ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ



МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТРОЙСТВУ ВИБРОУПЛОТНЯЕМЫХ СВАЙ ИЗ НЕОРГАНИЧЕСКИХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ОСНОВАНИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ДОРОЖНОЕ АГЕНСТВО (РОСАВТОДОР)

MOCKBA 2022

Предисловие

- 1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Геолайт» (ООО «Геолайт»).
- 2 ВНЕСЕН Управлением научно-технических исследований, информационных технологий и хозяйственного обеспечения Федерального дорожного агентства.
- 3 ИЗДАН на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от _______-р.
 - 4 НОСИТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.
 - 5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	6
4 Обозначения и сокращения	7
5 Общие положения	7
6 Рекомендации по инженерным изысканиям	9
7 Рекомендации по выбору материалов	12
8 Рекомендации по проектированию ВСНСМ	13
9 Технология производства работ по устройству ВСНСМ	25
10 Контроль качества и правила приемки выполненных работ	36
11 Безопасность при производстве работ	38
12 Охрана окружающей среды	399
Приложение А (справочное) Пример расчетного обоснования в программ	ной
системе конечно-элементного анализа	41
Приложение Б (справочное) Пример расчетного обоснования	51
Приложение В (рекомендуемое) Пример паспорта ВСНСМ	58
Приложение Г (справочное) Пример расчета технико-экономического	
сравнения вариантов укрепления основания земляного полотна	59
Библиография	67

ОТРАСЛЕВОЙ ДОРОЖНЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

Методические рекомендации по устройству виброуплотняемых свай из неорганических сыпучих материалов в основании земляного полотна автомобильных дорог

1 Область применения

Настоящий отраслевой дорожный методический документ распространяется на проектирование, строительство, реконструкцию, капитальный ремонт автомобильных дорог всех категорий в различных дорожно-климатических зонах и содержит положения по применению виброуплотняемых свай из неорганических сыпучих материалов в сложных инженерно-геологических условиях распространения специфических грунтов.

Настоящий методический документ содержит рекомендации по инженерно-геологическим изысканиям, проектированию, технологии строительства и к выбору материалов виброуплотняемых свай.

Рекомендации направлены на обеспечение безопасности автомобильных дорог за счёт повышения несущей способности основания и устойчивости земляного полотна.

Настоящие рекомендации не распространяются на строительство в условиях распространения вечномерзлых грунтов.

Вопросы сейсмического воздействия и их учет в настоящем методическом документе не рассматриваются.

2 Нормативные ссылки

В настоящем отраслевом дорожном методическом документе использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 12.1.004-91. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования

ГОСТ 12.1.046-2014. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Строительство. Нормы освещения строительных площадок

ГОСТ 17.4.3.02-85 (СТ СЭВ 4471-84). Государственный стандарт Союза ССР. Охрана природы. Почвы. Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ

ГОСТ 17.5.3.05-84. Государственный стандарт Союза ССР. Охрана природы. Рекультивация земель. Общие требования к землеванию

ГОСТ 5180-2015. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик

ГОСТ 8267-93. Межгосударственный стандарт. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 8736-2014. Межгосударственный стандарт. Песок для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 12248.1-2020. Межгосударственный стандарт. Грунты. Определение характеристик прочности методом одноплоскостного среза

ГОСТ 12248.4-2020. Межгосударственный стандарт. Грунты. Определение характеристик деформируемости методом компрессионного сжатия

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

ГОСТ 20276.1-2020. Межгосударственный стандарт. Грунты. Метод испытания штампом

ГОСТ 23735-2014. Межгосударственный стандарт. Смеси песчаногравийные для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 25100-2020. Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация

ГОСТ 25584-2016. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации

ГОСТ 31357-2007. Межгосударственный стандарт. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия

ГОСТ 32703-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и гравий из горных пород. Технические требования

ГОСТ 32730-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Песок дробленый. Технические требования

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

ГОСТ 32824-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Песок природный. Технические требования

ГОСТ 32826-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Щебень и песок шлаковые. Технические требования

ГОСТ 32836-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Изыскания автомобильных дорог. Общие требования

ГОСТ 32847-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению экологических изысканий

ГОСТ 32867-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Организация строительства. Общие требования

ГОСТ 32868-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению инженерногеологических изысканий

ГОСТ 32869-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению топографогеодезических изысканий

ГОСТ 32960-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения

ГОСТ 33149-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Правила проектирования автомобильных дорог в сложных условиях

ГОСТ 33177-2014. Межгосударственный стандарт. Дороги автомобильные общего пользования. Требования к проведению инженерногидрологических изысканий

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

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

ГОСТ Р 58326-2018. Национальный стандарт Российской Федерации. Грунты. Метод лабораторного определения параметров переуплотнения

ГОСТ Р 58350-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Технические средства организации дорожного движения в местах производства работ. Технические требования. Правила применения

ГОСТ Р 58397-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Правила производства работ. Оценка соответствия

ГОСТ Р 58770-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-песчаные шлаковые. Технические условия

ГОСТ Р 58770-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси щебеночно-песчаные шлаковые. Технические условия

ГОСТ Р 59205-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Охрана окружающей среды. Технические требования

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

СП 11-103-97 Инженерно-гидрометеорологисекие изыскания для строительства

СП 11-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства

СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть І. Общие правила производства работ

СП 22.13330.2016. Свод правил. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*

СП 24.13330.2021. Свод правил. Свайные фундаменты. СНиП 2.02.03-85

СП 34.13330.2021. Свод правил. Автомобильные дороги. СНиП 2.05.02-85*

СП 47.13330.2016. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96

СП 448.1325800.2019. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства в районах распространения просадочных грунтов. Общие требования

СП 449.1325800.2019. Свод правил. Инженерные изыскания для строительства в районах распространения набухающих грунтов. Общие требования

Примечание — При пользовании настоящим документом целесообразно проверить действия ссылочных стандартов и сводов правил — на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет или ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Действие сводов правил можно проверить в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании

настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем отраслевом дорожном методическом документе применяются следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

слабый грунт: Связный грунт, имеющий 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).

[ГОСТ 33149 - 2014 пункт 3.35]

3.2

специфические грунты: Грунты, изменяющие свою структуру и свойства в результате замачивания, динамических нагрузок и других внешних воздействий, обладающие неоднородностью и анизотропией, склонные к длительным изменениям структуры и свойств во времени.

[ГОСТ 33149 - 2014 пункт 3.36]

3.3

просадочный грунт: Грунт, который под действием внешней нагрузки и/или собственного веса при замачивании водой имеет относительную деформацию просадочности $\varepsilon_{sl} \ge 0.01$.

[ГОСТ 25100-2020 пункт 3.33]

3.4 виброуплотняемые сваи из неорганических сыпучих материалов (ВСНСМ): Вертикальные конструкции из сваеобразующего материала, устраиваемые в специфических грунтах путем вытеснения грунта вибропогружением и последующим виброуплотнением.

3.5 **сваеобразующий материал (СМ):** Неорганические сыпучие материалы (щебень, гравий, песок, а также их смеси и песчано-цементные смеси), используемые для устройства ВСНСМ.

3.6

свайное поле: Большая группа свай, объединенных общим ростверком, передающая нагрузку на основание от системы колонн или опор.

[СП 24.13330.2021, статья 3.11]

3.7

ростверк: Распределительная балка или плита, объединяющая головы свай и перераспределяющая на них нагрузку от вышерасположенных конструкций.

[СП 24.13330,2021 статья 3.11]

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

4 Обозначения и сокращения

В настоящем методическом документе применяются следующие обозначения и сокращения:

BCHCM: виброуплотняемые сваи из неорганических сыпучих материалов.

СМ: сваеобразующий материал.

ИГИ: инженерно-геологические изыскания.

ПД: проектная документация.

ППР: проект производства работ.

РД: рабочая документация.

5 Общие положения

5.1 BCHCM рекомендуется применять на слабых грунтах согласно ГОСТ 33149.

- 5.2 Применение BCHCM допускается на просадочных, набухающих и засоленных грунтах при учете специфики грунтов с проведением соответствующих дополнительных расчетов.
- 5.3 К числу слабых грунтов следует относить такие разновидности дисперсных связных грунтов, как органические (торфы, органосапропели), болотный органоминеральные (органоминеральные сапропели, мергель, заторфованные грунты) И минеральные (илы, мокрые солончаки, переувлажненные глинистые грунты, иольдиевые глины). При отсутствии данных испытаний к слабым грунтам следует относить торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции свыше 0,5, иольдиевые глины, мокрые солончаки.
 - 5.4 ВСНСМ предназначены для:
 - повышения устойчивости основания;
- ускорения достижения допустимой интенсивности осадки за счет уменьшения сжимаемости ускорения консолидации;
- передачи действующей нагрузки на слои грунта, обладающие высокими физико-механическими показателями;
- уменьшения влияния динамического воздействия от транспортной нагрузки;
 - понижения уровня грунтовых вод.
- 5.5 ВСНСМ по способу заглубления в грунт являются набивными, устраиваемыми путем вытеснения специфического грунта с заполнением образованной скважины СМ и одновременным послойным виброуплотнением.
- 5.6 ВСНСМ устраиваются с использованием способа глубинного объемного вибрационного воздействия на уплотняемый СМ на проектную глубину до слабодеформируемых грунтов виброуплотняющим оборудованием в виде направляющей колонны с заостренным концом.
- 5.7 Основной принцип усиления основания ВСНСМ заключается в снижении деформативности грунтов в околосвайном пространстве, в

результате формирования композитной системы грунт/СМ с повышенной несущей способностью и улучшенными деформационными характеристиками.

- 5.8 ВСНСМ на слабых грунтах обеспечивают уплотнение межсвайного пространства; вертикальный дренаж по глубине свай и ускорение процесса консолидации основания. ВСНСМ ускоряют рассеивание избыточного порового давления, возникающего при загружении основания.
- 5.9 Для передачи нагрузки на укрепленный грунтовый массив в основании насыпи необходимо предусмотреть устройство гибкого ростверка из геосинтетических материалов согласно [1], [2], а при необходимости жесткого ростверка в виде монолитной бетонной или железобетонной плиты в соответствии с СП 24.13330.
- 5.10 Параметры ВСНСМ и свайного поля определяются расчетом согласно разделу 8 настоящих рекомендаций с учетом характеристик специфических грунтов, СМ и высоты насыпи.
- 5.11 На слабых грунтах для обеспечения производства работ и безопасного размещения машин рекомендуется предусматривать технологический слой не менее 0,5 м, в том числе путем замены грунта.
- 5.12 Решение по устройству ВСНСМ должно приниматься на основе предпроектного технико-экономического сравнения альтернативных подходов замены слоя специфического грунта и усиления слабых оснований путем оценки несущей способности грунта под воздействием эксплуатационной нагрузки.
- 5.13 При устройстве ВСНСМ в охранной зоне инженерных коммуникаций в пределах трассы или площадки проектируемого сооружения рекомендуются провести дополнительную оценку возможности производства работ.

6 Рекомендации по инженерным изысканиям

6.1 При выполнении инженерных изысканий следует руководствоваться положениями ГОСТ 32836, ГОСТ 32847, ГОСТ 32868, ГОСТ 32869, ГОСТ 33177, СП 47.13330, СП 11-102, СП 11-103, СП 11-104, СП 11-105, СП

- 448.1325800, СП 449.1325800, которые регламентируют их проведение в сложных инженерно-геологических условиях.
- 6.2 Особое внимание необходимо обратить на проведение ИГИ в сложных инженерно-геологических условиях, представленных специфическими грунтами, указанными в 5.1, 5.2.
- 6.3 На стадии разработки предпроектных решений необходимо проводить работы по инженерно-геологическим выработкам на полную мощность слабого грунта с заглублением в нижележащие прочные грунты на глубину не менее 1 м. Мощность исследуемых грунтов должна превышать сжимаемую толщу (активную зону).
- 6.4 Полевые исследования просадочных грунтов следует выполнять статического зондирования, штамповых испытаний. посредством Для исследования набухающих следует проводить грунтов статическое зондирование для выделения в толще отдельных слоев набухающих грунтов, характеризующихся различной прочностью и плотностью, и для оценки пространственной изменчивости свойств.
- 6.5 Ha стадии рабочей документации рекомендуется продолжать наблюдения за динамикой опасных геологических процессов и режимом подземных необходимости (сокращать) вод, при следует развивать наблюдательную сеть, изменять частоту наблюдений, оценивать необходимость их продолжения в период строительства и по его окончании, обосновывая рекомендации в отчете об изысканиях.
- 6.6 При реконструкции и капитальном ремонте в процессе ИГИ следует устанавливать проявление подтопления, заболачивания, осадок земляного полотна и другие факторы, обусловливающие изменения геологической среды или являющиеся их следствием.
- 6.7 Результаты инженерных изысканий должны содержать данные, необходимые для оценки влияния технологических процессов на расчетные нагрузки, передаваемые на ВСНСМ и грунты межсвайной зоны, с учетом

прогноза возможных изменений (в процессе строительства) инженерногеологических и гидрогеологических условий площадки строительства.

