиванию.

7.2.2 Работы по глубинному смешиванию выполняются с рабочей платформы, обеспечивающей требуемые условия для специализированного комплекса машин с учетом низкой прочности слабых грунтов основания. Рабочая платформа создается по способу «от себя» путем укладки полотен геотекстильного материала и отсыпки на него дренирующего грунта. Рекомендуемая толщина отсыпаемого слоя (0,8-1,2 м) может уточняться (в

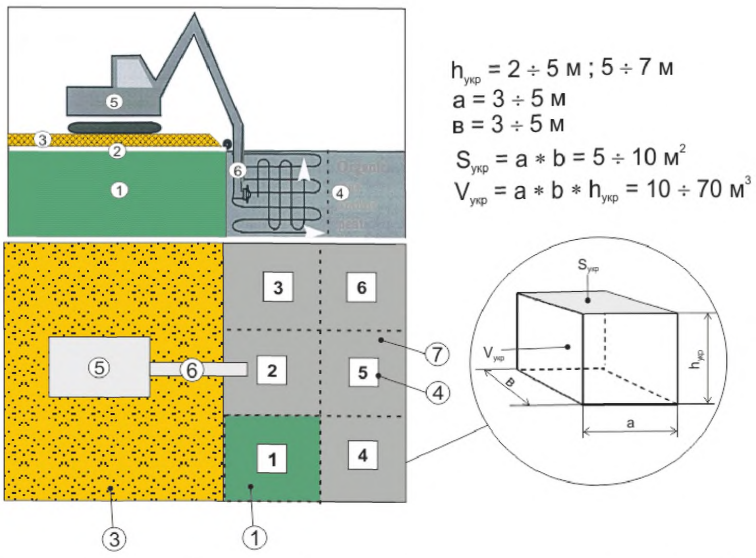
этом случае в сторону увеличения, поскольку рабочая платформа составляет в этом случае нижнюю часть насыпи), а технология производства работ может приниматься в соответствии с положениями ОДМ 218.5.003-2010 [4]. Рабочая платформа последовательно наращивается по мере выполнения работ по глубинному смешиванию.

7.2.3 При глубинном смешивании в массиве применяется метод блочной стабилизации, который заключается в том, что перемешивание грунтов проводится последовательно от одного размеченного участка (блока) к другому (рисунок 12а). Особенностью технологии является то, что грунт на участке стабилизируется сразу по всей площади и глубине блока. Мощность стабилизируемого слоя соответствует требуемой проектной глубине укрепления, но ограничивается длиной ствола смесителя (5 м или 7 м при применении удлинителя). Подача сухого вяжущего осуществляется под давлением воздуха через форсунку на торце смесителя (шнека) непосредственно в грунт. Гидравлический привод позволяет менять угол наклона смесителя, что делает процесс более эффективным, а смешиваемый грунт более однородным. Перемешивание грунта с вяжущим производится путем перемещения смесителя сверху вниз по челночной схеме по всей площади размеченного блока до полной гомогенизации массы грунта в блоке (рисунок 12б). В случае, когда предусмотрено применение помимо вяжущего других укрепляющих материалов, они выгружаются на поверхность слабого грунта до внесения вяжущего, а перемешивание выполняется первоначально смесителем без подачи вяжущего. Работы рекомендуется выполнять при положительных температурах. Возможно выполнение работ при отрицательных температурах до –10 °С, если укрепляемый грунт не в мерзлом состоянии, а технические характеристики применяемого оборудования позволяют производить работы при таких температурах.

а)



б)



1 – стабилизированный грунт; 2 – прослойка из геосинтетического материала; 3 – рабочая платформа; 4 – слабый грунт естественного основания; 5 – экскаватор; 6 – смеситель; 7 – порядковый номер блока; $h_{укр}$ – глубина укрепления; $S_{укр}$ – площадь в плане укрепляемого блока; $V_{укр}$ – объем укрепляемого блока; а, в – геометрические параметры укрепляемого блока в плане (ширина, длина)

Рисунок 12 – Метод блочной стабилизации: общий вид стабилизации грунтов на больших площадях (а); челночная схема перемешивания грунта с вяжущим по всему объему блока (б)

7.2.4 Схема перемешивания может меняться в зависимости от прочности укрепляемого грунта, поскольку горизонтальные перемещения при высокой его плотности могут быть затруднены, и смешивание выполняется только вертикальным перемещением смесителя не менее чем за два цикла погружения-поднятия. В первом цикле обычно подается вяжущее, при повторном цикле выполняются дополнительное смешивание без подачи вяжущего. После смешивания поверхность стабилизированного грунта покрывается геосинтетическим материалом, поверх которого надвигается слой грунта из песчаного или другого крупнообломочного грунта с высокими прочностными характеристиками, который является технологическим слоем (рабочей платформой) для оборудования при производстве дальнейших работ.