- 6.8 Лабораторные испытания грунтов проводятся с учетом требований ГОСТ 12248.4, ГОСТ Р 54477, ГОСТ Р 54476.
- 6.9 Компрессионные испытания выполняются с разгрузкой для получения данных по второй ветви компрессионной кривой. Определение давления предварительного уплотнения производится в соответствии с ГОСТ Р 58326.
- 6.10 Консолидационные испытания грунта выполняются под расчетной нагрузкой после первой ступени при бытовом давлении. Испытания проводятся отдельно от компрессионных испытаний по определению модуля деформации. Коэффициент консолидации определяется для вертикально- и горизонтально-ориентированного положения образца.
- 6.11 Компрессионно-фильтрационные испытания производятся для двух состояний образца: при бытовом давлении и давлении от расчетной нагрузки в соответствии с ГОСТ 25584. При отсутствии данных о расчетной нагрузке или переменном ее значении выполняются испытания для нескольких вариантов нагрузки. Допускается определение коэффициента фильтрации в трехосных приборах.
- 6.12 Характеристики грунтов, непосредственно входящие в расчет, рекомендуется определять в соответствии с методами, указанными в таблице 1. 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 1 – Перечень физико-механических характеристик грунтов

основания для устройства ВСНСМ

Условные	Наименование характеристики	Единицы	Метод
обозначения		измерения	определения
E	Модуль деформации	кПа	ГОСТ 20276.1
φ	Угол внутреннего трения	град.	ГОСТ 12248.1
C	Сцепление	кПа	ГОСТ 12248.1
ρ	Плотность грунта	г/см ³	ГОСТ 5180
γ	Удельный вес грунта	кH/м ³	ГОСТ 5180
W	Влажность грунта	%	ГОСТ 5180
S	Коэффициент водонасыщенности		ГОСТ 25100
	(степень влажности)		
e	Коэффициент пористости		ΓΟCT 25100
J_p	Число пластичности	%	ΓΟCT 25100
J_l	Показатель текучести		ГОСТ 25100
J_0	Начальный градиент напора		ГОСТ 25584
K_{Φ}	Коэффициент фильтрации	м/сут	ГОСТ 25584
$C_{v_{\mathrm{B}}}$	Коэффициент консолидации при	см ² /мин	ГОСТ 12248.4
	вертикальной фильтрации		
$C_{v_{\Gamma}}$	Коэффициент консолидации при	см ² /мин	ГОСТ 12248.4
	горизонтальной фильтрации		
$C_{\rm a}$	Коэффициент вторичной консолидации		ГОСТ 12248.4

7 Рекомендации по выбору материалов

- 7.1 Материалом для устройства BCHCM является сваеобразующий материал щебень и гравий из горных пород, песок дробленый и природный, песчано-гравийная смесь, песчано-цементная смесь.
 - 7.2 СМ должны соответствовать следующим требованиям:
- щебень должен соответствовать требованиям ГОСТ 32703, ГОСТ 32826. Размер фракций щебня должен быть до 45 мм.;
- песок должен соответствовать требованиям ГОСТ 32824, ГОСТ 32730 и ГОСТ 32826. Рекомендуется использоваться песок, относящийся к группе очень крупный, повышенной крупности, крупный и средний с наличием пылеватых и глинистых частиц не более 5%;
- смеси с применением песка, щебня и гравия (щебеночно-песчаная смесь, гравийно-песчаная смесь, песчано-гравийная смесь, щебеночно-гравийно-песчаная смесь) должны соответствовать ГОСТ Р 58770;
- песчано-цементная смесь должна соответствовать требованиям ГОСТ 31357. В составе песчано-цементной смеси рекомендуется применять

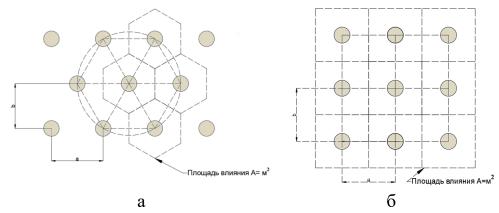
- песок с полимерно-минеральной добавкой на цементном вяжущем согласно требованиям предприятия-изготовителя.
- модуль деформации СМ должен более, чем в 10 раз превосходить компрессионный модуль грунта слабого основания;
 - коэффициент фильтрации СМ должен составлять не менее 6 м/сут.
- 7.3 Геосинтетический материал гибкого ростверка должен соответствовать требованиям [2].
- 7.4 В качестве материала технологического слоя и для засыпки гибкого ростверка следует использовать гравий и щебень по ГОСТ 32703, ГОСТ 32826, песок по ГОСТ 32824, ГОСТ 32826 с коэффициентом фильтрации не менее 3 м/сут.

8 Рекомендации по проектированию ВСНСМ

8.1 Основные положения

- 8.1.1 При проектировании BCHCM необходимо обеспечить их совместную работу с массивом грунта, а также равномерную передачу нагрузок от насыпи на основание.
- 8.1.2 Основными параметрами ВСНСМ являются: шаг, схема расстановки, длина, диаметр.
- 8.1.3 Значения диаметра BCHCM устанавливают в диапазоне от 0,8 до 1,5 м по расчету в соответствии с 8.1.12.
- 8.1.4 В прослойках слабых грунтов допускается выполнять ВСНСМ переменного сечения с увеличением диаметра.
- 8.1.5 Длина ВСНСМ определяется исходя из мощности слоя специфических грунтов. Как правило, ВСНСМ должны проходить толщу специфических грунтов с опиранием на более прочные грунты.
- 8.1.6 При отсутствии во вскрытых скважинах слоев пригодных для опирания, либо при расположении данных слоев на значительной глубине, следует принимать длину ВСНСМ из расчета глубины сжимаемой толщи от проектных нагрузок. Проектная длина ВСНСМ должна превышать глубину сжимаемой толщи не менее чем на 1,5 м.

8.1.7 Шаг ВСНМС устанавливается по расчету в диапазоне от 1,5 м до 3,5 м для обеспечения совместной работы с укрепляемым грунтовым массивом. Применяют треугольную и прямоугольную схему расстановки ВСНСМ (рисунок 1).



- а) треугольная схема расстановки; б) прямоугольная схема расстановки Рисунок 1 – Схема расстановки ВСНСМ
- 8.1.8 Площадь влияния представляет собой зону, в которой происходит усиление физико-механических характеристик грунта. За площадь влияния принимается площадь круга, равновеликого по площади квадратному или шестиугольному элементу сетки. При расположении свай по прямоугольной схеме расстановке эффективный диаметр равен 1,13, а по треугольной схеме расстановке -1,05 шага свай.
- 8.1.9 Расчетная ширина усиления грунтового массива B_u (рисунок 3), по формуле (2) включает в себя зону приложения нагрузок вышележащих конструкций и зону усиления, которая не подвержена действию вертикальных нагрузок b_u , предварительно определяемую по формуле (1):

$$b_u = 0.5 + k \cdot H \tag{1}$$

где k – коэффициент, зависящий от крутизны откоса насыпи (1:m):

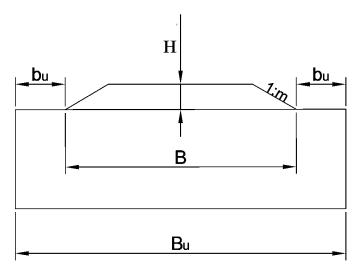
до 1:4 ° k=0,05

от 1:4 до 1:3 k=0,08

от 1:2 до 1:1,5 k=0,15

от 1:1,5 до 1:1 k=0,2

Н – высота насыпи, м.



В – расчетная ширина приложения нагрузки; В_и – расчетная ширина усиления ВСНСМ;

b_u – зона усиления, не подверженная действию вертикальных нагрузок
 Pисунок 2 – Расчетная ширина усиления грунтового массива

$$B_u = B + 2 \cdot b_u \tag{2}$$

где B – расчетная ширина приложения нагрузки, определяемая как ширина насыпи понизу, м

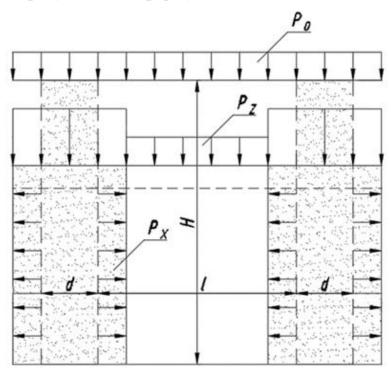
- 8.1.10 Окончательное значение расчетной ширины усиления грунтового массива определяется по результатам расчета исходя из обеспечения необходимого коэффициента устойчивости.
 - 8.1.11 Проектная документация должна содержать:
 - план расстановки с нумерацией и привязкой ВСНСМ;
- характерные поперечные разрезы с указанием инженерногеологических элементов, зоны укрепления грунта ВСНСМ, проектные отметки верха и низа ВСНСМ, проектные отметки рабочей платформы и ростверка, габариты насыпи;
- обоснование проектных параметров: диаметра, шага и длины BCHCM, границы укрепляемого грунтового массива;
- расчетное обоснование, которое включает в себя расчет устойчивости основания под воздействием эксплуатационной нагрузки, расчет величины конечной осадки, времени консолидации основания и расчет устойчивости откосов насыпи;

- характеристики укрепленного основания (прочностные и деформационные);
- спецификации, включающие характеристики и общее количество ВСНСМ с объемом СМ;
- технологическую часть, включающую основные параметры машин и оборудования, описание последовательности производства работ, требования к параметрам уплотнения, методам контроля качества и порядок испытаний укрепленного основания.
- 8.1.12 Расчетное обоснование выполняют аналитическими методами в соответствии с 8.2 8.5 с учетом [3], [4] или численными методами с использованием специализированных программных комплексов. Приоритетным является расчет численными методами.
- 8.1.13 Границы расчетной схемы не должны оказывать влияния на результаты расчетов устойчивости и должны учитывать области пластических деформаций. Нижнюю границу расчетной схемы допускается принимать не менее половины ширины насыпи понизу.
- 8.1.14 Расчет насыпей автомобильных дорог на слабых грунтах основания рекомендуется производить с учетом требований [5].
- 8.1.15 Пример расчетного обоснования параметров ВСНСМ методом конечных элементов, выполненного с применением специализированного программного комплекса представлен в приложении А. Пример расчетного обоснования аналитическим методом представлен в приложении Б.

8.2 Расчет устойчивости основания

- 8.2.1 Расчет устойчивости основания включает оценку прочности грунта основания на сдвиг с определением возможной степени развития в основании областей пластических деформаций и бокового выдавливания.
- 8.2.2 При выполнении первоначального расчета рекомендуется задаться минимальными значениями диаметра (0,8 м), и максимальными значениями шага (3,5 м) ВСНСМ. В случае если полученные расчетные значения ниже требуемых, необходимо откорректировать диаметр и шаг ВСНСМ.

8.2.3 Устойчивость основания с BCHCM оценивается коэффициентом стабильности $K_{\text{стаб}}$, определяемым для осевого сечения в соответствии с расчетной схемой (рисунок 3) по формуле (3):



d- диаметр BCHCM, H — длина BCHCM, l — расстояние между BCHCM, P_0 — напряжения от воздействия насыпи, P_x - горизонтальные напряжения от бокового обжатия слабого грунта сваями в ходе осадки основания, P_x -горизонтальные напряжения от бокового обжатия слабого грунта сваями в ходе осадки основания, к Π a

Рисунок 3 – Расчетная схема ВСНСМ

$$K_{cra6} = \frac{2 \cdot c \cdot \cos \varphi}{(P_z - P_x - P') - (P_z + P_x + P') \sin \varphi}$$
(3)

где: c— сцепление грунта межсвайного пространства при расчетной плотности-влажности, к Π а;

 φ — угол внутреннего трения грунта межсвайного пространства при расчетной плотности-влажности, град.;

 P_z — вертикальные напряжения в грунте межсвайного пространства, кПа;

 P_{x} — горизонтальные напряжения от бокового обжатия слабого грунта сваями в ходе осадки основания, к Π а;

P'— предварительное обжатие слабого грунта, возникающее при внедрении свай, к Π а.

- 8.2.4 Расчет производится непосредственно для грунтов основания насыпи земляного полотна. Для расчета без учета ВСНСМ необходимо исключить из формулы P', так как оно возникает непосредственно при устройстве ВСНСМ.
 - 8.2.5 Устойчивость считается обеспеченной при $K_{cra6} \ge 1$.
- 8.2.6 Величины предварительного обжатия P' определяют по компрессионной кривой при ИГИ в соответствии с ГОСТ 12248.4, как напряжение необходимые для уменьшения коэффициента пористости грунта в природном залегании от величины e_0 до величины e_1 , отвечающей пористости грунта, уплотненного в результате устройства ВСНСМ, и определяется по формуле (4):

$$e_1 = e_0 - \frac{(l+e_0)m^2}{(l+m)^2} \tag{4}$$

где: e_1 – коэффициент пористости уплотненного при устройстве ВСНСМ грунта;

 e_0 - коэффициент пористости грунта в природном залегании;

m — сближение свай, определяемое по формуле (5)

$$m = \frac{d}{l} \tag{5}$$

где:

d – диаметр ВСНСМ, м;

l – шаг сетки ВСНСМ, м.

- 8.2.7 Вертикальные P_z и горизонтальные P_x напряжения в основании со сваями определяют в соответствии с [3], [4] и с учетом требований СП 22.13330.
- 8.2.8 При возможном нарушении устойчивости основания по фиксированной поверхности скольжения рекомендуется выполнять расчет сопротивления сдвигу в соответствии с [3], [4].

8.3 Расчет величины конечной осадки

8.3.1 Конечная осадка основания земляного полотна под эксплуатационной нагрузкой рассчитывается методом послойного

суммирования в активной зоне основания с учетом конечных значений прочностных характеристик грунтов и приведенного модуля деформации каждого слоя армированного основания по формуле (6):

$$s = \beta \sum_{i=1}^{n} \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i})h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^{n} \frac{\sigma_{z\gamma,i}h_i}{E_{B,i}}, \tag{6}$$

где: β –коэффициент, равный 0,8;

 $\sigma_{zp,i}$ - среднее значение вертикального нормального напряжения от внешней нагрузки в i-м слое по вертикали, проходящей через центр подошвы основания, к Π а;

 $\sigma_{z\gamma,i}$ - среднее значение вертикального напряжения в *i*-м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы основания, от собственного веса выбранного при отрывке котлована грунта, к Π а;

 h_i -толщина i-го слоя грунта, см, принимаемая не более 0,4 ширины основания;

 E_i - модуль деформации i-го слоя грунта по ветви первичного нагружения, к Π а:

 $E_{{\mbox{\tiny B}},i}$ — модуль деформации i-го слоя грунта по ветви вторичного нагружения, к Π а.

п- число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

- 8.3.2 Конечная осадка должна определяться для каждого характерного поперечного разреза основания, определяемых по данным ИГИ, на проектируемом участке автомобильной дороги.
- 8.3.3 Допустимая суммарная осадка основания в период эксплуатации и интенсивность осадки определяется с учетом требований СП 34.13330.
- 8.3.4 В случае превышения допустимой осадки, полученной в расчетах, необходимо увеличить модуль деформации укрепленного массива за счет увеличения диаметра ВСНСМ и/или уменьшения их шага.

8.4 Расчет времени консолидации

8.4.1 Прогноз хода осадки на участке первичной фильтрационной консолидации выполняют по формуле (7):

$$T_u = \frac{N_u \cdot H_{\Phi}^2}{C_u} + T_{\beta \Phi},\tag{7}$$

где: T_u – время достижения заданной степени консолидации U_t , сут;

 N_u — коэффициент, зависящий от степени консолидации и устанавливаемой по таблице 2;

 H_{Φ} – путь фильтрации воды из слоя, м;

 C_u — коэффициент консолидации, определяемый непосредственно по консолидационным испытаниям (при отсутствии данных принимать U=50% от фильтрационной консолидации по формуле (8)), см²/мин:

$$C_u = \frac{N_u \cdot H_{\phi}^2}{t_u} \tag{8}$$

где:

 $T_{д\varphi}$ — время дофильтрационной консолидации, определяемое по формуле (9), сут.:

$$T_{\mu\phi} = \frac{0.02 \cdot H_{\Phi}^2}{C_{U=5\%}} \tag{9}$$

 Таблица 2 — Значения коэффициента N_u в зависимости от степени консолидации U

<i>U</i> , %	N_u	<i>U</i> , %	N_u
20	0,03	70	0,40
30	0,07	80	0,40 0,57
40	0,12	85	0,69
50	0,20	90	0,69 0,85
60	0,29	95	1,13

8.4.2 Пути фильтрации воды в горизонтальном направлении при расчёте времени консолидации принимаются как расстояния между сваями в свету.

8.4.3 Степень консолидации основания с ВСНСМ определяют по формуле (10):

$$U_{\text{общ}} = 100 - 0.01(100 - U_{\text{r}})(100 - U_{\text{B}}) \tag{10}$$

где:

 $U_{\rm r}$ – то же при горизонтальной фильтрации воды (к сваям);

 $U_{\rm B}$ - степень консолидации основания при вертикальной фильтрации воды из основания;

Величины $U_{\rm B}$ и $U_{\rm \Gamma}$ устанавливают по графикам (рисунок 4).

Величину фактора времени, необходимую для определения $U_{\rm B}$, рассчитывают по формуле (11):

$$T_{\rm B} = \frac{C_{\nu \rm B} \cdot T}{H_{\Phi}^2} \tag{11}$$

где: $C_{v_{\rm B}}$ – коэффициент консолидации при вертикальной фильтрации;

Т- требуемый срок консолидации, сут.;

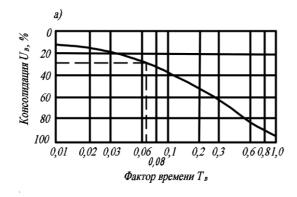
 $T_B > 2$ (степень консолидации больше 90%);

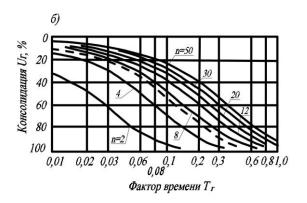
 $T_B < 10^{-4}$ (степень консолидации меньше 1 %).

8.4.4 Фактор времени, необходимый для определения U_{Γ} , определяют по формуле (12):

$$T_{\rm r} = \frac{C_{vr} \cdot T}{l^2} \tag{12}$$

где: C_{vr} – коэффициент консолидации грунта при горизонтальной фильтрации.





а)вертикальная консолидация б) горизонтальна консолидация п – отношение расстояния между ВСНСМ в свету к их диаметру Рисунок 4 – Графики зависимости степени консолидации от времени 8.4.5 На участке вторичной фильтрационной консолидации прогноз осадки во времени осуществляют по формуле (13):

$$T_{u_2} = (t_{u_2} - t_{\mathsf{A}\Phi}) \left(\frac{H_{\Phi}}{h_{\Phi}}\right)^n \tag{13}$$

где: T_{u_2} , t_{u_2} — время завершения заданной степени консолидации соответственно слоя и образца, сут.;

 $t_{\mathrm{д} \Phi}$ – время завершения дофильтрационной консолидации образца,

сут.;

 h_{Φ} – путь фильтрации воды из образца, м.;

п – показатель консолидации, изменяющейся от 2 до 0,
 определяемый по рисунку 5 в зависимости от числа пластичности и консистенции грунта или по результатам испытаний образцов с разными условиями фильтрации

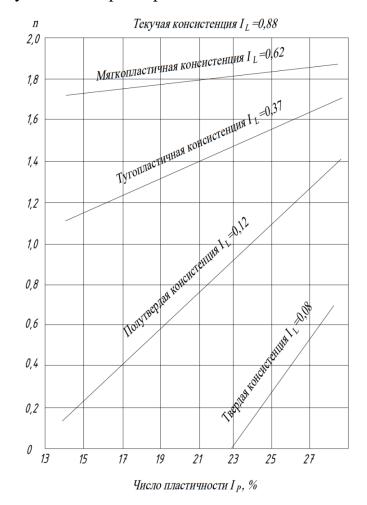


Рисунок 5 — Зависимость показателя консолидации от числа пластичности грунта и его консистенции

- 8.4.6 В случае превышения времени консолидации, допустимой проектом, необходимо увеличить количество свай или обеспечить дополнительный пригруз проектируемой насыпи на время производства строительных работ.
 - 8.5 Расчёт устойчивости откосов земляного полотна
- 8.5.1 Расчет устойчивости откосов насыпей земляного полотна под воздействием эксплуатационной нагрузки выполняется в два этапа:

- первый этап прогноз устойчивости до начала строительства;
- второй этап прогноз устойчивости с учетом повышения устойчивости слабого основания за счет его упрочнения BCHCM.
- 8.5.2 Устойчивость откосов следует оценивать по схеме круглоцилиндрических поверхностей скольжения с расчетом коэффициента устойчивости при наиболее опасной призме обрушения.
- 8.5.3 Расчет устойчивости откосов, основанный по схеме круглоцилиндрических поверхностей скольжения, выполняют путем 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 по формуле (14):

$$K_{S} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [N_{i} \cdot tg\varphi_{i} + c_{i} \cdot l_{i} + Q_{i-yA}] \cdot \frac{\cos\varphi_{i}}{\cos(\alpha_{i} - \varphi_{i})}}{\sum_{i=1}^{i=n} Q_{i-cA} \cdot \frac{\cos\varphi_{i}}{\cos(\alpha_{i} - \varphi_{i})}}$$
(14)

где: N_i – нормальная составляющая от веса блока, кH;

 φ_i – угол внутреннего трения грунта в каждом блоке, град.;

 $c_i \cdot l_i$ - сила сцепления, кПа·м;

 $Q_{i-yд}$, $Q_{i-cд}$ — тангенциальные силы соответственно удерживающая и сдвигающая составляющие от веса блока, кH;

 α_i – угол наклона поверхности скольжения блока к горизонту, град.

- 8.5.4 Требуемый коэффициент устойчивости откосов насыпи устанавливается в соответствии с СП 34.13330 не менее 1,3.
- 8.5.5 В случае недостаточного коэффициента устойчивости проектируемой насыпи необходимо увеличить ширину усиления массива грунта ВСНСМ, либо увеличить характеристики укрепляемого грунта основания за счет увеличения диаметра и уменьшения шага ВСНСМ, а также дополнительного армирования геосинтетическими материалами.
- 8.6 Расчет физико-механических характеристик усиленного грунта, необходимых для контроля качества строительно-монтажных работ
- 8.6.1 Расчетный модуль деформации определяется для каждого характерного поперечного разреза основания на проектируемом участке

автомобильной дороги как параметр, необходимый для контроля качества при проведении строительно-монтажных работ.

8.6.2 Расчетный модуль деформации \bar{E} определяется по формуле (15):

$$\bar{E} = m' \cdot E_c + (1 - m')E \tag{15}$$

где:

 E_c – модуль деформации свайного материала, МПа.;

Е- модуль деформации грунта основания, МПа;

m' – пропорциональный параметр, определяемый по формуле (16)

$$m' = (\bar{n} - 1)/\bar{n} \tag{16}$$

где:

 \bar{n} – коэффициент усиления, определяемый по формуле (17):

$$\bar{n} = 1 + \frac{A_c}{A} \cdot \left(\frac{5 - \frac{A_c}{A}}{4K_{ac} \cdot \left(1 - \frac{A_c}{A}\right)} - 1 \right)$$

$$\tag{17}$$

где:

 A_c – площадь поперечного сечения ВСНСМ, м²;

A – площадь влияния BCHCM (эффективный диаметр), M^2 ;

 K_{aC} — коэффициент активного давления ВСНСМ, определяемый по формуле (18):

$$K_{aC} = tan^2(45^\circ - \varphi_c/2) \tag{18}$$

где:

 $arphi_c$ — угол внутреннего трения свайного материала, град.;

8.6.3 Сцепление усиленного массива грунта определяется по формуле (19):

$$\bar{c} = (1 - m') \cdot \gamma \tag{19}$$

где:

 \bar{c} — сцепление усиленного массива, к Π а;

 γ – удельный вес грунта основания, к H/M^3 ;

$$\tan \bar{\varphi} = m' \cdot \tan \varphi_c + (1 - m') \tan \varphi \tag{20}$$

где:

 $ar{arphi}$ — угол внутненнего трения усиленного грунта, град.;

ф – угол внутреннего трения грунта основания

8.6.4 Коэффициент фильтрации после внедрения ВСНСМ определяется по формуле (21):

$$\overline{K}_{\Phi} = K_{\Phi} \cdot \exp(\frac{\overline{e} - e}{C_{k}}) \tag{21}$$

где: \overline{K}_{Φ} - коэффициент фильтрации после внедрения ВСНСМ, м/сут.;

- K_{ϕ} коэффициент фильтрации грунта в природном залегании, м/сут.;
- e пористость грунта в природном залегании;
- \bar{e} –пористость грунта после внедрения ВСНСМ;
- C_k коэффициент, учитывающий изменение фильтрационных свойств грунта в процессе сжатия определяется в соответствии с ГОСТ 25584.

9 Технология производства работ по устройству ВСНСМ

9.1 Подготовительные работы

- 9.1.1 Подготовка к строительству должна обеспечить возможность планового развертывания и выполнения строительных работ.
- 9.1.2 При выполнении работ по устройству ВСНСМ следует соблюдать требования проектной документации и документов стандартизации, в том числе по технике безопасности и производственной санитарии.
- 9.1.3 Организация и производство работ должны соответствовать требованиям ГОСТ 32867, ГОСТ Р 58350.
- 9.1.4 При производстве работ круглосуточно, если это предусмотрено ПД и ППР, необходимо обеспечить среднюю освещенность на строительной площадке и участке работ в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.046.
- 9.1.5 При производстве работ в зимнее время, если это предусмотрено ПД и ППР, работы необходимо выполнять в соответствии с приложением Л СП 45.13330.2017.
- 9.1.6 Перед началом работ при строительстве следует выполнить следующие подготовительные работы:
- установка временных технических средств организации дорожного движения согласно ГОСТ Р 58350;
- расчистка строительной площадки от растительности (деревья, пни, кустарник и т.п.) и складирование, в места определенные проектом;
 - снятие толщи слабого слоя (если это предусмотрено ПД и ППР);
 - устройство временных подъездных дорог;
 - формирование рабочей платформы;

- устройство технологического заезда;
- доставка виброуплотняющего оборудования;
- геодезические разбивочные, по закреплению в натуре границ траншеи выторфовки (при необходимости);
 - устройство технологического слоя;
 - устройство приобъектных площадок для складирования СМ;
 - разметка сетки устройства свай;
- подготовка всех участвующих в технологическом процессе машин и механизмов.
- 9.1.7 Технологический слой устраивают в соответствии с ПД и ППР. Технологический слой должен обеспечивать безопасную работу технологического оборудования по устройству ВСНСМ.
- 9.1.8 Для пропуска машин и оборудования большой массы при устройстве ВСНСМ в ПД и ППР может быть предусмотрено устройство подъездных и внутриплощадочных дорог из сборных железобетонных плит или полимерных композитных плит.
- 9.1.9 Необходимо предусмотреть выполнение опытных работ. На основе изготовления ВСНСМ на опытных участках определяются требуемые показатели технического оборудования, при которых сваи достигают слабодеформируемые слои грунта в соответствии с РД.
- 9.1.10 Для подтверждения деформационных и прочностных физикомеханических характеристик усиленного грунтового массива на опытном участке необходимо провести штамповые испытания по ГОСТ 20276.1 и статическое зондирование по ГОСТ 19912.
- 9.1.11 Опытный участок следует располагать в пределах основания возводимой насыпи, а при невозможности в специально отведённом месте.
- 9.1.12 Ширина рабочей площадки должна соответствовать расчетной ширины усиления ВСНСМ. Работы по устройству рабочей площадки выполняются по технологическим схемам, принятым при сооружении насыпей

на слабых грунтах. Поверхности рабочей площадки придается поперечный уклон от оси 20-40 %.