7.2.5 Размер блока зависит от технических возможностей базовой машины (возможно перемещение смесителя в горизонтальном направлении) и, кроме того, должен быть определен таким образом, чтобы количество вяжущего, приходящегося на один блок, было равно количеству вяжущего, находящегося в питателе или бункере в пределах строительной площадки.

Ориентировочно площадь одного блока ($S_{бл}$) может быть определена, исходя из количества вяжущего по зависимости (53):

$$S_{бл}=V_{цб}/(V_{укр}\cdot h_{укр}), \qquad (53)$$

где $V_{цб}$ – количество цемента, находящегося в питателе или бункере на строительной площадке, м^3;

$V_{укр}$ – количество вяжущего, определяемое проектом, необходимое для укрепления 1 м^3 грунта, кг/м^3;

$h_{укр}$ – расчетная глубина укрепления массива, м.

Обеспечиваемая при смешивании производительность выполнения работ составляет обычно 80-100 м^3/час.

7.2.6 При укреплении в сваях предварительно размечается их проектное положение. За счет создания давления и вращения лопастей (шнеков) смесителя происходит вертикальное его перемещение и подача вяжущего от центра сваи к периферии (обычно в фазе подъема смесителя). Производительность выполнения работ обычно составляет 15-20 $м^3$/час.

7.2.7 В процессе производства работ непрерывно регистрируются и контролируются параметры, указанные в подразделе 7.1 настоящего ОДМ.

7.3 Контроль качества работ

Состав работ по строительному контролю, порядок его проведения, форма отчетности могут быть приняты в соответствии с положениями действующих документов технического регулирования, в частности ОДМ 218.7.001-2009 [5]. Контроль выполнения работ при применении технологии глубинного смешивания, относящихся к скрытым работам, имеет особенности, связанные с необходимостью скорейшего перекрытия укрепленного грунта до конца схватывания вяжущего.

При строительстве должен быть обеспечен входной контроль соответствия применяемых материалов (вяжущих, геотекстильных материалов) требованиям проектной документации.

Укрепление грунтов выполняют с рабочей платформы толщиной 0,8-1,2 м, устраиваемой из дренирующих грунтов на разделяющей технологической и армирующей прослойке из геотекстильных материалов. Операционный контроль качества сооружения рабочей платформы выполняют в соответствии с положениями пункта 8в ОДМ 218.5.003-2010 [4].

Соответствие качества укрепленного грунта проектному обеспечивается:

-проведением входного контроля вяжущих материалов в соответствии с требованиями СП 48.13330.2011 и соответствующих стандартов;

-предварительным выполнением опытно-производственных работ по укреплению на конкретном участке строительства;

-контролем этапности выполнения работ – обеспечением немедленного, но в период не более 15 часов, устройства рабочей платформы над укрепленным грунтом;

-ограничением движения построечного транспорта, кроме транспорта, обеспечивающего подвоз материалов для укрепления и создания рабочей платформы, первые 7 суток после выполнения работ по укреплению;

-контролем технологических параметров укрепления (количество вяжущего, скорость вращения рабочего органа смесителя, скорость погружения и извлечения смесителя, глубина смешивания, температура шнека смесителя) – как правило, непрерывный контроль в автоматическом режиме с обеспечением хранения данных и их привязки к месту производства работ; при контроле технологических параметров следует руководствоваться технической документацией производителя оборудования;

-выполнением испытаний укрепленного грунта.

Основной способ выполнения испытаний укрепленных грунтов при контроле качества – оценка предела прочности при сжатии по ГОСТ 12248 образцов ненарушенной структуры, отбираемых из буровых скважин в соответствии с ГОСТ 12071. Отбор проб рекомендуется выполнять на 28 сутки после укрепления. Допускается выполнять ранее, но не менее чем через 7 суток с последующей корректировкой результатов (приведением их к результатам на 28 сутки после укрепления) по зависимости (54):

$$\frac{R_{ct}}{R_{c28}} = 0{,}187 \cdot \ln(t) + 0{,}375, \qquad (54)$$

где R_{ct} и R_{c28} – пределы прочности на одноосное сжатие, соответственно, через время t и через 28 дней.