- 9.1.13 Работы по устройству ВСНСМ следует выполнять после контроля прочности основания для восприятия нагрузки строительно-монтажной техники. При недостаточной несущей способности слабых грунтов по технологическому слою следует последовательно перемещать временную дорогу согласно ГОСТ Р 59201.
- 9.1.14 Устройство ВСНСМ при реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог выполняется с существующей насыпи после демонтажа дорожной одежды и при необходимости полного или частичного демонтажа земляного полотна с подготовкой рабочей площадки для проведения работ по усилению основания.

9.2 Формирование состава звена машин и механизмов

- 9.2.1 Организация производства работ по устройству ВСНСМ должна обеспечивать наиболее рациональное и эффективное использование материально-технических средств производства, рабочего времени, учитывать профессиональное мастерство и квалификацию рабочих.
- 9.2.2 В зависимости от длины и диаметра ВСНСМ, в качестве базовой машины может применяться кран на гусеничном ходу с двумя лебедками и с вылетом стрелы, позволяющим работать с технологическим оборудованием на всю длину сваи (рисунок 6), или экскаватор при устройстве ВСНСМ длиной до 8 м (рисунок 7). Вылет стрелы экскаватора должен превышать длину навесного оборудования по устройству ВСНСМ.
 - 9.2.3 Дополнительно в состав звена машин и механизмов входят:
 - оборудование по устройству ВСНСМ;
 - погрузчик;
- кран грузоподъемностью до 25,0 т. (для укладки плит и перемещения оборудования);
 - генератор (250 кВт, 60 Гц, 440 В);
 - компрессор производительностью не менее $10,0 \text{ м}^3/\text{мин}$.

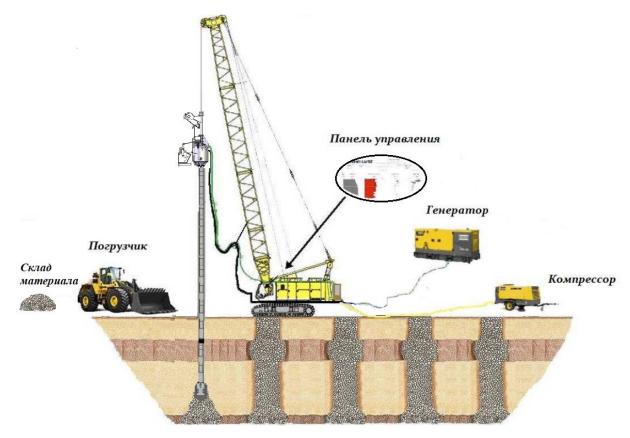


Рисунок 6 – Устройство ВСНСМ с применением гусеничного крана



Рисунок 7 — Устройство ВСНСМ с применением экскаватора

9.2.4 Виброуплотняющее оборудование по устройству ВСНСМ состоит из виброуплотнителя, удлиняющейся направляющей колонны, бункера и приемной воронки (рисунок 8). Технические характеристики виброуплотняющего оборудования для устройства ВСНСМ диаметром от 800 до 1500 мм приведены в таблице 3.

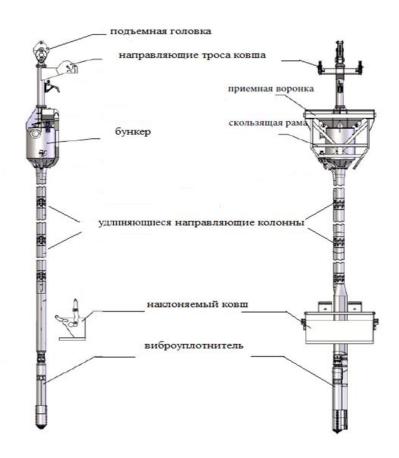


Рисунок 8 – Навесное виброуплотняющее оборудование по устройству ВСНСМ

Таблица 3 — Технические характеристики виброуплотняющего оборудования для устройства BCHCM диаметром от 800 до 1500 мм

Наименование характеристики	Значение
Длина виброуплотняющего оборудования, м	$3,0 \div 4,3$
Диаметр виброуплотнителя, мм	700 ÷ 1000
Масса виброуплотняющего оборудования, кг	$1000 \div 2450$
Мощность мотора виброуплотнителя, кВт	$50 \div 130$
Скорость вращения привода виброуплотнителя, об/мин	$1800 \div 3600$
Амплитуда смещения виброуплотнителя, мм	6 ÷ 32
Динамическая сила уплотнения, кН	$150 \div 450$

- 9.2.5 Приемная воронка расположена выше бункера. Подача СМ в приемную воронку осуществляется наклонным ковшом, который подвешивается на подъемной головке.
- 9.2.6 Основная тросовая система направляется через ролики и монтируется на вершине мачты. Наклонный ковш поднимается либо дополнительной крановой лебедкой, либо подвешивается на отдельной собственной лебедке.

- 9.2.7 Длина направляющей колонны должна назначаться в соответствии с максимальной длиной ВСНСМ на участке работы. Допускается применять различные длины колонн при работе нескольких звеньев.
- 9.3 При выборе технологического оборудования по устройству ВСНСМ следует учитывать их современное оснащение: бортовую систему контроля, позволяющую получить на мониторе и сохранить в памяти время устройства: объем материала, параметры ВСНСМ и параметры работы оборудования. Информация о результатах работы хранится в памяти компьютера для последующей подготовки технической документации о состоянии основания при сдаче выполненных работ. Рекомендуется выполнять ежесменное резервное копирование информации о результатах работ.
- 9.4 В подготовительные работы входят операции по установке оборудования в рабочее положение:
 - стыковка промежуточных частей направляющей колонны;
 - присоединение к бункеру тросовой стойки;
 - присоединение к тросовой стойке канатного блока;
 - установка клапанов, предварительная регулировка клапанов;
 - соединение промежуточных частей колонны и бункера;
 - протяжка кабелей;
 - присоединение виброуплотняющего оборудования;
 - протяжка воздушной системы;
 - подключение к генератору и компрессору;
 - проверка работы оборудования.

9.5 Технология устройства ВСНСМ

- 9.5.1 Технологический процесс устройства BCHCM состоит из погружения направляющей колонны оборудования BCHCM на проектную глубину и следующих циклически повторяющихся операций:
 - загрузка СМ в бункер и подача в направляющую колонну;
- подача СМ на соответствующую глубину сваи с послойным виброуплотнением.

- 9.5.2 ВСНСМ устраивают при движении от себя, заходя на рабочую площадку с подготовленных временных дорог.
- 9.5.3 ВСНСМ устраиваются на слабых грунтах по спиральной схеме двигаясь от краев к центру. Работы ведутся продольными рядами (рисунок 9) в две три сваи по ширине.

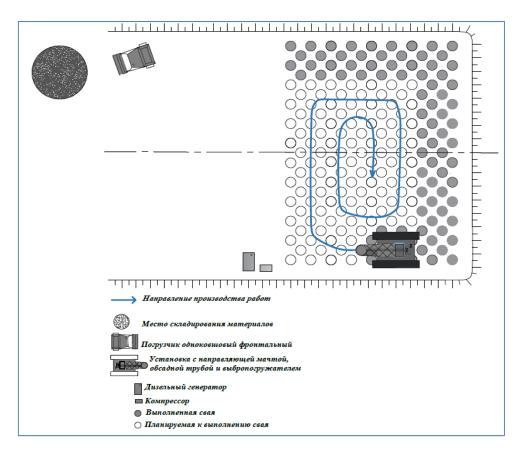


Рисунок 9 – Схема устройства ВСНСМ

9.5.4 При устройстве ВСНСМ на просадочных, набухающих и засоленных грунтах работы выполняются по спиральной схеме (рисунок 10), двигаясь от центра к краю.

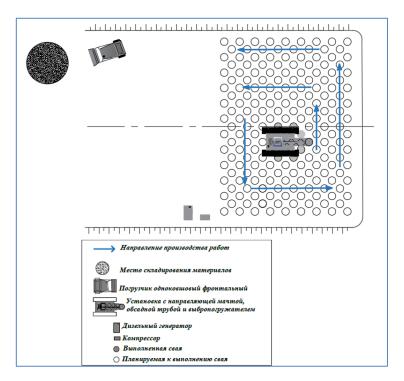


Рисунок 10 – Схема устройства ВСНСМ

- 9.5.5 Направляющая колонна под действием вибрации и собственного веса погружается на проектную глубину до слабодеформируемых грунтов. Для ускорения процесса погружения допускается дополнительная подача воздуха под давлением. В процессе погружения грунт раздвигается в радиальном направлении от оси скважины.
- 9.5.6 Процесс погружения ведется до достижения слабодеформируемого грунта с погружением в него на глубину до 0,5 м. Достижение слабодеформируемого грунта определяется на основе изменения показателей бортовой системы контроля.
- 9.5.7 Достижение необходимой степени уплотнения СМ оценивается на основе показателей бортовой системы контроля.
- 9.5.8 Выполнение работ по устройству ВСНСМ в зависимости от свойств грунтов производится с нижней или с верхней подачей СМ. Выполнение работ с верхней подачей СМ следует использовать только в условиях, при которых скважина, образованная виброуплотняющим оборудованием, остается стабильной при его извлечении и при длине сваи не превышающей 5,0 м.

9.5.9 При устройстве BCHCM с нижней подачей, CM с места складирования перемещается погрузчиком и подается в приемный бункер, затем поступает по направляющей колонне на рабочую глубину (рисунок 11).

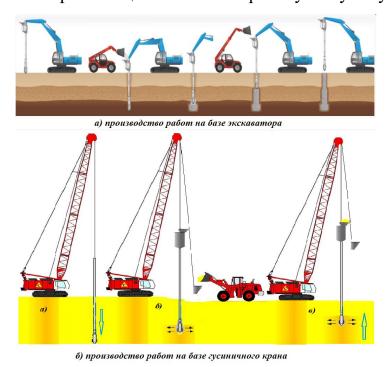
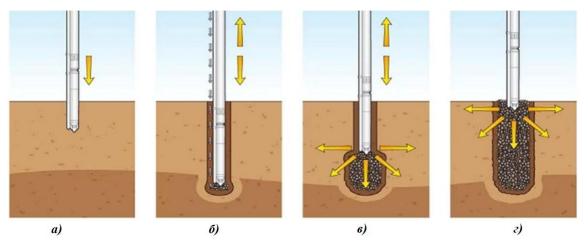


Рисунок 11 – Устройство ВСНСМ с нижней подачей СМ

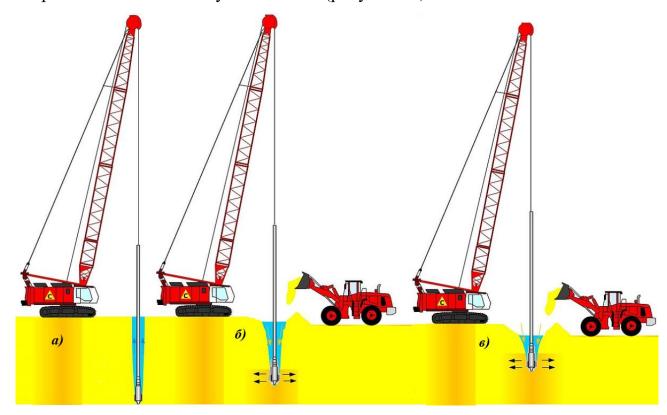
9.5.10 Формирование тела ВСНСМ осуществляется путем циклической подачи СМ с движения оборудования вверх-вниз с послойным уплотнением. Во время подъема направляющей колонны создается давление воздуха, обратному попаданию грунта 12). препятствующее (рисунок Подъем направляющей колонны осуществляют при включенном виброуплотняющем оборудовании.



- а) погружение рабочего органа под воздействием вибрации и/или сжатого воздуха (при необходимости снижения трения по боковой поверхности используют воду);
- б) подача СМ через направляющую колонну, с помощью сжатого воздуха;
 - в) формирование тела сваи посредством вибрации, подъема рабочего органа с одновременной подачей СМ;
 - г) сформированная ВСНСМ.

Рисунок 12 – Общий вид последовательности устройства ВСНСМ (подача снизу)

9.5.11 При устройстве ВСНСМ с верхней подачей, СМ с места складирования перемещается погрузчиком и подается непосредственно в сформированную скважину. Тело сваи формируется путем циклического движения рабочего органа с включенным виброуплотняющим оборудованием вверх-вниз с послойным уплотнением (рисунок 13).



- а) погружение рабочего органа под воздействием вибрации б) подача CM сверху
- в) формирование тела сваи посредством вибрации, подъема рабочего органа с одновременной подачей СМ

Рисунок 13 – Устройство ВСНСМ с верхней подачей СМ

9.5.12 Рабочий орган оборудования должен соответствовать максимальной длине ВСНСМ на объекте. Длина ВСНСМ меняется в процессе

производства работ в зависимости от глубины залегания слабодеформируемого слоя грунта, указанного в рабочей документаций.

- 9.5.13 При невозможности прохождения до проектной отметки из-за залегания в слабой толще плотной прослойки грунта, допускается применение лидерного бурения скважины или гидравлического размыва. Для прохождения плотных слоев грунта допускается применение буровой техники.
- 9.5.14 Устройство ВСНСМ должно быть выполнено до окончания рабочий смены, если не возникли обстоятельства, указанные в 9.5.13 или отказа технологического оборудования.
- 9.5.15 После выполнения работ по ВСНСМ выполняются работы по устройству ростверка.
- 9.5.16 В качестве гибкого ростверка укладывается геосинтетический материал с функцией армирования и разделения.
- 9.5.17 Технологический процесс устройства гибкого ростверка выполняется согласно [2] и содержит следующие операции:
- разравнивание и уплотнение технологического слоя под укладку геосинтетического материала;
- раскатка рулонов геосинтетического материала и закрепление анкерами
 на поверхности;
 - засыпка геосинтетического материала;
- 9.5.18 Геосинтетический материал укладывается поперек оси автомобильной дороги. Раскатку рулона вручную выполняют ИЛИ механизированным способом. Нахлест шириной 0,5 м с предыдущим полотном устраивается по направлению последующей надвижки грунта для исключения задирания полотна. После укладки очередного слоя производится проверка И закрепляется нахлеста, полотно натягивается металлическими пластиковыми анкерами согласно рекомендациям предприятий-изготовителей.