Одновременно с прочностью следует контролировать плотность образцов. Рекомендуемый объем испытаний при операционном контроле качества – не реже чем через 200 м в трех точках на поперечнике (по оси насыпи и на расстоянии 1,0-1,5 м от кромки укрепления) с глубины 0,5 м от поверхности укрепленного грунта, в середине слоя и 0,5 м от подошвы слоя укрепленного грунта в каждой из трех точек. Критерий контроля – не более 10 % образцов могут иметь отклонения от требуемой проектом прочности в меньшую сторону в пределах 5 %.

При операционном контроле качества допускается отбор части образцов (не более 50 % по каждому из поперечников) выполнять непосредственно после укрепления с их формированием в лабораторных условиях (помещением в жесткую обойму, прикладыванием к поверхности образца пригрузки 20 кПа в течение 30 минут и последующей выдержкой в эксикаторе в течение 28 суток (допускается выдержка не менее 7 суток с последующей корректировкой данных по описанной выше методике).

При контроле качества допускается применение статического и динамического зондирования в соответствии с ГОСТ 19912 при обеспечении указанных объемов контроля и сроков выдержки укрепленных грунтов.

При укреплении «в сваях» в сочетании с укреплением в массиве допускается применять те же методы контроля – испытаниям подвергаются не менее чем 5 % от устраиваемых свай.

7.4 Требования безопасности и охрана окружающей среды

7.4.1 Укрепляющие материалы, а также обработанные и укрепленные с его применением грунты, должны быть нетоксичны, экологически безопасны, не горючи. Суммарная удельная эффективная активность естественных радионуклидов по ГОСТ 30108 укрепленных грунтов не должна превышать 740 Бк/кг, что не ограничивает области их применение в

соответствии с нормами СП 2.6.1.758-99 (нормируемая величина – до 760 Бк/кг).

7.4.2 При проведении работ следует руководствоваться требованиями СНиП III.4-80* [6], СНиП 12.03-99 [7], «Правилами охраны труда» [8], правилами техники безопасности, изложенными в инструкциях по эксплуатации соответствующих установок и машин, а также требованиями СП 2.2.3.1327-03, ГОСТ 12.3.002, ГОСТ 12.3.005.

7.4.3 Следует регулярно (не менее двух раз в рабочую смену) осматривать находящиеся под давлением емкости для выявления их дефектов или повреждений, которые могли бы повлечь за собой нарушение безопасности.

7.4.4 К работе по укреплению грунтов допускаются лица, не моложе 18 лет, прошедшие обучение безопасным приемам работы, сдавшие экзамены на право самостоятельной работы и не имеющие медицинских противопоказаний в соответствии с действующими нормативными документами Минздрава РФ.

7.4.5 Состав и объем защитных мер и применяемого оборудования, методов, средств, объема и порядка организации контроля установленных ПДВ определяют при согласовании производства либо специализированных проектов охраны окружающей среды предприятия с органами Роспотребнадзора (Госсанэпиднадзора). При укреплении грунтов могут образовываться твердые отходы. Порядок накопления, транспортирования, обезвреживания и захоронения или утилизации твердых отходов устанавливается в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.7.1322-03 [9] и «Временных правил» [10].

7.4.6 Риск с позиций требований безопасности может быть связан с поднятием почвы, происходящим в результате введения в грунт сжатого воздуха или раствора. Поднятие высотой до 0,75 м может происходить в результате применения высоких струйных давлений, особенно при высоком соотношении (более 50 %) площади обработанного участка и площади

устраиваемых из укрепленного грунта свай. Указанные поднятия чаще всего не превышают 10 см. Однако это необходимо учитывать в случае присутствия конструкций, чувствительных к деформациям.

7.4.7 В целях охраны окружающей среды при производстве и применении вяжущихдолжны выполняться санитарно-эпидемиологические требования СанПиН 2.1.6.1032-01 [11]. Необходимо проводить мероприятия по контролю воздействия укрепления грунта на окружающую среду. В случае контакта с грунтовыми водами при производстве работ, связанными с укреплением грунта, следует проводить испытания на выщелачивание с учетом положений ГОСТ Р 52126 с целью оценки загрязняющего эффекта при выщелачивании данного материала в условиях испытаний. При выполнении работ на участках распространения болот следует учитывать положения пункта 12.16 СП 34.13330.2012 в части охраны окружающей среды.