10 Контроль качества и правила приемки выполненных работ

- 10.1 Используемые на всех технологических стадиях грунты, материалы, изделия и конструкции должны удовлетворять требованиям ПД, РД, ППР, ГОСТ 32731 и разделу 7 настоящего ОДМ.
- 10.2 Перед началом работ необходимо провести верификацию поступивших материалов и конструкций. Все поступившие материалы и конструкции должны иметь документы, подтверждающие их качество.
- 10.3 При устройстве BCHCM должен осуществляться контроль технологических процессов. Контроль параметров BCHCM должен осуществляться на основе данных бортовой системы контроля.
- 10.4 На опытном участке следует проводить проверку прочностных и деформационных характеристики ВСНСМ и межсвайной зоны.
 - 10.5 По каждой ВСНСМ следует регистрировать следующие данные:
- идентификационная запись BCHCM и текущий производственный номер;
- тип и показания контрольных приборов, характеризующие воздействие используемого виброуплотняющего оборудования;
 - время производства работ;
 - диаметр ВСНСМ;
 - глубина погружения.
- 10.6 В паспорте по данным бортовой системы контроля должны быть отражены: объем материала, параметры работы, геометрические параметры ВСНСМ. Пример паспорта ВСНСМ приведен в приложении В.
- 10.7 Контроль качества должен быть организован на базе полевых лабораторий, а также контрольных постов в составе работ по контролю качества возведения насыпей на слабых основаниях. Контроль характеристик грунтов производится постоянно до установления стабилизации осадок в соответствии с РД.
- 10.8 Испытания грунтов, измерения осадок и горизонтальных смещений рекомендуется вести в период упрочнения основания и возведения насыпи

ежедневно, первые три месяца после полного возведения насыпи – еженедельно, в дальнейшем – до сдачи участка в эксплуатацию два раза в месяц.

10.9 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.

10.10 В ходе работ необходимо предусматривать проведение мониторинга. Состав, объем, и методы мониторинга устанавливают в зависимости от уровня ответственности сооружения и сложности инженерногеологических условий с учетом требований СП 22.13330 и [6].

10.11 Для подтверждения достижения деформационных и прочностных физико-механических характеристик усиленного грунтового массива на объекте строительства необходимо провести штамповые испытания и статическое зондирование.

10.12 Штамповые испытания должны выполняться в соответствии с ГОСТ 20276.1 штампом тип I площадью 5000 см². Необходимо провести не менее двух испытаний ВСНСМ и межсвайного пространства для каждого характерного поперечного разреза для получения среднего модуля деформации усиленного массива.

10.13 Полученные по результатам испытаний значения модуля деформации грунта должны коррелировать с расчетными значениями, определенными по 8.6.

10.14 Испытания грунтов должны проводиться после перерыва между окончанием работ по усилению грунтов и началом работ по испытанию статическим зондированием продолжительностью 14 суток.

10.15 При выполнении работ по устройству ВСНСМ, необходимо оформлять акт промежуточной приемки ответственных конструкций и акт освидетельствования скрытых работ.

11 Безопасность при производстве работ

- 11.1 Все работы должны проводиться в соответствии с требованиями ППР, технологическими картами и требованиями [7], [8] ГОСТ 12.1.004, ГОСТ Р 58397. Методы производства работ должны быть уточнены в ППР, где, исходя из особенностей площадки строительства, принимается решение по способу ведения работ.
- 11.2 Производство работ должно соответствовать действующим правилам пожарной безопасности и взрывобезопасности.
- 11.3 При организации и проведении работ во избежание пожаров, отравлений, ожогов, других несчастных случаев аварий, являющихся следствием несоблюдения технологического процесса, правил транспортирования, следует хранения и строго выполнять требования, изложенные нормативно-технической документации на материалы (технических условиях) и в технологических инструкциях.
- 11.4 На площадках складирования минеральных материалов на территории необходимо устраивать твердое покрытие с обеспеченным водоотводом.
- 11.5 Производство работ необходимо осуществлять при строгом выполнении мероприятий, указанных 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.

- 11.6 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;
- ознакомить работников перед началом работ с мероприятиями по безопасности производства работ и провести инструктаж с записью в нарядедопуске;
- выполнять систематические осмотры участка, проверку условий труда рабочих и принимать меры по устранению выявленных недостатков;
- производить выдачу спецодежды и других средств индивидуальной защиты согласно действующим нормам.
- 11.7 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.
- 11.8 Конструкция защитного и сигнального ограждения должна быть предусмотрена в РД исходя из условий производства работ (мест расположения).
- 11.9 При наличии опасных и вредных производственных факторов безопасность работ обеспечивается на основе выполнения мероприятий, содержащихся в РД.
- 11.10 ППР должен содержать схемы и 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 количество инструмента и приспособлений, схему организации рабочего места и пр.

12 Охрана окружающей среды

12.1 Производство работ на территории действующего участка необходимо осуществлять в соответствии с федеральным законодательством в

области охраны окружающей среды, ГОСТ 17.4.3.02, ГОСТ 17.5.3.05, ГОСТ Р 58397, ГОСТ Р 59205 при строгом выполнении мероприятий, указанных в ПД, РД.

12.2 При выполнении работ по устройству ВСНСМ необходимо учитывать соблюдения санитарных норм, норм предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и водные объекты и устранения или максимального уменьшения других видов вредных воздействий на природную среду и человека, а также на прилегающие земельные угодья.

Приложение А

(справочное)

Пример расчетного обоснования в программной системе конечноэлементного анализа

А.1 Пример оценки несущей способности слабого основания земляного полотна высотой 3,5 м (с учетом технологического слоя мощностью 0,7 м) на слабом основании водонасыщенных грунтов. Исходные данные характеристики грунтов принимают по результатам инженерных изысканий.

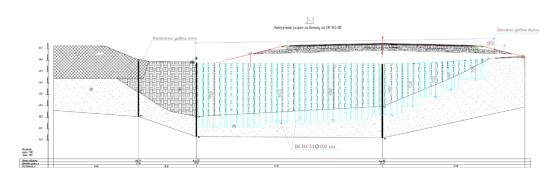


Рисунок А.1 – Поперечный разрез исследуемого участка

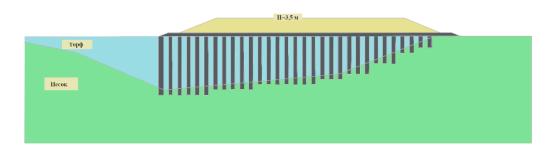


Рисунок А.2 – Расчетная схема насыпи с применением ВСНСМ Таблица А.1 – Параметры автомобильной дороги

Параметр	Значение
Категория дороги	I-6
Ширина земляного полотна	35 м
Ширина проезжей части	2х11,25 м
Число полос движения	6
Ширина обочин	3,75 м
Ширина разделительной полосы	5 м
Тип дорожной одежды	Капитальный
Вид покрытия	Асфальтобетон

Таблица А.2- Исходные параметры насыпи, свай и грунтов основания

Группа параметров	Характеристики грунта	Обозначения характеристик	Значения характеристики						
параметров	Модуль деформации,	Е	1000						
	кПа Удельный вес грунта,		14						
	кH/м ³	γ	14						
	Угол внутреннего трения, град	φ	10						
	Сцепление, кПа	С	12						
Торф	Плотность, $\Gamma/\text{см}^3$	ρ	1,4						
Τορφ	Коэффициент фильтрации, м/сутки	Кф	0,15						
	Модель материала	Уплотняемый грунт (Hardering soil)	-						
	Тип дренирования	Undrained A (не дренированный)	-						
	Модуль деформации, кПа	E	33 000						
	Удельный вес грунта, кН/м ³	γ	19,6						
	Угол внутреннего трения, град	φ	24						
	Сцепление, кПа	c	1						
Песок	Плотность, Γ/cm^3	ρ	1,96						
	Коэффициент фильтрации, м/сутки	Кф	1						
	Модель материала	Уплотняемый грунт (Hardering soil)							
	Тип дренирования	Undrained A (не дренированный)							
	Модуль деформации, кПа	E	45 000						
	Коэффициент Пуассона	υ	0,3						
	Удельный вес грунта, кН/м ³	γ	18						
Церти	Угол внутреннего трения, град	φ	30						
Насыпь	Сцепление, кПа	c	1						
	Плотность, Γ/cm^3	ρ	1,8						
	Коэффициент фильтрации, м/сутки	Кф	5						
	Модель материала	Mohr-Coulomb (Кулона-Мора)							
	Тип дренирования	Дренированный							
А 2 Распет несущей способности спабого основания автоловомно									

А.2 Расчет несущей способности слабого основания автодорожной насыпи выполняется на основе раздела 8 настоящего ОДМ.

А.3 Расчет проводился в верифицированном программном комплексе, построенном на методе конечных элементов.

А.4 Для определения осадки насыпи от временной подвижной нагрузки необходимо вычислить равномерно распределенную нагрузку $q_{a\kappa}$ согласно ГОСТ 32960-2014 (раздел 4), кПа:

$$q_{ak} = \frac{7,4 \cdot n}{B_{ar}} K = \frac{7,4 \cdot 6}{22} \cdot 11,5 = 23,2 \text{ кПа}$$
 (A.1)

где п- число полос движения, равно 6;

 $B_{_{3\Pi}}$ — ширина земляного полотна, равно 22;

К – класс нагрузки АК по ГОСТ 32960-2014 (подраздел 3.3), равно 11,5.

Допустимая суммарная осадка на конец срока службы автомобильной дороги от временной подвижной нагрузки приведена в СП 34.13330 и равна 10 см при толщине нестабильных слоев грунтового основания насыпи более 2 м.

Коэффициент устойчивости откосов насыпи должен быть $K_s \ge 1,3$ в соответствии с СП 34.13330

Для расчета устойчивости откосов насыпи земляного полотна определяется нагрузка $q_{\rm HK}$ согласно ГОСТ 32960-2014 (раздел 4), кПа:

Моделирование производится в несколько этапов:

- устройство технологического слоя и насыпи («Насыпь»);
- устройство ВСНСМ («Сваи»);
- консолидация («Консолидация»);
- приложение АК нагрузки, расчет осадки («АК Нагрузка»);
- приложение НК нагрузки («НК Нагрузка»);
- расчет коэффициента устойчивости насыпи под воздействием НК нагрузки («Устойчивость»).

А.5 Первым этапом строительства насыпи является выторфовка основания на глубину 3 метра с заменой слабого водонасыщенного торфа на свайный материал.

А.6 Следующим этапом является отсыпка насыпи. Для этого сначала необходимо возвести технологический слой. В данном случаем

технологический слой составляет 0,7 метра, а самой насыпи 2,8 метра. Изополя вертикальных смещений данной фазы представлена на рисунке A.2.

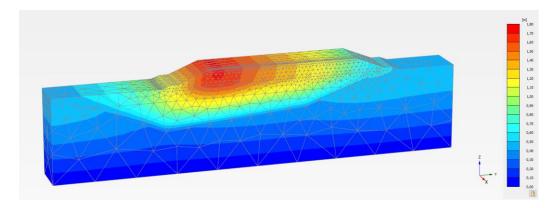


Рисунок А.2 – Изополя вертикальных смещений фазы «Насыпь»

А.7 Согласно требованиям СП 34.13330 к насыпям, возводимым на слабых грунтах, предъявляются дополнительные требования, а именно:

- интенсивная часть осадки основания должна завершиться до устройства покрытия (исключение допускается при применении сборных покрытий в условиях двух стадийного строительства);

А.8 За завершение интенсивной части осадки допускается принимать момент достижения 90%-ной консолидации основания или интенсивности осадки не более 2,0 см/год при дорожных одеждах капитального типа и 80%-ной консолидации или интенсивности осадки не более 5,0 см/год при дорожных одеждах облегченного типа. На рисунке А.3 приведены изополя вертикальных смещений фазы консолидация.

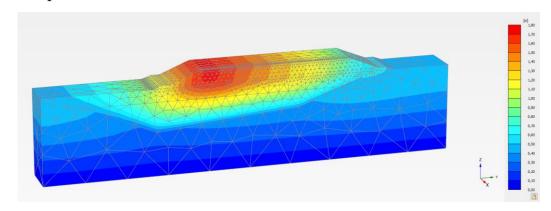


Рисунок А.3 – Иозополя вертикальных смещений фазы «Консолидация»

По результатам расчетов 90 % консолидации основания будет достигнуто через 34 дня от начала строительства. Интенсивность осадки за год составила 1,86 см. Далее производится расчет осадки под воздействием временной 44

подвижной нагрузки АК. На рисунке А.4 приведены изополя вертикальных смещений фазы «АК нагрузка»

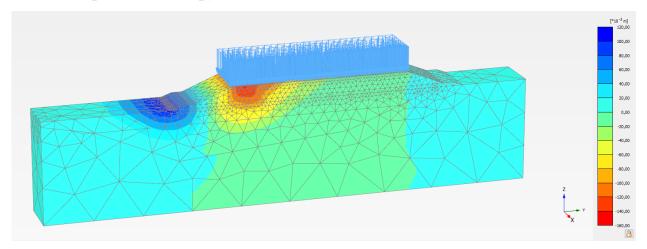


Рисунок А.4 – Изополя вертикальных смещений фазы «АК нагрузка»

А.9 Допустимая суммарная осадка на конец срока службы автомобильной дороги от временной подвижной нагрузки составила 14,29 см, что не соответствует требованиям СП 34.13330 при толщине нестабильных слоев грунтового основания насыпи более 2 м.