Библиография

[1] Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах, Москва, 2004

[2]DINEN 14679:2005-7 Executionofspecialgeotechnicalworks – Deepmixing (Выполнениеспециализированныхинженерно-геологическихработ – глубинноесмешивание)

[3]CT97-0351Правилапроектирования“Euro Soil Stab” CT97-0351Project No.: BE96-3177 Development of design and construction methods to stabilize soft organic soils. DesignGuideSoftSoilStabilisation (Методы проектирования и производства работ для стабилизации слабых грунтов. Руководствопопроектированиюстабилизациислабыхгрунтов)

[4] ОДМ 218.5.003-2010 Рекомендации по применениюгеосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог

[5] ОДМ 218.7.001-2009 Рекомендации по осуществлению строительного контроля на федеральных автомобильных дорогах

[6] Строительные нормы и правила СНиП III.4-80* Техника безопасности в строительстве

[7] Строительные нормы и правила СНиП 12.03-99 Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования

[8] Правила охраны труда при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог. М., Минстрой, 1993

[9] Санитарные нормы и правила СанПиН 2.1.7.1322-03 Гигиенические требования к размещению и обеззараживанию отходов производства и потребления

[10] Временные правила охраны окружающей среды от отходов производств и потребления в РФ (Утверждены Министерством окружающей среды и природных ресурсов РФ 15.07.04)

[11] Санитарные нормы и правилаСанПиН 2.1.6.1032-01Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест

ОКС 93.100

Ключевые слова: СЛАБЫЕ ГРУНТЫ ОСНОВАНИЙ НАСЫПЕЙ, УКРЕПЛЕНИЕ ГЛУБИННЫМ СМЕШИВАНИЕМ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ

Руководитель организации-разработчика

ФГБУ «РОСДОРНИИ»
наименование организации

Генеральный директор	_____	О.Н. Ярош
должность	личная подпись	инициалы, фамилия

Пояснительная записка

к проекту окончательной редакции ОДМ «Рекомендации по применению технологии глубинного смешивания для укрепления слабых грунтов оснований земляного полотна»

1 Наименование документа – ОДМ «Рекомендации по применению технологии глубинного смешивания для укрепления слабых грунтов оснований земляного полотна».

2 Организация-разработчик – ФГБУ «РОСДОРНИИ».

3 Контактное лицо от организации-разработчика – зав. отделом геотехники и геосинтетических материалов Фомин Александр Петрович (495) 452-64-64.

4 Основание для разработки документа – государственный контракт № ФДА 47/240 от 22.11.13.

5 Краткая характеристика объекта рекомендаций (ОДМ) – Объектом рекомендаций является регламентирование требований к материалам, методов проектирования и технологии производства работ при применении технологии глубинного смешивания грунтов для обеспечения возведения земляного полотна на основаниях, сложенных слабыми грунтами.

6 Сведения о взаимодействии с техническими регламентами, национальными стандартами и стандартами организаций, согласованными Росавтодором – ОДМ не противоречит регламентам и стандартам, основывается на них, дополняет и уточняет их положения в части применения новой технологии глубинного смешивания.

7 Сведения о рассылке на отзыв и обобщенная характеристика замечаний и предложений – проект ОДМ разослан на отзыв по согласованному ФДА списку рецензентов (письмо № 05-29/4033 от 11.03.14): СибАДИ, РГСУ, ООО «ВТМ дорпроект», ООО «НордСтэбРаша». Полученные от перечисленных рецензентов замечания и предложения обобщены в прилагаемой сводке отзывов, учтены при доработке первой

редакции проекта ОДМ, в целом, с учетом замечаний и предложений, рекомендуют проект ОДМ к принятию.

Генеральный директор
ФГБУ«РОСДОРНИИ» О.Н. Ярош

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНТСТВО

(РОСАВТОДОР)

РАСПОРЯЖЕНИЕ

15.02.2016 Москва № 204-р

Об издании и применении ОДМ 218.2.063-2015 «Рекомендации по применению технологии глубинного смешивания для укрепления слабых грунтов оснований земляного полотна»

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 технологии глубинного смешивания для укрепления слабых грунтов оснований земляного полотна:

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 настоящего распоряжения ОДМ 218.2.063-2015 «Рекомендации по применению технологии глубинного смешивания для укрепления слабых грунтов оснований земляного полотна» (далее – ОДМ 218.2.063-2015).

2. Управлению научно-технических исследований и информационного обеспечения (А.В. Бухтояров) в установленном порядке обеспечить издание ОДМ 218.2.063-2015 и направить его в подразделения и организации, указанные в пункте 1 настоящего распоряжения.

3. Контроль за исполнением настоящего распоряжения возложить на заместителя руководителя И.Г. Астахова.

Руководитель Р.В. Старовойт

gost.e-ecolog.ru

О.В. Каширина
(495) 687-88-23 доб. 50-271