А.10 Последний этапом расчета насыпи является определения коэффициента устойчивости под воздействием нормативной нагрузки от автотранспортных средств, осуществляющих перевозки тяжеловесных грузов, пропускаемых в специальном режиме НК. Изополя вертикальных смещений фазы «НК нагрузка» представлены на рисунке А.5.

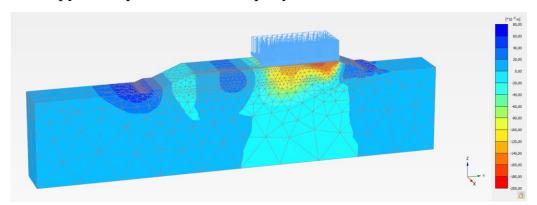


Рисунок А.5 – Изополя вертикальных смещений фазы «НК нагрузка» устойчивости

Коэффициент устойчивости насыпи под воздействием НК нагрузки составил 1,144, что не удовлетворяет условию Ks≥1,3.

А.11 Таким образом, получаем, что строительство насыпи на данном участке без мероприятий по увеличению несущей способности грунтов невозможно. Осадка значительно превышают максимально допустимую по СП 34.13330, коэффициент устойчивости меньше необходимого и также не удовлетворяет требованиям.

А.12 В следующем примере проведен аналогичный расчет с усилением основания ВСНСМ.

А.13 В примере представлена оценка несущей способности слабого основания земляного полотна высотой 3,5 м (с учетом технологического слоя в 0,7 м) на слабом основании водонасыщенных грунтов. Исходные данные характеристики грунтов принимают по результатам инженерных изысканий, а параметры насыпи и ВСНСМ по ПД.

А.14 Для увеличения несущей способности слабого основания и устойчивости откосов земляного полотна использовано укрепление основания ВСНСМ (рисунок А.6) со следующими параметрами: диаметр ВСНСМ - 0,8м; сетка 2 м х 1,7 м.

Таблица А.3 - Исходные параметры насыпи, ВСНСМ и грунтов основания

	Группа	Характеристики	Обозначения	Значения	
	параметров	грунта	характеристик	характеристики	
		Модуль	Е	35000	
		деформации, кПа	Ľ	33000	
		Коэффициент	υ	0,3	
		Пуассона	U	0,5	
		Удельный вес	0/	19	
		грунта, к H/M^3	γ	19	
		Угол			
		внутреннего	φ	35	
	CM	трения, град			
		Сцепления, кПа	c	1	
		Плотность, $\Gamma/\text{см}^3$	ρ	1,9	
		Коэффициент			
		фильтрации,	Кф	50	
		м/день			
		Модель	Кулон-Мор (Mohr-		
		материала	Coulomb)	-	
		Тип	Дренированный		

дренирования (Drained)

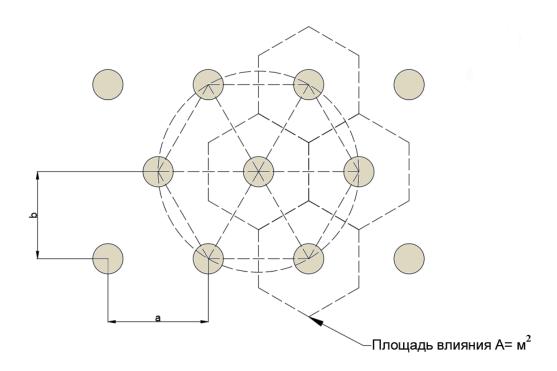


Рисунок А.6 – Схема устройства свай

А.15 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 материалом ВСНСМ одновременно выполняют функцию вертикальных дрен по ускорению процесса консолидации водонасыщенных грунтов за счёт сокращения пути фильтрации воды, отжимаемой из слабой толщи.

А.16 Расчет производится в той же последовательности с введением дополнительной фазы для устройства ВСНСМ.

- выторфовка слабого основания на глубину 3 метра с заменой на песчано-гравийную смесь («Выторфовка»);
 - устройство рабочей площадки и насыпи («Насыпь»);
 - устройство ВСНСМ («Сваи»);
 - консолидация («Консолидация»);
 - приложение АК нагрузки, расчет осадки («АК Нагрузка»);
 - приложение НК нагрузки, расчет осадки;

- расчет коэффициента устойчивости под воздействием НК нагрузки.

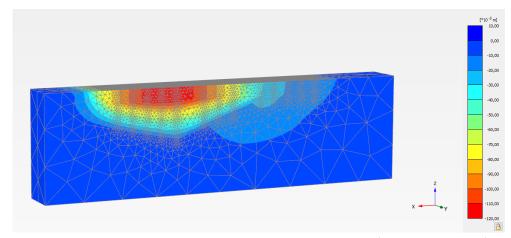


Рисунок А.7 – Изополя вертикальных смещений фазы «Выторфовка»

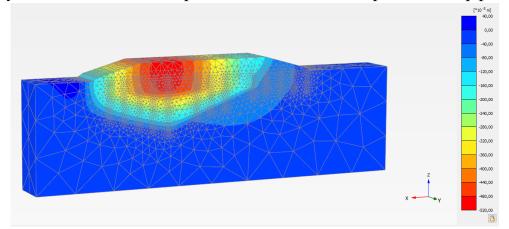


Рисунок А.8 – Изополя вертикальных смещений фазы «Насыпь»

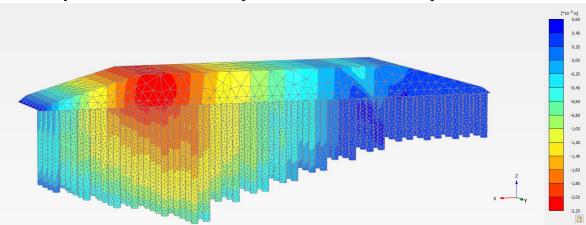


Рисунок А.9 – Изополя вертикальных смещений фазы «ВСНСМ»

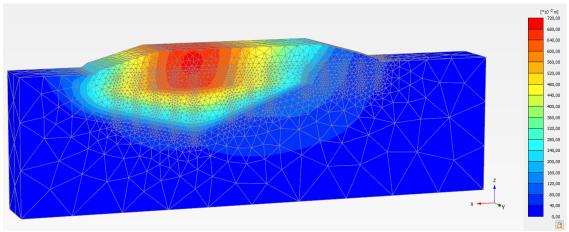


Рисунок А.10 — Изополя вертикальных смещений фазы «Консолидация» А.17 По результатам расчетов 90 % консолидации основания будет достигнуто через 34 дня от начала строительства. Интенсивность осадки за год составила 1,72 см. Расчетное время консолидации грунтов основания земляного полотна совпало при расчете без усиления ВСНСМ и усилением. Это обуславливается тем, что 90% консолидация была достигнута еще на этапе строительства насыпи. На рисунке А.11 приведен график рассеяния порового давления, что свидетельствует о наступлении консодилированного состояния.

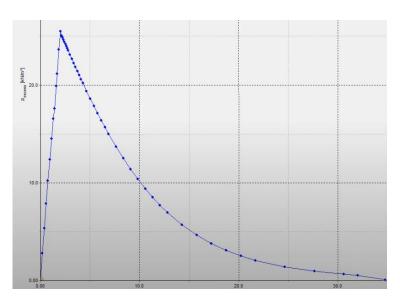


Рисунок А.11 – График рассеяния порового давления

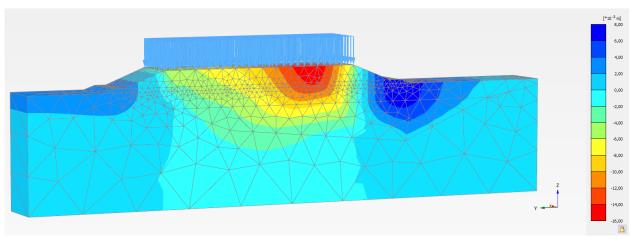


Рисунок А.12 – Изополя вертикальных смещений фазы «АК нагрузка» А.18 Суммарная осадка на конец межремонтного срока по капитальному ремонту автомобильной дороги от временной подвижной нагрузки составит 1,1 см, что не превышает предельную осадку в 10 см согласно СП 34.13330.

А.19 Результаты расчетов показали значение коэффициента устойчивости в размере 1,426, что выше требуемого значения. Из результатов расчета следует, что усиление слабых оснований при помощи ВСНСМ обеспечивает заданный коэффициент устойчивости насыпи и может быть рекомендовано в качестве конструктивно-технологического мероприятия для повышения несущей способности слабых оснований и устойчивости откосов земляного полотна.

А.20 Пример технико-экономического обоснования применения ВСНСМ представлен в приложении Γ .

Приложение Б

(справочное)

Пример расчетного обоснования

Б.1 Расчет выполнен в соответствии с разделом 8 и расчётными данными, полученными по примеру 2

$$b_u = 0.5 + k \cdot H = 0.5 + 0.05 \cdot 2.8 = 0.64 \text{ M}$$
 (1)

где H – высота насыпи, м – 2,8 м

k – коэффициент, зависящий от крутизны откоса насыпи (1:m) – 0.05

$$B_u = B + 2 \cdot b_u = 52 + 1,28 = 53,28$$
 (2)

где B — расчетная ширина приложения нагрузки, определяемая как ширина насыпи понизу, м — 52 м

$$K_{ac} = tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_c}{2}\right) = tan^2 \left(45^\circ - \frac{35}{2}\right) = 0.03$$
 (18)

где: φ_c – угол внутреннего трения свайного материала, град - 35

$$\bar{n} = 1 + \frac{A_c}{A} \cdot \left(\frac{5 - \frac{A_c}{A}}{4K_{ac} \cdot \left(1 - \frac{A_c}{A}\right)} - 1 \right)$$

$$= 1 + \frac{0.5}{2.97} \cdot \left(\frac{5 - \frac{0.5}{2.97}}{4 \cdot 0.03 \cdot \left(1 - \frac{0.5}{2.97}\right)} - 1 \right) = 8.71$$
(17)

где: A_c – площадь поперечного сечения ВСНСМ, м²; - 0,5

A – площадь влияния BCHCM (эффективный диаметр), м²; - 2,97

 K_{aC} — коэффициент активного давления ВСНСМ, определяемый по формуле (20) — 0,03

$$m' = \frac{\bar{n} - 1}{\bar{n}} = \frac{8,71 - 1}{8,71} = 0,89$$
 (16)

где: \bar{n} – коэффициент усиления, определяемый по формуле (19) – 8,71

$$\bar{E} = m' \cdot E_c + (1 - m')E = 0.89 \cdot 35 + (1 - 0.89) \cdot 11 = 32.36$$
 (15)

где: E_c – модуль деформации свайного материала, МПа; - 35

Е- модуль деформации грунта основания, МПа; - 11

m'– пропорциональный параметр, определяемый по формуле (16)

$$\bar{c} = (1 - m') \cdot \gamma = (1 - 0.89) \cdot 19.6 = 2.25$$
 (19)

где: \bar{c} — сцепление усиленного массива

 γ — удельный вес грунта Н/м 3 — 19,6

$$\tan \bar{\varphi} = m' \cdot \tan \varphi_c + (1 - m') \tan \varphi = 0.89 \cdot \tan 35 + (1 - 0.89) \cdot \tan 8$$
 (21)
= 0.61 $\rightarrow \bar{\varphi} = 32^{\circ}$

где: $ar{arphi}$ — угол внутненнего трения усиленного грунта;

 φ — угол внутреннего трения грунта основания — 8 °;

 $arphi_{\mathrm{c}}$ — угол внутреннего трения свайного материала — 35 °.

Б.2 Для расчета коэффициента стабильности необходимо использовать изначальные значения сцепления и угла внутреннего трения межсвайного грунта, в данном случае торфа:

грунта, в данном случае торфа:
$$K_{\text{стаб}} = \frac{2 \cdot c \cdot \cos \varphi}{(P_z - P_x - P') - (P_z + P_x + P') \sin \bar{\varphi}} \\ = \frac{2 \cdot 1,15 \cdot \cos 8}{(0,846 - 0,354 - 0,05) - (0,846 + 0,354 + 0,05) \sin 8} \\ = 1,2$$

где: c— сцепление грунта основания земляного полотна при расчетной плотности-влажности, кПа; - 1,15;

 φ -угол внутреннего трения грунта основания земляного полотна при расчетной плотности-влажности, град. -8;

 P_z - вертикальные напряжения в грунте межсвайного пространства, кгс/см² – 0,846 из таблиц [3, 4], согласно заданным условиям;

 P_x -горизонтальные напряжения от бокового обжатия слабого грунта сваями в ходе осадки основания, кгс/см² - 0,3540 из таблиц [3, 4], согласно заданным условиям;

Выбор значений напряжений происходит с учетом:

т- сближение свай

 ξ — коэффициент бокового давления материла

artheta — коэффициент поперечной деформации грунта

 λ_0 — коэффициент бокогового распора грунта

P'-предварительное обжатие слабого грунта, возникающее при внедрении свай, кгс/см² – 0,05 (согласно графику компрессионных испытаний торфа на рисунке Б.1).

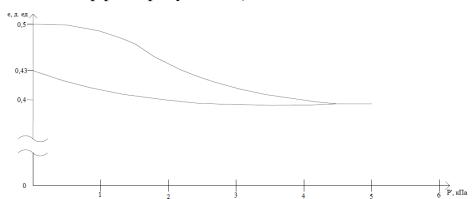


Рисунок Б.1 – Изменение коэффициента пористости грунта в результате предварительного обжатия

$$m = \frac{d}{l} = \frac{0.8}{1.7} = 0.47 \tag{5}$$

где: d – диаметр ВСНСМ; -0,8

l – шаг сетки BCHCM – 1,7

$$\bar{e} = e - \frac{(l+e)m^2}{(l+m)^2} = 0.5 - \frac{(1.7+0.5)\cdot 0.47^2}{(1.7+0.47)^2} = 0.4$$
 (4)

где: е - коэффициент пористости грунта в природном залегании;

 \bar{e} — коэффициент пористости уплотненного при устройстве ВСНСМ грунта;

m — сближение свай, определяемое по формуле (5)

$$s = \beta \sum_{i=1}^{n} \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i})h_i}{E_i} + \beta \sum_{i=1}^{n} \frac{\sigma_{z\gamma,i}h_i}{E_{B,i}}$$

$$(6)$$

где: β –коэффициент, равный 0,8;

 $\sigma_{zp,i}$ - среднее значение вертикального нормального напряжения от внешней нагрузки в i-м слое по вертикали, проходящей через центр подошвы основания, к Π а;

 h_i -толщина i-го слоя грунта, см, принимаемая не более 0,4 ширины основания;

 E_i - модуль деформации i-го слоя грунта по ветви первичного нагружения, кПа;

 $\sigma_{z\gamma,i}$ - среднее значение вертикального напряжения в i-м слое грунта по вертикали, проходящей через центр подошвы основания, от собственного веса выбранного при отрывке котлована грунта, к Π а;

 $E_{{
m B},i}$ — модуль деформации i-го слоя грунта по ветви вторичного нагружения, кПа.

n- число слоев, на которые разбита сжимаемая толща основания.

Б.3 Для получения значения модуля деформации по ветви вторичного напряжения необходимо произвести дополнительный расчет согласно ГОСТ 12248.4

$$z_t = \frac{e_0 - e_1}{P'} = \frac{50 - 40}{5} = 10 \tag{5.1}$$

где: z_t — коэффициент сжимаемости грунта

 e_0 — ествественная пористость грунта - 50

 e_1 — пористость грунта после внедрения ВСНСМ - 40

P' — предварительное обжатие слабого грунта, возникающее при внедрении свай, к Π а - 5

Исходя из полученного значения, торф относится к сильно сжимаемым грунтам.

$$B = 1 - \frac{2\vartheta^2}{1 - \vartheta} = 1 - \frac{2 \cdot 0.3^2}{1 - 0.3} = 0.75$$
 (5.2)

где: В — коэффициент, зависящий от поперечного расширения грунта ϑ — коэффициент Пуассона грунта, 0,3

$$E_t = \frac{1 + e_0}{z_t} B = \frac{1 + 50}{10} 0,75 = 3,825 \text{ M}\Pi a$$
 (Б.3)

где: E_t — модуль упругости по ветви вторичного нагружения

$$\sigma_{zp,i} = \alpha \cdot p = 0.98 \cdot 54.63 = 53.54$$
 (5.4)

где: α — коэффициент, принимаемый по таблице 5.8 СП 22.13330 в зависимости от относительной глубины — 0,98 для данных условий р- среднее давление под подошвой фундамента — 54,63 (получено по результатам моделирования, представленного на рисунке Б.2)

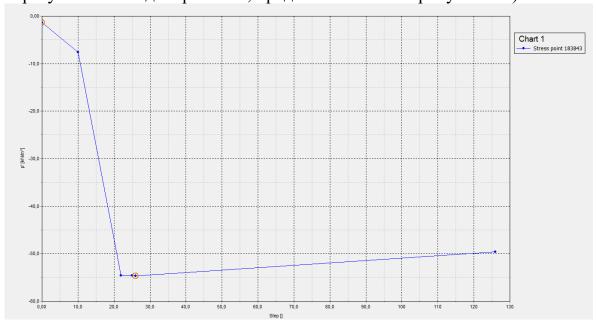


Рисунок Б.2 – Значения давления в основании насыпи

$$\sigma_{z\gamma,i} = \alpha \cdot \sigma_{zg,0} = 53.2 \cdot 0.98 = 52.14$$
 (5.5)

где: $\sigma_{zg,0}$ - вертикальное напряжение от собственного веса грунта на отметке подошвы фундамента.

$$\sigma_{zg,0} = \gamma' d = 19 \cdot 2.8 = 53.2$$
 (B.6)

где: γ' — удельный вес грунта, расположенного выше подошвы — 19 кН/м³ d — глубина залегания — 2,8 м .

$$\beta \sum_{i=1}^{n} \frac{(\sigma_{zp,i} - \sigma_{z\gamma,i})h_{i}}{E_{i}} + \beta \sum_{i=1}^{n} \frac{\sigma_{z\gamma,i}h_{i}}{E_{B,i}}$$

$$= 0.8 \cdot \frac{(53,54 - 52,14) \cdot 2.8}{1000} + 0.8 \cdot \frac{52,14 \cdot 2.8}{3825} = 3,44 \text{ cm}$$

$$T_{u_{1}} = \frac{N_{u_{1}} \cdot H_{\Phi}^{2}}{C_{u_{1}}} + T_{\mu} = \frac{0.85 \cdot 3^{2}}{0.35} + 0.52 = 22,52$$

$$(6)$$

где: T_{u_1} – время достижения заданной степени консолидации U_t , сут; N_{u_1} – коэффициент, зависящий от степени консолидации и устанавливаемой по таблице 2; - 0,85

 H_{Φ} – путь фильтрации воды из слоя, м; - 3

 C_{u_1} — коэффициент консолидации, определяемый непосредственно по консолидационным испытаниям (при отсутствии данных принимать U=50% от фильтрационной консолидации), см²/мин.;- 0,35

 $T_{\rm д \varphi}$ — время дофильтрационной консолидации, определяемое по формуле, сут.:

$$C_{u_1} = \frac{N_{u_1} \cdot H_{\phi}^2}{t_u} = \frac{0.85 \cdot 3^2}{22} = 0.35$$
 (8)

где: t_u - время консолидации

$$T_{\text{A}\phi i} = \frac{0.02 \cdot H_{\Phi}^2}{C_{U=5\%}} = \frac{0.02 \cdot 3^2}{0.35} = 0.52 \tag{9}$$

где: t_u - время консолидации

$$U_{\text{обш}} = 100 - 0.01(100 - U_{\text{г}})(100 - U_{\text{в}}) = 0.65 \tag{10}$$

где: $U_{\rm B}$ - степень консолидации основания при вертикальной фильтрации воды из основания; - 0,6;

 U_{Γ} – то же при горизонтальной фильтрации воды (к сваям);- 0,05;

Величины $U_{\rm B}$ и $U_{\rm \Gamma}$ устанавливают по графикам (рисунок 4) Величину фактора времени, необходимую для определения $U_{\rm B}$, рассчитывают по формуле:

$$T_{\rm B} = \frac{C_{\nu_{\rm B}} \cdot T}{H_{\Phi}^2} \tag{11}$$

где: C_{v_B} – коэффициент консолидации при вертикальной фильтрации;

 H_{Φ} - расчетный путь вертикальной фильтрации воды, м;

Т- требуемый срок консолидации, сут.;

 $T_B > 2$ (степень консолидации больше 90%);

 $T_B < 10^{-4}$ (степень консолидации меньше 1 %).

$$T_{\Gamma} = \frac{C_{\nu\Gamma} \cdot T}{I^2} \tag{12}$$

где: C_{vr} — коэффициент консолидации грунта при горизонтальной фильтрации.

$$T_{u_2} = (t_{u_2} - t_{\mathsf{A}\Phi}) \left(\frac{H_{\Phi}}{h_{\Phi}}\right)^n \tag{13}$$

где: T_{u_2} , t_{u_2} — время завершения заданной степени консолидации соответственно слоя и образца, сут.;

 $t_{{
m d} \phi}$ – время завершения дофильтрационной консолидации образца, сут.;

 h_{ϕ} – путь фильтрации воды из образца, м.;

n- показатель степени консолидации, изменяющейся от 2 до 0, определяемый по рисунку 5

Б.4 Расчет устойчивости откоса методом полуцилиндрических поверхностей скольжения (рисунок Б.3).

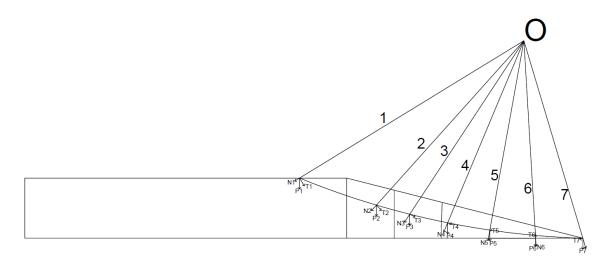


Рисунок Б.3 – Расчетная кривая скольжения, полученная методом круглоцилиндрических поверхностей

$$K_s = \frac{M_{yA}}{M_{CAB}} \tag{5.7}$$

М_{ул}- удерживающий момент вращения где:

М_{сдв}-сдвигающий момент вращения

$$M_{yA} = \sum N_i \cdot \tan \varphi \cdot R + c \cdot L \cdot R \tag{6.8}$$

где: L – длина дуги скольжения

R – радиус вращения – 12,25 м

С- сцепление грунта

 φ - угол внутреннего трения грунта

 N_i - сдвигающая сила

$$M_{\rm cdb} = \sum T_i \cdot R \tag{6.9}$$

 T_i - сила трения

$$N_i = P_i \cdot \sin \alpha_i \tag{5.10}$$

 P_i - вес блока где:

$$P_i$$
- вес блока $lpha_i$ - угол между P_i и N_i
$$T_i = P_i \cdot \cos lpha_i \qquad (Б.11)$$
 $P_i = S_i \cdot h \cdot \nu \qquad (Б.12)$

$$P_i = S_i \cdot b \cdot \gamma \tag{6.12}$$

где: S_i - площадь блока

b- ширина насыпи, м – 10

 γ - удельный вес грунта, к $H/M^3 - 19$

P_{i}	$\alpha_{\rm i}$	$N_{\rm i}$	T_{i}
1170,40	31	602,80	1003,23
1052,60	43	717,87	769,82
826,50	63	736,42	375,22
577,60	67	531,68	225,69
349,60	79	343,18	66,71
119,70	93	119,54	-6,26
0,00	107	0,00	0,00

Таблица Б.1 – Расчетные значения сил для первой дуги скольжения

$$L = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot \frac{\theta}{360} = 16 \text{ M}$$
 (5.13)

где: θ — угол соответствующий дуге скольжения - 75°

При данной дуге скольжения расчетное значение коэффициента устойчивости составило:

$$K_s = \frac{M_{yA}}{M_{c_{AB}}} = \frac{26370,24}{29821,44} = 0.88$$
 (Б.7)

Б.5 Значение коэффициента устойчивости меньше нормативного, следовательно, необходимо выбрать другую дугу скольжения.

Таблица Б.2 – Расчетные значения сил для второй дуги скольжения

P _i	α_{i}	N _i	T _i
1170,40	42	783,15	869,78
1052,60	54	851,57	618,70
826,50	74	794,48	227,81
577,60	78	564,98	120,09
349,60	90	349,60	0,00
119,70	104	116,14	-28,96
0,00	118	0,00	0,00

$$K_{\text{yct}} = \frac{M_{\text{yd}}}{M_{\text{C/IB}}} = \frac{29874,10}{21140,95} = 1,35$$
 (6.7)

Приложение В (рекомендуемое) Пример паспорта ВСНСМ

	Виброуплотненная песчаная свая ПАСПОРТ СВАИ										
Наимен	Данные об нование	объекте		Производственные данные сваи: 517 14.08.202 13,16							
объекта			Дал	га	1	Длина сваи:		M			
Раздел:				емя начала:	10:09:36	Расход теор.		4			
Исполн	итель:			емя окончания: одолжительнос	10:49:07	Объем поданно материала: Объём уплотне		7,72 м ³ 7,64			
Заказчи	ік :		ть:	одолжительное	39:31:00	материала:		7,04 м ²			
Ofonyi	иорание: В	C 1	Пеј	рерывы:	00:06:26 00:33:02 00:00:00	Диаметр сваи		86 см			
Оборуд	Оборудование: ВС-1 00:00:00										
0 да 16 да 15 да											
№ этапа	Стартовая глубина этапа уплотнен ия, м	Останово чная глубина этапа уплотнен ия, м	Высота сваи этапа уплотне ния, м	Продолжителы ость этапа уплотнения	Сила тока средняя А	Сила тока максимальн ая,А	Диамет р, см	Ход,			
1	-13,16	-10,66	2,60	00:05:33	112	140	99,0	5,20			
2	-10,66	-6,15	4,51	00:06:55	122	222	74,0	3,99			
3	-6,15	-2,35	3,80	00:05:45	128	190	80,0	5,26			
4	4 -2,35 0,00 2,3		2,35	00:03:34	121	193	102,0	4,68			
Сумм а:											
Мин:			2,35	0:03:34	112	140	74,0	3,99			
Макс:			4,51	0:06:55	128	222	102,0	5,26			
Сред:							88,8	4,78			

Приложение Г

(справочное)

Пример расчета технико-экономического сравнения вариантов укрепления основания земляного полотна

- Г.1 Технико-экономическое сравнение разработано на основании объекта, рассмотренного в приложении А по фактическим данным и с учетом проведенных расчетов, для автомобильной дороги I категории Ленинградской области.
- Г.2 Для определения наиболее эффективной технологии по усилению зоны слабых грунтов для возведения насыпи автомобильной дороги применялись следующие показатели:
 - время выполнения комплекса работ по усилению основания насыпи;
- прочностные и деформативные показатели от возведения и эксплуатации дороги в рамках допустимых значений;
 - стоимость производства работ.
- Г.3 Расчет экономической эффективности осуществляется в соответствии с положениями ОДМ 218.11.006 [9] для этого рассмотрено два альтернативных варианта по укреплению зоны слабых грунтов:

I вариант - укрепление слабых грунтов основания BCHCM методом сухой подачи снизу.

II вариант - укрепление слабых грунтов основания методом струйной цементации.

Площадь свайного поля — 6 526 м².

- Г.4 Расчет экономической эффективности выполнен на отличительных затратах, которые носят разный характер работ или объем, одинаковы затраты не отражены.
 - Г.5 Описание І варианта.
- Г.6 Для укрепления слабых грунтов основания методом BCHCM необходимо выполнить с шагом установки 2,0 м, сваи диаметром 0,8 м в

количестве 1797 шт., с разной глубиной погружения и размещением свай по треугольной сетке в шахматном порядке.

Г.7 Объемы материалов по укреплению слабых грунтов основания ВСНСМ диаметром – 800 мм отображены в таблице Г.1.

Таблица Г.1 – Объемы материалов по укреплению слабых грунтов основания ВСНСМ

Наименование	Кол-	В метрах	Объем сваи, м ³	Объем
	во, шт.	погонных		CM, M^3
Устройство ВСНСМ				
глубиной погружения до	886	10 554,95		
15 м				
Устройство ВСНСМ				
глубиной погружения до	907	7 125,86	8 896,82	13 693
10 м				
Устройство ВСНСМ				
глубиной погружения до 5	4	17,85		
M				
Итого	1797	17 699,66	8 896,82	13 693

Г.8 При устройстве ВСНСМ используется метод сухой подачи снизу. Виброуплотняющее оборудование погружается в грунт. После погружения виброуплотняющего оборудования на проектную глубину СМ подается в скважину и уплотняется на участках движения основного оборудования вверх и вниз. Работы выполняются на базе гусеничного крана.

Г.9 Производительность 1 установки составляет 150 пог.м в смену. ВСНСМ. Производство работ осуществляется в 2 смены. Срок производства работ 59 дня.

Г.10 Стоимость устройства ВСНСМ диаметром 800 мм, составляет 57 152,76 тыс.руб. в ценах 2 кв 2021 года с НДС.

Г.11 Описание II варианта.

Г.12 Для укрепления слабых грунтов основания до нормативных значений методом струйной цементации грунтов необходимо выполнить грунтоцементные сваи с шагом установки — 1,0 м, диаметром — 0,7 м, и расстоянием в свету — 0,3 м в количестве 6186 шт., с разной глубиной погружения и с размещением по квадратной сетке.

Г.13 Объемы материалов по укреплению слабых грунтов основания методом струйной цементации грунтов диаметром — 700 мм отображены в таблице Г.2.

Таблица Г.2 – Объемы материалов для применения технологии струйной цементации

Наименование	Кол- во шт.	В метрах погонных	Геометрическ ий объем м ³	Объем раствора м ³
Устройство свай глубиной погружения до 15 м	490	5 511,40		
Устройство свай глубиной погружения до 10 м	2 989	22 139,35	13 132,85	18 386
Устройство свай глубиной погружения до 5 м	2 707	9 106,70		
Итого	6 186	36 757,45	13 132,85	18 386

Г.14 Формирование грунтоцементного массива происходит за счет замещения торфа при подаче закрепляющего раствора через сопла, расположенные в нижней части бурового снаряда, под давлением до 30 МПа. В результате формируется грунтоцементный массив размерами 700 мм в диаметре, на заданную по проекту глубину.

Г.15 Производительность 1 установки составляет 200 пог.м в смену. Производство работ осуществляется в 2 смены. Срок производства работ 92 дня.

Г.16 Стоимость работ по укреплению слабых грунтов основания методом струйной цементации грунтов диаметром 700 мм, составляет 169 881,19 тыс.руб. в ценах 2 кв 2021 года с НДС.

Г.17 Началом срока сравнения вариантов является базовый месяц, к которому приводятся все затраты. Конец срока выбирают так, чтобы по его истечении различия между вариантами по показателям, характеризующим эффект и требуемые для этого затраты, были бы несущественными с учетом точности определения исходных данных.

- Г.18 Скорость движения транспортного потока на рассматриваемой автомобильной дороге составляет 120 км/ч.
- Г.19 На период реконструкции движение по дороге закрывается и переключается на объездную дорогу что приведет к снижению скорости движения транспортного потока до 50 км/ч.

Г.20 Состав и структура транспортных средств отображены в таблице Г.3 Таблица Г.3 – Состав и структура транспортных средств

Среднегодовая суточная интенсивность движения, авт./сутки								
Состав потока	Количество шт.	Доля %						
Легковые автомобили	10936	58						
Грузовые автомобили до 2 т	2038	11						
Грузовые автомобили от 2 до 5 т	1129	6						
Грузовые автомобили от 5 до 8 т	249	1						
Грузовые автомобили свыше 8 т	476	3						
Грузовые автомобили, автопоезда	3071	16						
Автобусы	880	5						
Итого	18779	100						

- Г.21 Среднее количество пассажиров в легковом автомобиле три человека.
 - Г.22 Среднее количество пассажиров в автобусе 46 человек.
- Г.23 Показатели себестоимости пробега и простоя автотранспортных средств отображены в таблице Г.4.

Таблица Г.4 – Показатели себестоимости пробега и простоя

Средние зн			om npoora n npoor		
	Переменн ые расходы, руб/км	Постоянные затраты, руб/час	Заработная плата водителя, руб/час	Себестоимост ь простоя, руб/час	
Легковые	9,53	326,86	195,25	391,34	
Грузовые	37,58	1 302,02	273,67	1 076,62	
Автобус ы	25,91	773,32	256,03	930,56	

Г.24 Эффективность применения определяется на основе общественной (социально-экономической) эффективности путем сравнения общественных затрат и результатов, которые будут иметь место на транспорте и в

нетранспортных отраслях. Получаемые при расчете общественной эффективности результаты — это экономические эффекты на транспорте и в социальной сфере, а затраты — необходимые издержки (экономия) на выполнение работ.

Г.25 Оценка эффективности определена на основе показателя чистого дисконтируемого дохода (далее – ЧДД). ЧДД вычисляют по формуле:

ЧДД =
$$\sum_{t=0}^{T} (R_t - 3_t)(1 + E)^{-t}$$
 (Г.1)

где R_t – результаты (эффекты) от осуществления внедрения инновации на t-м шаге расчета;

 3_t — дополнительные затраты (экономия) на реализацию внедрения инновации на том же шаге, в т.ч. потери, связанные с ущербом, который может принести инновация или затраты на устранение данного ущерба;

Е – норма дисконта;

Т – горизонт расчета расчетный период;

t - номер шага расчета;

 $(1 + E)^{-t}$ – коэффициент дисконтирования.

Г.26 В расчетах расчётный период принят равным 1 году, который определяется сроком строительства.

Г.27 Эффект от снижения себестоимости перевозок грузов и пассажиров определен как сокращение затрат на осуществление перевозок грузов и пассажиров на участке дороги:

$$C_{at} = \sum_{i=1}^{n} \left(C_{ait}^{6} - C_{ait}^{\pi} \right) \tag{\Gamma.2}$$

где C_{ait}^6 , C_{ait}^{π} — затраты на осуществление перевозок грузов и пассажиров на участке дороги при использовании I варианта и II варианта.

Г.28 Годовые затраты на осуществление перевозок на участке определены по формуле:

$$C_{at} = 365 \sum_{j=1}^{m} N_{jt} (S_{jt}L + S'_{jt}t_t^3)$$
 (Γ.3)

где N_{jt} — среднегодовая суточная интенсивность движения автомобилей каждого типа на участке;

L – протяженность участка, км;

 S_{jt} — средняя себестоимость 1 авт.-км пробега автомобилей каждого типа на участке;

 t_t^3 — среднесуточное время задержки одного автомобиля в местах затрудненного проезда на участке, ч;

 S_{it}' — затраты на 1 ч простоя автомобиля каждого типа;

Г.29 Расчетная величина себестоимости пробега каждой группы автомобиля на 1 км в конкретных дорожных условиях определены из выражения:

$$S_{j} = S_{\text{nepj}} + \frac{S_{\text{постj}} + d_{j}}{V_{i}}$$
 (Г.4)

где $S_{\text{пер}j}$ — расчетное значение переменных затрат на 1 км пробега автомобиля каждого типа на участке;

 $S_{\text{пост}j}$ — расчетное значение постоянных (независящих от пробега) затрат на 1 ч пребывания автомобиля каждого типа;

 d_{j} — часовая заработная плата водителя группы автомобиля с начислениями;

 V_{j} — средняя техническая скорость движения группы автомобиля на участке, км/ч.

Г.30 Эффект от сокращения времени пребывания в пути пассажиров определен как сокращение затрат времени населения на поездки на участке дороги в результате внедрения данного мероприятия:

$$\Delta P_{t} = \sum_{i=1}^{n} \left(P_{it}^{6} - P_{it}^{n} \right) \tag{\Gamma.5}$$

где P_{it}^6 , P_{it}^n — общественные потери, связанные с затратами времени населения на поездки на і-м участке дорожного сооружения (дорожной сети) соответственно при І варианта и ІІ вариантах.

Г.31 Годовые потери, связанные с затратами времени населения на поездки на каждом участке определены по формуле:

$$P_{t} = 365C_{t}^{\text{nec}} \left[N_{t}^{\pi} B^{\pi} \left(\frac{L}{V_{t}^{\pi}} \right) + N_{t}^{\text{abt}} B^{\text{abt}} \left(\frac{L}{V_{t}^{\text{abt}}} \right) \right]$$
 (Γ.6)

где $C_t^{\text{пес}}$ — средняя величина потерь народного хозяйства в расчете на 1 чел./ч пребывания в пути пассажиров;

 N_t^{π} , $N_t^{\text{авт}}$ — среднегодовая суточная интенсивность движения соответственно легковых автомобилей и автобусов на участке, авт./сут;

 B^{π} , $B^{\text{авт}}$ — среднее количество пассажиров в одном легковом автомобиле и автобусе;

 $V_t^{\scriptscriptstyle \Pi},\,V_t^{\scriptscriptstyle {\rm aBT}}$ – скорость движения легковых автомобилей и автобусов на участке, км/ч.

 Γ .32 В таблице Γ .5 указан расчет дисконтированных затрат и эффектов сравнения варианта I и II.

Таблица Г.5 – Расчет дисконтированных затрат и эффектов при сравнении двух технологий устройства свай

			Расчет л	исконтирован	ных затрат и эс	hфектов п р и с	спавнении уст	гройства по I	варианту и II і	варианту (тыс	<u>vб)</u>		
Год в цикл е	Укреплен		риант рунтов метод		Укрепление с	II варі	иант		Экономия затрат на устройство	Эффект от сокращен ия времени пребыван ия в пути P_t	Эффект от сокраще ния себестои мости пробега C_{at}	Коэффици ент приведени я разноврем енных затрат к году начала применен ия инновацио нных технологи й	Чистый дисконтирова нный доход (ЧДД)
	Средняя Затраты скорость			Средняя скорость потока км/ч	ррость Затраты								
	потока км/ч	Устройст во	P_t	C_{at}		Устройств о	P_t	C_{at}					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	84	57 152,76	9 398,35	27 325,81	82	169 881,19	22 323,09	27 545,70	112 728,43	12 924,74	219,89	1	125 873,05
1	91		20 648,00	27 167,03	91		20 648,00	27 167,03	0,00	0,00	0,00	0,945	125 873,05
						ЧДД (тыс. р	уб.)						125 873,05

По результатам оценки сравнительной эффективности двух вариантов по укреплению основания земляного полотна на слабых грунтах, применение ВСНСМ является эффективным по сравнению с укреплением струйной цементацией по показателю ЧДД равным 125 873 000,05 руб.

За счет ускорения времени производства работ при использовании ВСНСМ получен эффект в сокращении времени пребывания в пути и сокращении себестоимости пробега автомобилей.

Библиография

[1] ОДМ 218.3.1.001-2020	Методические рекомендации по расчетам гибкого	
	ростверка с применением геосинтетических	
	материалов. Основные положения расчетов	
[2] ОДМ 218.3.1.002-2020	Типовые технические решения для насыпей на	
	свайных фундаментах с гибким ростверком из	
	геосинтетических материалов	

- [3] Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах, 2004
- [4] Методические рекомендации по проектированию и технологии сооружения вертикальных песчаных дрен и песчаных свай при возведении земляного полотна на слабых грунтах. 1975

Seminatoro nonorta na enaogia rpytiaa, 1775		
[5] ОДМ 218.3.120-2020	Методические рекомендации по расчету насыпей	
	автомобильных дорог на слабых грунтах	
	основания с применением геосинтетических	
	материалов	
[6] ОДМ 218.4.1.002-2020	Организация и проведение геотехнического	
	мониторинга при строительстве земляного	
	полотна на слабых грунтах	
[7] СНиП 12-03-2001	Безопасность труда в строительстве. Часть 1.	
	Общие требования	
[8] СНиП 12-04-2002	Безопасность труда в строительстве. Часть 2.	
[0] CHMH 12-04-2002	Строительное производство	
	Строительное производство	
[9] ОДМ 218.11.006-2021	Методические рекомендации по оценке	
	эффективности использования в порожном	

OKC 93.080.01

Ключевые слова: виброуплотняемые сваи, укрепление слабых грунтов основания земляного полотна, неорганические сыпучие материалы, правила производства работ

Руководитель организации-разработчика	
ООО «Геолайт»	
Генеральный директор	В.С. Шиковский